



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de São José dos Campos
Instituto de Ciência e Tecnologia



Ministério da **Ciência,**
Tecnologia e Inovações



CRISTIANE MARAFON KROLOW

**EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DO USO E
COBERTURA DA TERRA NA DISPONIBILIDADE
HÍDRICA NA BACIA DO RIO CUIABÁ**

2024

CRISTIANE MARAFON KROLOW

**EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DO USO E COBERTURA DA TERRA
NA DISPONIBILIDADE HÍDRICA NA BACIA DO RIO CUIABÁ**

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Campus de São José dos Campos; Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), como parte dos requisitos para obtenção do título de MESTRE(A) pelo Programa de Pós-Graduação em DESASTRES NATURAIS.

Área: Desastres naturais. Linha de pesquisa: Desastres associados a eventos extremos, secas, estiagens, incêndios florestais e escassez de água.

Orientador: Prof. Dr. Javier Tomasella

São José dos Campos

2024

Instituto de Ciência e Tecnologia [internet]. Normalização de tese e dissertação [acesso em 2024]. Disponível em <http://www.ict.unesp.br/biblioteca/normalizacao>

Apresentação gráfica e normalização de acordo com as normas estabelecidas pelo Serviço de Normalização de Documentos da Seção Técnica de Referência e Atendimento ao Usuário e Documentação (STRAUD).

Krolow, Cristiane Marafon

Efeitos das mudanças climáticas e do uso e cobertura da terra na disponibilidade hídrica na Bacia do Rio Cuiabá / Cristiane Marafon Krolow. - São José dos Campos : [s.n.], 2024.
74 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Desastres Naturais) - Pós-graduação em Desastres Naturais - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia; Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), São José dos Campos, 2024.

Orientador: Javier Tomasella.

1. Mudanças no uso e cobertura da terra. 2. Mudanças climáticas. 3. Desastres. 4. Seca. 5. Gestão do risco de desastres. I. Tomasella, Javier, orient. II. Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos. III. Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Filho' - UNESP. IV. Universidade Estadual Paulista (UNESP). V. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden). VI. Título.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Impacta nas políticas públicas de uso da água e do solo e gestão do risco de desastres, reforçando os impactos das mudanças climáticas, das mudanças no uso e cobertura da terra e dos desastres socioambientais, principalmente na Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá. Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) relacionados a esta dissertação são: 2, 6, 11 e 13.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

It impacts public policies on water and land use and disaster risk management, reinforcing the impacts of climate change, land use, and land cover changes, and socio-environmental disasters, mainly in the Cuiabá River Basin. The Sustainable Development Goals (SDGs) related to this dissertation are: 2, 6, 11, and 13.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Javier Tomasella (Orientador)

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Campus Cachoeira Paulista

Prof. Dr. Enner Herenio de Alcântara

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP
Instituto de Ciência e Tecnologia
Campus São José dos Campos

Profa. Dra. Livia Alves Alvarenga

Universidade Federal de Lavras - UFLA
Escola de Engenharia
Campus Histórico da UFLA

São José dos Campos, 02 de setembro de 2024.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP e ao Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – Cemaden.

Ao Programa de Pós-graduação em Desastres Naturais.

Aos docentes do Programa de Pós-graduação em Desastres Naturais, em especial, ao meu orientador Prof. Dr. Javier Tomasella por todo apoio, dedicação e compreensão.

Aos colegas do Programa de Pós-graduação em Desastres Naturais pelo apoio e compartilhamento.

Aos meus pais, Valdecir e Ivete, por todo amor, incentivo e possibilidades oportunizadas.

Às minhas irmãs, Cristina e Daiane, que são o meu orgulho e a minha inspiração.

Ao meu esposo, Lucas, pela parceria e cuidado de sempre.

“[...] Onde a comitiva Esperança chega já começa a festa

Através do Rio Negro, Nhecolândia e Paiaguás

Vai descendo o Piqueri, o São Lourenço e o Paraguai

Ê, tempo bom que tava por lá

Nem vontade de regressar

Só vortemo, eu vô confessar

É que as águas chegaram em janeiro

Descolamos um barco ligeiro

Fomos pra Corumbá [...]”

- Comitiva Esperança, Almir Sater e Paulo Simões -

RESUMO

KROLOW, Cristiane Marafon. **Efeito das mudanças climáticas e do uso e cobertura da terra na disponibilidade hídrica na Bacia do Rio Cuiabá**. 2024. Dissertação (Mestrado em Desastres Naturais) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia; Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), São José dos Campos, 2024.

As mudanças climáticas têm aumentado a frequência de eventos climáticos extremos como as secas que, por sua vez, também são influenciadas pelas mudanças no uso e cobertura da terra. O aumento da ocorrência e/ou severidade das secas podem aprofundar as condições de escassez hídrica em regiões onde ela é recorrente ou ainda promover o surgimento de novas áreas suscetíveis a essa condição, que é diretamente influenciada por mudanças na demanda e/ou na disponibilidade dos recursos hídricos. Eventos recentes de seca ocorridos no Brasil chamam atenção para a necessidade de ações voltadas à gestão de riscos de desastres com foco nas secas. Essa necessidade é ampliada em regiões estratégicas como a Bacia do Rio Cuiabá, que abastece os três municípios mais populosos do estado de Mato Grosso e apresenta ainda relevância econômica e ambiental tendo em vista que é uma das bacias que abastece o Pantanal. Dessa forma, o presente estudo analisou os impactos na disponibilidade hídrica na Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá decorrentes das mudanças climáticas e do uso e cobertura da terra, entre os anos de 1985 e 2019. O estudo dividiu a Bacia em 15 sub-bacias a partir da localização das estações fluviométricas utilizadas, analisou as mudanças no uso e cobertura da terra ocorridas, identificou as tendências climáticas na Bacia e identificou e quantificou o impacto das mudanças climáticas e de uso e ocupação da terra no deflúvio da Bacia ao longo do período estudado. As análises foram realizadas a partir dos dados do Projeto MapBiomass, da utilização do índice SPEI-12 e do método de decomposição da curva de Budyko. No período analisado todas as sub-bacias apresentaram redução nos grupos Floresta e Formação Natural Não-Florestal e aumento do grupo Agropecuária, a partir da redução das áreas de Cerrado e do aumento da área de soja e de pastagem, o que reflete a importância da atividade agropecuária na região. Por meio do SPEI-12 foram identificados, em cada sub-bacia, entre 6 e 9 eventos de seca no período, que apresentaram maior frequência e intensidade a partir dos anos 2000. Quanto à influência das mudanças climáticas e de uso do solo nas vazões, o estudo demonstra que 12 das 15 sub-bacias apresentaram redução no deflúvio relacionado às mudanças climáticas, enquanto 3 apresentaram aumento relacionado às atividades agropecuárias. Os resultados demonstram que as mudanças climáticas e a atividade agropecuária impactam a disponibilidade hídrica na Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá e podem aumentar a vulnerabilidade local a eventos de seca, que têm se tornado mais frequentes, severos e intensos na Bacia.

Palavras-chave: mudanças no uso e cobertura da terra; mudanças climáticas; desastres; seca; gestão do risco de desastres.

ABSTRACT

KROLOW, Cristiane Marafon. The effects of climate change, land use and land cover on water availability in the Cuiabá River Basin. 2024. Dissertation (Master's degree in Natural Disaster) - São Paulo State University (Unesp), Institute of Science and Technology, National Center for Monitoring and Early Warning of Natural Disasters (Cemaden), São José dos Campos, 2024.

Climate change has been increasing the frequency of extreme climate events, such as droughts that, in turn, are also influenced by land use and land cover changes. The increase in occurrence and/or severity of droughts can deepen the conditions of water scarcity in regions where it is recurrent or even promote the emergence of new areas susceptible to this condition, which is directly influenced by changes in demand and/or availability of water resources. Recent drought events in Brazil attract attention to the need for actions aimed at disaster risk management focusing on droughts. This need is enlarged in strategic regions such as the Cuiabá River Basin, which supplies the three most populous cities in Mato Grosso and presents economic and environmental relevance, considering that it is one of the basins that supply the Pantanal. The present study analyzed the impacts on water availability in the Cuiabá River Basin that emerged from climate changes, land use, and land cover between 1985 and 2019. The study divided the Basin into 15 subbasins from the location of the fluviometric stations utilized, analyzed the land use and land cover changes that occurred, identified the climate trends in the Basin, and identified and quantified the impact of climate change, land use, and land cover in the Basin's runoff throughout the period studied. The analyses used data from the MapBiomas Project, the SPEI 12 index, and the Budyko curve decomposition method. Over the analyzed period, all subbasins showed a reduction in the Forest and Non-Forest Natural Formation groups and an increase in the Agricultural group due to the reduction in Cerrado areas and the increase in soybean and pasture areas, which reflects the importance of agricultural activity in the region. Through SPEI 12, between 6 and 9 drought events were identified in each subbasin in the period, which showed greater frequency and intensity from the 2000s onwards. Regarding the influence of climate change and land use on discharge, the study shows that of the 15 subbasins, 12 presented a runoff reduction related to climate change. In contrast, 3 showed an increase related to agricultural activities. The results demonstrate that climate change and agricultural activity impact the water availability in the Cuiabá River Basin and can increase local vulnerability to drought events, which have become more frequent, severe, and intense in the Basin.

Keywords: land use and land cover change; climate change; disaster; drought; disaster risk management.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
2.1 Desastres e secas	11
2.2 Mudanças climáticas e mudanças no uso e cobertura da terra	12
2.3 Considerações gerais	14
3 PROPOSTA DE PESQUISA.....	15
3.1 Objetivo geral	15
3.2 Objetivos específicos	15
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	16
4.1 Área de Estudo	16
4.2 Dados de uso e cobertura do solo	21
4.3 SPEI.....	22
4.4 Dados hidrometeorológicos	23
4.5 Decomposição da curva de Budyko	24
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
5.1 Mudanças no uso do solo	27
5.2 Tendências climáticas na bacia	36
5.3 Separação dos impactos causados por mudanças do clima e por mudanças no uso do solo	50
6 CONCLUSÕES	68
REFERÊNCIAS	69
APÊNDICE A	73

1 INTRODUÇÃO

Localizada entre os estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, a Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá (BHRC) tem grande importância relacionada à agropecuária, tendo sido a porta de entrada para a cultura da soja no estado de Mato Grosso e abrangendo atualmente diversos municípios com destaque nacional na produção agropecuária. Além disso, por abranger os Biomas Cerrado e Pantanal apresenta também grande relevância ambiental. Adicionalmente, localizam-se na BHRC os três municípios mais populosos do estado de Mato Grosso (Cuiabá, Várzea Grande e Rondonópolis).

Recentemente (2019), uma seca iniciada com um déficit de chuva na porção norte da Bacia do Prata, onde está localizada a Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá, propagou-se por toda a Bacia gerando impactos no abastecimento urbano, navegação, ecossistemas, geração hidrelétrica e atividades econômicas no Brasil e nos demais países abrangidos pela Bacia do Prata (NAUMANN et al, 2022).

A seca é uma ameaça hidrometeorológica originada no déficit de precipitação que ao interagir com as condições de exposição e vulnerabilidade intrínsecas à região de ocorrência pode transformar-se em desastre (UNDRR, 2022), causando impactos mais severos à economia, meio ambiente e sociedade conforme sua propagação avança no ciclo hidrológico.

As mudanças climáticas induzidas pelo homem têm alterado a ocorrência de eventos climáticos extremos, como as secas, tornando-os mais frequentes e/ou mais intensos e/ou mais duradouros (IPCC, 2022). As secas também são influenciadas pelas mudanças no uso e cobertura da terra (LULCC) que impactam variáveis como precipitação, evapotranspiração, infiltração e escoamento superficial (BRITO et al, 2020; CABALLERO et al, 2021; UNDRR, 2021).

Aumentos na frequência e/ou na severidade das secas tendem a agravar problemas relacionados à escassez hídrica (UNDRR, 2021) uma vez que esta pode ser intensificada em virtude de diferenças ocorridas na demanda (consumo) e/ou na disponibilidade de água em uma região (Castro et al, 2019). Cunha et al (2019) identificaram a ocorrência de secas simultâneas nas cinco regiões do país entre 2012 e 2014, sendo que entre 2011 e 2019, todas as regiões, com exceção da região Sul, foram impactadas pelos eventos de seca mais severos e intensos ocorridos em seis décadas (Cunha et al, 2019).

Estudos como esses reforçam a importância da gestão do risco de desastres relacionados às secas, principalmente em regiões estratégicas como a Bacia Hidrográfica do

Rio Cuiabá cuja dinâmica de uso e ocupação do solo foi substancialmente alterada a partir da década de 1970 e cujos estudos sob a perspectiva dos desastres são escassos.

Diante do exposto, o presente estudo buscou investigar os efeitos das alterações climáticas e de uso e cobertura da terra na disponibilidade hídrica da Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá no período de 1985 a 2019.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Desastres e secas

Segundo a definição adotada pelo escritório das Nações Unidas para Redução de Riscos de Desastres (UNDRR), desastre é

uma grave interrupção do funcionamento de uma comunidade ou sociedade em qualquer escala devido a eventos perigosos que interagem com condições de exposição, vulnerabilidade e capacidade, levando a um ou mais dos seguintes: perdas e impactos humanos, materiais, econômicos e ambientais (UNDRR, 2022, tradução nossa).

Os eventos perigosos (ameaças), nesse contexto, podem ser originados por fatores naturais, antropogênicos ou uma combinação de ambos e incluem “processos e fenômenos biológicos, ambientais, geológicos, hidrometeorológicos e tecnológicos” (UNDRR, 2022, tradução nossa).

Dentre os eventos hidrometeorológicos que podem originar desastres, têm-se fenômenos de origem atmosférica, hidrológica ou oceanográfica dentre os quais pode-se citar ciclones tropicais, inundações (excesso de precipitação), ondas de calor e secas (UNDRR, 2022).

A seca é um fenômeno complexo, definido de diversas formas, e para o qual não existe uma definição universal. Van Loon (2015, p. 361, tradução nossa) cita que, de forma simplificada, a seca pode ser entendida como “um déficit de água em comparação com as condições normais” sendo que tais condições estão fortemente relacionadas com o contexto local e os múltiplos usos da água na região de estudo.

De forma geral, as secas são classificadas em quatro categorias: seca meteorológica; seca agrícola, seca hidrológica e seca socioeconômica (Van Loon, 2015). Os diferentes tipos de seca nada mais são do que manifestações progressivas (ou estágios) de um mesmo evento que inicia com uma deficiência na precipitação e apresenta impactos mais severos à medida que sua propagação avança no ciclo hidrológico (UNDRR, 2021). Para identificar, caracterizar e comparar os eventos de seca, foram desenvolvidos diversos índices de seca, dentre os quais o Índice Padronizado de Precipitação (SPI) e o Índice Padronizado de Precipitação-Evapotranspiração (SPEI) (Bevacqua et al, 2021).

Aumentos na frequência e/ou na severidade das secas além de agravar problemas relacionados à escassez hídrica em regiões que historicamente sofrem com este déficit, podem

também favorecer a criação de cenários de escassez em outras regiões (UNDRR, 2021).

De acordo com Castro et al (2019), a escassez hídrica é o desequilíbrio existente entre a demanda de água e a sua disponibilidade, aspectos estes que variam em função das condições de cada região. Assim, essa condição é relativa uma vez que determinado volume de água disponível pode ou não ser suficiente, a depender do volume utilizado na região estudada (Castro et al, 2019). Dessa forma, diferenças ocorridas na demanda (consumo) e na disponibilidade de água podem aumentar o nível de escassez hídrica verificado em uma região.

