

ELABORAÇÃO DE ESTUDOS DE AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA IMPLANTAÇÃO DE EMPREENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS NA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO PARAGUAI E PARA SUPORTE À ELABORAÇÃO DO PLANO DE RECURSOS HÍDRICOS DA RH-PARAGUAI

RELATÓRIO DE ATIVIDADES REFERENTES AO PRODUTO 10.1

Resumo

No produto 6, foram entregues os dados e análises do período de 2000 a 2009 (10 anos) com frequência de imageamento de 16 dias, com apenas as imagens do sensor MODIS/TERRA. No produto 6 foram apresentados a área total inundável do Pantanal e uma nova proposta de suas sub-regiões, baseado na dinâmica das inundações. As principais fases do ciclo das inundações, a sua variabilidade interanual e a frequência com que ocorreram as inundações para o período de 2000 a 2009.

Complementando, atualizando e ampliando o que já foi apresentado anteriormente, são apresentados aqui, no produto 10, os dados finais sobre a dinâmica das inundações do Pantanal, para o período de 2003 a 2018 (16 anos) com frequência de imageamento de 8 dias, reunindo as imagens MODIS/TERRA com as imagens MODIS/AQUA, totalizando 736 imagens/datas.

A abordagem desse produto é a de avaliar a partir de imagens de satélite os impactos potenciais dos empreendimentos hidrelétricos na escala cartográfica regional e no contexto de todo o Pantanal e suas respectivas bacias no Planalto adjacente.

Considerando que o projeto busca informações para a tomada de decisão de modo a subsidiar as determinações quanto a autorização de outorga para os empreendimentos ainda não implantados, partiu-se da premissa que seriam considerados apenas os locais em “eixo disponível” e aqueles em diferentes estágios do processo de implantação. Os empreendimentos já implantados seriam considerados como parte do sistema.

Considerando então essa premissa, os resultados esperados dos estudos, tem como foco estimativas qualitativas e quantitativas dos impactos potenciais e não dos impactos reais resultantes de empreendimentos já instalados. A principal motivação

para se adotar essa premissa é que os empreendimentos já instalados, com pouquíssimas exceções (Ex.: UHE de Manso), são relativamente recentes e não apresentam séries históricas de dados suficientes para a avaliação dos impactos, que possam servir como base para se fazer inferências ou extrapolações para os empreendimentos planejados ou em processo de implantação. Outra restrição aos estudos na bacia do Ato Paraguai é a dimensão geográfica o que resulta no alto custo com a logística, pessoal e tempo necessário para a realização e integração de tais estudos para a tomada de decisão.

Considerando tais aspectos e considerando que o objetivo principal dos estudos são os impactos potenciais no Pantanal, procurou-se levantar dados e se analisar os processos hidrossedimentológicos no Pantanal que possam ser avaliados quanto a sua dinâmica geográfica (espacial) a partir do processamento e análises de imagens de satélite em duas escalas a regional e a local.

Nesse relatório serão apresentados os dados e análises referentes ao produto 10.1- *“Quantificação das áreas inundáveis e análise dos padrões espaciais e temporais da dinâmica das inundações em escala regional.”* O produto 10.2- *Quantificação das áreas inundáveis e análise dos padrões espaciais e temporais da dinâmica das inundações em escala local”*, além do mapeamento dos sedimentos para rastrear a influência dos rios nas inundações do Pantanal, já foi entregue, mas foram feitas algumas melhorias nas análises e no texto, de forma que uma nova versão está sendo apresentada.

Na fase de análise integrada do projeto, pretendemos integrar os produtos 10.1 e 10.2 entre si e depois com os dados e análises das diferentes abordagens de modelagem hidrológica e hidrossedimentológica. Sugerimos que tal integração tenha como base o balanço hídrico e o balanço de massa de sedimentos, respectivamente. Posteriormente, pretendemos integrar com as demais áreas do projeto como a ictiofauna e pesca e da socioeconomia e energia. O foco de tais integrações será o de onde, no espaço geográfico, os processos e impactos potenciais podem vir a acontecer, caso as hidrelétricas planejadas e em diversos níveis de implantação venham a ser implantadas de fato.

Considerando o exposto acima, os resultados e produtos desse projeto se caracterizam como um conjunto de informações para a previsão dos possíveis impactos dos empreendimentos hidrelétricos sobre o planalto e Pantanal.

1 - INTRODUÇÃO

Os impactos potenciais dos empreendimentos hidrelétricos sobre o Pantanal podem vir a afetar tanto os processos ecológicos e a distribuição e abundância geográfica dos recursos naturais, quanto as atividades econômicas da região, que são baseadas primariamente na exploração do ambiente natural. Por esse motivo se faz necessário descrever e caracterizar esses aspectos do Pantanal.

As principais atividades econômicas do Pantanal são a pecuária extensiva, a pesca, e o turismo. A pecuária extensiva apresenta um efetivo bovino em torno de 3,8 milhões de cabeças de gado (SANTOS et al., 2003).

A pesca é a segunda atividade econômica do Pantanal, graças ao estado de conservação do ambiente. O potencial de produção pesqueira é estimado entre 14.000 e 263.000 toneladas/ano, em função dos 43.850 km² de áreas inundáveis, muito importantes para a ictiofauna (CATELLA, 1996).

A influência da variabilidade espacial e temporal das inundações no Pantanal e sua importância no sistema tem sido demonstrada em diversos trabalhos quanto à qualidade das águas/Limnologia (CALHEIROS E FERREIRA, 1996; HAMILTON, et al., 1996), à distribuição da vegetação (POTT, 1995; DAMASCENO JUNIOR, 1997; SILVA, et al., 2000), à distribuição da fauna silvestre (MOURÃO et al., 2000, TOMAS et al., 2001), ao comportamento migratório e desenvolvimento dos peixes (RESENDE, 2002; CATELLA, 2003) e à pecuária (COMASTRI FILHO E POTT, 1996; SANTOS ET AL., 2002, SANTOS ET AL., 2003).

O pulso de inundação (JUNK et al., 1989), um conceito de funcionamento de sistemas alagáveis de várzea, desenvolvido com base nas áreas inundáveis da Amazônia, tem sido aplicado à sazonalidade das inundações do Pantanal. O conceito de pulso de inundação considera a conectividade lateral rio-planície de inundação e as trocas entre as fases terrestre (seca) e aquática (cheia) na planície de inundação. Porém, nem todas as áreas inundáveis do Pantanal tem relação de troca com rios. Outras vezes o rio perde água para a planície, porém essa água não retorna para o canal do rio. Ocorrem também situações em que o rio é tomado por uma onda de inundação como no caso do rio

Paraguai na sub-região do Paraguai e não representa o papel principal, causador do processo de inundação.

O entendimento das inundações são uma questão estratégica para a utilização do Pantanal. As variações sazonais das condições hidrológicas formam planícies distintas quanto à duração e altura das inundações. Segundo Brasil (1979) e Paiva (1984). A área submersa pode atingir cerca de 70% da área total, embora isso não ocorra ao mesmo tempo em todas as áreas.

É bem conhecido que os peixes migradores da RH Paraguai, tem na planície de inundação do Pantanal, principalmente nas áreas de média e alta inundação, os locais de crescimento e maturação reprodutiva dos alevinos que derivam de montante. Na época das primeiras chuvas os rios mudam sua qualidade da água e de alguma forma os peixes reconhecem essas mudanças e já maduros reprodutivamente, as fêmeas ovadas e os machos nadam rio acima até as regiões de planalto onde as fêmeas desovam e seus ovos são fertilizados pelos machos.

Os ovos eclodem e os alevinos são levados passivamente à jusante dos locais de reprodução no planalto para as áreas inundadas do Pantanal. Alguns estudos mencionam que anos de grandes cheias proporcionam anos de maiores estoques de peixes, com uma defasagem de 2 a 3 anos. Ou seja, as cheias grandes de tempos em tempos, representam um processo chave para a manutenção dos estoques pesqueiros do Pantanal.

Os empreendimentos hidrelétricos como as UHEs, com grandes barramentos e grande controle do regime hidrológico, usualmente atenuam as grandes cheias, assim como as grandes estiagens “achatando” os picos e diminuindo, portanto, a sua amplitude. Análises estatísticas baseadas na média, muitas vezes não conseguem capturar esses impactos.

Já os pequenos empreendimentos hidrelétricos (PCHs), por serem considerados de “fio d’água” e por não apresentarem grandes reservatórios, não alteram o regime hidrológico à jusante, como as UHEs. Variações de descarga ao nível horário para atender às demandas de energia nos horários de pico de consumo, tem uma propagação pequena, restringindo-se a poucos quilômetros à jusante das PCHs, conforme tem sido

apresentado pela modelagem hidrológica, nesse projeto. Além disso, ocorre uma “diluição hidrológica” à jusante devido a contribuição dos afluentes antes dos rios alcançarem o Pantanal, atenuando as oscilações de nível e vazão. Ocorre, portanto, uma forte relação entre a magnitude e a distância da fonte de impacto.

Outro fator que atenua os efeitos de alteração do regime hidrológico à jusante das UHEs e principalmente das PCHs no Pantanal, se deve ao relevo do Pantanal que é extremamente plano. Naturalmente os hidrogramas dos rios na saída do planalto para o Pantanal apresentam um comportamento de grande amplitude de variação de nível e vazão em curtos períodos de tempo de dias ou até de horas. Uma vez que os rios adentram ao Pantanal, perdem velocidade e energia, ocorrendo a atenuação dos múltiplos picos, da borda do planalto, para um único pico anual mais à jusante no Pantanal.

Considerando as alterações do regime hidrológico dos rios, em função dos empreendimentos hidrelétricos, a modelagem hidrológica tem mostrado que grande parte das alterações são atenuadas ainda no planalto. Possíveis alterações do regime hidrológico de empreendimentos próximos ao Pantanal possivelmente serão atenuadas logo nos primeiros quilômetros do percurso dos rios no Pantanal, devido ao relevo.

Observa-se na série temporal das imagens MODIS analisadas, que as áreas permanentemente inundadas ou que passam mais tempo inundadas podem estar distantes ou próximas das fontes de alterações hidrológicas no planalto, podendo então haver respostas diferenciadas dependendo da região no Pantanal e do nível de alterações potenciais no planalto.

Procurou-se caracterizar a dinâmica das inundações do Pantanal e contextualizar os impactos potenciais dos empreendimentos hidrelétricos procurando responder às seguintes questões:

- Qual é a extensão e a representatividade da conectividade lateral dos rios na planície inundável do Pantanal?
- Quais regiões do Pantanal seriam potencialmente impactadas pelos empreendimentos hidrelétricos?

2 - METODOLOGIA

2.1 - Área de Estudo

O Pantanal está localizado na bacia do alto rio Paraguai (BAP), entre as latitudes 14°S e 23°S e as longitudes 53°W e -61°W, envolvendo os países Brasil, Bolívia e Paraguai (Figura 1).

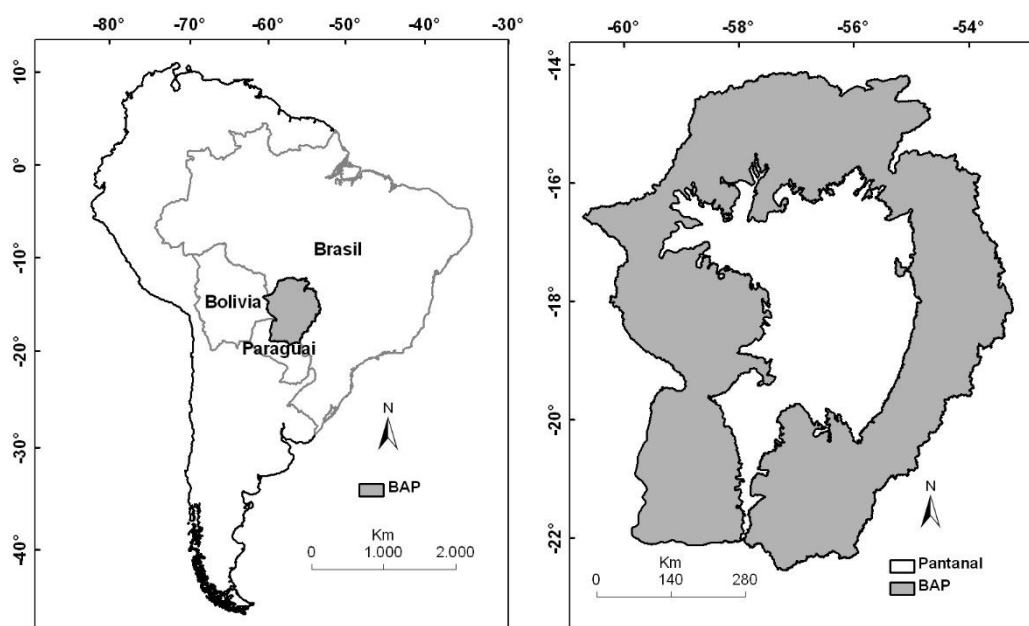


Figura 1 – Localização da bacia do alto rio Paraguai (BAP) no Brasil, Bolívia e Paraguai, na América do Sul e o limite da área inundável do Pantanal dentro da bacia do alto Paraguai

O Pantanal é a maior planície contínua sazonalmente inundada do mundo. Localiza-se no extremo norte da Bacia Platina, ocupando, no Brasil, uma área de 138.183 km² na Bacia do Alto Paraguai, (SILVA, 1998). Representa uma área de transição entre os domínios do Cerrado no Brasil Central, do Chaco na Bolívia e no Paraguai e da Região Amazônica ao Norte (BRASIL, 1979; DA SILVA, 1990). Caracteriza-se por uma extensa planície, composta por vários leques aluviais, situados abaixo da cota de 200 m, que é drenada por 12 rios principais e caracterizada por um baixo índice de declividade, de 3 a 15 cm/km do Norte para o Sul e de 30 a 50 cm/km, de Leste para Oeste (BRASIL, 1974; ADÁMOLI, 1986).

A precipitação média anual no Pantanal encontra-se entre 1.100 e 1.200 mm. As precipitações se concentram nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, com 45% da precipitação total anual e o mês mais chuvoso geralmente é janeiro, com a estação seca pronunciada no inverno (GUERRINI, 1978; BRASIL, 1979).

Os principais afluentes do rio Paraguai, apresentam no seu exutório do planalto para o Pantanal, vários picos de cheia entre dezembro e abril, porém durante a sua travessia pelo Pantanal são amortecidos, fazendo com que os afluentes e o rio Paraguai apresentem um hidrograma anual unimodal a apenas alguns quilômetros do seu percurso dentro do Pantanal. As cheias dos rios nas áreas periféricas do Pantanal, à noroeste, norte, nordeste, leste e sudeste, coincidem com o período mais chuvoso, de janeiro a março, chegando pelo rio Paraguai no Sul do Pantanal, na região de Corumbá/Ladário, em seu pico máximo no trimestre de abril-maio-junho, após o cessar das precipitações, devido ao lento escoamento das águas. Em sua parte ainda mais ao Sul, nas estações de medição de Porto Esperança e Forte Coimbra, o rio Paraguai pode apresentar um primeiro pico de enchente em fevereiro-março, originado das descargas dos rios afluentes do Sul da bacia (rios Miranda e Aquidauana). Em maio-junho acontecem os maiores níveis do rio Paraguai em Ladário e a maior inundação, nesse trecho, devido à chegada das águas originadas da região Norte da bacia. Além do comportamento sazonal, o fenômeno das enchentes apresenta uma variabilidade plurianual, com alternância de períodos de seca e de cheia (CARVALHO, 1986; CADAVID-GARCIA, 1984; GALDINO e CLARKE, 1995).

O Pantanal apresenta uma grande diversidade de ambientes, decorrente da sua heterogeneidade edáfica e hidrológica. A vegetação é um mosaico de espécies da flora que podem ser agrupadas em quatro classes fitoecológicas: Savana (Cerrado), Savana Estépica (Vegetação Chaquenha), Floresta Estacional Semidecidual (30% de árvores caducifólias no período seco) e Floresta Estacional Decidual (60%). Além destas, aparecem áreas de tensão ecológica (ecótonos), representadas por interpenetrações (encraves) e mistura entre as formações de regiões fitoecológicas distintas, favorecidas pelas diferentes litologias, formas de relevo e por transições climáticas. O principal recurso florístico do Pantanal apropriado para uso econômico são as pastagens naturais

e os demais abrangem desde a vegetação aquática à arbórea, e das quais dependem a fauna herbívora e, indiretamente, outros animais (DA SILVA, 1990).

2.2 Imagens orbitais utilizadas

A cobertura de nuvens, independente da resolução espacial, é um dos grandes problemas das imagens de sensores óticos, que captam imagens da luz solar refletida pela superfície terrestre. Os produtos MODIS, por serem gratuitos pré-processados para correção atmosférica, eliminação de nuvens e georreferenciamento, entre outras características, baseadas no conhecimento acumulado pela comunidade científica em sensoriamento remoto, são uma ótima opção para uso em pesquisa básica e aplicada.

Foram utilizados os produtos MOD13 Q1 e MYD Q1 do sensor MODIS, versão 6, com uma resolução espacial de 250 metros, resolução temporal de 16 dias e resolução espectral de quatro bandas de refletância (azul, vermelho, NIR e MIR) para o objetivo de mapear a dinâmica das inundações do Pantanal.

O produto da superfície terrestre do sensor Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), da Agência Espacial Norte Americana (NASA).

A característica multiespectral do MODIS, aliada à alta frequência temporal de imageamento (diária) lhe confere um potencial muito grande para monitoramento ambiental em nível regional. Além disso, o sensor MODIS apresenta uma sobreposição de resolução espectral com os sensores dos satélites Landsat, Áster e CBERS-2, significando que os dados são comparáveis e podem ser complementares.

A resolução espacial de 250 metros, permite um nível de detalhamento compatível com mapeamento de todo o Pantanal, na escala 1:500.000, considerando uma abordagem conservadora, com rigor cartográfico. Porém, isso não impede observação de áreas menores, resguardando as limitações entre escala, tamanho de pixel e área ocupada pelos alvos (objetos) de interesse.

A resolução temporal dos produtos MOD13 e MYD13, de 16 dias, permite que os algoritmos de eliminação de nuvens e de correção atmosfera, processem um número de imagens que resulte numa maior chance de obtenção de pixels livre dessas

interferências. Porém, algumas vezes, ainda podem ser encontrados pixels contaminados com nuvens.

A resolução espectral de quatro bandas reflectivas (azul, vermelho, infravermelho próximo – NIR e infravermelho médio - MIR) além dos produtos NDVI e EVI, mostrou-se suficientes para a extração das áreas inundadas. A versão 6 é a última versão disponível para os produtos MODIS. Muitos problemas técnicos encontrados nas versões anteriores foram corrigidos nessa versão, sendo esse, portanto, o melhor produto disponível atualmente.