Chagas (2019), ao avaliar as mudanças nos regimes de chuva e de vazão ocorridas no Brasil no período de 1980 a 2015, verificou a predominância de reduções na chuva e vazão média anual em todo o Cerrado, sendo que em algumas bacias, como a do Paraná, essas reduções foram verificadas em mais de 75% das estações hidrometeorológicas analisadas. Segundo Chagas (2019), além da redução na vazão mínima anual houve aumento na duração e frequência das secas, o que pode comprometer a disponibilidade hídrica no Sudeste, Nordeste e em partes do Cerrado, caso estas tendências se prolonguem. Menos chuvas e menores vazões na maior parte do país acionam um alarme com relação à segurança hídrica pois aumentam a vulnerabilidade a eventos de seca (Chagas, 2019).

Cunha et al (2019) ao analisar os eventos de seca ocorridos no Brasil entre 1962 e 2019, verificou que eventos de seca ocorreram em todas as regiões do Brasil, mas somente entre 2012 e 2014 impactaram simultaneamente as cinco regiões geográficas. Ainda, entre os anos de 2011 e 2019, todas as regiões, com exceção da região Sul, foram impactadas pelos eventos de seca mais severos e intensos ocorridos em seis décadas (Cunha et al, 2019).

Naumann et al (2022) corroboram com essa afirmação ao apresentarem o episódio de seca ocorrido entre os anos de 2019 e 2022 na Bacia do Prata. Nesse estudo foram apresentados os impactos da seca que iniciou com um déficit de chuva na porção norte da bacia, onde está localizada a área objeto deste estudo, e acabou se propagando na bacia gerando impactos no abastecimento urbano, navegação, ecossistemas, geração hidrelétrica e atividades econômicas no Brasil e nos demais países abrangidos pela bacia. Impactos estes que, segundo o autor, foram agravados pelas alterações ocorridas no uso do solo (Naumann et al, 2022).

2.2 Mudanças climáticas e mudanças no uso e cobertura da terra

Mudanças Climáticas se referem a alterações no clima ligadas à atividade humana, seja de forma direta ou indireta (UNFCCC, 1992, tradução nossa). Ainda que o planeta passe

por um processo natural de alterações climáticas, conhecido como variabilidade climática, o termo mudanças climáticas remete àquelas causadas pela alteração na composição da atmosfera devido à ação humana e que se soma à variabilidade natural observada em determinados períodos.

Segundo o 6º relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2022, p. 47, tradução nossa), impactos com perdas e danos generalizados a pessoas e ecossistemas estão sendo “impulsionados pelas mudanças climáticas induzidas pelo homem que têm aumentado a frequência e/ou intensidade e/ou duração de eventos climáticos extremos, incluindo as secas [...]”.

Além das mudanças climáticas, as mudanças no uso e cobertura da terra (LULCC, do inglês Land Use and Land Cover Change), causadas pela conversão da vegetação natural em outros usos como agricultura ou pecuária, tem afetado os fluxos de água, energia e carbono entre a superfície terrestre e a atmosfera (Brito et al, 2020). A LULCC é um processo de longo prazo que tem influência indireta sobre as secas, pois altera o balanço hídrico na superfície da terra, influenciando variáveis como precipitação, evapotranspiração, infiltração e escoamento superficial (Brito et al, 2020; Caballero; Ruhoff e Biggs, 2021; UNDRR, 2021). Dessa forma, “as mudanças no uso da terra podem afetar o clima local e alterar a frequência e a gravidade das secas” (UNDRR, 2021, p. 39, tradução nossa).

Adicionalmente, a mudança da cobertura do solo, bem como a construção de barragens, a irrigação e a urbanização, ao alterarem os processos hidrológicos, influenciam na propagação da seca podendo ainda intensificar sua severidade (Bevacqua et al, 2021).

Uma vez que as mudanças no uso e cobertura da terra são um dos fatores indutores das mudanças climáticas, separar e quantificar os impactos hidrológicos causados por elas é uma atividade complexa. No entanto, diversos estudos foram realizados com essa finalidade, utilizando para isso a hipótese de Budyko (1974) e seus desdobramentos (Melo et al, 2022).

Como exemplos, Oliveira, Tomasella e Sanches (2019) utilizaram a decomposição da curva de Budyko para quantificar os impactos devido à variação do clima e as atividades antropogênicas, neste caso o uso e ocupação do solo e o produto interno bruto, nas vazões na Bacia Jucu, localizada no estado do Espírito Santo. Como resultado, 80,5% da variação observada na vazão entre 1970 e 2017 se deram pela contribuição dos fatores antropogênicos. Melo et al (2022) por sua vez, aplicaram o método da decomposição da curva de Budyko para identificar os impactos causados pelas áreas agrícolas e as mudanças no uso do solo na Bacia Alto Rio Grande, em Minas Gerais, entre 1985 e 2015. Como resultados, identificaram que as

atividades antropogênicas foram a principal causa dos impactos verificados em seis das nove sub-bacias analisadas, mesmo que até 2001 o principal fator de impacto tenha sido as mudanças no clima.

2.3 Considerações gerais

Os estudos e informações mencionados reforçam a importância da gestão de riscos de desastres associados à seca que, segundo a definição adotada pela UNDRR, é a “aplicação de políticas e estratégias de redução de riscos de desastres para prevenir novos riscos de desastres, reduzir os riscos de desastres existentes e gerenciar riscos residuais, contribuindo para o fortalecimento da resiliência e redução de perdas por desastres” (UNDRR, 2022, tradução nossa).

Dentre as ações a serem adotadas neste contexto, tem-se como exemplos a adoção de um melhor planejamento do uso da terra ou de sistemas de abastecimento de água resistentes a desastres (ações prospectivas), reforma de infraestruturas consideradas críticas ou realocação de populações ou ativos expostos (ações corretivas) e demais ações de preparação, resposta e recuperação (ações compensatórias) (UNDRR, 2022).

Estratégias como essas ganham ainda mais importância em regiões como a Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá, que apresenta relevância socioeconômica e ambiental não só no contexto local, mas também internacional, uma vez que integra a Bacia do Prata. Ações prospectivas, corretivas ou compensatórias executadas na Bacia podem colaborar com a redução de riscos de desastres nos estados e países vizinhos e promover o desenvolvimento sustentável e integrado da Bacia.

Assim estudos relacionados aos impactos decorrentes das mudanças no clima e no uso e ocupação do solo na hidrologia são essenciais para sinalizar potenciais impactos e auxiliar na tomada de decisão dos órgãos gestores.

3 PROPOSTA DE PESQUISA

3.1 Objetivo geral

O presente estudo tem como objetivo analisar os impactos na disponibilidade hídrica na Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá decorrentes das mudanças do clima e do uso e cobertura da terra, entre os anos de 1985 e 2019.

3.2 Objetivos específicos

- Analisar as mudanças no uso e cobertura da terra ocorridas na bacia ao longo do período estudado;
- Identificar as tendências climáticas na bacia de estudo;
- Identificar e quantificar o impacto das mudanças climáticas e de uso e ocupação da terra no deflúvio da Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá;

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para alcançar os objetivos propostos foram analisados os dados de uso e ocupação do solo e dados hidrometeorológicos para as quinze sub-bacias nas quais a Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá foi subdividida. Essas informações foram utilizadas na aplicação do método de decomposição da curva de Budyko que resultou na segregação dos impactos causados no deflúvio decorrentes das mudanças climáticas e das mudanças de uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá entre 1985 e 2019. Adicionalmente foram analisadas as séries de SPEI-12 para cada sub-bacia buscando verificar as tendências observadas e a melhor compreensão das alterações observadas.

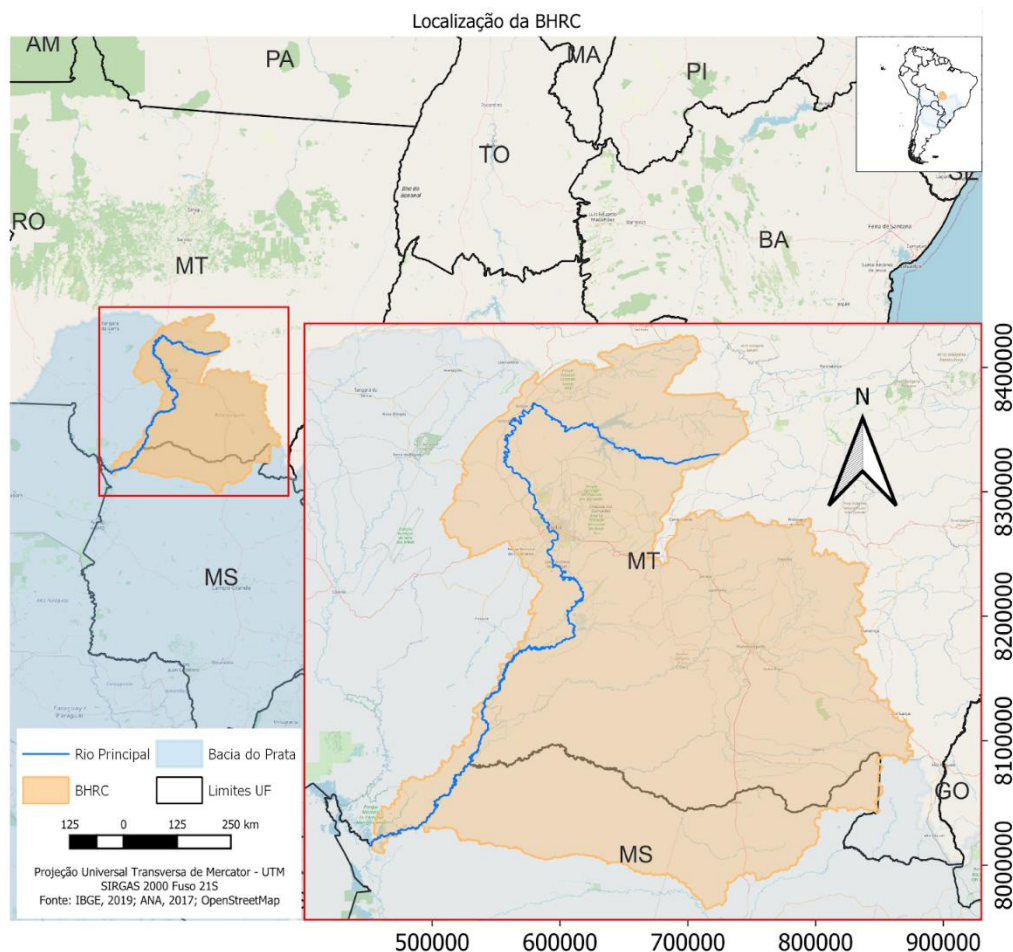
4.1 Área de Estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá (BHRC) está situada na região Centro-Oeste do Brasil, abrangendo municípios situados na porção sul do estado de Mato Grosso e na porção norte do estado de Mato Grosso do Sul. Compõe a Bacia Hidrográfica do Rio Paraguai que por sua vez integra a Bacia Hidrográfica do Rio Paraná, que, em conjunto com outras bacias, forma a Bacia Hidrográfica do Rio da Prata, que se estende pela Bolívia, Argentina, Paraguai e Uruguai.

Segundo a Base de Bacias Hidrográficas do Brasil - BHB250 (IBGE, 2021), a BHRC classifica-se como uma bacia de nível 4, de acordo com a metodologia de Otto Pfafstetter, e de ordem 7 segundo a classificação de Horton-Strahler. Apresenta uma área total de 106.680,15 km², sendo considerada uma bacia de tamanho médio, composta por 1.471 cursos d'água, tendo como curso principal o Rio Cuiabá. A Figura 1 apresenta a localização da bacia.

O clima predominante é do tipo Tropical Brasil Central, quente, semiúmido, apresentando temperaturas médias superiores a 18°C em todos os meses e período seco que varia entre 4 e 5 meses no ano (IBGE, 2022b). A bacia compreende em seu território 2 biomas, Pantanal e Cerrado, sendo este último predominante (IBGE, 2022a). Os tipos de solo predominantes na bacia são os Neossolos, Latossolos, Argissolos e Plintossolos (IBGE, 2022c). Quanto às altitudes, estas variam entre 82 e 902 metros, sendo as menores altitudes referentes a porção da bacia que abrange o Pantanal mato-grossense.

Figura 1 – Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá



Fonte: Elaborado pela autora.

Até o início do século XX as atividades econômicas desenvolvidas no estado de Mato Grosso eram restritas à mineração de ouro e diamante e à pecuária (Orlandi e Lima, 2012), e a dinâmica se repetiu na bacia, com o surgimento do primeiro núcleo urbano, Cuiabá, na primeira metade do século XVIII em virtude da descoberta de ouro na região (Vilarinho Neto, 2017). Na sequência outros núcleos urbanos foram criados devido à mineração de ouro (como Chapada dos Guimarães, Barão de Melgaço, Poconé e Diamantino) e de diamante (como Poxoréu, Guiratinga, Tesouro), estes últimos no final do século XIX e início do século XX (Vilarinho Neto, 2017).

Por volta de 1940, o declínio da mineração, a expansão da fronteira agrícola, a disponibilidade de terras e os baixos custos de produção pecuária incentivaram movimentos de migração para a região, primeiramente com origem no sudeste e nordeste do país e depois principalmente no sul do Brasil (Orlandi e Lima, 2012). No início dos anos 1970 programas federais de desenvolvimento econômico focados na agropecuária e iniciativas como a divisão

do estado (em 1977) influenciaram as migrações que se mantiveram intensas até o início dos anos 1990 e promoveram a efetiva ocupação da terra principalmente por meio de lavoura mecanizada dando origem a cidades como Primavera do Leste e Campo Verde (Vilarinho Neto, 2017).

A região da BHRC foi muito importante para o desenvolvimento da cultura da soja no estado de Mato Grosso tendo as primeiras lavouras sido implementadas na segunda metade dos anos de 1970 nas proximidades de Rondonópolis (Fernandéz, 2007). Em 1985 eram quase 800 mil hectares de áreas cultivadas, sendo que metade dessa produção se concentrava em municípios como Itiquira, Alto Araguaia e Rondonópolis (Fernandéz, 2007).

Atualmente a área da BHRC abrange de forma total ou parcial, 35 municípios localizados nos estados de Mato Grosso (31) e Mato Grosso do Sul (4), compreendendo uma população de 1.235.555 habitantes (IBGE, 2021). Nela está localizada a primeira e, até então, única Região Metropolitana do estado de Mato Grosso, a Região Metropolitana do Vale do Rio Cuiabá (RMVRC), formada pelos municípios de Acorizal, Chapada dos Guimarães, Cuiabá, Nossa Senhora do Livramento, Santo Antônio de Leverger e Várzea Grande; tendo ainda o Entorno Metropolitano da RMVRC, sendo constituído pelos municípios de Barão de Melgaço, Jangada, Nobres, Nova Brasilândia, Planalto da Serra, Poconé e Rosário Oeste (Mato Grosso, 2009).

A atividade agropecuária tem forte presença na região, tanto que, dentre os 100 municípios mais ricos do agronegócio brasileiro, de acordo com o valor da produção no ano de 2020, 4 estão presentes parcialmente na bacia, sendo eles Diamantino (11°), Campo Verde (12°), Primavera do leste (15°) e Santa Rita do Trivelato (43°) e 1, Itiquira (47°), é totalmente abrangido pela bacia (MAPA, 2022).

Ressalta-se ainda a presença de atividades industriais, com destaque para os municípios de Várzea Grande e Rondonópolis; de mineração, principalmente de calcário, com destaque para o município de Nobres; e da administração pública, sendo essa a principal atividade em municípios menores como São Pedro da Cipa (FIEMT, 2022).

Devido às características da região, o ecoturismo também tem destaque principalmente em razão do Parque Nacional da Chapada dos Guimarães e do Pantanal, considerado patrimônio natural da humanidade pela UNESCO, que abrange municípios como Poconé, Barão de Melgaço e Corumbá (MS). Atrativos relacionados a rios e cachoeiras são encontrados ainda em outros municípios, como Nobres, Jaciara e Tesouro.