O sensor MODIS está a bordo do satélite Terra e Aqua, que foi lançado em dezembro de 1999, começando a coletar dados em fevereiro de 2000 e em 2002, respectivamente, com o horário de passagem às 10:30 horas da manhã no equador. Esse sensor foi projetado para atender os requerimentos de estudos em atmosfera, oceano e terra. As resoluções espectral e espacial foram selecionadas para diferentes necessidades observacionais e cobertura global quase diariamente (JUSTICE, 2002).

Os comprimentos de onda das 36 bandas espectrais foram escolhidos para a observação das propriedades das nuvens, dinâmica e propriedades da vegetação na cobertura terrestre, e temperatura da superfície dos oceanos (SALOMONSON E TOLL, 1990), visando evitar as bandas de absorção atmosférica, além de outras feições (linha de Fraunhofer), na observação e monitoramento da superfície terrestre (SALOMONSON E BARKER, 1992; STRAHLER et al., 1999). As primeiras 19 bandas estão posicionadas na região do espectro eletromagnético situado entre 405 nm a 2155 nm, de forma que as bandas 1 a 7 estão direcionadas para as aplicações terrestres; as bandas 8 a 16 para as observações oceânicas e as bandas 17 a 19 para as medições atmosféricas. As bandas 20 a 36, com exceção da banda 26 (1360-1390 nm), cobrem a porção termal do espectro eletromagnético (3660nm a 14385nm) e podem ser utilizadas por diferentes campos das ciências naturais (BARKER et al., 1992). As bandas desenvolvidas para o monitoramento da superfície terrestre herdaram o conhecimento dos sensores Landsat/TM e NOAA/AVHRR e foram melhoradas nos menores comprimentos de onda e no infravermelho (JUSTICE et al., 1998). O sensor MODIS possui bandas espectrais finas,

específicas para as necessidades da comunidade científica, que desenvolve pesquisas na superfície dos continentes (STRAHLER et al.,1996) (Tabela 1).

Tabela 1 – Bandas Espectrais do sensor MODIS para monitoramento e estudo da superfície terrestre

Aplicação	Bandas	Largura da banda (nm)
Terra/Nuvens/Limites de aerossóis	1	620-670
	2	841-876
Terra/Nuvens/Propriedade de aerossóis	3	459-479
	4	545-565
	5	1230-1250
	6	1628-1652
	7	2105-2155

2.3 Processamento das imagens

As imagens de reflectância das bandas do azul, vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio do sensor MODIS foram pré-processadas seguindo os seguintes passos:

1 - Foram adquiridas do portal EOS Data Gateway, NASA (2008b), imagens compostas MOD13Q1 (Terra) e MYD13Q1 (Aqua).

2 - As imagens dos *tiles* H12V10 e H12V11 dos anos de 2003 a 2018 foram recortadas para a área de estudo, convertidas para o formato TIFF e reprojctadas. Optou-se por adotar a referência espacial das imagens em projeção UTM, WGS84.

2.4 Modelagem de mistura espectral

Os pixels de uma imagem digital integram os componentes ou tipos de cobertura da superfície menores que o tamanho do pixel. O valor de reflectância de um determinado pixel é então o resultado dessa mistura de componentes, denominado problema de mistura espectral. Esse problema aumenta com o aumento em tamanho do pixel, em função do tamanho dos componentes na superfície do terreno. Uma vez que as imagens MODIS apresentam resolução espacial moderada (250m de pixel), pode-se ter a combinação de diferentes componentes da superfície. No Pantanal, onde a maior parte da superfície é de área natural e rural, os principais componentes da superfície são vegetação, solo e água. O Modelo Linear de Mistura Espectral (SHIMABUKURO E SMITH, 1991) estima a proporção de cada componente presente em um determinado pixel, a partir da resposta espectral de cada componente nas diversas bandas, gerando imagens fração desses componentes, portanto imagens fração de solo, vegetação e água. O modelo de mistura espectral, de acordo com Shimabukuro et al. 1998, pode ser escrito como:

$$r_i = a * vege_i + b * solo_i + c * \acute{a}gua_i + e_i \quad (1)$$

sendo:

r_i = resposta do pixel na banda i ;

a = proporção de vegetação;

b = proporção de solo;

c = proporção de sombra ou água;

$vege_i$ = resposta espectral do componente vegetação na banda i ;

$solo_i$ = resposta espectral do componente solo na banda i ;

$\acute{a}gua_i$ = resposta espectral do componente sombra ou água na banda i ;

e_i = erro na banda i ; e

i = bandas utilizadas

As imagens fração foram geradas pelo método dos mínimos quadrados, a partir de programação de uma rotina em IDL/ENVI. No MLME a etapa crítica é a escolha dos pixels puros para cada *endmember* do modelo. As curvas espectrais dos três componentes do MLME para as quatro bandas podem ser observadas na Figura 2.

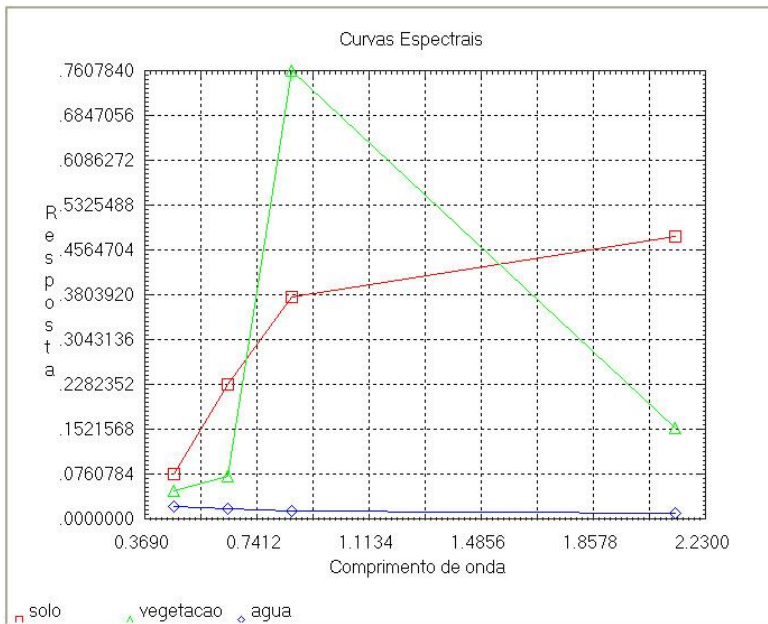


Figura 2 – Curvas espectrais do modelo de mistura espectral.

Os valores de reflectância de cada banda, e para cada *endmember* do MLME, foram obtidos como pixels puros a partir da imagem de 25 de maio de 2007. Para a pré-seleção dos pixels puros foram obtidos como base os maiores valores do produto EVI (Huete et al., 2002), da banda do infravermelho médio (MIR) e da banda do azul, para os *endmembers* vegetação, solo e água, respectivamente. As curvas espectrais obtidas para cada *endmember* combinam com as curvas espectrais padrão, esperadas para os *endmembers* vegetação (Ponzoni, 2001), solo (Netto, 2001) e água (Novo, 2001), para as bandas de reflectância do azul, vermelho, NIR e MIR.

2.5 Filtragem temporal para minimizar ruídos

Para filtrar a série temporal de imagens MODIS com a finalidade de minimizar os ruídos, utilizaram-se as funções matemáticas implementadas no software TIMESAT Jönsson e Eklundh (2002, 2003 e 2004).

Dentre as três funções matemáticas disponíveis no TIMESAT 3.3, gaussiana, logística e a de Savitzky-Golay, foi aplicada a função Savitzky-Golay por permitir maior flexibilidade de ajuste às series temporais estudadas. A equação que descreve a função Savitzky-Golay é:

$$\sum_{j=-n}^n c_j y_{i+j}$$

Essa função elimina ruídos da série, substituindo cada valor y_i , $i= 1, \dots, N$ por uma combinação linear de valores próximos em uma janela determinada. De forma simplificada, refere-se a uma média móvel, onde os pesos são $c_j = 1/(2n+1)$ e o valor y_i é substituído pela média dos valores de uma janela pré determinada. Mais detalhes das bases teóricas podem ser encontrados em Jönsson e Eklundh (2002, 2003 e 2004).

As funções de filtragem do TIMESAT foram criadas originalmente para séries temporais de NDVI, porém, segundo os autores, também podem ser usadas para séries temporais de outros conjuntos de dados.

No presente produto utilizaram-se as funções do TIMESAT para filtrar e suavizar (*smoothing*) e a série temporal das imagens fração água do modelo de mistura.

A figura 3 mostra uma série temporal de imagens onde é extraída a série temporal de um determinado pixel no tempo. A função matemática selecionada é aplicada então à série temporal de cada pixel, usando o método dos mínimos quadrados.

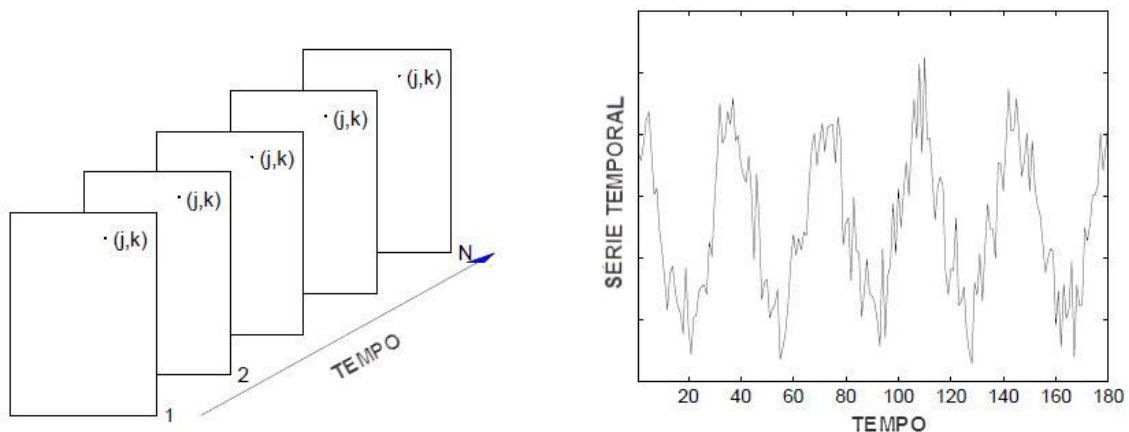


Figura 3 – Série temporal de imagens (esquerda). Uma imagem i dá os valores para o tempo t_i . Uma série temporal pode ser obtida extraíndo os valores de um determinado pixel (j,k) em datas consecutivas, y_1, y_2, \dots, y_N (direita). Adaptado do manual do TIMESAT, version 3.0, disponível em: <http://www.nateko.lu.se/TIMESAT/>.

2.6 - Mapeamento da inundação

As áreas inundadas foram extraídas das imagens fração água a partir da metodologia de fatiamento manual de histograma, por reconhecimento visual dos alvos a serem mapeados. Nessa metodologia, a imagem processada é sobreposta a imagens de referência e os valores da tabela de níveis de cinza da imagem processada são substituídos gradualmente por um preenchimento colorido qualquer referente às áreas inundadas. Esse processo comparativo com as imagens de referência vai até que se consiga um limiar onde o preenchimento recubra as áreas de interesse de mapeamento. Essa técnica funcionou bem com o produto fração água, por este ser uma imagem quantitativa da proporção de água em cada pixel e não o nível de reflectância de uma banda espectral, que tem um caráter qualitativo, e onde as técnicas usuais de classificação supervisionada e não supervisionada são mais adequadas.

O limiar de água e não água foi determinado como sendo 130, nas imagens de 8 bits, onde os níveis de cinza estão entre 0 a 255, onde 255 refere-se ao nível de cinza com a máxima proporção de água e o valor zero representa aquele onde a proporção de água é mínima ou nula. Substituindo-se gradualmente os valores de nível de cinza da imagem a partir do nível de cinza de 255 em direção ao valor 0, chegou-se ao valor de 130, onde todas as feições de áreas alagadas foram cobertas nas respectivas imagens de composição colorida, usadas como referência.

Estabelecido esse limiar, as imagens foram classificadas utilizando a ferramenta Reclassify do ArcGIS, onde os valores de nível de cinza a partir de 130 até 255, foram substituídos pelo valor 1 e os valores abaixo de 130 foram reclassificados como NoData. Esse procedimento foi feito individualmente para todas as 90 imagens selecionadas como boas, sem problemas graves de ruídos, num total de 736 imagens da série de janeiro de 2003 a dezembro de 2018. Utilizou-se então esse limiar para classificar todas as áreas inundadas.

Usando a linha de comando do ArcGIS montou-se um *script* para classificar as 227 imagens em lote:

```
Reclassify_sa C:/clip/00049agua.img Value "0 129 NoData;130 255 1" C:/class_130/00049agua DATA;
```

```
Reclassify_sa C:/clip/00065agua.img Value "0 129 NoData;130 255 1" C:/class_130/00065agua DATA;
```


Reclassify_sa C:/clip/00081agua.img Value "0 129 NoData;130 255 1" C:/class_130/00081agua DATA;

.
. .
.

Reclassify_sa C:/clip/09353agua.img Value "0 129 NoData;130 255 1" C:/class_130/09353agua DATA

2.7 - Etapas do processamento das imagens

Foi desenvolvida uma nova metodologia para a geração das imagens de quantificação das áreas inundadas do Pantanal, a partir das imagens fração água, resultante do modelo de mistura. Os passos dos processamentos estão no diagrama da Figura 4.

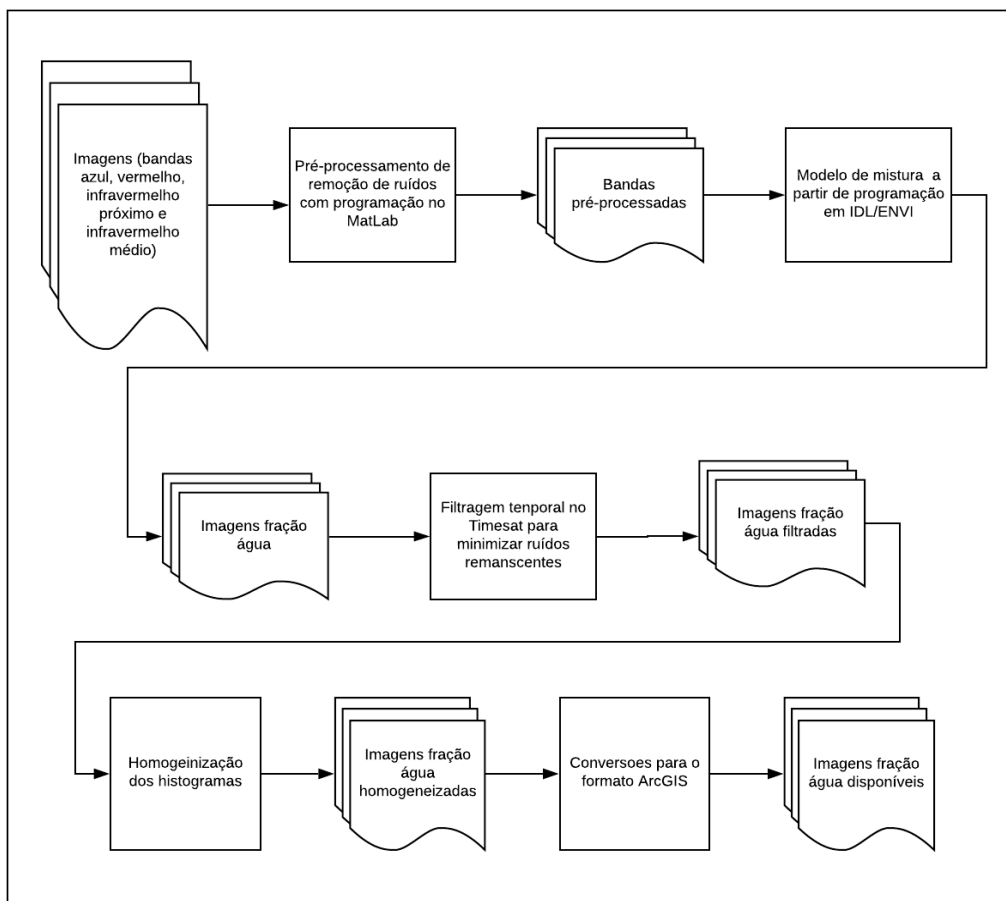


Figura 4 – Etapas do processo de obtenção das imagens fração água para mapear a dinâmica espaço temporal das inundadas do Pantanal.

2.8 Delimitação do Pantanal e de suas sub-regiões

Nesse produto utilizou-se as sub-regiões do Pantanal elaborada por Padovani, 2010. Abaixo segue a descrição e a justificativa da proposição de uma nova subdivisão do Pantanal baseada na distribuição espacial dinâmica das inundações e considerando as fontes de água.

A delimitação do Pantanal e de suas sub-regiões aqui apresentada difere das de autores anteriores (SILVA et al., 1998, HAMILTON et al., 1996), tanto no que concerne à área total do Pantanal quanto em relação ao número de sub-regiões (Tabela 2).

Tabela 2 – Comparação da delimitação do Pantanal e de suas sub-regiões entre os estudos anteriores e o presente estudo

Parâmetro	Silva (1998)	Hamilton (1996)	Este estudo
Área	138.183 km ²	137.000 km ²	150.500 km ²
Sub-regiões	11	10	25
Critério	Hidrologia, relevo, solos e vegetação	Hidrologia e geomorfologia	Hidrologia e geomorfologia

A área total decorrente da delimitação do Pantanal, realizada neste estudo, mostrou aumento em relação aos valores apresentados em trabalhos anteriores (Tabela 3). O limite Oeste apresenta mais similaridade com o traçado de Hamilton et al. (1996), já que Silva et al. (1998) restringiram seu traçado à fronteira política do Brasil. Já no lado Leste, a presente delimitação apresenta mais concordância com a delimitação de Silva, uma vez que Hamilton et al. (1996) não consideram, por exemplo, o sopé da serra de Maracajú como área de Pantanal (Figura 5).

O traçado das sub-regiões difere bastante nos três estudos. É importante salientar que a delimitação do Pantanal, em cada estudo, teve por base objetivos, escalas e conjunto de informações diferentes, sendo estas as principais causas das diferenças entre elas.

No presente estudo, as sub-regiões foram definidas com base na dinâmica das inundações, nas fontes de água, e na constatação de sincronia de inundações com sub-regiões vizinhas. Procurou-se também definir e ajustar os limites das sub-regiões em consonância com unidades geomorfológicas

presentes na planície, tais como sistemas deposicionais, ativos e pretéritos, leques aluviais, megaleques fluviais e rampas em zonas de encostas. Levando-se em consideração a compartimentalização geomorfológica (ASSINE, 2003). Destaca-se que o rio Paraguai, coletor das águas de todo o sistema hidrológico, apresenta estilos fluviais diferentes, de Norte para Sul, de forma que é um dos fatores que condicionam diferentes sub-regiões.

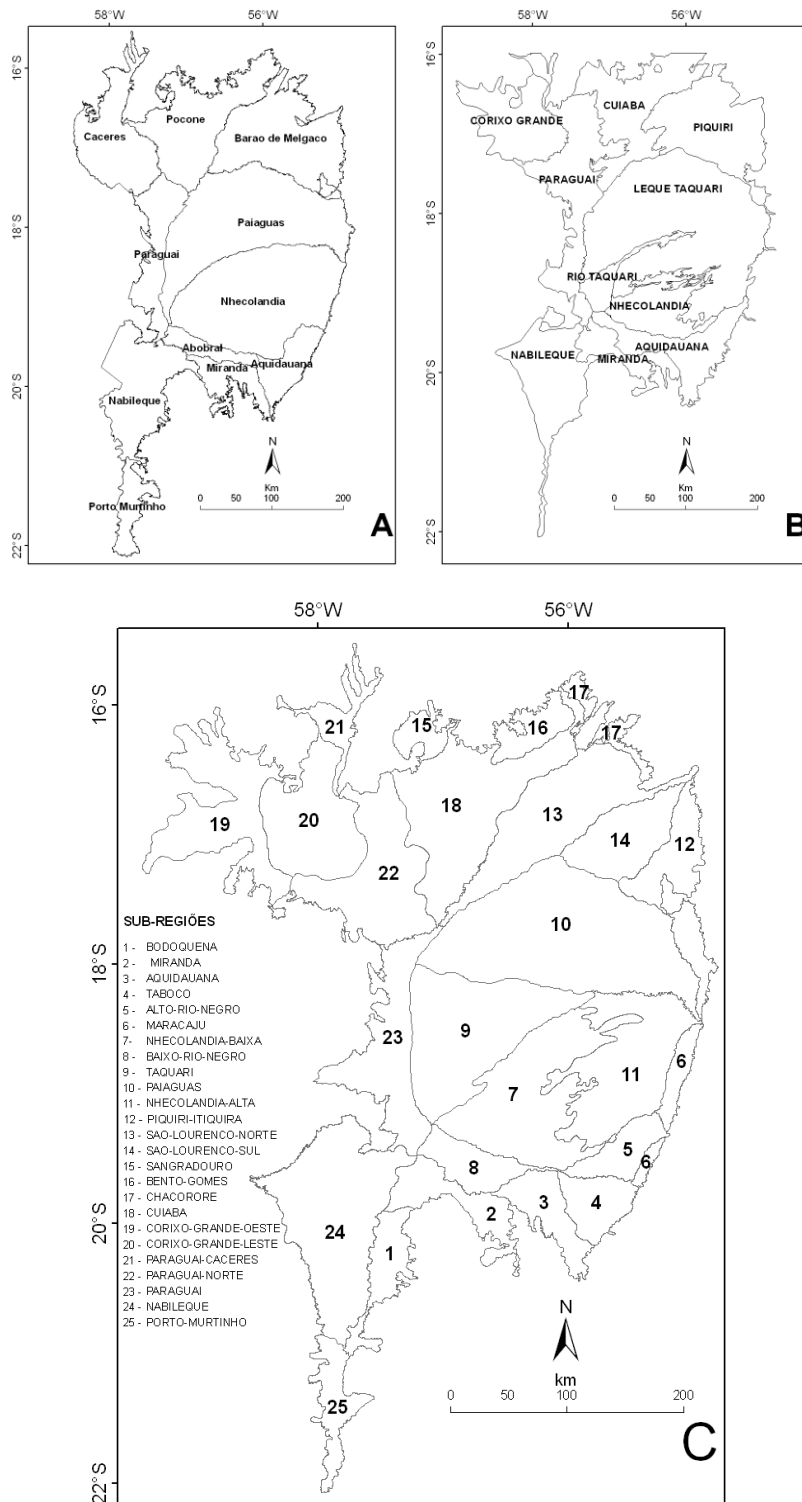


Figura 5 – Pantanal e suas sub-regiões: A - Silva (1998), B - Hamilton (1996) e C – Padovani, 2010.

As áreas referentes ao Pantanal e suas sub-regiões estão na Tabela 3. As três maiores sub-regiões são Paiaguás, Nabileque e Cuiabá e as três menores são Sangradouro, Maracajú e Chacororé.

Tabela 3 – Áreas em km² para as sub-regiões do Pantanal e para todo o Pantanal

	SUB-REGIÃO	ÁREA (km²)	%
	PANTANAL	150.501,84	100
1	BODOQUENA	2.745,98	1,8
2	MIRANDA	3.497,88	2,3
3	AQUIDAUANA	2.965,04	2,9
4	TABOCO	2.660,71	1,8
5	ALTO-RIO-NEGRO	2.755,74	1,5
6	MARACAJÚ	1.707,25	1,1
7	NHECOLÂNDIA-BAIXA	10.638,28	7,1
8	BAIXO-RIO-NEGRO	2.327,36	1,8
9	TAQUARI	10.821,89	7,2
10	PAIAGUÁS	18.231,58	12,1
11	NHECOLÂNDIA-ALTA	9.023,25	6,0
12	PIQUIRI-ITIQUIRA	4.908,62	3,3
13	SÃO-LOURENCO-NORTE	9.116,54	6,1
14	SÃO-LOURENCO-SUL	4.547,64	3,0
15	SANGRADOURO	1.374,41	0,9

16	BENTO-GOMES	2.084,40	1,4
17	CHACORORÉ	1.754,17	1,2
18	CUIABÁ	11.260,75	7,5
19	CORIXO-GRANDE-OESTE	8.424,54	5,6
20	CORIXO-GRANDE-LESTE	7.147,12	4,7
21	PARAGUAI-JAURUS	1.974,22	1,3
22	PARAGUAI-NORTE	8.497,32	5,6
23	PARAGUAI	7.030,97	4,7
24	NABILEQUE	12.357,01	8,2
25	PORTO-MURTINHO	2.649,17	1,8

Embora tenham sido caracterizadas 25 sub-regiões, a diversidade do Pantanal é muito grande e cada sub-região apresenta peculiaridades e diferenças internas, de forma que seria possível subdividir algumas das sub-regiões. Por exemplo, sub-regiões maiores como Paiaguás, Cuiabá, São-Lourenço-Norte e Nabileque apresentam, do ponto de vista da geomorfologia, lobos deposicionais de diferentes padrões, épocas de formação e relevo. Do ponto de vista da hidrologia, há diferentes padrões de drenagem, de fluxo e fontes de água. Estes aspectos poderiam ser mais bem investigados com a subdivisão das mesmas. Por esses motivos, o maior número de subdivisões baseadas na dinâmica hidrológica de superfície da planície elaborado por Padovani, 2010 atende melhor e em maior detalhe a avaliação geográfica dos impactos potenciais dos empreendimentos hidrelétricos no Pantanal que as demais subdivisões.

3 – RESULTADOS

3.1 – A série temporal de dados

Foram processadas 376 imagens do sensor MODIS dos satélites AQUA e TERRA, combinados para os anos de 2003 a 2018, com intervalo temporal de 8 dias. A partir do modelo de mistura espectral foi isolada a fração água. Estes rasters com valores graduais de proporção de água, foram reclassificados a partir de um limiar onde foram mapeados apenas os pixels de água. Os rasters binários água e não água foram convertidos para vetores no formato “shapefile” do software de SIG ArcGIS. Foram então calculadas as áreas de cada polígono em cada data e a área total de inundação para cada data (Figura 6).

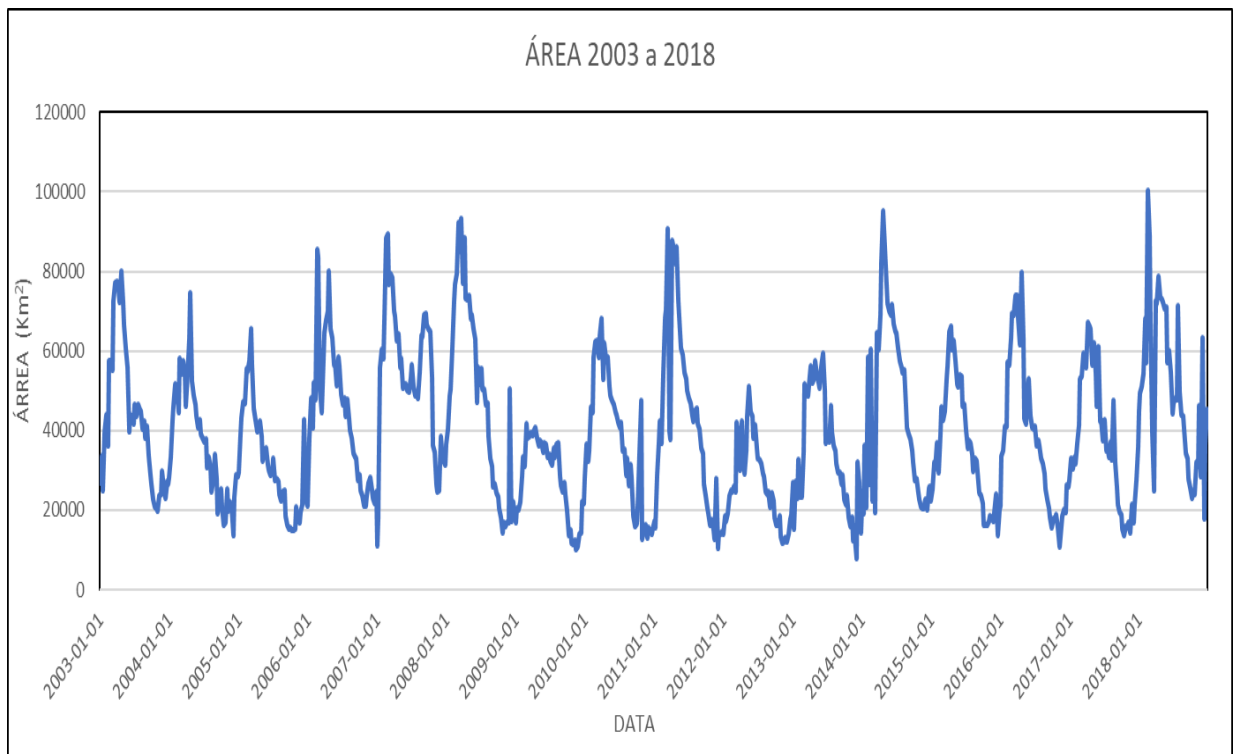


Figura 6 – Série temporal das áreas inundadas para todo o Pantanal. No eixo Y a área variou de 7.983 km² a 100.126 km², no período de janeiro de 2003 a dezembro de 2018.

Observa-se algumas variações bruscas nos valores de área, resultantes de problemas de ruído nas imagens originais do USGS – Serviço Geológico Americano, que apesar do esforço de processamentos de filtragem não foi possível eliminar. Porém, isso não

interfere na análise dos dados, pois devido a grande quantidade de dados foi possível selecionar as datas de melhor qualidade para produzir os resultados apresentados.

As Figuras 7 a 12, mostram uma síntese da dinâmica espaço temporal das inundações do pantanal, considerando as datas de maior e de menor área inundada. É evidente as diferenças na quantidade e na distribuição espacial das áreas inundadas entre a área máxima e a área mínima inundada, no mesmo ano. Também é possível observar a variabilidade em termos de quantidade e concentração de área inundada em diferentes lugares entre anos. O rio Paraguai e sua área de influência formam o eixo principal em termos de vazão recebida dos tributários e de fluxos difusos da planície.

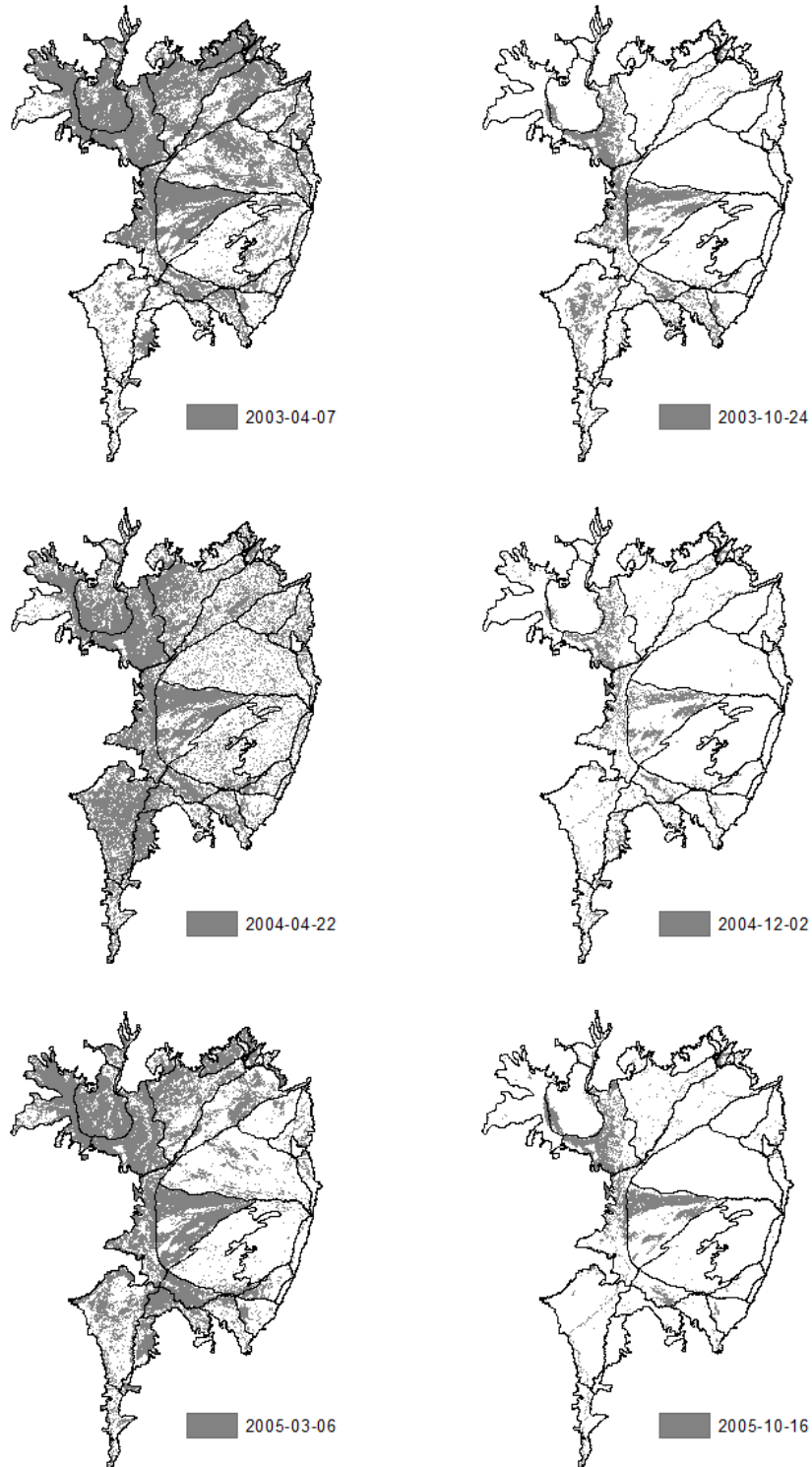


Figura 7 – Mapeamento das áreas inundáveis do Pantanal para os anos de 2003 a 2005. As datas com maior área inundada, para cada ano, estão à esquerda e as com menor área inundada estão à direita.

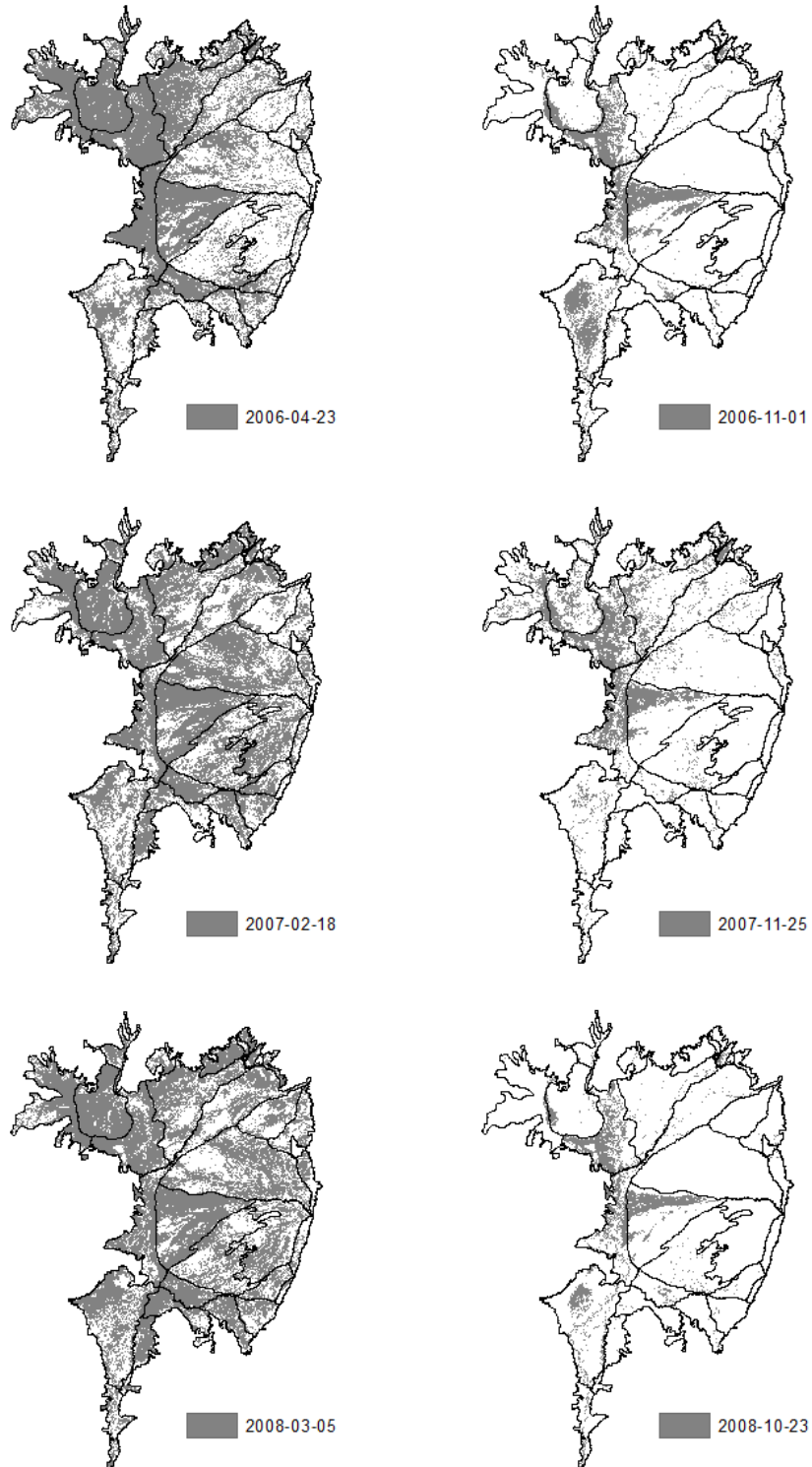


Figura 8 – Mapeamento das áreas inundáveis do Pantanal para os anos de 2003 a 2005. As datas com maior área inundada, para cada ano, estão à esquerda e as com menor área inundada estão à direita. As linhas pretas representam as regiões do Pantanal.