Os municípios da região apresentam desenvolvimento humano médio, com Índices de

Desenvolvimento Humano (IDH) superiores a 0,6 (Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil, 2022). Dados do último censo (IBGE, 2023) mostram que 19 municípios que integram a bacia tiveram aumento na população enquanto 16 apresentaram redução. No entanto, a população na bacia cresceu, principalmente devido ao aumento da população nas três cidades mais populosas do estado, que são totalmente abrangidas pela BHRC, Cuiabá (650.912 habitantes), Várzea Grande (299.472 habitantes) e Rondonópolis (244.897 habitantes).

Informações sobre os usos consuntivos da água no Brasil (ANA, 2017) demonstram que houve um aumento na retirada e consumo de água nos municípios abrangidos pela bacia entre os anos de 1985 e 2017. A retirada, que era de 5,72 m³/s aumentou para 19,89 m³/s e o consumo, de 2,84 m³/s subiu para 12,26 m³/s. Também houve alterações no perfil do consumo da água, sendo que em 1985 a maior parte da água retirada era utilizada para uso animal (43,10%) e em 2017, o maior consumo ocorreu na irrigação (64,40%).

Foram utilizadas estações cuja série histórica abrange o período de estudo (1985-2019), que são apresentadas na Tabela 1. A área de estudo foi então subdividida considerando estas estações. A localização e a delimitação destas sub-bacias são apresentadas na Figura 2.

Tabela 1 – Localização das estações fluviométricas empregadas no estudo

(continua)

Estação	Código	Latitude	Longitude	Área de Drenagem (km²)	Rio
Marzagão	66140000	-14,5417	-55,8489	2.320	Cuiabá
Fazenda Raizama	66231000	-14,845	-55,8556	9.580	Cuiabá
Barão de Melgaço	66280000	-16,1928	-55,9669	28.900	Cuiabá
Porto Cercado	66340000	-16,5119	-56,3756	36.900	Cuiabá
São João	66360000	-16,9444	-56,6328	38.500	Cuiabá
Ilha Camargo	66370000	-17,0564	-56,5806	39.000	Cuiabá
São Pedro da Cipa	66380000	-15,9981	-54,9217	3.240	São Lourenço
Rondonópolis	66450001	-16,4789	-54,6506	12.300	Vermelho
São Lourenço de Fátima	66400000	-16,3108	-54,9228	6.990	São Lourenço

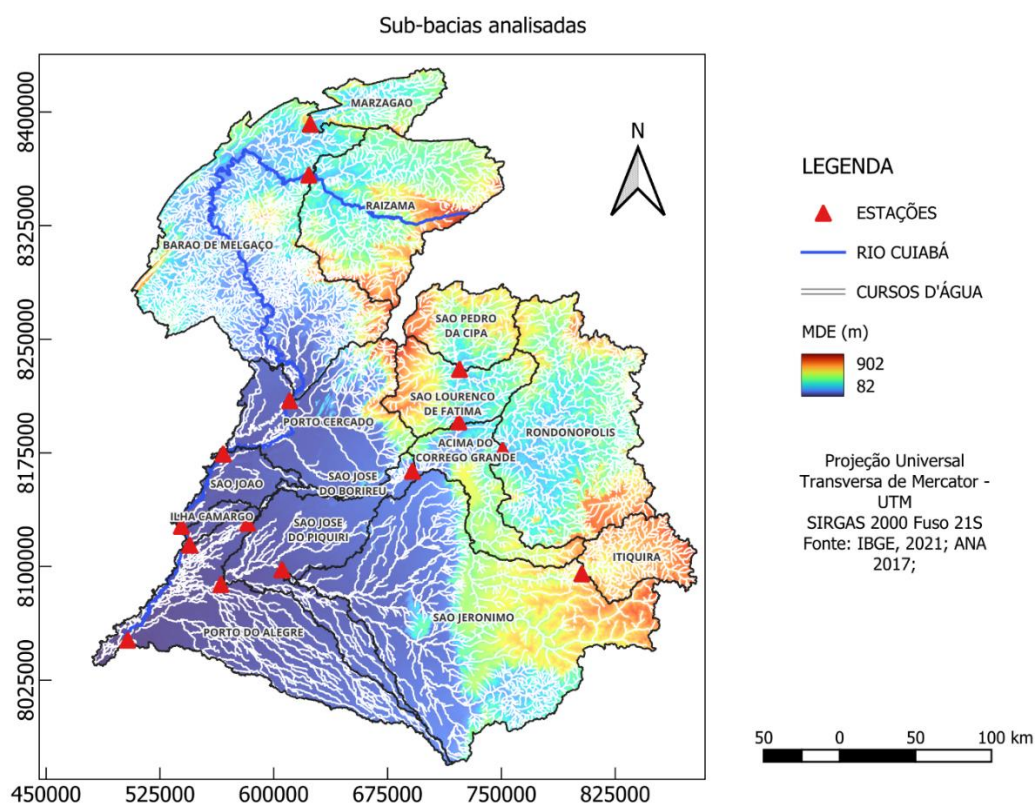
Tabela 1 – Localização das estações fluviométricas empregadas no estudo

(conclusão)

Estação	Código	Latitude	Longitude	Área de Drenagem (km ²)	Rio
Acima do Córrego Grande	66460000	-16,6081	-55,2064	23.000	São Lourenço
São José do Boriréu	66470000	-16,9253	-56,2236	24.100	São Lourenço
Itiquira	66520000	-17,2078	-54,1511	2.920	Itiquira
São Jerônimo	66600000	-17,2017	-56,0086	23.300	Piquiri
São José do Piquiri	66650000	-17,2971	-56,3872	30.000	Piquiri
Porto do Alegre	66750000	-17,6233	-56,965	103.000	Cuiabá

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 2 – Localização das estações fluviométricas empregadas no estudo e as sub-bacias



Fonte: Elaborado pela autora.

4.2 Dados de uso e cobertura do solo

Para obtenção dos dados de uso e cobertura do solo, foi utilizada a série histórica completa da coleção 8 da série anual de uso e cobertura do solo do projeto MapBiomias, com período compreendido de 1985 a 2022 (Projeto MapBiomias, 2023).

O projeto MapBiomias “é uma iniciativa multi-institucional para gerar mapas anuais de uso e cobertura da terra a partir de processos de classificação automática aplicada a imagens de satélite.” (Projeto MapBiomias, 2023).

São empregadas imagens dos satélites Landsat com resolução de 30 metros e o processamento é executado através da plataforma Google Earth Engine. Para a obtenção dos mosaicos anuais são analisadas todas as imagens disponíveis no período de forma a obter pixels limpos, sem nuvens ou outras interferências, que carregam até 105 camadas de informação cada. A partir dos mosaicos são produzidos os mapas de cada classe de cobertura e uso da terra nas quais são aplicados filtros (espacial e temporal) com o objetivo de reduzir inconsistências e corrigir falhas. Após o processamento completo é realizada a integração dos dados o que resulta nos mapas anuais de cobertura e uso da terra apresentando todas as classes (Projeto MapBiomias, 2023).

Os dados de uso e cobertura do solo foram obtidos via Google Earth Engine por meio de Toolkit específico disponibilizado pelo projeto MapBiomias. Para tanto foram utilizados os arquivos *shape* específicos de cada sub-bacia para obtenção dos arquivos geotiff e csv. Os arquivos obtidos foram manipulados empregando-se os softwares QGIS e Excel, respectivamente.

O Projeto MapBiomias apresenta diferentes classes de uso do solo que são agrupadas em grupos de classes conforme suas características. Dessa forma, são considerados cinco grandes grupos de uso e cobertura do solo. No grupo Floresta estão incluídas as classes Formação Florestal, Formação Savânica, Mangue, Floresta Alagável e Restinga Arbórea. Já o grupo Formação Natural não Florestal abrange as classes Campo Alagado e Área Pantanosa, Formação Campestre, Apicum, Afloramento Rochoso, Restinga Herbácea e Outras Formações não Florestais. O grupo Agropecuária engloba as classes de uso Pastagem, Agricultura, Silvicultura e Mosaico de Usos (agropecuários), sendo que a classe agricultura apresenta subdivisões relacionadas a culturas de destaque como soja, cana e outras. No grupo Área não Vegetada encontram-se as classes de uso do solo Praia, Duna e Areal, Área Urbanizada, Mineração e Outras Áreas não Vegetadas. Por fim, o grupo Corpo D’água agrega as classes

Rio, Lago e Oceano e Aquicultura.

Para cada sub-bacia foram calculadas as áreas de cada grupo e de cada classe de uso do solo para o ano de 1985 e para o ano de 2019 e assim foi possível mensurar as variações ocorridas nesse período. Ainda, foi calculada a média móvel de dez anos referente a cada grupo de classes de uso do solo para posterior emprego no método de decomposição da curva de Budyko.

4.3 SPEI

O Índice Padronizado de Precipitação-Evapotranspiração (SPEI) foi desenvolvido por Vicente-Serrano et al. (2010) e seu cálculo utiliza dados mensais de temperatura, precipitação e a taxa de evapotranspiração potencial (ETP), envolvendo o uso de uma função de densidade de probabilidade de uma variável com distribuição log-logística de três parâmetros: α (escala), β (forma) e γ (origem).

Assim como o Índice de Precipitação Padronizado (SPI), o SPEI requer um ajuste do balanço hídrico a uma distribuição de probabilidade teórica e a consideração de déficits ou superávits em diferentes escalas temporais. Esse índice combina a sensibilidade do Índice de Severidade de Seca de Palmer (PDSI) a mudanças na evapotranspiração, resultantes das variações de temperatura e tendências climáticas, com a simplicidade do cálculo multifuncional do SPI, oferecendo uma análise mais robusta das condições de seca (Vicente-Serrano et al., 2010).

Para a identificação de tendências climáticas na bacia foram empregadas as séries mensais de SPEI-12 elaboradas e validadas por Tomasella et al (2023). Para tanto, os autores utilizaram os dados disponibilizados por Xavier et al (2022), compreendendo o período 1961-2019.

Para utilização no presente estudo foram empregados os arquivos binários (hdr e flt) disponibilizado por Tomasella et al (2023) e, através do software QGIS, foram identificados os pontos de grade abrangidos por cada uma das sub-bacias analisadas. Para cada sub-bacia calculou-se a média dos pontos de grade que resultaram nos respectivos valores mensais do SPEI-12. Apesar de a série mensal do SPEI-12 disponibilizada pelos autores abranger o período 1961-2019, para utilização no presente estudo empregaram-se apenas os meses relativos ao período analisado (1985-2019).

Para cada uma das sub-bacias foram identificados os eventos de seca ocorridos no

período bem como as respectivas características: duração, severidade e intensidade. O início do evento de seca é contabilizado quando o SPEI-12 atinge valor igual ou maior que -1, finalizando quando o indicador atinge valor maior ou igual a zero (Bevacqua et al, 2021). Assim, a duração do evento é o número de meses compreendido neste intervalo. Para mensurar a severidade de cada evento de seca, ou seja, o déficit total verificado no período, foram somados os valores do SPEI-12 obtidos em cada mês de duração do evento (Cunha et al, 2019; Bevacqua et al, 2021). Para a intensidade do evento de seca, que representa o grau da anomalia registrada no período, foi utilizado o menor valor do SPEI-12 registrado ao longo da duração do evento (Cunha et al, 2019).

4.4 Dados hidrometeorológicos

Os dados de vazão utilizados foram obtidos de estações fluviométricas que compõem a Rede Hidrometeorológica Nacional e cujas séries históricas estão disponibilizadas no portal Hidroweb, da Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA). Sempre que disponíveis foram empregados os dados diários consistidos. Na ausência destes foram empregadas as médias mensais consistidas. Os dados foram agrupados considerando-se o ano hidrológico, com início em outubro e término em setembro do ano posterior.

Os dados de Precipitação, Evapotranspiração Potencial e Temperatura Máxima empregados no estudo, foram obtidos do banco de dados desenvolvido por Xavier et al (2022). O autor interpolou dados de 9.259 pluviômetros e 735 estações meteorológicas de todo o Brasil e disponibilizou os resultados na forma de dados meteorológicos diários em grade, com resolução de $0,1 \times 0,1$ graus para o período compreendido entre 1961 e 2020.

Assim como os dados de SPEI-12, para utilização no presente estudo foram empregados os arquivos binários (hdr e flt) com as séries mensais de Precipitação e Evapotranspiração Potencial disponibilizados por Tomasella et al (2023). Através do software QGIS foram identificados os pontos de grade abrangidos por cada uma das sub-bacias analisadas e foram obtidas as respectivas séries anuais de Precipitação e Evapotranspiração potencial, conforme o respectivo ano hidrológico.

Os dados diários de Temperatura Máxima foram obtidos empregando-se o *script* disponibilizado pelo próprio autor (Xavier, 2022) e os arquivos shape de cada sub-bacia analisada. A partir destes dados foram obtidas as médias anuais de Temperatura Máxima.

Com relação às vazões, na ausência de dados diários e médias mensais, recorreu-se à

curva-chave e as cotas identificadas. No entanto, a maioria das estações fluviométricas apresentou um apagão de dados no período 1989-1993. Nesses casos, foi realizada a regressão linear entre as vazões observadas e a precipitação e a partir disso foram preenchidas as falhas onde se fez necessário.

4.5 Decomposição da curva de Budyko

A hipótese proposta por Budyko (1974) visa estimar a evapotranspiração real a partir da evapotranspiração potencial e da precipitação e consiste na relação entre o índice evaporativo (IE), dado pela razão entre a evapotranspiração real (ER) e a precipitação (P), e o índice de aridez (IA), dado pela razão entre a evapotranspiração potencial (EP) e a precipitação (P), conforme a Equação 1:

$$IA = \frac{EP}{P} \quad (1)$$

Essa relação foi explorada por diversos pesquisadores, o que resultou na incorporação de um parâmetro (w) para descrever as características da bacia (Melo et al, 2022). Dentre esses, está o modelo proposto por Fu (1981), empregado neste estudo, onde a equação que representa a relação entre IE e IA é dada por:

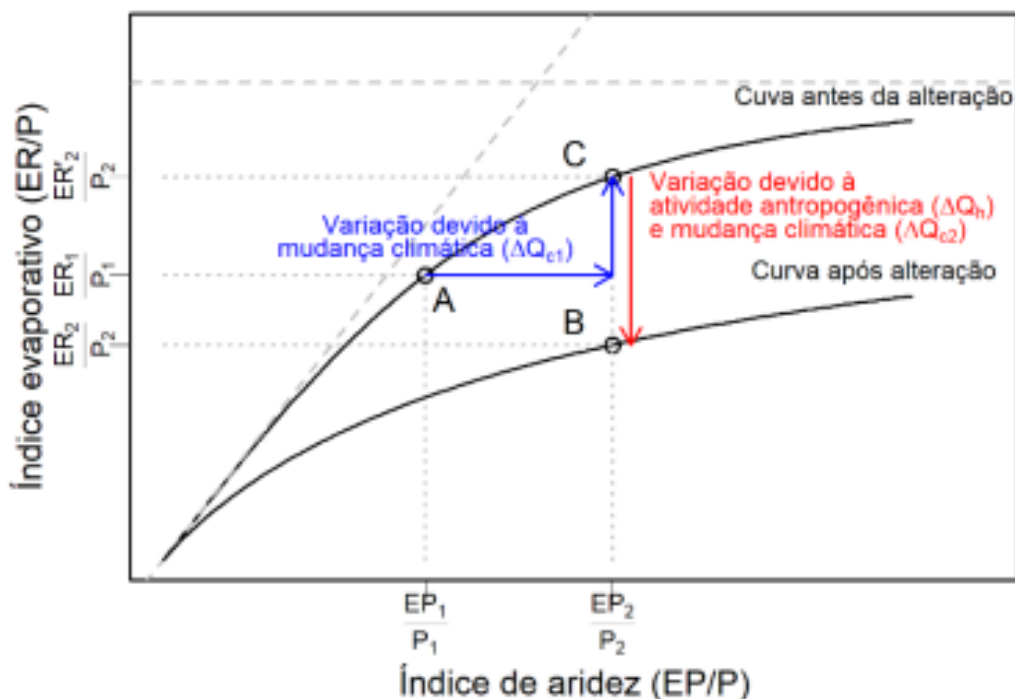
$$IE = 1 + IA - (1 + IA^w)^{\frac{1}{w}} \quad (2)$$

O método da decomposição da curva de Budyko por sua vez, foi proposto por Wang e Hejazi (2011) para separar os impactos no regime hidrológico causados pelas mudanças climáticas e pelas mudanças antropogênicas, usando o conceito de elasticidade climática. De acordo com essa abordagem, as mudanças ao longo da curva de Budyko são indicativas de influências climáticas (índice de aridez), enquanto mudanças verticais entre as curvas indicam alterações nas características da bacia devido a fatores antropogênicos.