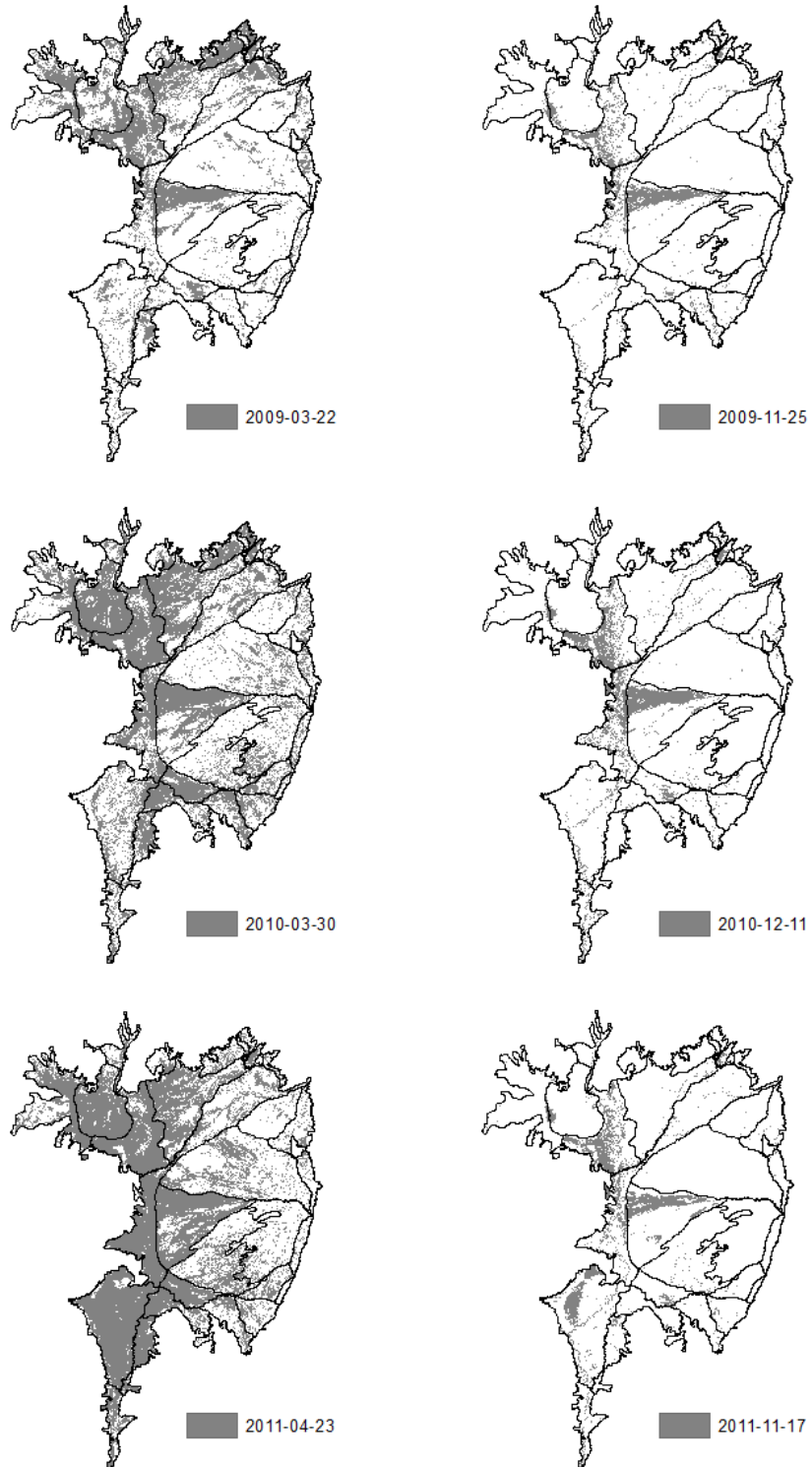


Figura 9 – Mapeamento das áreas inundáveis do Pantanal para os anos de 2009 a 2011. As datas com maior área inundada, para cada ano, estão à esquerda e as com menor área inundada estão à direita. As linhas pretas representam as regiões do Pantanal.

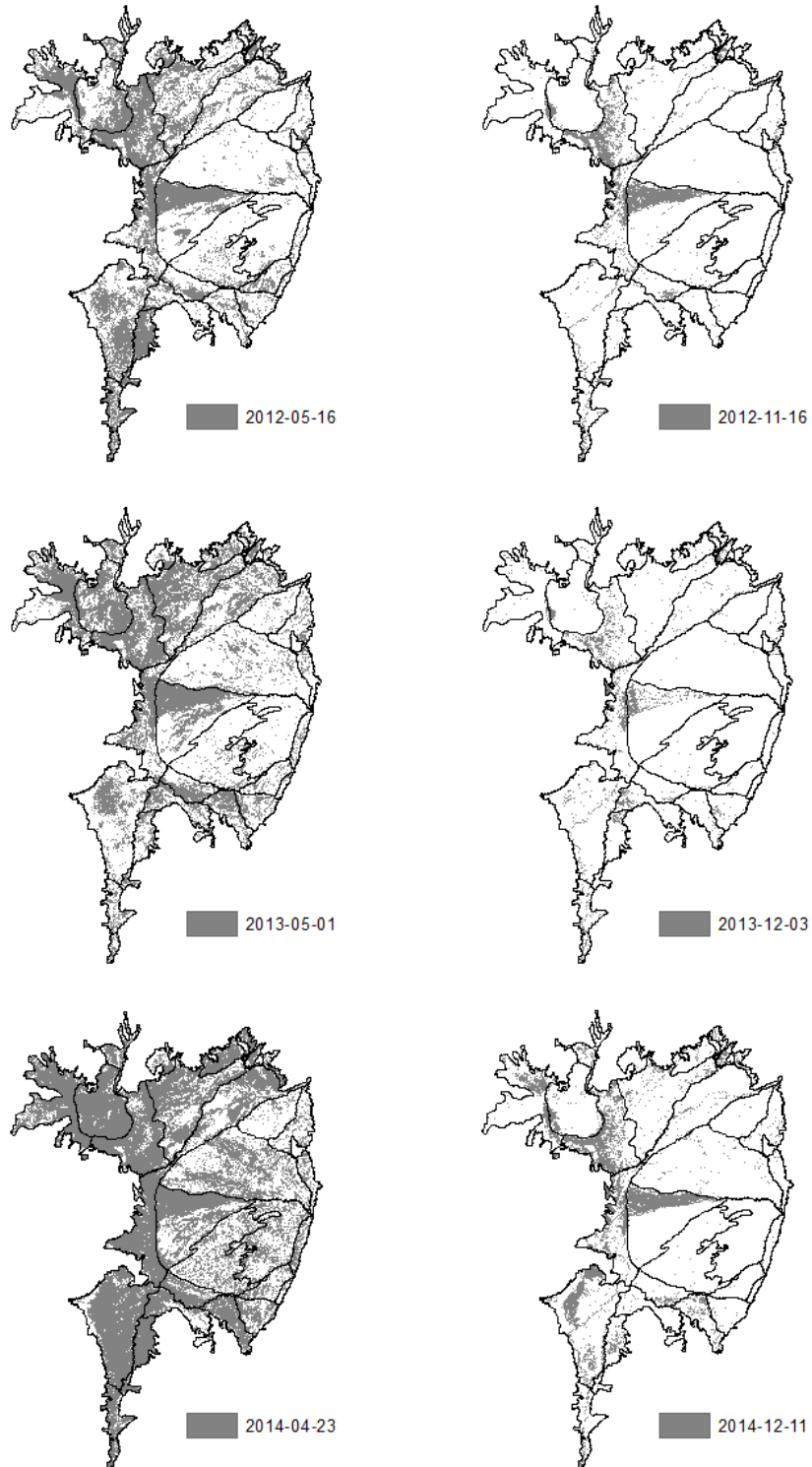


Figura 10 – Mapeamento das áreas inundáveis do Pantanal para os anos de 2012 a 2014. As datas com maior área inundada, para cada ano, estão à esquerda e as com menor área inundada estão à direita. As linhas pretas representam as regiões do Pantanal.

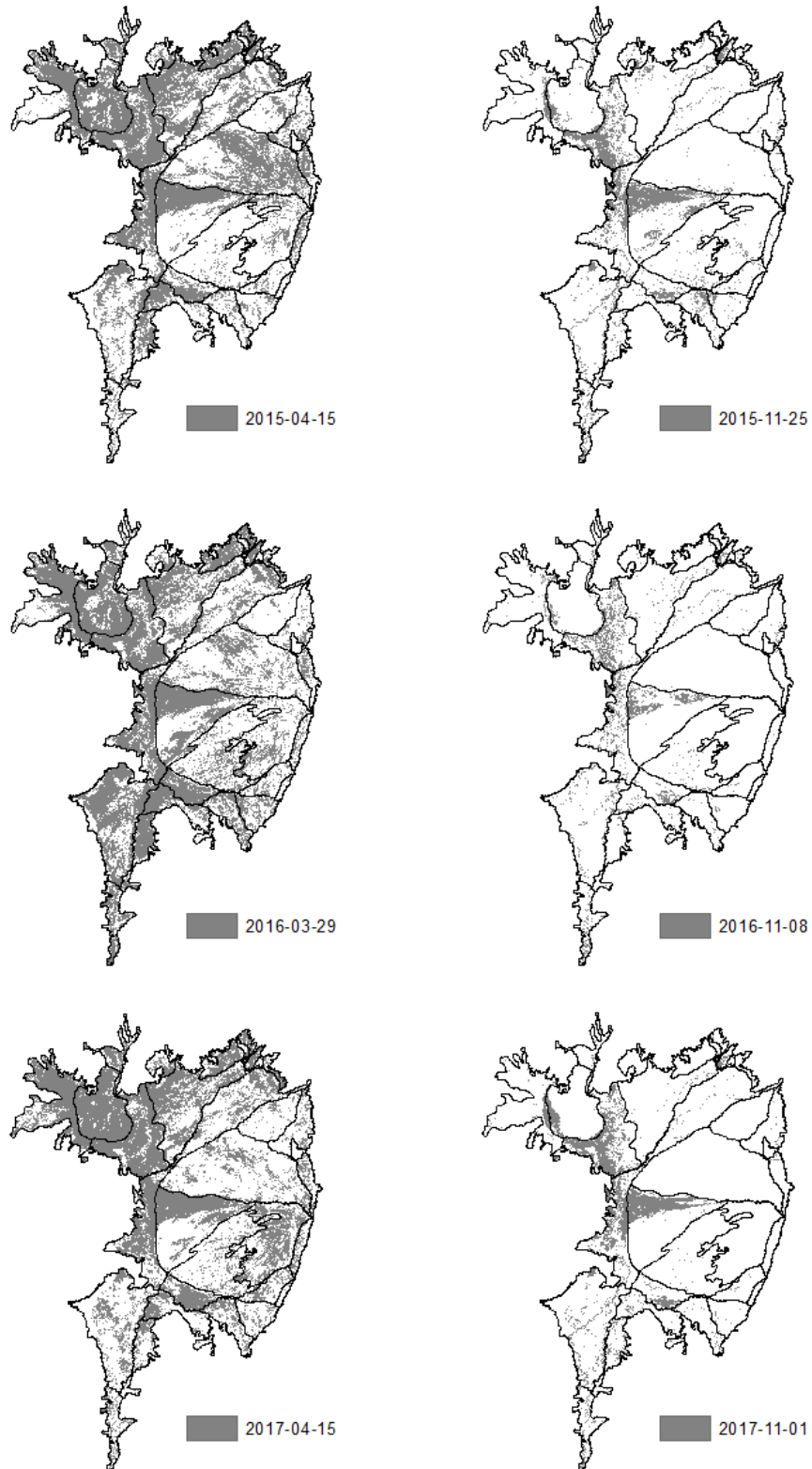


Figura 11 – Mapeamento das áreas inundáveis do Pantanal para os anos de 2015 a 2017. As datas com maior área inundada, para cada ano, estão à esquerda e as com menor área inundada estão à direita. As linhas pretas representam as regiões do Pantanal.

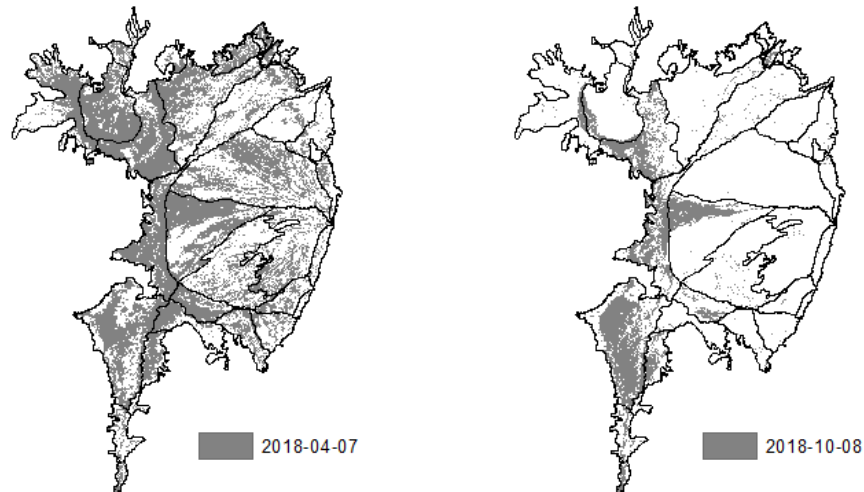


Figura 12 – Mapeamento das áreas inundáveis do Pantanal para os anos de 2018. As datas com maior área inundada, para cada ano, estão à esquerda e as com menor área inundada estão à direita. As linhas pretas representam as regiões do Pantanal.

3.2 – Padrões das áreas inundáveis do Pantanal a partir de estatísticas descritivas.

O Pantanal é uma região heterogênea e dinâmica no tempo e no espaço, mas apresenta alguns padrões que podem ser descritos e evidenciados com o emprego de estatísticas exploratórias no domínio temporal conforme demonstrado nas figuras 5 a 8. Foram então produzidos mapas das estatísticas: média, mediana, soma, e desvio padrão da série temporal de dados para cada pixel dos rasters da série temporal de 736 rasters de água.

As medidas de tendência central paramétrica da média (Figura 13) e não paramétrica, da mediana (Figura 14) mostraram padrões semelhantes e coerentes com a distribuição espacial das áreas usualmente mais inundáveis (em verde-azulado) e valores menores (em marrom-avermelhado) para aquelas menos inundáveis, nesse período. Essa forma de apresentação dos dados, num contínuo, é mais próxima do que ocorre em campo, onde se observa um gradiente entre áreas inundadas e não inundadas no tempo e no espaço. Por esse motivo, optou-se por mostrar os rasters além dos polígonos de áreas inundadas.

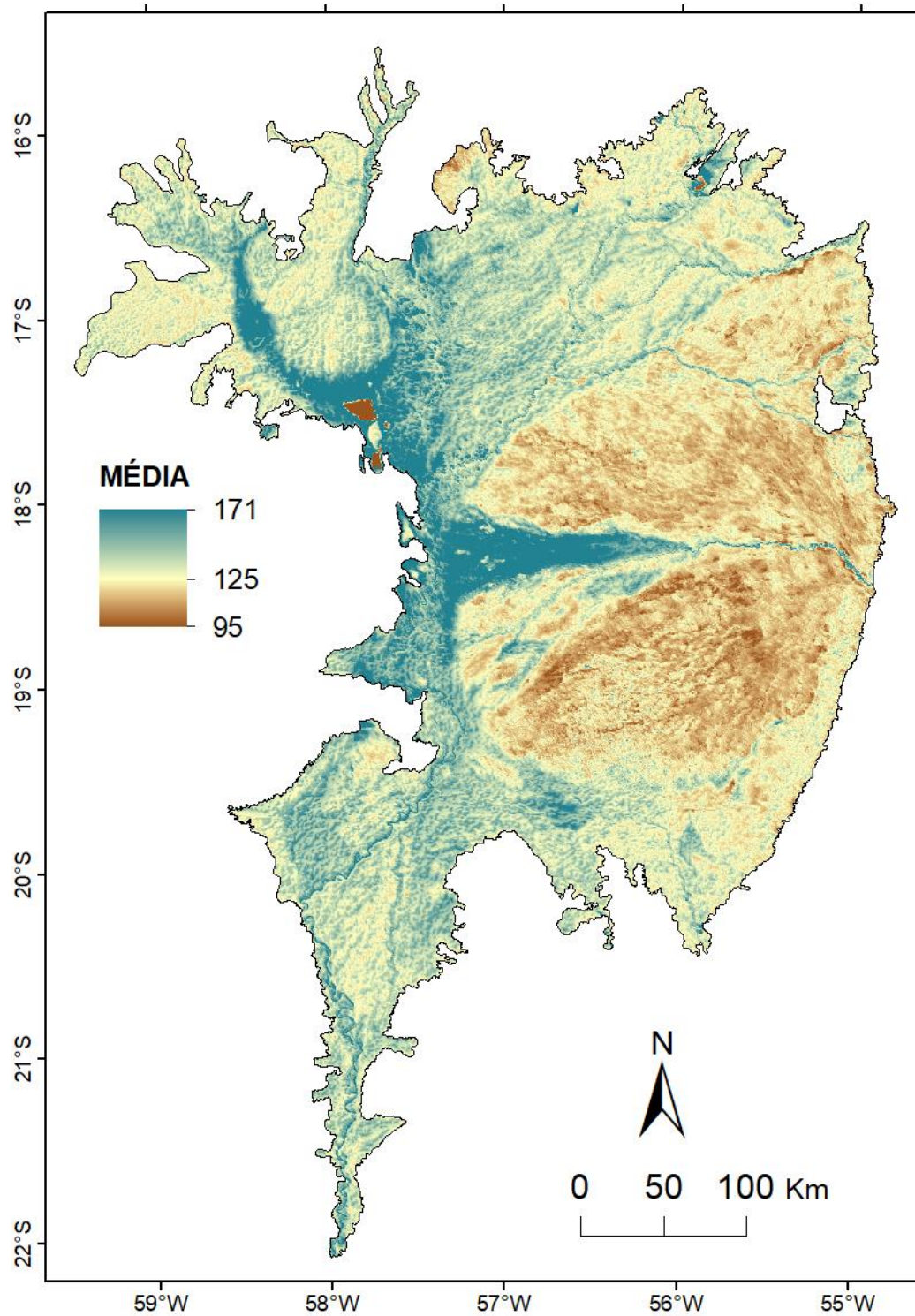


Figura 13 – Cálculo da média simples da série temporal de dados para cada pixel do raster. Uma medida de tendência central paramétrica.