Nesse contexto, Wang e Hejazi (2011) sugerem que, caso o índice de aridez (EP/P) mude ao longo da mesma curva (mesmo coeficiente w), os impactos são exclusivamente climáticos. Porém, se houver deslocamento vertical, como mostra a Figura 3, ocorre uma modificação na bacia que pode ser causada tanto por fatores climáticos quanto antropogênicos. Assim, o movimento do ponto A (EP1/P1, ER1/P1) para o ponto B (EP2/P2, ER2/P2) implica mudanças na bacia e na curva de Budyko, resultando em uma variação de w. Considerando a curva original de A e o mesmo IA de B, tem-se o ponto C (EP2/P2, ER'2/P2), e o deslocamento

entre B e C reflete a variação em w , enquanto o deslocamento entre A e C reflete mudanças climáticas (variação do IA).

Figura 3 – Decomposição da Curva de Budyko para estimar os impactos causados pelas mudanças climáticas e ações antropogênicas



Fonte: Melo et al, 2022.

Como complemento, Jiang et al. (2015) propôs que o próprio parâmetro w pode variar em função de componentes climáticas e/ou antropogênicas, através de uma regressão linear dada por:

$$w = \beta_0 + \beta_1 X_1^c + \dots + \beta_n X_n^h \quad (3)$$

Onde β são os parâmetros de regressão linear, X^c as variáveis explicativas relacionadas ao clima e X^h são as variáveis explicativas relacionadas às atividades antropogênicas. Os parâmetros da regressão linear foram obtidos utilizando-se o método numérico de Gauss-Newton.

Para diferenciar as causas dos impactos, foram empregadas as Equações 4, 5 e 6. A Equação 4 foi empregada para quantificar a variação no escoamento ocorrida em função de fatores climáticos (ΔQ_{c1}). As Equações 5 e 6, por sua vez, foram utilizadas para mensurar a

variação no escoamento devido a alterações ocorridas na bacia que podem ter sido ocasionadas tanto por fatores climáticos (ΔQ_{c2}) quanto por fatores antropogênicos (ΔQ_h) (Jiang et al., 2015).

$$\Delta Q_{c1} = P_2 \left(1 - \frac{ER_2}{P_2} \right) - P_1 \left(1 - \frac{ER_1}{P_1} \right) - P_2 \left(\frac{ER'_2}{P_2} - \frac{ER_2}{P_2} \right) \quad (4)$$

$$\Delta Q_{c2} = \frac{\sum_i^n \beta_i^c \Delta X_i^c}{\Delta w} P_2 \left(\frac{ER'_2}{P_2} - \frac{ER_2}{P_2} \right) \quad (5)$$

$$\Delta Q_h = \frac{\sum_i^n \beta_i^h \Delta X_i^h}{\Delta w} P_2 \left(\frac{ER'_2}{P_2} - \frac{ER_2}{P_2} \right) \quad (6)$$

Onde:

β : parâmetros de regressão linear

ΔX^c : variação verificada nas variáveis explicativas relacionadas a fatores climáticos

ΔX^h : variação verificada nas variáveis explicativas relacionadas a fatores antropogênicos

ER : evapotranspiração real

P : precipitação

Δw : variação verificada no coeficiente w que representa as características da bacia hidrográfica.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Mudanças no uso do solo

Os dados do Projeto MapBiomas indicaram variações consideráveis no uso e cobertura do solo em todas as sub-bacias analisadas. Houve redução no grupo Floresta em todas as sub-bacias, com valores compreendidos entre -17,48% na sub-bacia Marzagão e -44,42% na sub-bacia Itiquira, conforme é possível observar na Tabela 2.

Tabela 2 – Variações na classe de uso do solo Floresta ocorridas entre 1985 e 2019 por sub-bacia analisada

(continua)				
Sub-bacia	Área da sub-bacia (km ²)	Área da classe em 1985 (km ² %)	Área da classe em 2019 (km ² %)	Variação (km ² %)
Marzagão	2.300	1.695,47 (73,71%)	1.399,11 (60,83%)	-296,37 (-17,48%)
F. Raizama	9.488	7.809,14 (82,30%)	5.192,00 (54,72%)	-2.617,14 (-33,51%)
B. de Melgaço	28.871	22.360,48 (77,45%)	15.711,26 (54,42%)	-6.649,23 (-29,74%)
Porto Cercado	36.894	26.387,81 (71,52%)	19.192,94 (52,02%)	-7.194,87 (-27,27%)
São João	38.805	27.640,07 (71,23%)	20.383,29 (52,53%)	-7.256,78 (-26,25%)
Ilha Camargo	39.278	27.973,73 (71,22%)	20.696,07 (52,69%)	-7.277,66 (-26,02%)
S. P. da Cipa	3.204	1.514,27 (47,26%)	1.127,77 (35,20%)	-386,50 (-25,52%)
Rondonópolis	12.311	4.788,56 (38,90%)	3.296,69 (26,78%)	-1.491,87 (-31,15%)
S. L. de Fátima	6.970	3.186,28 (45,72%)	2.090,49 (29,99%)	-1.095,79 (-34,39%)

Tabela 2 – Variações na classe de uso do solo Floresta ocorridas entre 1985 e 2019 por sub-bacia analisada

				(conclusão)
Sub-bacia	Área da sub-bacia (km ²)	Área da classe em 1985 (km ² %)	Área da classe em 2019 (km ² %)	Variação (km ² %)
S. L. de Fátima	6.970	3.186,28 (45,72%)	2.090,49 (29,99%)	-1.095,79 (34,39%)
A.do C. Grande	23.050	9.827,83 (42,64%)	6.508,69 (28,24%)	-3.319,14 (-33,77%)
S. J.do Boriréu	23.787	10.358,14 (43,55%)	6.982,78 (29,36%)	-3.375,36 (32,59%)
Itiquira	2.904	1.942,79 (66,90%)	1.079,73 (37,18%)	-863,06 (-44,42%)
São Jerônimo	23.493	12.452,16 (53,00%)	7.741,02 (32,95%)	-4.711,14 (-37,83%)
S. J. do Piquiri	29.543	15.478,94 (52,39%)	10.791,89 (36,53%)	-4.687,05 (-30,28%)
Porto do Alegre	102.498	57.499,29 (56,10%)	41.914,28 (40,89%)	-15.585,01 (-27,10%)

Fonte: Elaborado pela autora.

Essa redução se deu principalmente em virtude da redução de áreas de Formação Savânica caracterizadas pelo Bioma Cerrado, que compreende a maior parte da BHRC. Na sub-bacia Itiquira a redução chegou a 925 km² o que representa um decréscimo de quase 52% no período 1985-2019.

Da mesma forma, o grupo Formação Natural não Florestal também apresentou redução de área em todas as sub-bacias, sendo as mesmas compreendidas entre - 4,26% na sub-bacia Porto do Alegre e -57,07% na sub-bacia Fazenda Raizama, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Variações na classe de uso do solo Formação Natural não Florestal ocorridas entre 1985 e 2019 por sub-bacia analisada

Sub-bacia	Área da sub-bacia (km²)	Área da classe em 1985 (km² %)	Área da classe em 2019 (km² %)	Variação (km² %)
Marzagão	2.300	293,72 (12,77%)	221,25 (9,62%)	-72,46 (-24,67%)
F. Raizama	9.488	97,68 (1,03%)	41,93 (0,44%)	-55,74 (-57,07%)
B. de Melgaço	28.871	1.211,42 (4,20%)	986,32 (3,42%)	-225,09 (-18,58%)
Porto Cercado	36.894	4.221,09 (11,44%)	3.922,61 (10,63%)	-298,48 (-7,07%)
São João	38.805	4.795,07 (12,36%)	4.549,72 (11,72%)	-245,35 (5,12%)
Ilha Camargo	39.278	4.905,76 (12,49%)	4.674,75 (11,90%)	-231,00 (-4,71%)
S. P. da Cipa	3.204	39,90 (1,25%)	28,72 (0,90%)	-11,18 (-28,02%)
Rondonópolis	12.311	481,68 (3,91%)	355,72 (2,89%)	-125,96 (-26,15%)
S. L. de Fátima	6.970	102,90 (1,48%)	92,33 (1,32%)	-10,57 (-10,27%)
A. do C. Grande	23.050	732,65 (3,18%)	571,40 (2,48%)	-161,25 (-22,01%)
S. J. do Boriréu	23.787	829,35 (3,49%)	649,76 (2,73%)	-179,58 (-21,65%)
Itiquira	2.904	324,61 (11,18%)	154,90 (5,33%)	-169,71 (-52,28%)
São Jerônimo	23.493	4.473,25 (19,04%)	2.921,00 (12,43%)	-1.552,24 (-34,70%)
S. J. do Piquiri	29.543	6.759,20 (22,88%)	4.920,58 (16,66%)	-1.838,62 (-27,20%)
Porto do Alegre	102.498	16.456,43 (16,06%)	15.755,64 (15,37%)	-700,79 (-4,26%)

Fonte: Elaborado pela autora.

Em 10 das 15 sub-bacias analisadas, as reduções verificadas no grupo Formação Natural não Florestal foram influenciadas pelas reduções nas áreas da classe Campo Alagado e Área Pantanosa. Nas sub-bacias a jusante, que abrangem maior parte do Bioma Pantanal (Porto Cercado, São João, Ilha Camargo, São Jerônimo, São José do Piquiri, Porto do Alegre) é

possível verificar uma alternância nas áreas verificadas para as classes Campo Alagado e Área Pantanosa e Formação campestre.

De forma contrária, o grupo Agropecuária (Tabela 4) apresentou variação positiva em todas as sub-bacias analisadas, sendo os valores mínimos verificados na sub-bacia Rondonópolis (+25,96%) e os máximos verificados na sub-bacia Itiquira (+226,89%).

Tabela 4 – Variações na classe de uso do solo Agropecuária ocorridas entre 1985 e 2019 por sub-bacia analisada

(continua)				
Sub-bacia	Área da sub-bacia (km ²)	Área da classe em 1985 (km ² %)	Área da classe em 2019 (km ² %)	Variação (km ² %)
Marzagão	2.300	293,42 (12,76%)	615,19 (26,75%)	321,76 (109,66%)
F. Raizama	9.488	1.456,87 (15,35%)	3.854,90 (40,63%)	2.398,03 (164,60%)
B. de Melgaço	28.871	4.575,47 (15,85%)	11.140,51 (38,59%)	6.565,04 (143,48%)
Porto Cercado	36.894	5.052,67 (13,70%)	12.489,32 (33,85%)	7.436,65 (147,18%)
São João	38.805	5.091,60 (13,12%)	12.552,78 (32,35%)	7.461,18 (146,54%)
Ilha Camargo	39.278	5.096,92 (12,98%)	12.575,70 (32,02%)	7.478,78 (146,73%)
S. P. da Cipa	3.204	1.592,42 (49,70%)	2.022,82 (63,14%)	430,40 (27,03%)
Rondonópolis	12.311	6.756,56 (54,88%)	8.510,41 (69,13%)	1.753,85 25,96%)
S. L. de Fátima	6.970	3.515,94 (50,45%)	4.706,17 (67,52%)	1.190,22 (33,85%)
A. do C. Grande	23.050	11.922,57 (51,73%)	15.678,14 (68,02%)	3.755,57 (31,50%)

Tabela 4 – Variações na classe de uso do solo Agropecuária ocorridas entre 1985 e 2019 por sub-bacia analisada

(conclusão)				
Sub-bacia	Área da sub-bacia (km ²)	Área da classe em 1985 (km ² %)	Área da classe em 2019 (km ² %)	Variação (km ² %)
S. J. do Boriréu	23.787	11.986,66 (50,39%)	15.824,61 (66,53%)	3.837,94 (32,02%)
Itiquira	2.904	507,01 (17,46%)	1.657,38 (57,07%)	1.150,37 (226,89%)
São Jerônimo	23.493	5.566,23 (23,69%)	12.459,07 (53,03%)	6.892,84 (123,83%)
S. J. do Piquiri	29.543	5.676,47 (19,21%)	13.386,29 (45,31%)	7.709,81 (135,82%)
Porto do Alegre	102.498	22.805,30 (22,25%)	42.515,29 (41,48%)	19.709,99 (86,43%)

Fonte: Elaborado pela autora.

Das 15 sub-bacias analisadas, 12 apresentaram aumento das áreas de soja, sendo a maior variação registrada na sub-bacia Itiquira (500km²). No entanto, apesar do expressivo aumento de área de Soja, a Pastagem representa as maiores áreas relacionados ao grupo Agropecuária em todas as sub-bacias analisadas.

O grupo Área não vegetada apresentou variação positiva em 5 das 15 sub-bacias analisadas, sendo a maior variação verificada na sub-bacia Marzagão (+430,81%) e a menor na sub-bacia Itiquira (-91,39%), conforme Tabela 5.

Com relação ao grupo Área não Vegetada, em 14 sub-bacias (exceto Marzagão) verificou-se aumento da classe Área Urbanizada no período, e em 2 sub-bacias (Barão de Melgaço e Rondonópolis) esta classe representa a maior área atribuída ao grupo. Nestas 2 sub-bacias encontram-se justamente as cidades com a maior população do estado de Mato Grosso, Cuiabá e Várzea Grande (Barão de Melgaço), e Rondonópolis (Rondonópolis).

Tabela 5 – Variações na classe de uso do solo Área não Vegetada ocorridas entre 1985 e 2019 por sub-bacia analisada

Sub-bacia	Área da sub-bacia (km²)	Área da classe em 1985 (km² %)	Área da classe em 2019 (km² %)	Variação (km² %)
Marzagão	2.300	11,75 (0,51%)	62,38 (2,71%)	50,63 (430,81%)
F. Raizama	9.488	108,37 (1,14%)	61,10 (0,64%)	-47,27 (-43,62%)
B. de Melgaço	28.871	556,23 (1,93%)	576,83 (2,00%)	20,60 (3,70%)
Porto Cercado	36.894	589,87 (1,60%)	601,64 (1,63%)	11,77 (2,00%)
São João	38.805	589,87 (1,52%)	601,64 (1,55%)	11,77 (2,00%)
Ilha Camargo	39.278	589,87 (1,50%)	601,64 (1,53%)	11,77 (2,00%)
S. P. da Cipa	3.204	50,50 (1,58%)	21,63 (0,68%)	-28,87 (-57,17%)
Rondonópolis	12.311	245,48 (1,99%)	120,21 (0,98%)	-125,27 (-51,03%)
S. L. de Fátima	6.970	151,05 (2,17%)	63,43 (0,91%)	-87,61 (-58,00%)
A. do C. Grande	23.050	486,12 (2,11%)	222,58 (0,97%)	-263,53 (-54,21%)
S. J. do Boriréu	23.787	486,44 (2,05%)	223,65 (0,94%)	-262,78 (-54,02%)
Itiquira	2.904	125,42 (4,32%)	10,80 (0,37%)	-114,61 (-91,39%)
São Jerônimo	23.493	436,40 (1,86%)	203,75 (0,87%)	-232,65 (-53,31%)
S. J. do Piquiri	29.543	436,40 (1,48%)	203,75 (0,69%)	-232,65 (-53,31%)
Porto do Alegre	102.498	1.512,71 (1,48%)	1.029,05 (1,00%)	-483,66 (-31,97%)

Fonte: Elaborado pela autora.