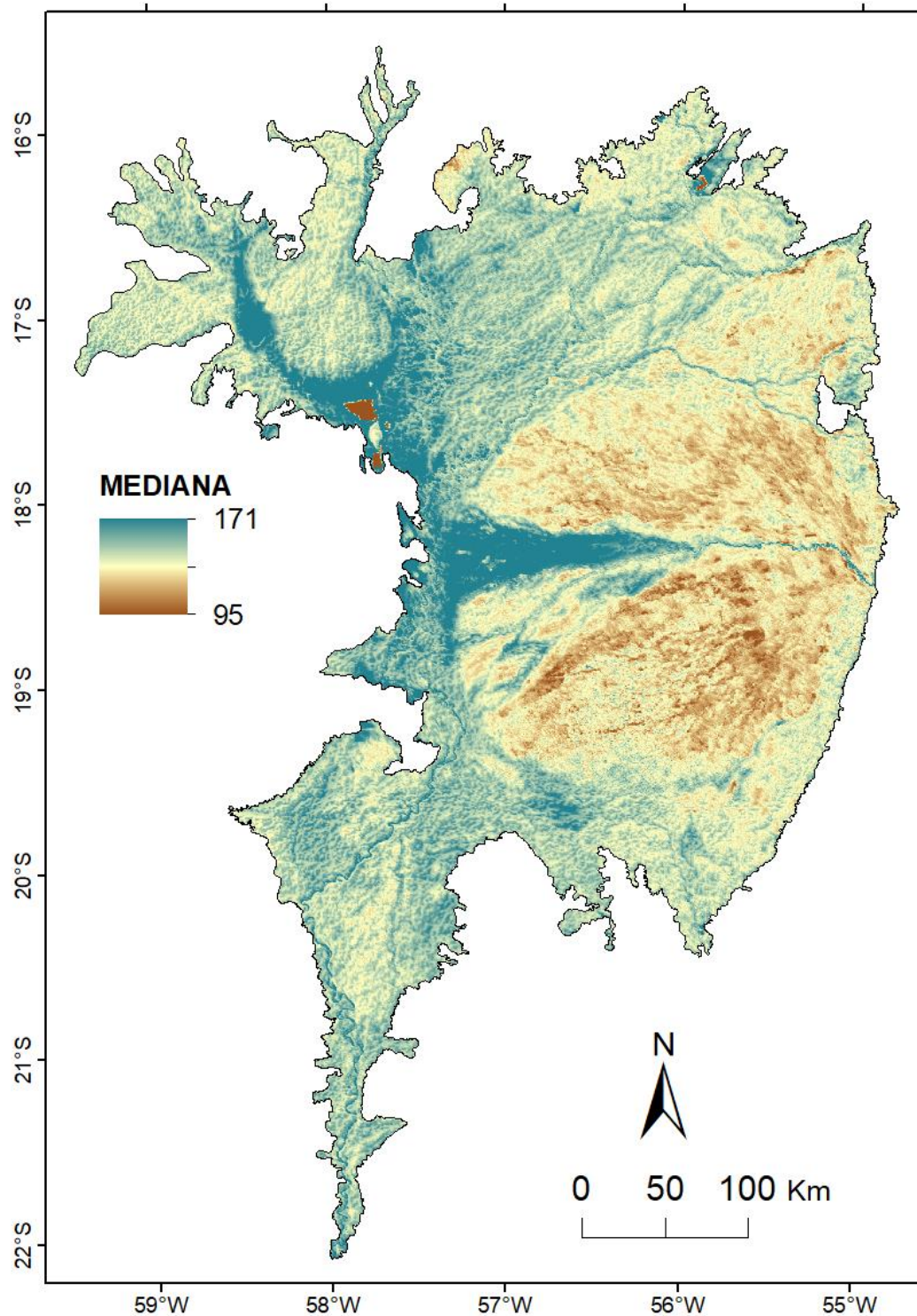


Figura 14 – Cálculo da mediana, o valor do meio da série temporal de dados para cada pixel do raster. Uma medida de tendência central não paramétrica.

Somando os valores de cada pixel no tempo, também foi obtido o mapa das áreas mais e menos inundáveis (Figura 15). A soma resulta no acumulado dos valores no tempo, realçando ainda mais o padrão espacial, útil para o zoneamento das inundações no Pantanal.

As áreas verde-azulado que representam os maiores valores acumulados de água também apresentam o padrão de se concentrarem nas áreas relativamente mais baixas e próximas dos rios maiores do Pantanal. Estas áreas são, portanto, as áreas mais vulneráveis aos impactos potenciais dos empreendimentos hidrelétricos. Já as áreas marrom-avermelhado representam as áreas com inundações marcadamente intermitente, com uma fase terrestre predominante e com pouca ou nenhuma influência dos grandes rios.

A medida de variabilidade no tempo é mostrada na Figura 16. Esta representa o quanto um determinado pixel do raster variou no período nas 16 fases de seca e inundação. Áreas permanentemente inundadas ou secas apresentam desvios padrão baixos, enquanto aquelas que experimentam a cada ano as fases aquática e terrestre apresentam valores de desvio padrão mais altos. Portanto as áreas com maiores desvios padrão em relação a média, representam áreas mais sujeitas tanto a grandes inundações, quanto a grandes estiagens, exigindo maior capacidade adaptativa das espécies, populações e comunidades da flora e fauna e das atividades humanas. As áreas com altos desvios padrão tendem a receber os impactos potenciais de diminuição de carga de sedimentos ou alterações do regime hidrológico de forma intermitente.

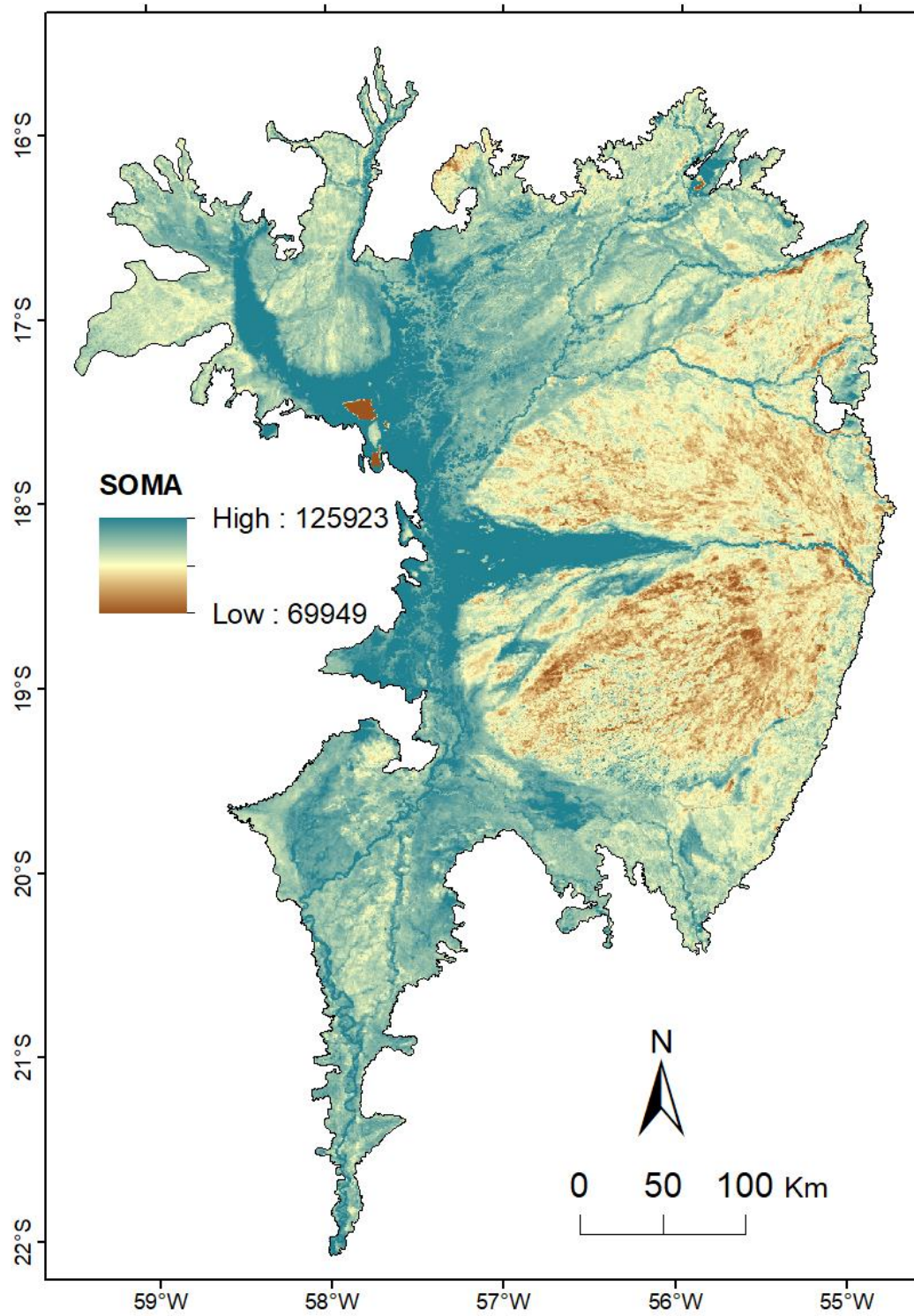


Figura 15 – Soma – calcula o valor acumulado da série temporal de dados para cada pixel do raster.

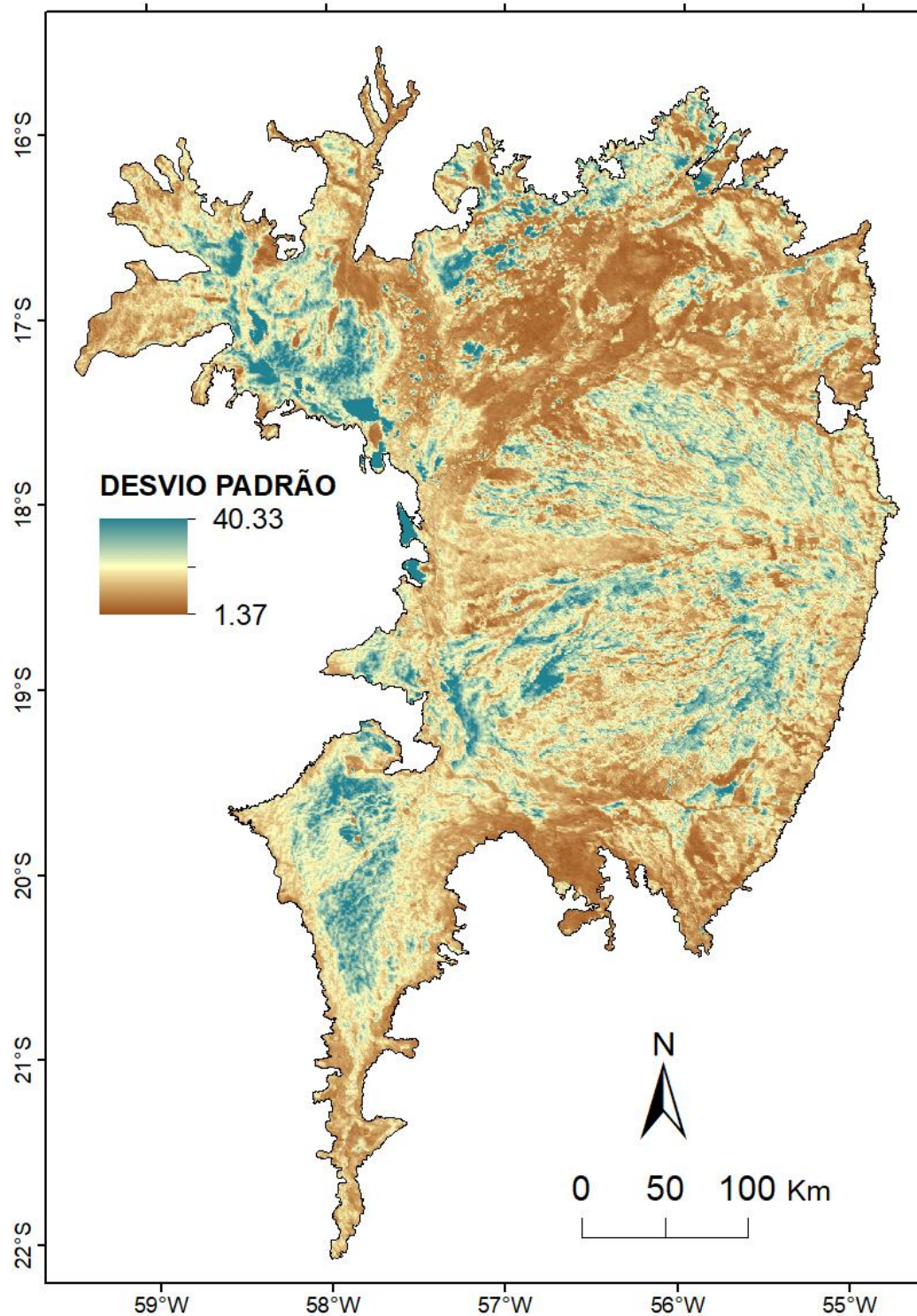


Figura 16 – Cálculo de variabilidade a partir do desvio padrão da série temporal de dados para cada pixel do raster.

3.3 – A conectividade lateral dos rios com a planície de inundação em escala regional.

Em rios de planícies de inundação, como no Pantanal ocorrem processos hidrológicos, de sedimentação e biogeoquímicos tanto ao longo dos seus canais (processos longitudinais) quanto com a planície inundável (processos de trocas laterais ou transversais) ao curso principal do rio. Tal fato está muito bem documentado na literatura. Porém, dada a dificuldade de colher amostras nessas regiões, que são de difícil acesso esses processos são pouco mapeados, ou pouco explorados os aspectos espaciais da extensão dessas trocas rio-planície de inundação. Com os sensores remotos, considerando limitações inerentes de detalhamento e de detecção da massa d'água muitas vezes na escala local sob a vegetação aquática flutuante, é possível obter informações valiosas das suas dimensões espaciais.

Essa abordagem requer uma aproximação de múltiplas escalas. Nos produtos 10.1 e 10.2 foram elaborados, respectivamente, mapeamentos das áreas inundáveis nas escalas regional (1:500.000), utilizando o sensor MODIS com resolução espacial de 250 metros, a bordo dos satélites Terra e Aqua, considerando o Pantanal como um todo e mapeamentos e análises espaciais em escala local (1:100.000), utilizando os sensores TM, ETM e OLI, com resolução espacial de 30 metros, a bordo dos satélites Landsat 5, 7 e 8.

Nesse produto procurou-se sobrepor os mapeamentos de áreas inundadas conectadas aos rios e mapeadas em escala local sobre os produtos gerados de mapeamento das áreas inundáveis em escala regional, para avaliar a sua representatividade geográfica no contexto de todo o Pantanal. O objetivo é procurar responder a pergunta: **Qual é a extensão e a representatividade da conectividade lateral dos rios na planície inundável do Pantanal?**

Nas Figuras 17 a 20, a informação de base é o raster de soma, ou acumulado dos valores de água, representando as áreas inundáveis de todo o Pantanal com os mapeamentos realizados de áreas inundadas com conexão com os rios em escala local. A Figura X mostra o mapa todo o Pantanal, enquanto que as demais mostram em maior

detalhe os rios principais onde nas bacias à jusante no planalto estão implantados, em processo de implantação ou em planejamento, empreendimentos hidrelétricos.

Na figura 17 destaca-se as grandes áreas de conexão dos rios Taquari e Paraguai com a planície de inundação. Nota-se também áreas relativamente menores de conexão lateral nos demais rios.

O rio Paraguai (Figura 18) não estabelece relações de conexão com a planície de inundação no seu primeiro trecho, mas quando o mesmo chega na região mais profunda do Pantanal, onde se observam muitas lagoas, o mesmo se conecta com a planície por extensas áreas.

Nos rios Cuiabá e São Lourenço (Figura 19) nota-se algumas áreas de conexão lateral relativamente pequenas para a escala. O rio Cuiabá apresenta conexões laterais com a planície logo que chega ao Pantanal. Os rios Piquiri, Itiquira e Correntes (Figura 19) atravessam a planície até a desembocadura do rio Piquiri com o rio São Lourenço, entrincheirados em seus cinturões de meandramento sem estabelecer conexões laterais com a planície. O mesmo ocorre com o rio São Lourenço no seu primeiro trecho no Pantanal, antes de apresentar no mapa uma área pontual de conexão com a planície.

O rio Taquari (Figura 20) apresenta um padrão peculiar, pois atravessa mais de 200 quilômetros no seu primeiro trecho no Pantanal, também entrincheirado e sem estabelecer conexão lateral com a planície. Nas últimas décadas tem apresentado uma frequência aparentemente maior de avulsões, que são processos pontuais de extravasamento para a planície no sentido unidirecional de fluxo do rio para a planície e não uma troca bilateral rio-planície-rio como é comumente descrito na literatura para rios de planície de inundação. Por apresentar seu curso mais elevado que a planície e por ter recebido uma carga maior de sedimentos nas últimas décadas, devido ao aumento dos processos erosivos no planalto, aumentado a sua carga de sedimentos o que tem provocado assoreamento do seu leito, este apresenta uma grande instabilidade e um alto potencial de surgirem novas avulsões tanto para as regiões do Paiaguás, ao norte, quanto para região da Nhecolândia, ao sul. A sua área de conexão com a planície é a maior já registrada no Pantanal com uma área potencial de ~11.000 Km².