Já o grupo Corpo D'água (Tabela 6) apresentou redução em 9 das 15 sub-bacias

analisadas, sendo a menor variação verificada na sub-bacia São José do Piquiri (-79,81%) e a maior na sub-bacia Fazenda Raizama (+1985,99%).

Tabela 6 – Variações na classe de uso do solo Corpo D'água ocorridas entre 1985 e 2019 por sub-bacia analisada

Sub-bacia	Área da sub-bacia (km²)	Área da classe em 1985 (km² %)	Área da classe em 2019 (km² %)	Variação (km² %)
Marzagão	2.300	5,69 (0,25%)	2,13 (0,09%)	-3,56 (-62,61%)
F. Raizama	9.488	16,22 (0,17%)	338,34 (0,17%)	322,12 (1985,99%)
B. de Melgaço	28.871	167,79 (0,58%)	456,46 (1,58%)	288,67 (172,05%)
Porto Cercado	36.894	642,40 (1,74%)	687,33 (1,86%)	44,93 (6,99%)
São João	38.805	688,76 (1,77%)	717,95 (1,85%)	29,19 (4,24%)
Ilha Camargo	39.278	712,34 (1,81%)	730,46 (1,86%)	18,12 (2,54%)
S. P. da Cipa	3.204	6,70 (0,21%)	2,86 (0,09%)	-3,84 (-57,35%)
Rondonópolis	12.311	38,89 (0,32%)	28,14 (0,23%)	-10,75 (-27,64%)
S. L. de Fátima	6.970	13,37 (0,19%)	17,11 (0,25%)	3,74 (27,99%)
A. do C. Grande	23.050	80,54 (0,35%)	68,89 (0,30%)	-11,65 (-14,47%)
S. J. do Boriréu	23.787	125,70 (0,53%)	105,49 (0,44%)	-20,22 (-16,08%)
Itiquira	2.904	4,30 (0,15%)	1,31 (0,05%)	-2,99 (-69,56%)
São Jerônimo	23.493	565,18 (2,41%)	168,37 (0,72%)	-396,80 (-70,21%)
S. J. do Piquiri	29.543	1.192,24 (4,04%)	240,74 (0,81%)	-951,50 (-79,81%)
Porto do Alegre	102.498	4.224,23 (4,12%)	1.283,70 (1,25%)	-2.940,53 (-69,61%)

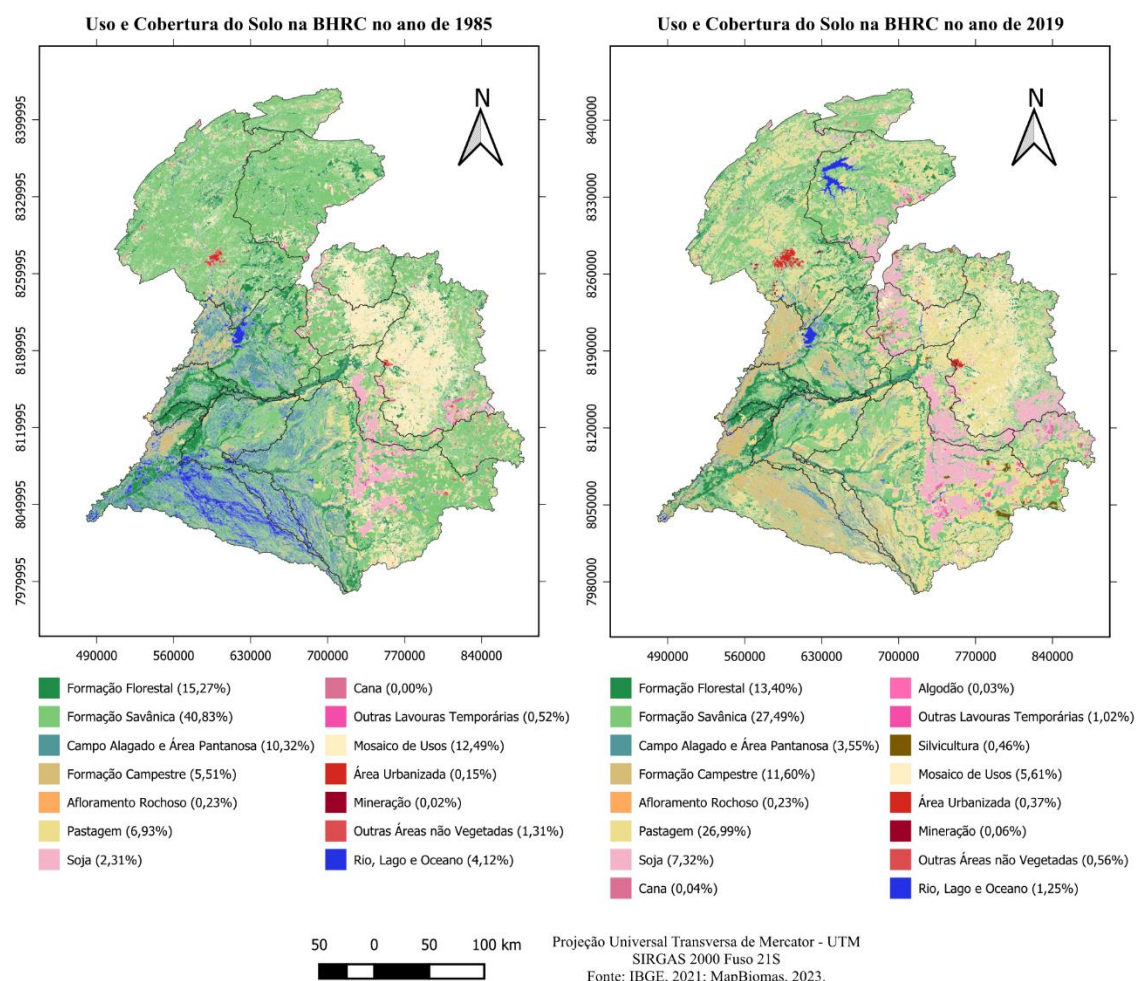
Fonte: Elaborado pela autora.

O aumento da área do grupo Corpo D'água na sub-bacia Fazenda Raizama se deu em

virtude da construção e operação da Usina de Manso cujo reservatório, em seu nível máximo, abrange uma área de 427 km² entre os municípios de Chapada dos Guimarães e Nova Brasilândia. Construída na sub-bacia Fazenda Raizama, a montante, esta área influencia as demais sub-bacias a jusante: Barão de Melgaço, Porto Cercado, São João, Ilha Camargo e Porto do Alegre.

Na Figura 4 são apresentadas todas as classes de uso do solo existentes na BHRC em 1985 e 2019.

Figura 4 – Uso e cobertura do solo na BHRC (1985 e 2019)



Fonte: Elaborado pela autora.

É possível observar o avanço da soja na bacia, cujo limite se dá justamente nas bordas do Pantanal. Fica evidente também a redução das classes formação florestal e formação Savânica (Cerrado) no período analisado. Outra notável diferença diz respeito a classe Rios,

lagos e oceanos que também apresentou redução no período, principalmente na área que abrange a planície pantaneira. Em menor grau, é possível destacar ainda aumento da classe área urbanizada, referente principalmente ao crescimento das cidades mais populosas do estado de Mato Grosso.

As médias móveis de 10 anos referentes aos cinco grupos de classes de uso do solo, reforçam as alterações verificadas no período como um todo. As variações nas médias móveis, verificadas no período (1985-1995 e 2009-2019) são apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Variações das médias móveis de 10 anos das áreas de cada grupo de classes de uso do solo por sub-bacia analisada (1985-2019)

Sub-bacia	Área (km ²)	Floresta (%)	Formação Natural não Florestal (%)	Agropecuária (%)	Área não Vegetada (%)	Corpo D'água (%)
Marzagão	2.300	-15,99%	-13,91%	82,72%	163,09%	-61,56%
F. Raizama	9.488	-30,19%	-23,00%	93,20%	-30,62%	1765,69%
B. de Melgaço	28.871	-26,73%	-0,99%	91,70%	29,82%	160,84%
Porto Cercado	36.894	-24,28%	-1,81%	92,00%	29,17%	28,54%
São João	38.805	-23,29%	-0,76%	91,53%	29,17%	23,92%
Ilha Camargo	39.278	-23,06%	-0,49%	91,64%	29,17%	21,60%
S. P. da Cipa	3.204	-11,69%	-6,48%	10,43%	-62,21%	-56,62%
Rondonópolis	12.311	-22,53%	-8,08%	14,83%	-35,94%	-28,14%
S. L. de Fátima	6.970	-21,55%	2,30%	15,37%	-47,40%	17,63%
A. do C. Grande	23.050	-22,65%	-6,00%	15,72%	-38,46%	-18,94%
S. J. do Boriréu	23.787	-21,82%	-6,70%	16,04%	-38,24%	-17,46%
Itiquira	2.904	-40,75%	-35,23%	124,85%	-81,32%	-63,14%
São Jerônimo	23.493	-28,63%	-25,89%	58,59%	-38,61%	-50,44%
S. J. do Piquiri	29.543	-20,90%	-23,40%	63,47%	-38,61%	-59,46%
Porto do Alegre	102.498	-20,94%	-8,14%	48,47%	-11,70%	-39,13%

Fonte: Elaborado pela autora.

Importante ressaltar as restrições verificadas em relação às informações apresentadas. As imagens empregadas pelo projeto MapBiomass são obtidas ao longo do ano e são utilizadas aquelas com melhor qualidade, o que inclui requisitos como por exemplo uma menor quantidade de nuvens. Considerando que a região apresenta estações seca e chuvosa bem definidas, é possível que as imagens obtidas reflitam melhor as condições de uma ou de outra estação o que impacta os resultados obtidos. Na estação chuvosa é possível verificar maior predominância de nuvens, enquanto na estação seca não é rara a ocorrência de queimadas, cuja fumaça reduz igualmente a visibilidade. Da mesma forma, em relação às culturas agrícolas temporárias, a existência de diferentes safras ao longo do ano pode apresentar impactos nos resultados obtidos.

Destaca-se ainda as variações observadas nas diferentes escalas analisadas. As alterações verificadas nas sub-bacias de cabeceira vão sendo diluídas/dissipadas conforme as sub-bacias a jusante são incorporadas nas análises. Isso reforça a heterogeneidade da região e suas vocações ambientais, econômicas e sociais, além de reforçar a necessidade de análises na macro e microescala.

Os resultados obtidos corroboram com as informações sobre a ocupação da região e a importância da atividade agropecuária (Orlandi e Lima, 2012; Neto, 2017). Vale destacar também que já em 1985 a atividade agropecuária mostrava-se muito presente na BHRC, principalmente nas sub-bacias relacionadas ao Rio São Lourenço e seus afluentes, o que possivelmente resultou em impactos anteriores ao período analisado.

Além disso, os achados também chamam a atenção para um possível aumento da vulnerabilidade da região a eventos de seca, tendo em vista que diferentes estudos encontraram relação entre o aumento de áreas agrícolas e de pastagem e a redução ou aumento de vazões (Melo et al, 2022; Oliveira et al, 2022).

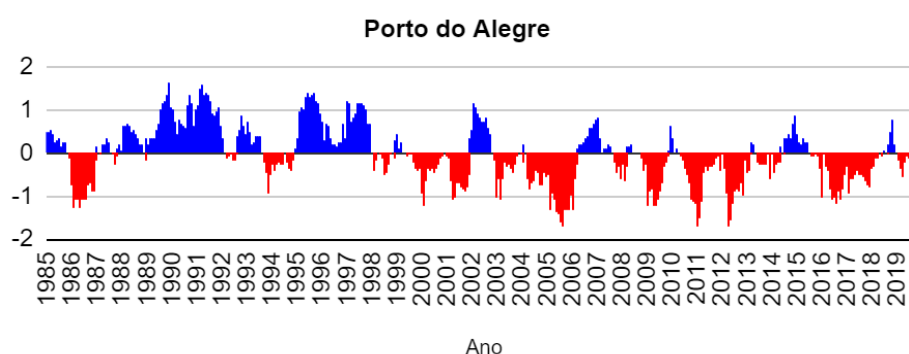
5.2 Tendências climáticas na bacia

A Figura 5 apresenta a série temporal de SPEI-12 para a sub-bacia Porto do Alegre, exutório da BHRC no presente estudo.

É possível observar uma predominância de períodos úmidos na primeira metade da série temporal e uma predominância de períodos secos na segunda metade da série. Ao todo, foram identificados oito eventos de seca, dos quais seis situam-se na segunda metade do período estudado. O evento de maior duração ocorreu entre setembro de 2010 e março de 2013 (30

meses) tendo atingido a maior severidade (-21,71) e intensidade (-1,72) observadas. Metade dos eventos de seca observados (4) ocorreram na última década (2009-2019), sendo que o último evento identificado ainda estava em curso. Os eventos de seca identificados na sub-bacia Porto do Alegre e as suas respectivas características são apresentados na Tabela 8.

Figura 5 - Série mensal SPEI-12 da sub-bacia Porto do Alegre, que representa a BHRC como um todo



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 8 – Eventos de seca identificados na sub-bacia Porto do Alegre (1985-2019)

Evento	Início	Fim	Duração (meses)	Severidade	Intensidade
1	janeiro/1986	janeiro/1987	12	-11,43	-1,28
2	janeiro/2000	dezembro/2001	23	-12,68	-1,24
3	março/2003	novembro/2003	9	-3,68	-1,06
4	fevereiro/2005	abril/2006	14	-16,71	-1,68
5	janeiro/2009	dezembro/2009	11	-8,76	-1,25
6	setembro/2010	março/2013	30	-21,71	-1,72
7	dezembro/2015	abril/2018	28	-17,44	-1,16
8*	novembro/2019	dezembro/2019	2	-2,53	-1,28

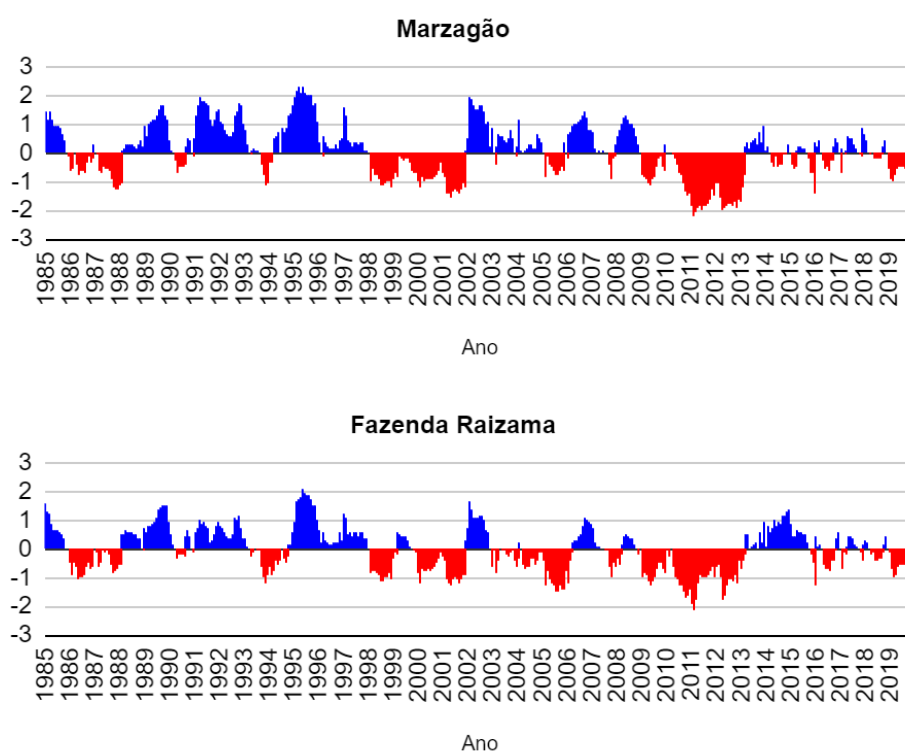
Fonte: Elaborado pela autora. *Evento de seca em curso. Em destaque evento(s) com maior duração, severidade e/ou intensidade.

As sub-bacias cujas estações fluviométricas estão situadas no Rio Cuiabá, apresentam comportamento semelhante, como pode ser observado nas Figuras 6 e 7. No entanto, o número

e as características dos eventos de seca identificados apresentaram variações.

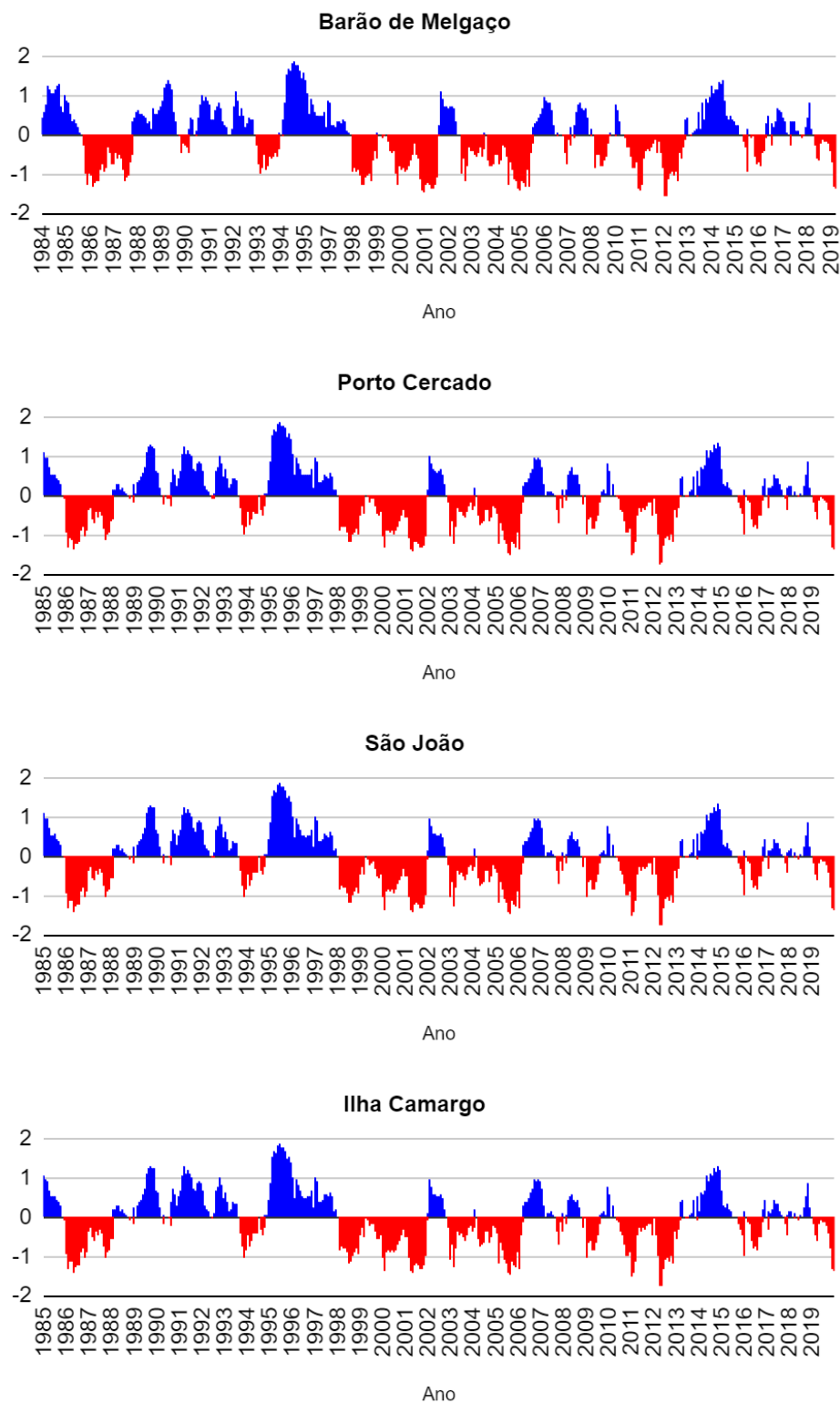
O evento de maior duração ocorreu entre abril de 2009 e março de 2013 (47 meses) na sub-bacia Fazenda Raizama, apresentando a segunda maior severidade registrada (-47,55). As maiores severidade (-50,71) e intensidade (-2,19) foram verificadas no evento ocorrido entre agosto de 2010 e março de 2013 na sub-bacia Marzagão. Nas sub-bacias Marzagão e Barão de Melgaço foram verificados sete eventos de seca, enquanto nas demais foram registrados oito eventos cada. Os eventos de seca identificados nestas sub-bacias e suas respectivas características são apresentados nas Tabelas 9, 10, 11, 12, 13 e 14.

Figura 6 - Série mensal SPEI-12 das sub-bacias de cabeceiras cujas estações fluviométricas encontram-se no Rio Cuiabá



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 7 - Série mensal SPEI-12 das sub-bacias cujas estações fluviométricas encontram-se no Rio Cuiabá



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 9 – Eventos de seca identificados na sub-bacia Marzagão (1985-2019)

Evento	Início	Fim	Duração (meses)	Severidade	Intensidade
1	setembro/1987	fevereiro/1988	5	-6,03	-1,30
2	novembro/1993	março/1994	4	-2,8	-1,13
3	junho/1998	dezembro/2001	42	-37,45	-1,53
4	abril/2009	janeiro/2010	9	-5,94	-1,11
5	agosto/2010	março/2013	31	-50,71	-2,19
6	dezembro/2015	janeiro/2016	1	-1,38	-1,38
7*	novembro/2019	dezembro/2019	2	-2,21	-1,13

Fonte: Elaborado pela autora. *Evento de seca em curso. Em destaque evento(s) com maior duração, severidade e/ou intensidade.

Tabela 10 – Eventos de seca identificados na sub-bacia Raizama (1985-2019)

Evento	Início	Fim	Duração (meses)	Severidade	Intensidade
1	abril/1986	dezembro/1986	8	-6,39	-1,06
2	novembro/1993	outubro/1994	11	-6,92	-1,20
3	junho/1998	março/1999	9	-6,8	-1,14
4	janeiro/2000	dezembro/2001	23	-18,63	-1,27
5	fevereiro/2005	abril/2006	15	-15,11	-1,50
6	abril/2009	março/2013	47	-47,55	-2,13
7	dezembro/2015	janeiro/2016	1	-1,24	-1,24
8*	fevereiro/2019	dezembro/2019	11	-9,73	-1,57

Fonte: Elaborado pela autora. *Evento de seca em curso. Em destaque evento(s) com maior duração, severidade e/ou intensidade.

Tabela 11 – Eventos de seca identificados na sub-bacia Barão de Melgaço (1985-2019)

Evento	Início	Fim	Duração (meses)	Severidade	Intensidade
1	janeiro/1986	fevereiro/1988	25	-21,62	-1,34
2	maio/1998	março/1999	10	-9,52	-1,26
3	janeiro/2000	janeiro/2002	24	-22,81	-1,44
4	fevereiro/2003	fevereiro/2004	12	-6,27	-1,17
5	fevereiro/2005	abril/2006	14	-14,65	-1,42
6	dezembro/2010	fevereiro/2013	27	-19,87	-1,58
7*	novembro/2019	dezembro/2019	2	-2,71	-1,36

Fonte: Elaborado pela autora. *Evento de seca em curso. Em destaque evento(s) com maior duração, severidade e/ou intensidade.

Tabela 12 – Eventos de seca identificados na sub-bacia Porto Cercado (1985-2019)

Evento	Início	Fim	Duração (meses)	Severidade	Intensidade
1	janeiro/1986	fevereiro/1988	25	-21,37	-1,39
2	novembro/1993	outubro/1994	11	-6,09	-1,00
3	junho/1998	março/1999	9	-7,45	-1,20
4	dezembro/1999	janeiro/2001	25	-23,77	-1,39
5	dezembro/2002	fevereiro/2004	14	-7,39	-1,21
6	fevereiro/2005	abril/2006	12	-14,92	-1,49
7	dezembro/2010	março/2013	27	-20,4	-1,74
8*	novembro/2019	dezembro/2019	2	-2,68	-1,35

Fonte: Elaborado pela autora. *Evento de seca em curso. Em destaque evento(s) com maior duração, severidade e/ou intensidade.

Tabela 13 – Eventos de seca identificados na sub-bacia São João (1985-2019)

Evento	Início	Fim	Duração (meses)	Severidade	Intensidade
1	janeiro/1986	fevereiro/1988	25	-20,59	-1,40
2	novembro/1993	outubro/1994	11	-5,98	-1,02
3	junho/1998	janeiro/2002	43	-33,21	-1,40
4	dezembro/2002	fevereiro/2004	14	-7,77	-1,25
5	fevereiro/2005	abril/2006	14	-14,44	-1,46
6	janeiro/2009	setembro/2009	8	-5,29	-1,02
7	dezembro/2010	março/2013	27	-20,07	-1,76
8*	novembro/2019	dezembro/2019	2	2,72	-1,37

Fonte: Elaborado pela autora. *Evento de seca em curso. Em destaque evento(s) com maior duração, severidade e/ou intensidade.

Tabela 14 – Eventos de seca identificados na sub-bacia Ilha Camargo (1985-2019)

Evento	Início	Fim	Duração (meses)	Severidade	Intensidade
1	janeiro/1986	fevereiro/1988	25	-20,44	-1,40
2	novembro/1993	outubro/1994	11	-5,97	-1,03
3	junho/1998	janeiro/2002	43	-33,15	-1,40
4	dezembro/2002	fevereiro/2004	14	-7,78	-1,26
5	fevereiro/2005	abril/2006	14	-14,34	-1,46
6	janeiro/2009	setembro/2009	8	-5,3	-1,03
7	dezembro/2010	março/2013	27	-20,01	-1,76
8*	novembro/2019	dezembro/2019	2	-2,72	-1,37

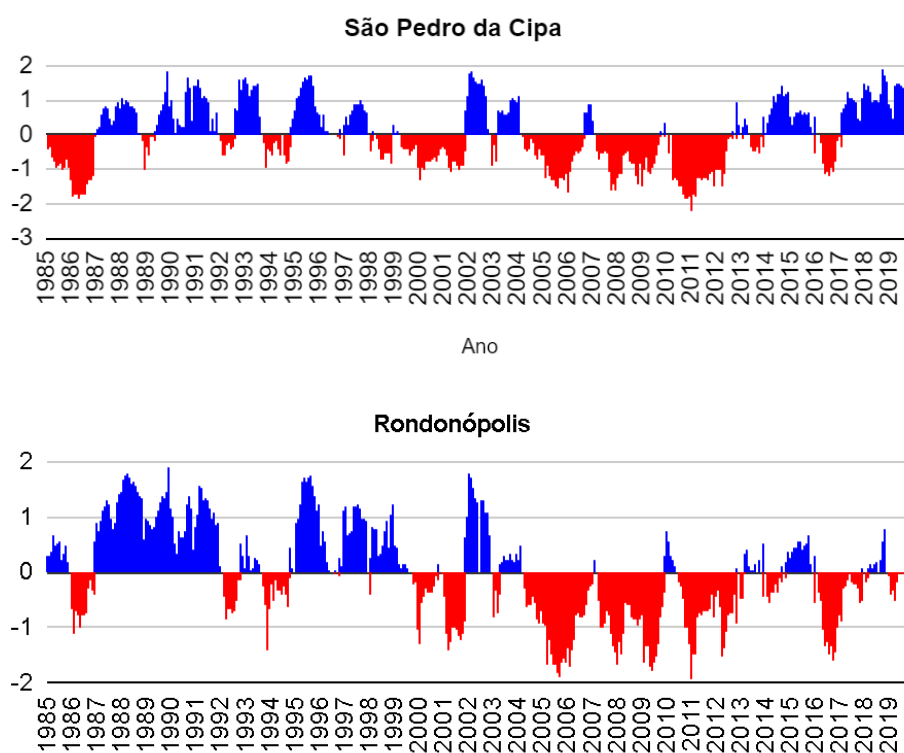
Fonte: Elaborado pela autora. *Evento de seca em curso. Em destaque evento(s) com maior duração, severidade e/ou intensidade.

Nas sub-bacias cujas estações fluviométricas estão situadas no Rio São Lourenço e afluentes (Figuras 8 e 9), o evento de maior duração ocorreu entre março de 2010 e setembro de 2012 (30 meses) na sub-bacia São Pedro da Cipa, apresentando ainda a maior severidade registrada (-37,92). Durante este evento de seca também foi verificado o maior valor do SPEI-12 registrado em toda a BHRC (-2,21, em dezembro de 2010). A sub-bacia São Pedro da Cipa

apresentou 6 eventos de seca, a menor quantidade registrada em toda a BHRC. Por outro lado, a sub-bacia Rondonópolis apresentou a maior quantidade de eventos registrados (9). As demais sub-bacias apresentaram 7 e 8 eventos de seca. Chama atenção o fato de os eventos de maiores durações e severidade em cada sub-bacia ocorrerem de forma consecutiva, entre os anos 2007 e 2009, e 2010 e 2012.