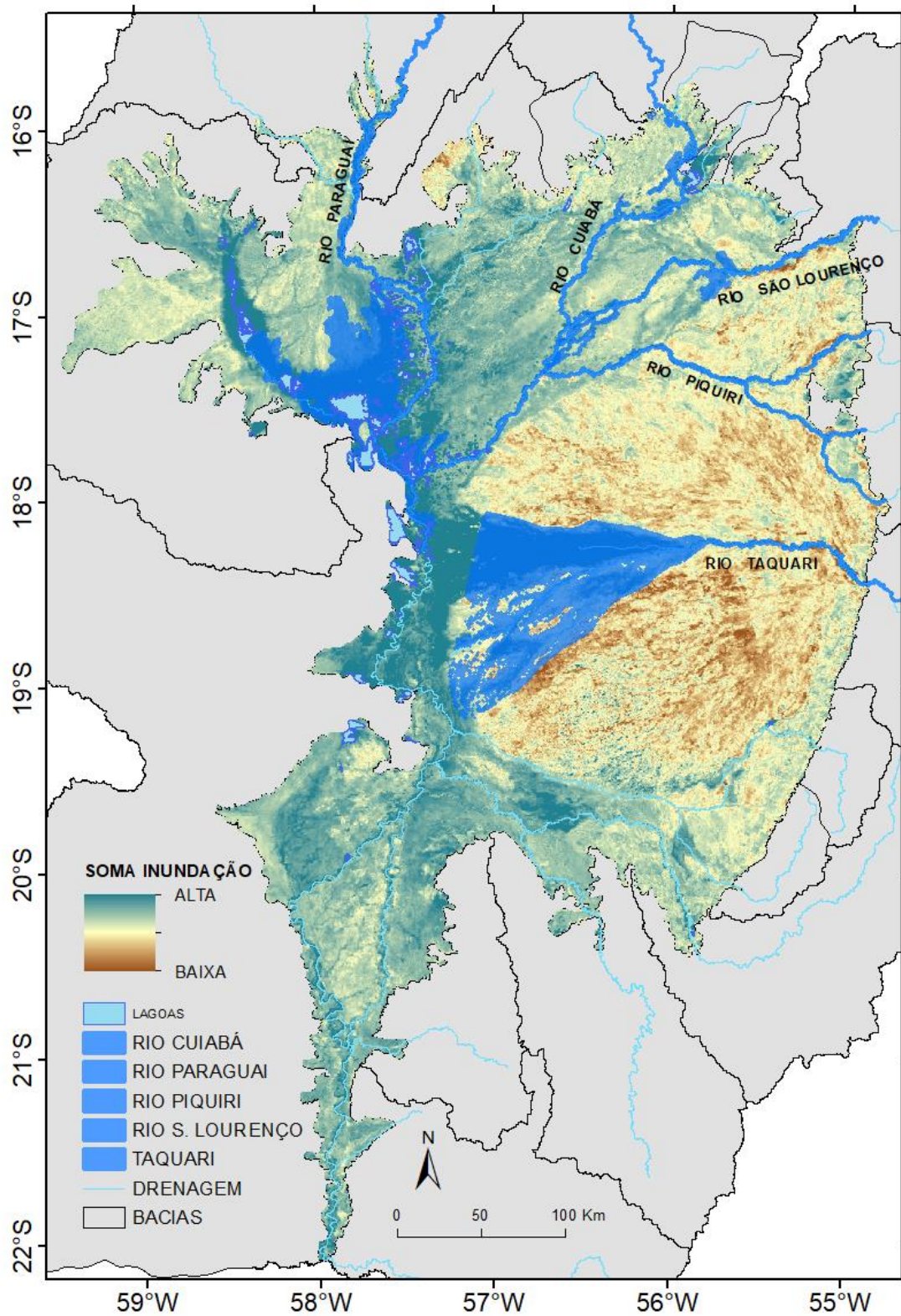


Figura 17 – Áreas inundadas de conexão lateral dos rios com a planície no contexto do Pantanal. Em azul as grandes áreas de conexão lateral dos rios Paraguai e Taquari.

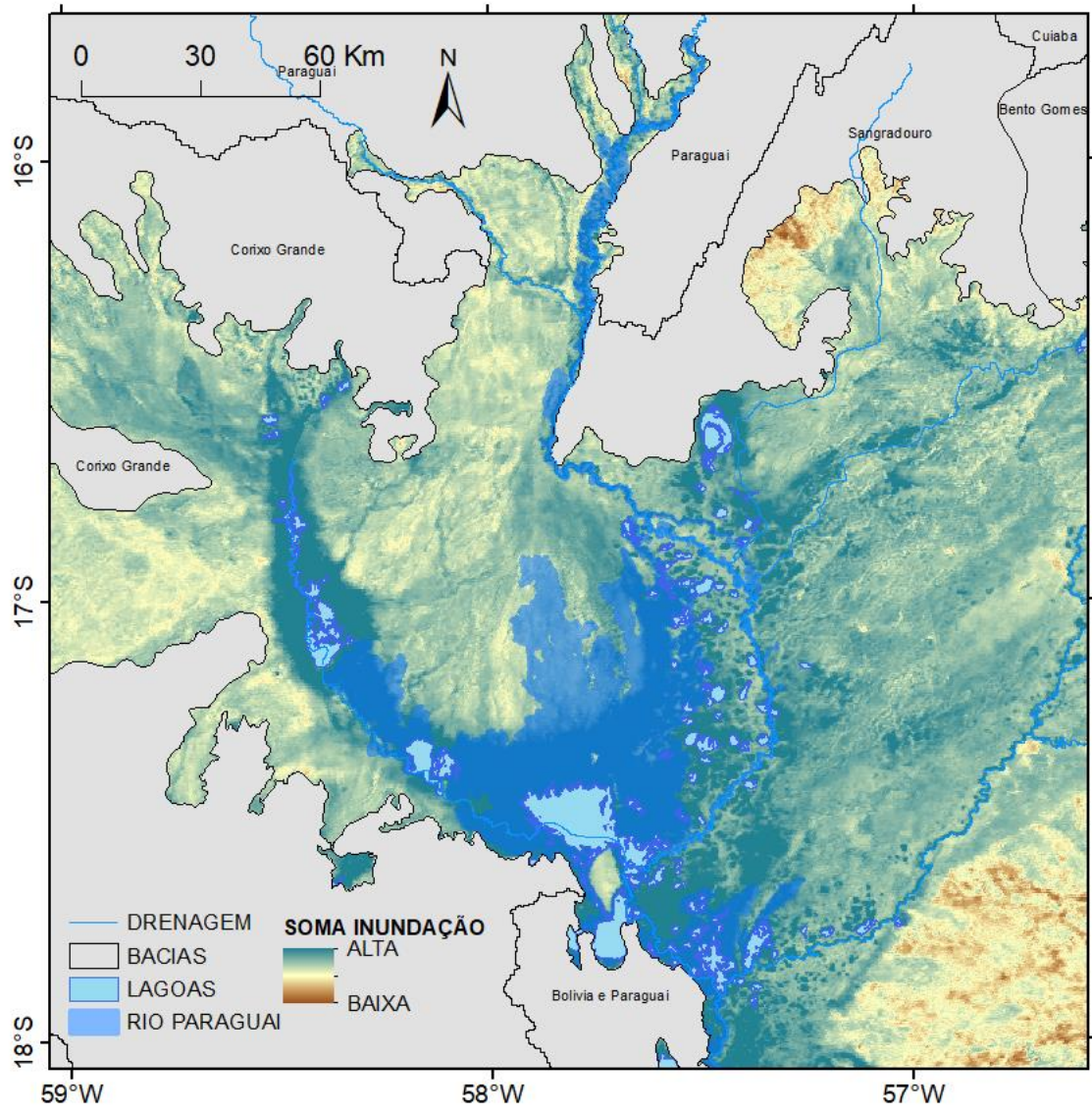


Figura 18 – Detalhe da conexão lateral do rio Paraguai com a planície de inundação destacado em azul.

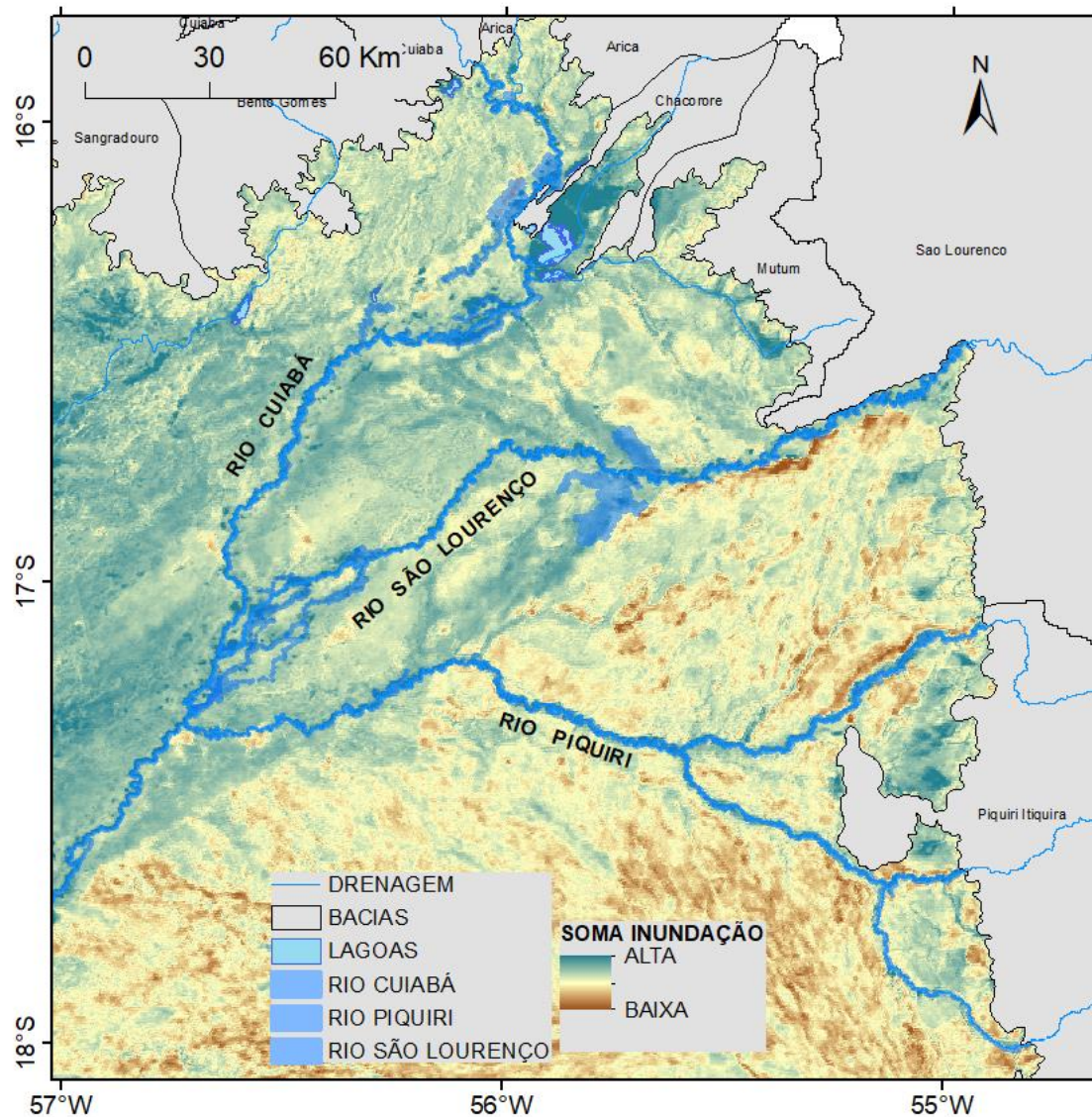


Figura 19 – Detalhe da conexão lateral dos rios Cuiabá, São Lourenço, Piquiri, Itiquira e Correntes com a planície de inundação destacado em azul.

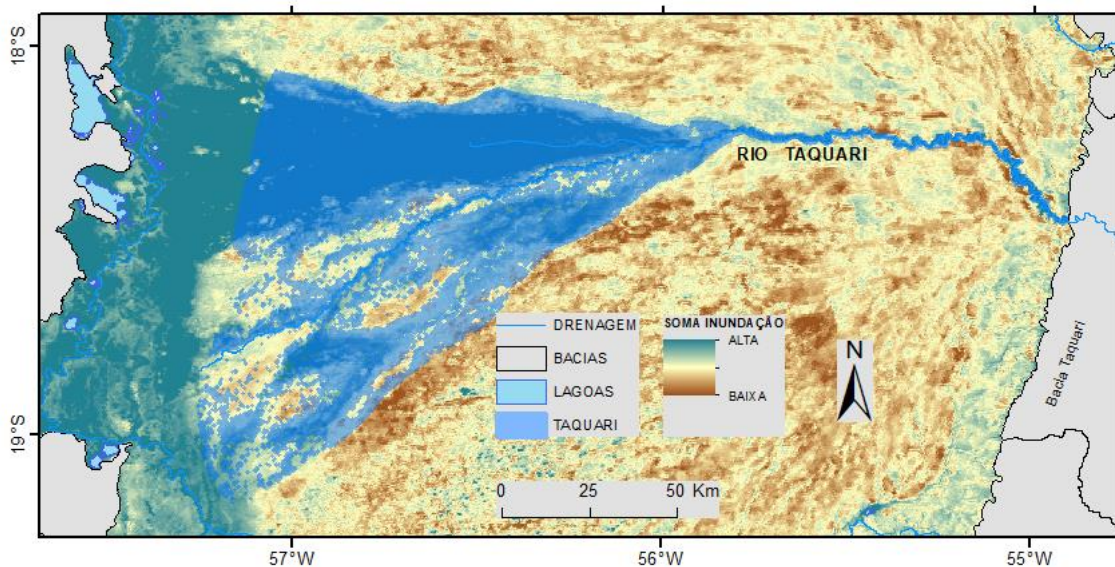


Figura 20 – Detalhe da conexão lateral do rio Taquari com a planície de inundação destacado em azul.

3.4 - Regiões do Pantanal potencialmente impactadas pelos empreendimentos hidrelétricos

Embora haja uma preocupação generalizada sobre os possíveis impactos dos empreendimentos hidrelétricos sobre o Pantanal, os impactos relacionados à hidrologia e a hidrossedimentologia serão obviamente propagados para o Pantanal por meio dos rios. Como demonstrado na seção anterior, as áreas onde os rios têm conexão com a planície e que poderiam causar impactos, não compreendem todo o Pantanal, mas áreas específicas sob influência dos rios. Nem todas as regiões do Pantanal inundam por influência dos rios, muitas áreas são inundadas apenas pelas chuvas locais, como, por exemplo, a maior parte das regiões do Paiaguás e Nhecolândia.

Outro aspecto importante é que os rios de planície de inundação em todo o mundo, inclusive no Pantanal, devido a elevada carga de sedimentos e baixa declividade, são rios móveis, em determinados trechos, migrando de um lado para outro nas suas planícies de inundação, podendo vagar por extensas áreas. Dessa forma, a planície de inundação ou no caso do Pantanal, as sub-regiões sob influência de um ou outro rio, é que devem ser levadas em conta para a avaliação dos impactos potenciais.

Tendo em conta tais peculiaridades é importante se avaliar e responder a seguinte pergunta: **Quais regiões do Pantanal seriam potencialmente impactadas pelos empreendimentos hidrelétricos?**

Procuramos responder a essa pergunta a partir do mapeamento das sub-regiões do Pantanal sob a influência dos rios, conforme o mapa das sub-regiões do Pantanal de Padovani, 2010 (Figura 5), elaborado levando-se em conta a influência dos rios na planície de inundação, bem como a origem da água para a delimitação dessas sub-regiões.

Dessa forma, considerando as bacias no planalto com e sem empreendimentos hidrelétricos, evidenciamos na Figura 21 todas as bacias e as respectivas sub-regiões do Pantanal sob influência dos rios dessas mesmas bacias, que poderiam, potencialmente, ser impactadas pelos empreendimentos hidrelétricos. Nem todas as sub-regiões do Pantanal que recebem os rios de bacias com hidrelétricas foram consideradas com impactos potenciais.

As Figuras 22 a 29, mostram em detalhe as bacias no planalto e suas respectivas sub-regiões no Pantanal sob a sua influência. As bacias dos rios Piquiri-Itiquira- Correntes não estariam sujeitas a provocar impactos potenciais na sua respectiva sub-região porque os rios atravessam a pequena faixa de Pantanal entrincheirados em suas calhas ou cinturões de meandramento, não extravasando para a planície. A bacia do rio Apa embora apresente hidrelétricas não provocaria impactos potenciais, pois o rio Apa desemboca no final da sub-região de Paraguai Murinho e do Pantanal.

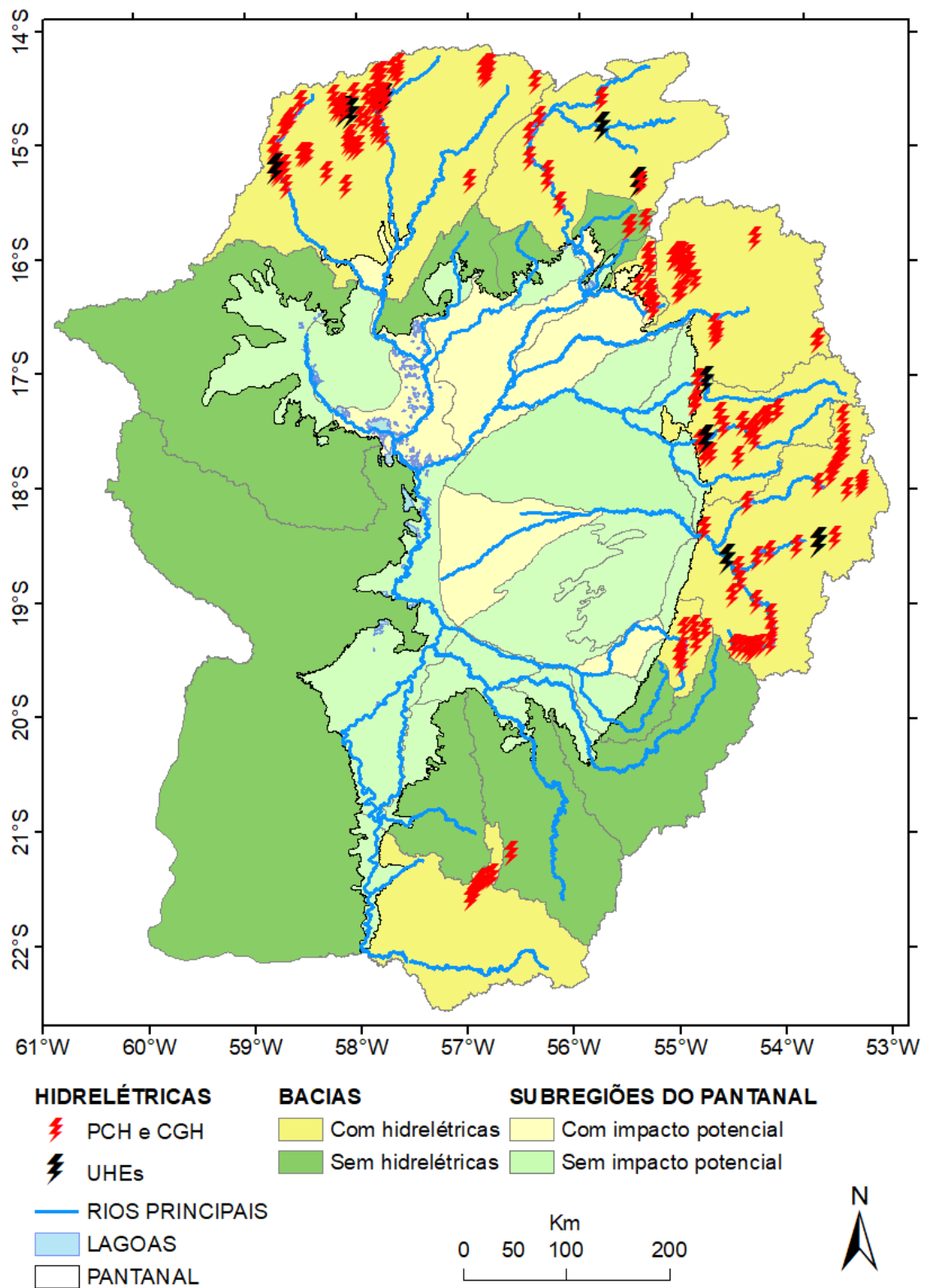


Figura 21 – Bacias no planalto com e sem hidrelétricas e suas respectivas sub-regiões no Pantanal, com e sem impactos potenciais.