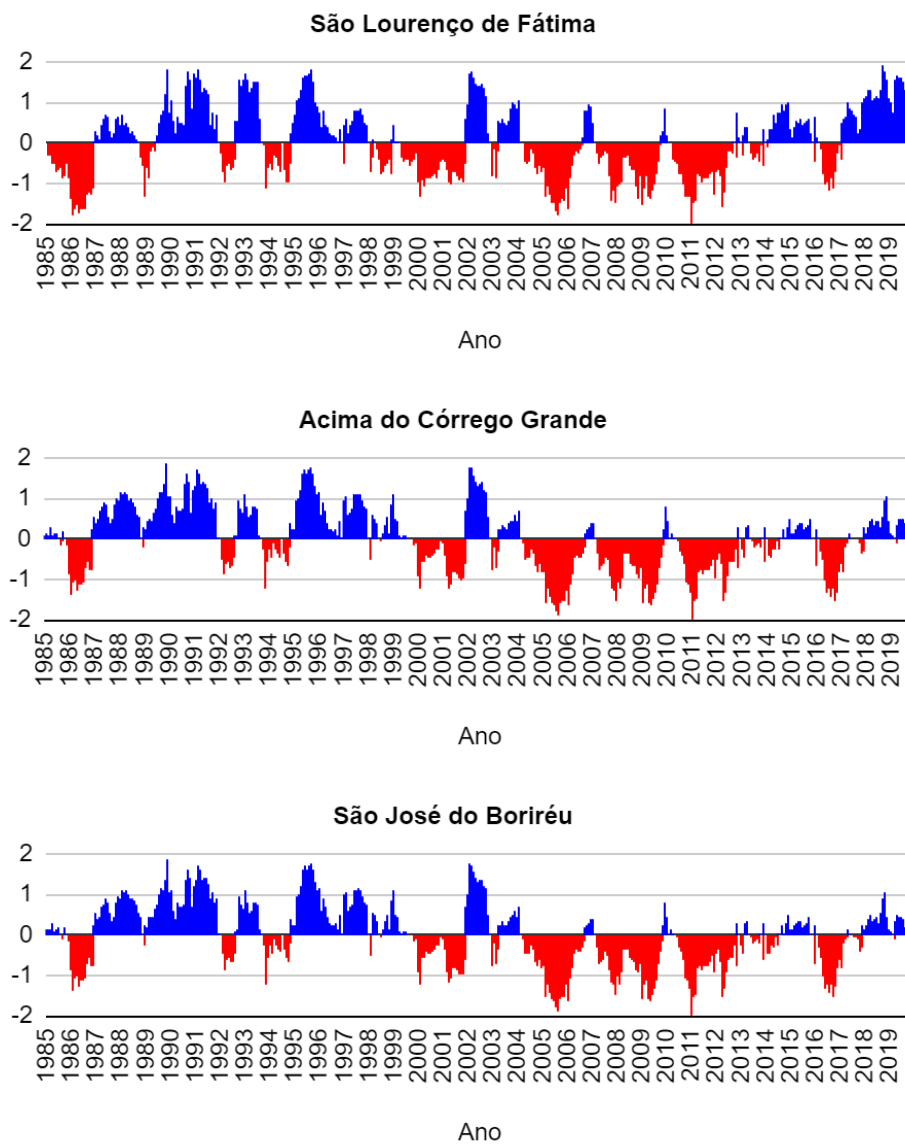
Nestas sub-bacias, apesar de o SPEI-12 apresentar valores negativos ao final da série temporal (2019), apenas na sub-bacia Rondonópolis eles chegaram a caracterizar um evento de seca. Os eventos de seca identificados nestas sub-bacias e suas respectivas características são apresentados nas Tabelas 15, 16, 17, 18 e 19.

Figura 8 - Série mensal SPEI-12 das sub-bacias de cabeceira cujas estações fluviométricas encontram-se no Rio São Lourenço e afluentes



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 9 - Série mensal SPEI-12 das sub-bacias cujas estações fluviométricas encontram-se no Rio São Lourenço e afluentes



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 15 – Eventos de seca identificados na sub-bacia São Pedro da Cipa (1985-2019)

Evento	Início	Fim	Duração (meses)	Severidade	Intensidade
1	agosto/1985	janeiro/1987	17	-22,72	-1,83
2	janeiro/2000	dezembro/2001	23	-18,14	-1,32
3	fevereiro/2005	outubro/2006	20	-20,29	-1,69
4	setembro/2007	novembro/2009	26	-25,26	-1,63
5	março/2010	setembro/2012	30	-37,92	-2,21
6	maio/2016	fevereiro/2017	9	-6,8	-1,19

Fonte: Elaborado pela autora. *Evento de seca em curso. Em destaque evento(s) com maior duração, severidade e/ou intensidade.

Tabela 16 – Eventos de seca identificados na sub-bacia Rondonópolis (1985-2019)

Evento	Início	Fim	Duração (meses)	Severidade	Intensidade
1	janeiro/1986	novembro/1986	11	-7,08	-1,13
2	novembro/1993	outubro/1994	12	-5,41	-1,41
3	dezembro/1999	outubro/2000	11	-5,14	-1,28
4	fevereiro/2001	novembro/2001	10	-11,25	-1,40
5	fevereiro/2005	dezembro/2006	23	-27,31	-1,89
6	setembro/2007	novembro/2009	27	-30,38	-1,77
7	setembro/2010	outubro/2012	26	-23,57	-1,94
8	abril/2016	novembro/2017	20	-14,89	-1,61
9*	novembro/2019	dezembro/2019	2	-2,05	-1,06

Fonte: Elaborado pela autora. *Evento de seca em curso. Em destaque evento(s) com maior duração, severidade e/ou intensidade.

Tabela 17 – Eventos de seca identificados na sub-bacia São Lourenço de Fátima (1985-2019)

Evento	Início	Fim	Duração (meses)	Severidade	Intensidade
1	dezembro/1985	dezembro/1986	12	-18	-1,79
2	dezembro/1988	junho/1989	6	-3,39	-1,32
3	novembro/1993	novembro/1994	12	-8,04	-1,12
4	janeiro/2000	dezembro/2001	23	-18,64	-1,30
5	fevereiro/2005	setembro/2006	19	-19,67	-1,78
6	outubro/2007	outubro/2009	25	-23,31	-1,54
7	agosto/2010	setembro/2012	25	-24,44	-1,98
8	maio/2016	fevereiro/2017	9	-6,7	-1,17

Fonte: Elaborado pela autora. *Evento de seca em curso. Em destaque evento(s) com maior duração, severidade e/ou intensidade.

Tabela 18 – Eventos de seca identificados na sub-bacia Acima do Córrego Grande (1985-2019)

Evento	Início	Fim	Duração (meses)	Severidade	Intensidade
1	janeiro/1986	dezembro/1986	11	-10,89	-1,36
2	novembro/1993	novembro/1994	12	-5,63	-1,25
3	janeiro/2000	dezembro/2001	23	-15,11	-1,23
4	fevereiro/2005	outubro/2006	20	-23,13	-1,88
5	outubro/2007	dezembro/2009	26	-25,39	-1,64
6	setembro/2010	outubro/2012	26	-25,53	-1,98
7	abril/2016	abril/2017	13	-11,73	-1,53

Fonte: Elaborado pela autora. *Evento de seca em curso. Em destaque evento(s) com maior duração, severidade e/ou intensidade.

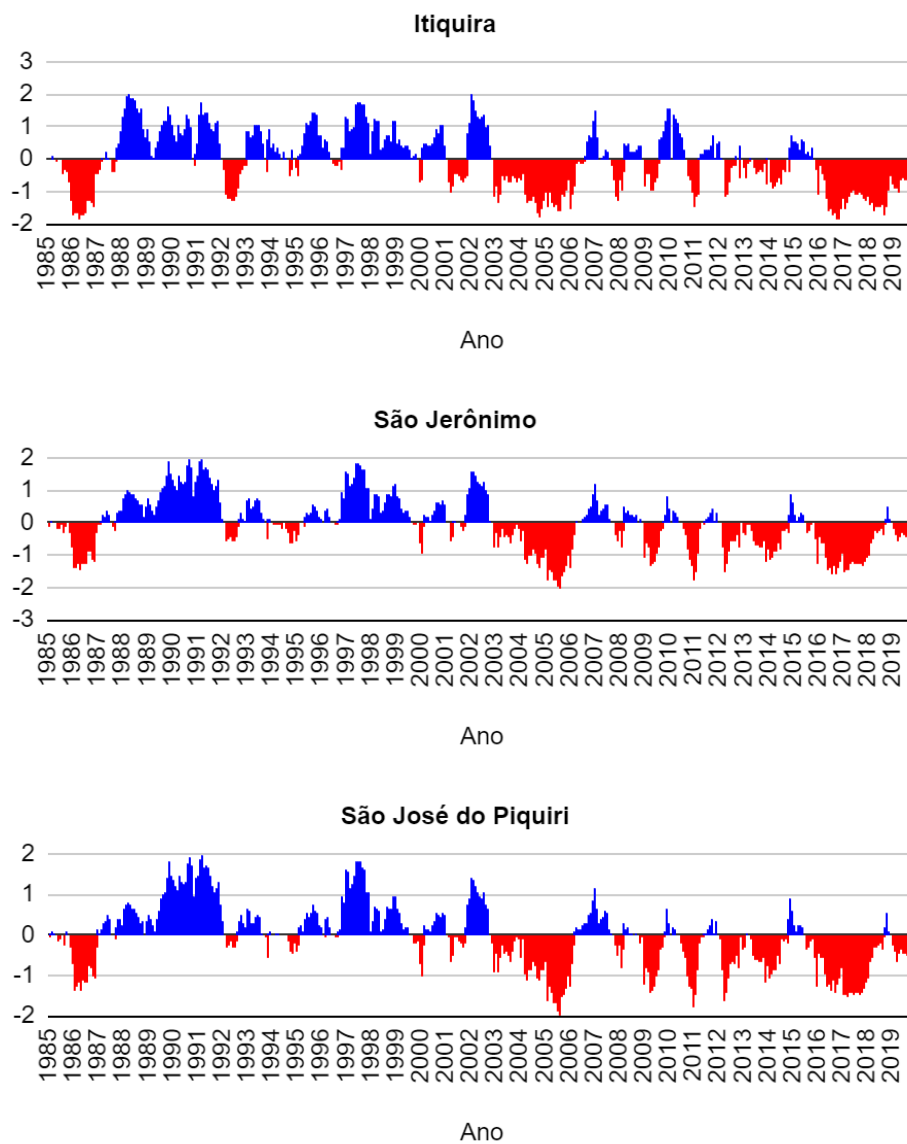
Tabela 19 – Eventos de seca identificados na sub-bacia São José do Boriréu (1985-2019)

Evento	Início	Fim	Duração (meses)	Severidade	Intensidade
1	janeiro/1986	dezembro/1986	11	-10,92	-1,37
2	novembro/1993	novembro/1994	12	-5,56	-1,24
3	janeiro/2000	dezembro/2001	23	-14,97	-1,23
4	fevereiro/2005	outubro/2006	20	-22,71	-1,88
5	outubro/2007	dezembro/2009	26	-25,16	-1,63
6	setembro/2010	novembro/2012	26	-23,69	-1,98
7	abril/2016	maio/2017	13	-11,76	-1,53

Fonte: Elaborado pela autora. *Evento de seca em curso. Em destaque evento(s) com maior duração, severidade e/ou intensidade.

Em relação às sub-bacias cujas estações fluviométricas estão situadas nos Rios Piquiri e Itiquira (Figura 10), o evento de maior duração foi registrado na sub-bacia Itiquira, tendo iniciado em dezembro de 2015 e se estendido até o final da série, totalizando 49 meses de duração. No entanto, muito provavelmente o evento continuou a ocorrer tendo sido contabilizado até a data em questão em virtude do recorte temporal realizado no estudo. Este evento caracteriza-se como o de maior duração de toda a BHRC, apresentando ainda a maior severidade (-57,94). As sub-bacias Itiquira e São José do Piquiri apresentaram a maior quantidade de eventos de seca registrados (9) em toda a BHRC. Os eventos de seca identificados nestas sub-bacias e suas respectivas características são apresentados nas Tabelas 20, 21 e 22.

Figura 10 - Série mensal SPEI-12 das sub-bacias cujas estações fluviométricas encontram-se nos Rios Piquiri e Itiquira



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 20 – Eventos de seca identificados na sub-bacia Itiquira (1985-2019)

Evento	Início	Fim	Duração (meses)	Severidade	Intensidade
1	dezembro/1985	abril/1987	16	-20,37	-1,85
2	março/1992	fevereiro/1993	11	-9,45	-1,32
3	março/2001	dezembro/2001	9	-5,88	-1,04
4	dezembro/2002	setembro/2006	45	-44,34	-1,77
5	novembro/2007	abril/2008	5	-4,47	-1,26
6	maio/2009	setembro/2009	4	-2,5	-1,00
7	novembro/2010	março/2011	4	-4,81	-1,48
8	março/2012	setembro/2012	6	-3,75	-1,16
9*	dezembro/2015	dezembro/2019	49	-57,94	-1,89

Fonte: Elaborado pela autora. *Evento de seca em curso. Em destaque evento(s) com maior duração, severidade e/ou intensidade.

Tabela 21 – Eventos de seca identificados na sub-bacia São Jerônimo (1985-2019)

Evento	Início	Fim	Duração (meses)	Severidade	Intensidade
1	janeiro/1986	março/1987	14	-14,01	-1,48
2	março/2004	maio/2006	26	-32,48	-2,04
3	janeiro/2009	novembro/2009	10	-8,67	-1,36
4	outubro/2010	junho/2011	8	-7	-1,78
5	março/2012	novembro/2012	8	-6,7	-1,53
6	novembro/2013	novembro/2014	12	-8,58	-1,20
7	dezembro/2015	outubro/2018	34	-34,69	-1,61
8*	outubro/2019	dezembro/2019	3	-4,09	-1,60

Fonte: Elaborado pela autora. *Evento de seca em curso. Em destaque evento(s) com maior duração, severidade e/ou intensidade.

Tabela 22 – Eventos de seca identificados na sub-bacia São José do Piquiri (1985-2019)

Evento	Início	Fim	Duração (meses)	Severidade	Intensidade
1	janeiro/1986	janeiro/1987	12	-12,74	-1,36
2	janeiro/2000	março/2000	2	-1,28	-1,02
3	abril/2004	abril/2006	24	-28,3	-1,97
4	janeiro/2009	dezembro/2009	11	-9,71	-1,43
5	setembro/2010	junho/2011	9	-8,18	-1,78
6	março/2012	março/2013	12	-8,35	-1,64
7	novembro/2013	novembro/2014	12	-7,65	-1,18
8	dezembro/2015	outubro/2018	34	-34,5	-1,52
9*	outubro/2019	dezembro/2019	3	-4,17	-1,60

Fonte: Elaborado pela autora. *Evento de seca em curso. Em destaque evento(s) com maior duração, severidade e/ou intensidade.

Além da existência de eventos de seca, o SPEI-12 demonstra a ocorrência de períodos com chuva em excesso, em todas as sub-bacias, geralmente de menor duração quando comparados com os eventos de seca. Um comparativo dos eventos de seca por sub-bacia e por ano hidrológico avaliado é apresentado no Quadro 1, disponibilizado no Apêndice A.

5.3 Separação dos impactos causados por mudanças do clima e por mudanças no uso do solo

Para a aplicação do método de decomposição da curva de Budyko foram empregadas médias móveis de 10 anos das variáveis Precipitação, Evapotranspiração potencial e Vazão. A partir destes foi possível calcular os valores referentes aos Índices Evaporativo (IE) e de Aridez (IA) para cada uma das sub-bacias., apresentados na Figura 10.

A precipitação média anual e a vazão média anual para cada sub-bacia são apresentadas na Tabela 23.

As Figuras 11, 12, 13 e 14 apresentam um comparativo entre os valores de IE e IA observados e as alterações verificadas nas classes de uso e ocupação do solo para cada sub-bacia.