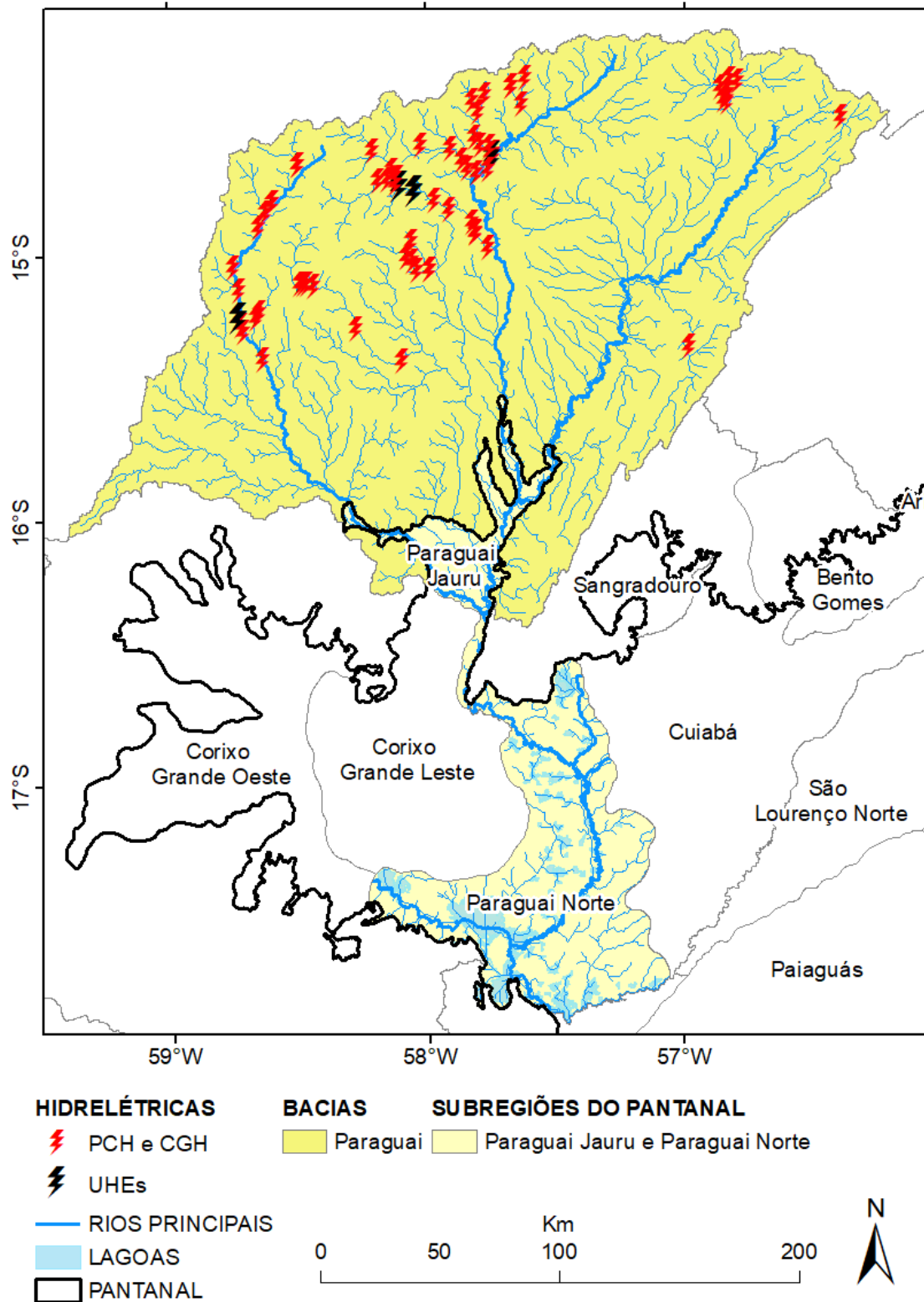


Figura 22 – Bacia do rio Paragui no planalto com hidrelétricas e suas respectivas sub-regiões no Pantanal, com impactos potenciais.

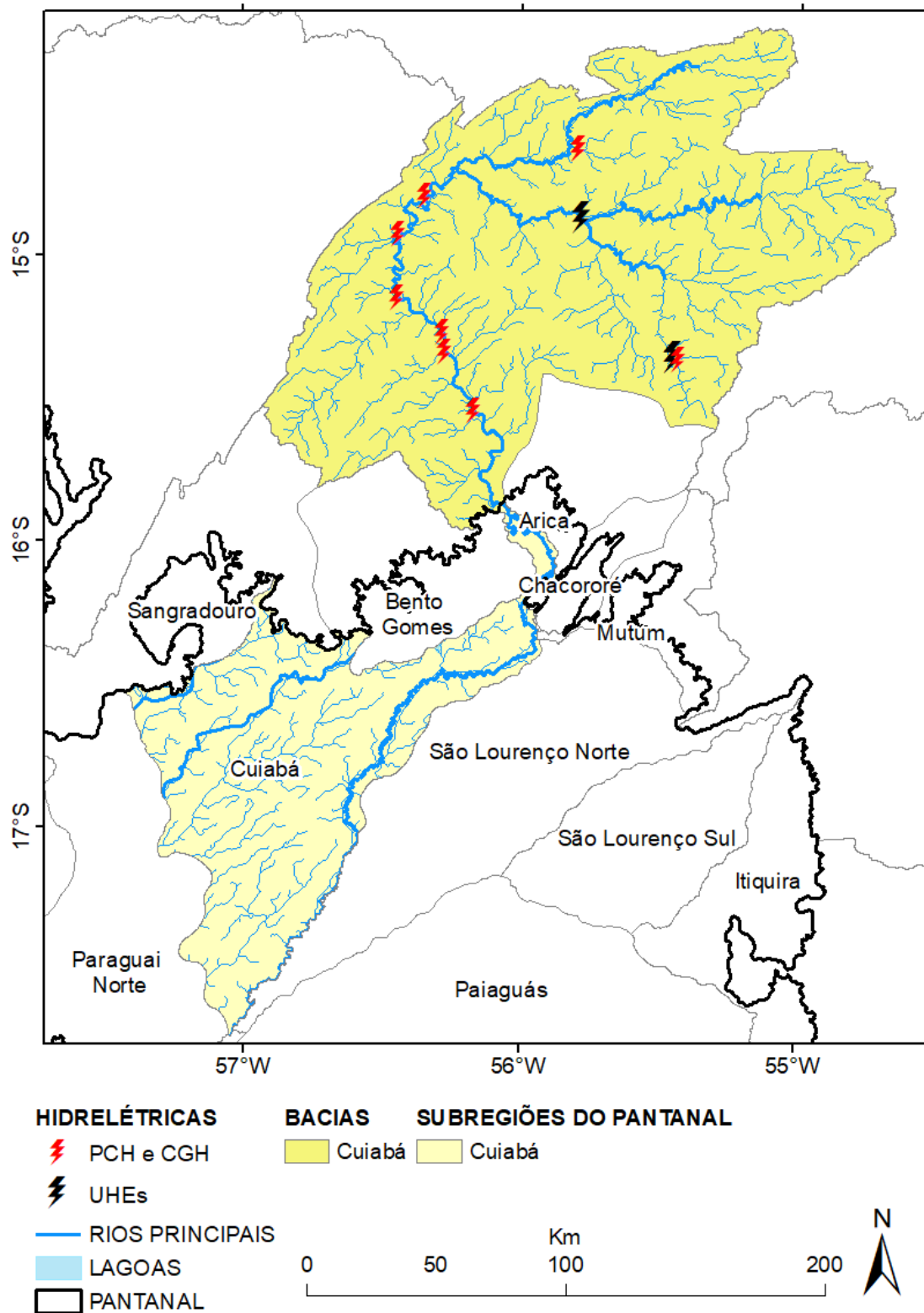


Figura 23 – Bacia do rio Cuiabá no planalto com hidrelétricas e sua respectiva sub-região no Pantanal, com impactos potenciais.

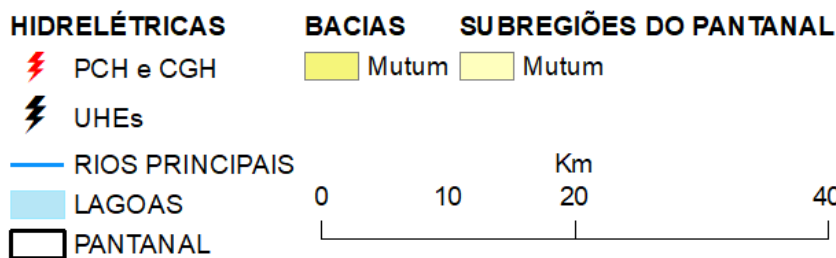
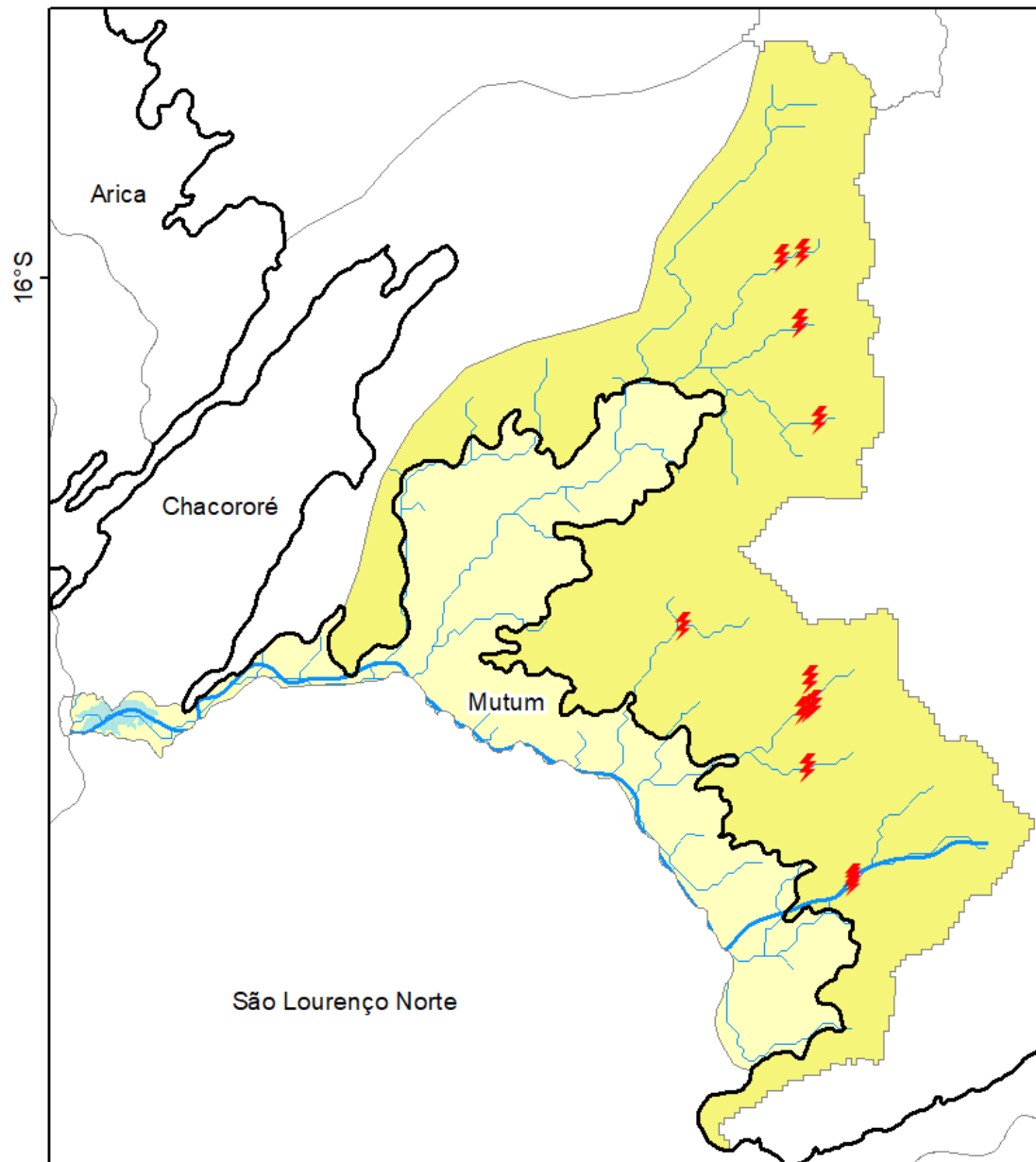


Figura 24 – Bacia do rio Mutum no planalto com hidrelétricas e sua respectiva sub-região no Pantanal, sem impactos potenciais.

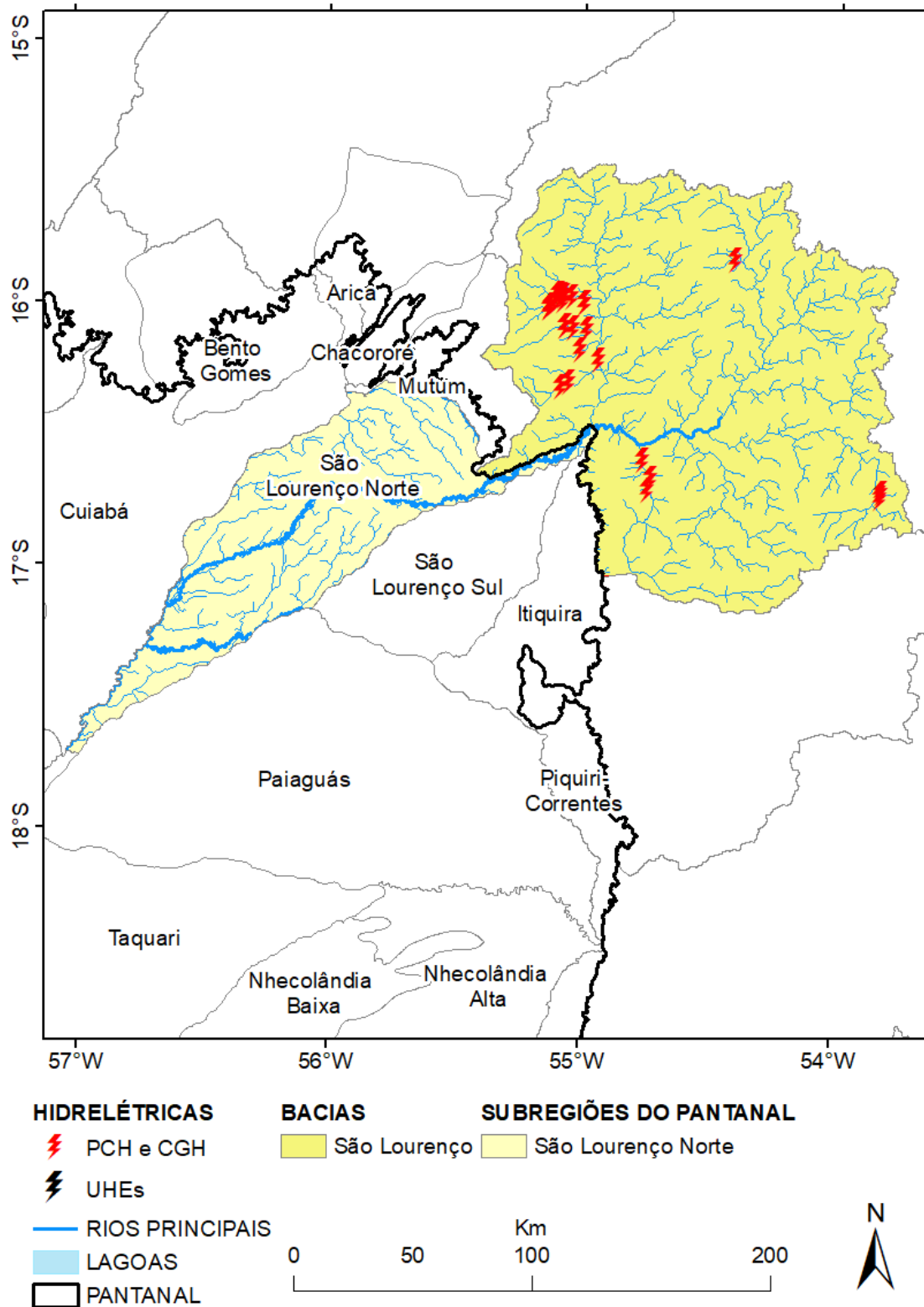


Figura 25 – Bacia do rio São Lourenço no planalto com hidrelétricas e sua respectiva sub-região no Pantanal, com impactos potenciais.

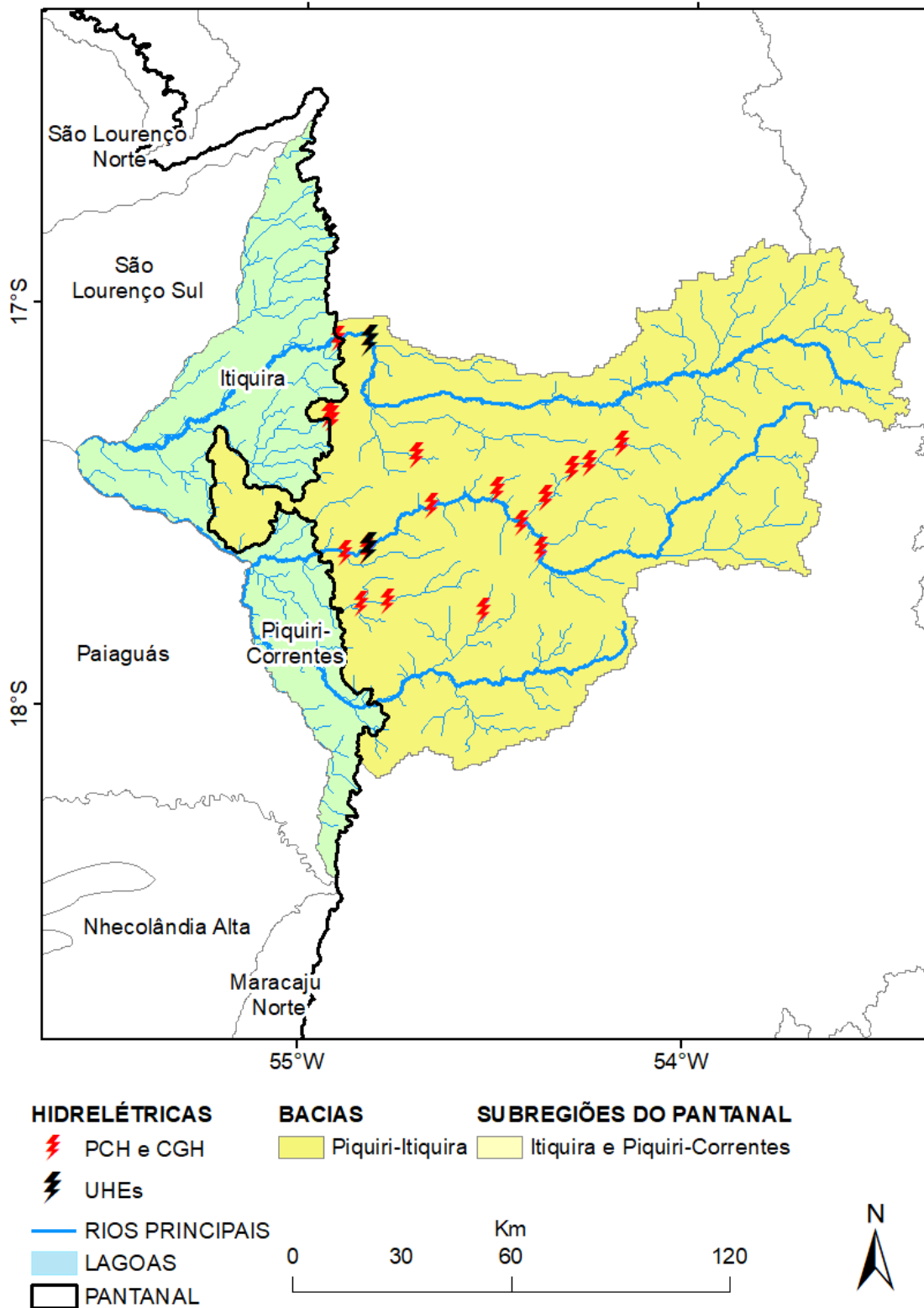


Figura 26 – Bacias dos rios Piquiri-Itiquira-Correntes no planalto com hidrelétricas e sua respectiva sub-região no Pantanal, sem impactos potenciais.

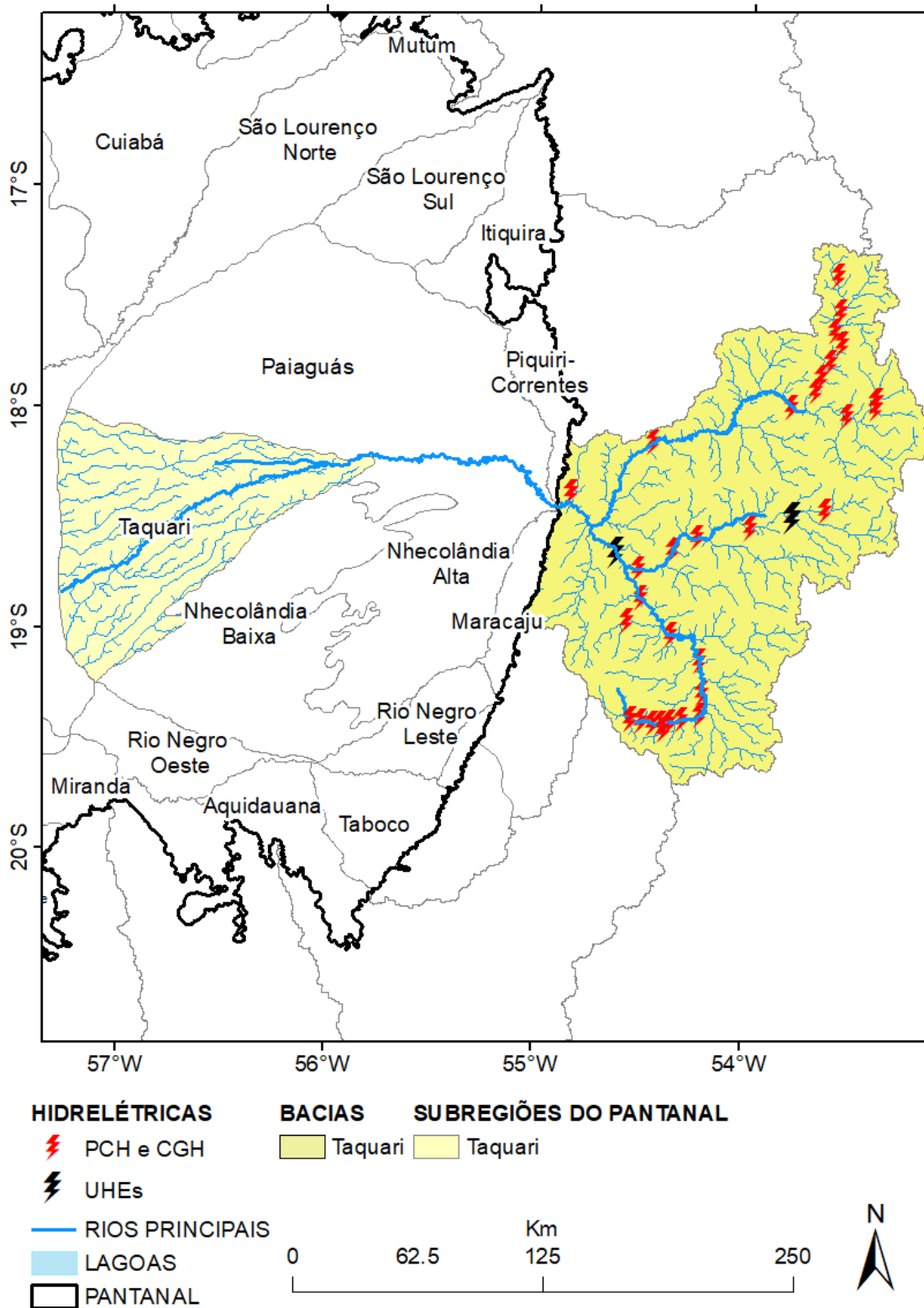


Figura 27 – Bacia do rio Taquari no planalto com hidrelétricas e sua respectiva sub-região no Pantanal, com impactos potenciais.

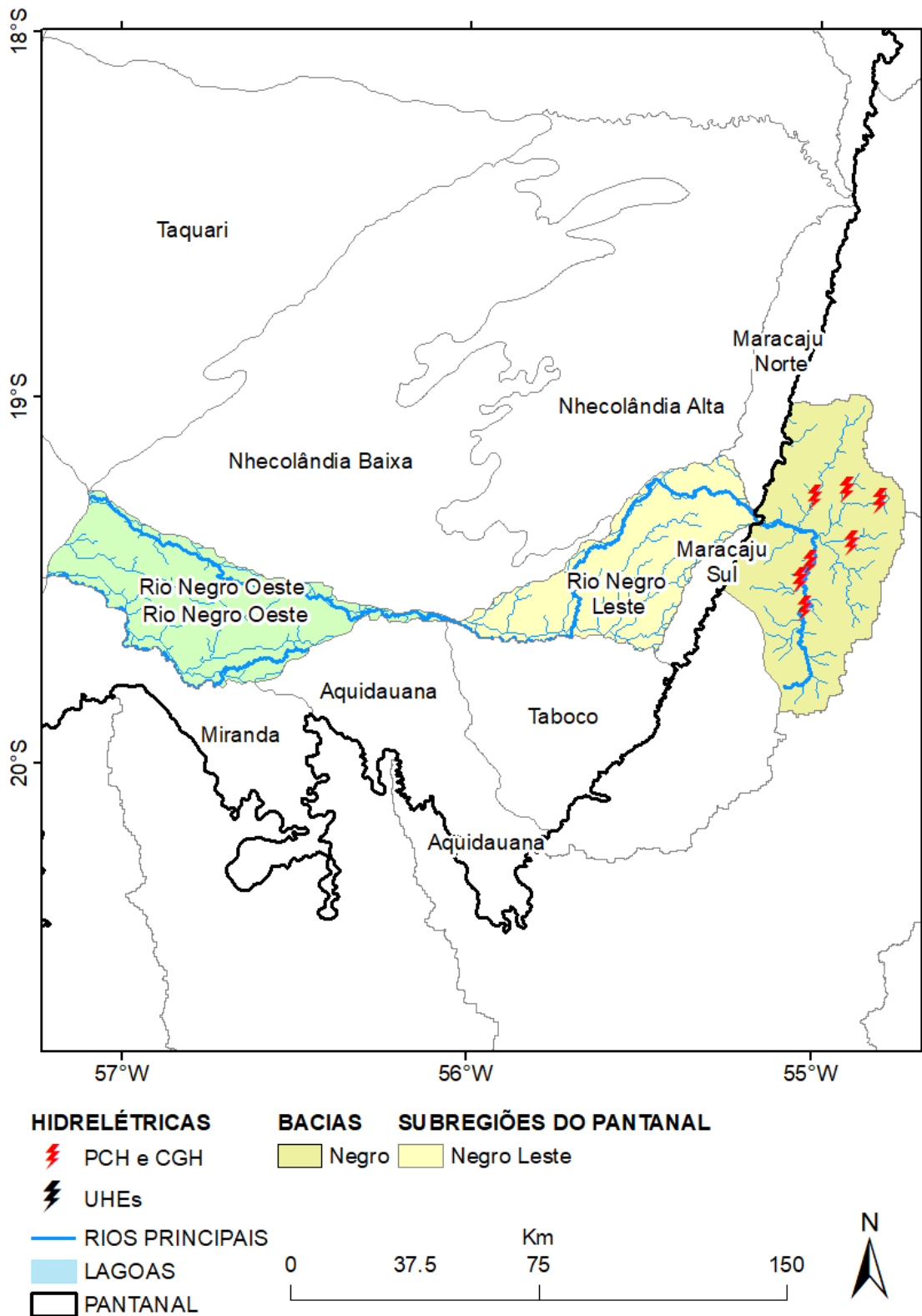


Figura 28 – Bacia do rio Negro no planalto com hidrelétricas e sua respectiva sub-região no Pantanal, com impactos potenciais.

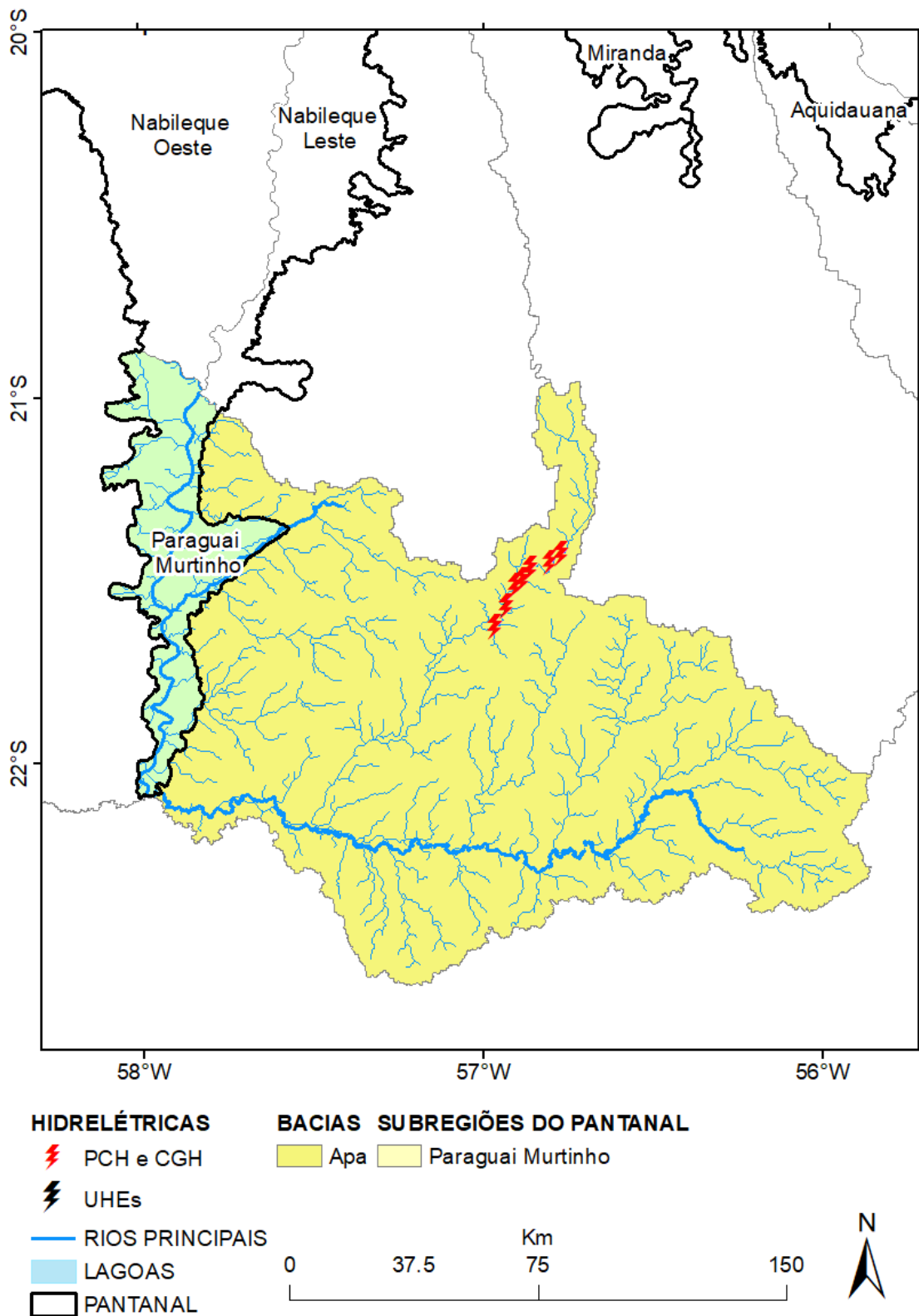


Figura 29 – Bacia do rio Apa no planalto com hidrelétricas e sua respectiva sub-região no Pantanal, sem impactos potenciais.

Equipe

Pesquisadores/Professores:

Carlos Roberto Padovani – Embrapa Pantanal, MS

Júlio Esquerdo – Embrapa Informática Agropecuária

Alex Araújo – Instituto Federal de Educação de Três Lagoas, MS

Renato Ishii – Faculdade de Computação, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul

Alunos:

Gabriel - Instituto Federal de Educação de Três Lagoas, MS

Guilherme - Faculdade de Computação, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul

Hernandes - Faculdade de Computação, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul

Andressa Padovani Gil, Universidade Estadual de Mato Grosso

Referências

ASSINE, M.L. **Sedimentação na bacia do pantanal mato-grossense, centro oeste do Brasil**. 2003. 105p. Tese de (Livre Docência) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2003.

BRASIL. Ministério do Interior. **Estudos de Desenvolvimento Integrado da Bacia do Alto Paraguai (EDIBAP)**: relatório da 1ª fase. Descrição física e recursos naturais. Brasília, 1979. t.2.

CATELLA, A.C. **A pesca no Pantanal Sul**: situação atual e perspectivas. Corumbá: EMBRAPA Pantanal, 2003. 43 p. (Embrapa Pantanal. Documentos, 48).

CATELLA, A.C.; PEIXER, J.; PALMEIRA, S. da S. **Sistema de Controle da Pesca de Mato Grosso do Sul SCPESCA/MS** - I maio/1994 a abril/1995. Corumbá: EMBRAPA-CPAP; Campo Grande: SEMADES-MS, 1996. 49 p. (EMBRAPA-CPAP. Documentos,16).

CALHEIROS, D.F.; FERREIRA, C.J.A. **Alterações limnológicas no rio Paraguai ("dequada") e o fenômeno natural de mortandade de peixes no Pantanal Mato-Grossense - MS. Corumbá: Embrapa Pantanal. 1996. 51 p. (EMBRAPA Pantanal. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 7).**

COMASTRI FILHO, J. A.; POTT, A. **Introdução e avaliação de forrageiras em 'cordilheira' desmatada na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Mato-Grossense. Corumbá: EMBRAPA Pantanal, 1996. 47 p. (EMBRAPA Pantanal. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 4).**

DAMASCENO JUNIOR, G.A. **Estudo florístico e fitossociológico de um trecho de mata ciliar do Rio Paraguai, Pantanal-MS, e suas relações com o regime de inundação. 1997. 115 p. Tese (Mestrado na área de Botânica) – Universidade de Campinas, Campinas, 1997.**

MOURÃO, G. de M.; COUTINHO, M.E.; MAURO, R. de A.; CAMPOS, Z.M.; TOMÁS, W. M.; MAGNUSSON, W. Aerial surveys of caiman, marsh deer and pampas deer in the Pantanal Wetland of Brazil. **Biological Conservation**, New York, v.92, n.2, p.175-183, 2000.

HAMILTON, S.K.; SIPPEL, S.J.; MELACK, J.M. Inundation patterns in the Pantanal wetland of South America determined from passive microwave remote sensing. **Archiv fur Hydrobiologie**, Stuttgart, v.137, p.1-23, jul.,1996.

JUNK, W.J.; BAYLEY, P.B. ; SPARKS, R.E . The flood pulse concept in river floodplain systems. *Canadian Spec Publ Fish Aquatic Science*, Canadá, v. 106, p. 110-127, 1989.

PADOVANI, C. R. Dinâmica espaço-temporal das inundações do Pantanal. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

PAIVA, M.P. **Aproveitamento de recursos faunísticos do Pantanal de Mato Grosso: pesquisas necessárias e desenvolvimento de sistemas de produção mais adequados à região. Brasília: EMBRAPA-DDT, 1984. 71 p. (EMBRAPA-DPP. Documentos, 7).**

POTT, A. Relações da vegetação com ambientes do Pantanal. In: ENCONTRO SOBRE SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO A ESTUDOS NO PANTANAL, 1995, Corumbá. **Livro de resumos...** São José dos Campos: INPE, 1995. p.5-7.

TERRA/MODIS. **Geografia**, Rio Claro, v. 34, p. 755-756, 2009.

SANTOS, S.A.;POTT, E.B.; COMASTRI FILHO, J.A.; CRISPIM, S.M. Forrageamento e nutrição mineral de bovinos de corte no Pantanal. Corumbá: EMBRAPA Pantanal, 2002. 27 p. (EMBRAPA Pantanal. Documentos, 39).

SANTOS, S.A.; ABREU, U.G.P.; CRISPIM, S.M.A.; PADOVANI, C.R.; SORIANO, B.M. A.; CARDOSO, E.L.; MORAES, A.S. **Simulações de estimativa da capacidade de suporte das áreas de campo limpo da Sub-região da Nhecolândia, Pantanal**. Corumbá: EMBRAPA Pantanal, 2003. 22 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 49).

SILVA, M.P.; MAURO, R.A.; MOURÃO, G.M.; COUTINHO, M.E. Distribuição e quantificação da vegetação do Pantanal através de levantamento aéreo. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.23, n.2, p.143-152, 2000.

SILVA, J. dos S. V. da; ABDON, M. de M. Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, p 1703-1711, 1998.

RESENDE, E.K. de. Avaliação da situação dos peixes de valor econômico para a pesca no Rio Cuiabá, na área da RPPN SESC Pantanal e possíveis ações futuras: 1o relatório de avanço - período de março a agosto/2002. In: **SESC Pantanal Estação Ecológica** (Várzea Grande, MT). Conhecendo o Pantanal. Várzea Grande, 2002. p.9.

TOMAS, W.M.; SALIS, S.M.; MOURÃO, G.de M.; SILVA, M.P. Marsh deer (*Blastocerus dichotomus*) distribution as a function of floods in the Pantanal wetland, Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, Lisse, v.36, n.1,p. 9-13, 2001.