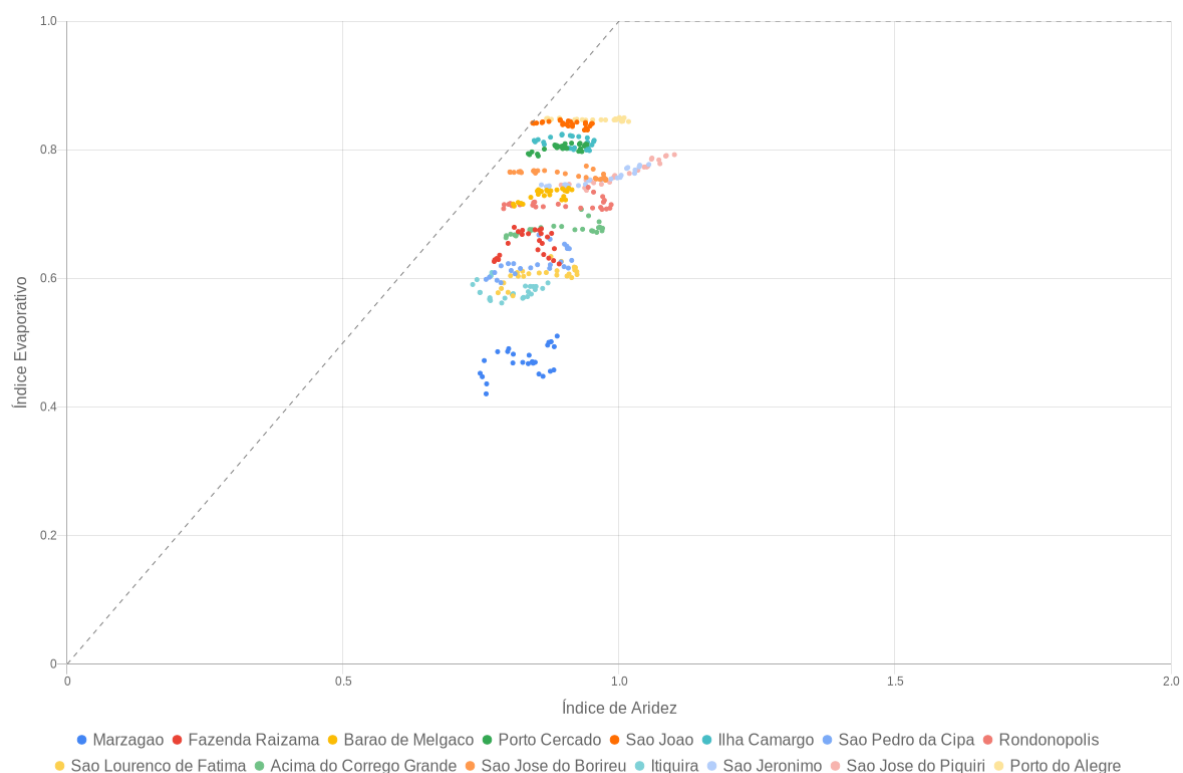
Tabela 23 – Área de drenagem de cada sub-bacia (km²), precipitação média anual (mm) e vazão média anual (mm), considerando dados de 1985 a 2019

Sub-bacia	Área de drenagem (km²)	Precipitação média anual (mm)	Vazão média anual (mm)
Marzagão	2.300	1.680,23	898,72
Fazenda Raizama	9.488	1.656,77	591,43
Barão de Melgaço	28.871	1.606,53	431,29
Porto Cercado	36.894	1.560,64	316,78
São João	38.805	1.545,55	243,26
Ilha Camargo	39.278	1.540,06	302,87
São Pedro da Cipa	3.204	1.631,07	611,94
Rondonópolis	12.311	1.548,35	424,03
São Lourenço de Fátima	6.970	1.604,41	637,76
Acima do Córrego Grande	23.050	1.552,36	490,57
São José do Boriréu	23.787	1.541,35	357,25
Itiquira	2.904	1.664,56	679,51
São Jerônimo	23.493	1.469,73	351,52
São José do Piquiri	29.543	1.415,66	342,64
Porto do Alegre	102.498	1.470,29	224,09

Fonte: Elaborado pela autora.

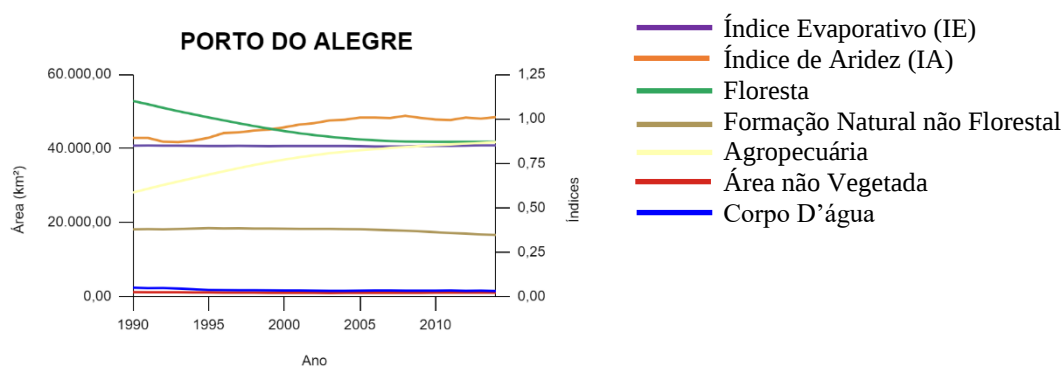
Para o início do período, os resultados obtidos indicaram índice de aridez menor que 1 para todas as sub-bacias. No entanto, ao longo do tempo, o índice de aridez nas sub-bacias, Porto do Alegre, São Jerônimo e São José do Piquiri atingiu valores superiores a 1, ou seja, as condições tornaram-se mais áridas nessas sub-bacias. Assim, o fator limitante para a evapotranspiração deixou de ser o suprimento de energia (evapotranspiração potencial) para ser o abastecimento de água (precipitação).

Figura 11 – Índice Evaporativo e índice de aridez para cada uma das sub-bacias analisadas



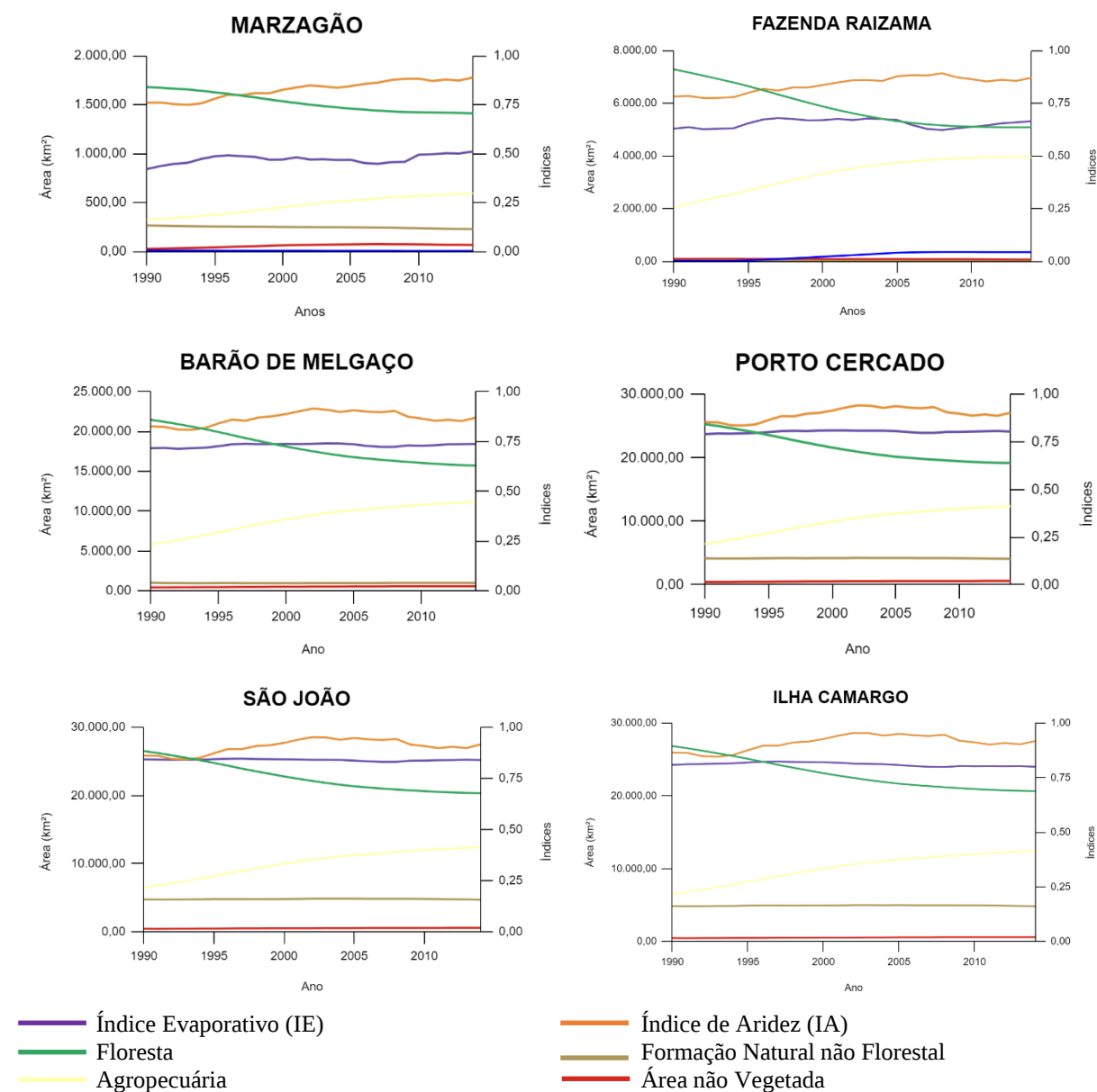
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 12 – Variação das médias móveis de 10 anos dos índices evaporativo e de aridez e os principais grupos de classes de uso do solo para a sub-bacia Porto do alegre, exutório da BHRC



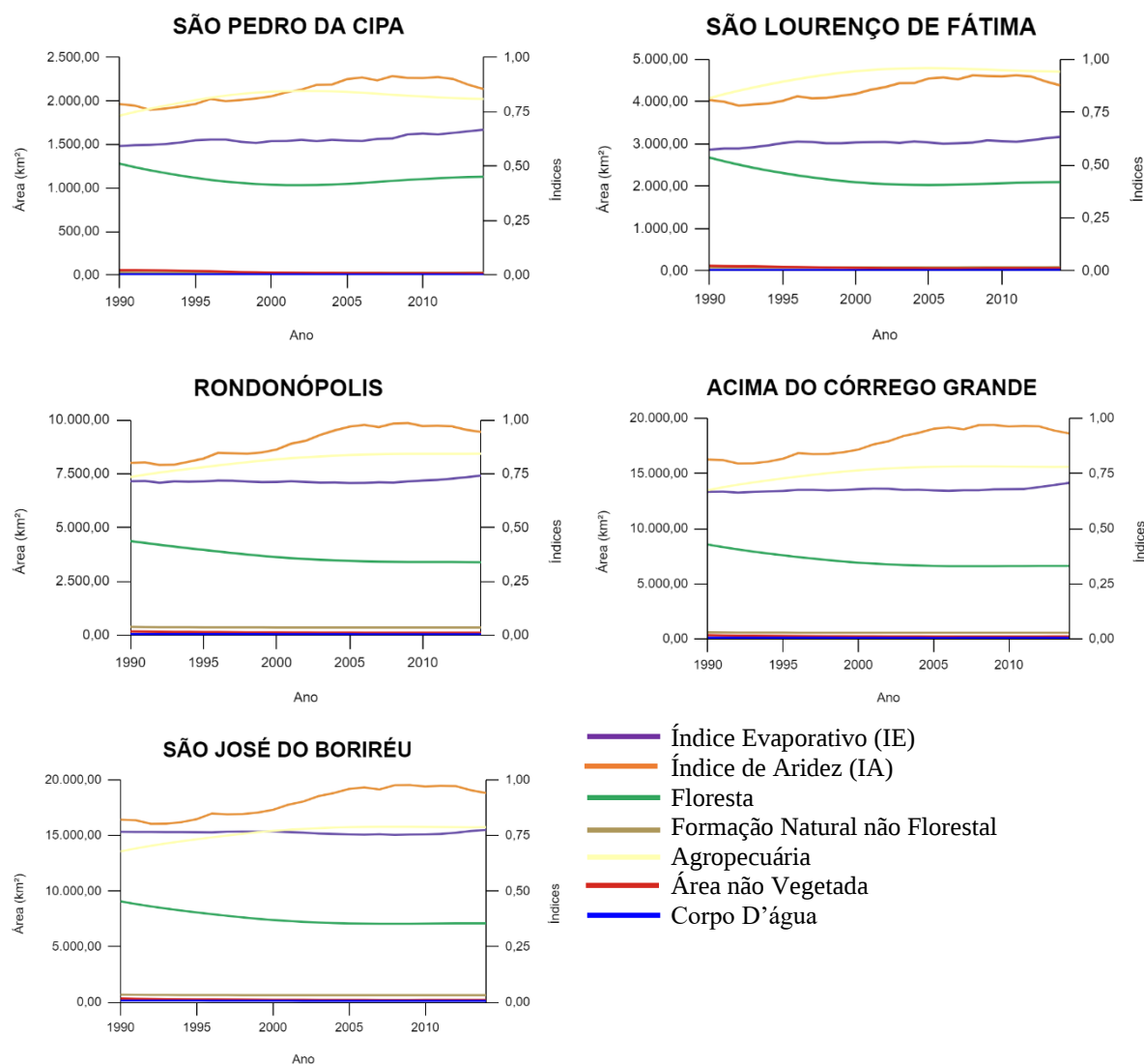
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 13 – Variação das médias móveis de 10 anos dos índices evaporativo e de aridez e os principais grupos de classes de uso do solo para as sub-bacias cujas estações fluviométricas estão localizadas no Rio Cuiabá



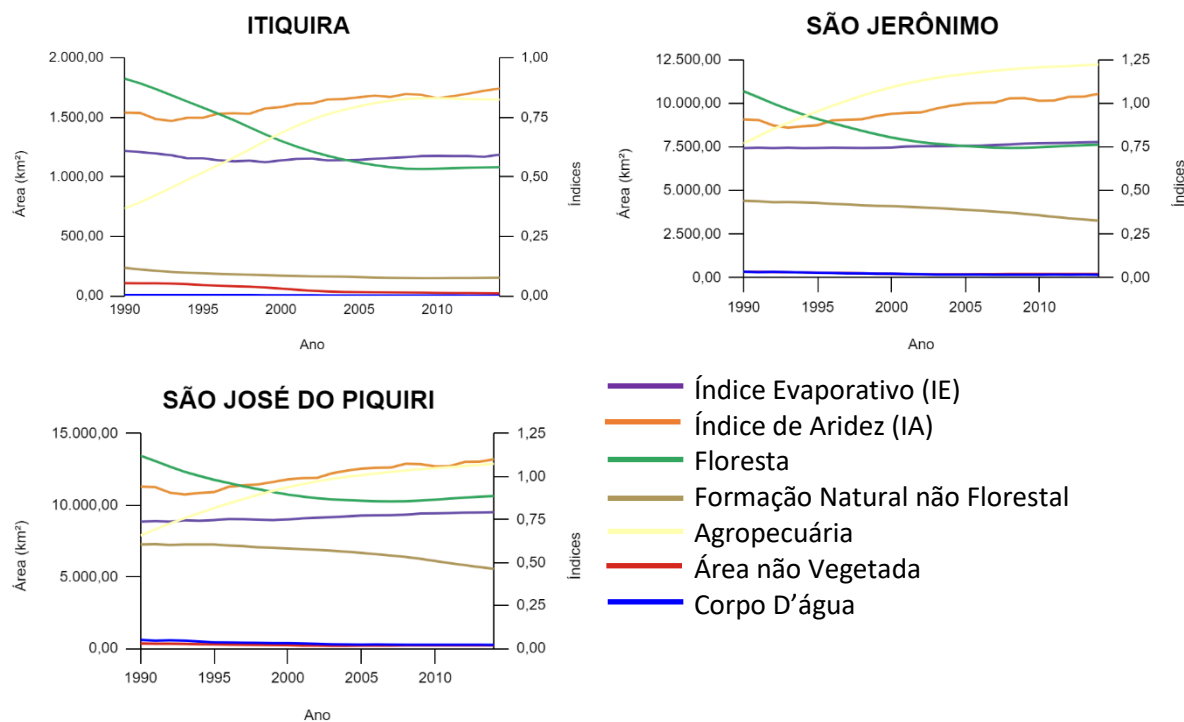
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 14 – Variação das médias móveis de 10 anos dos índices evaporativo e de aridez e os principais grupos de classes de uso do solo para as sub-bacias cujas estações fluviométricas estão localizadas no Rio São Lourenço e seus afluentes



Fonte: Elaborado pela autora

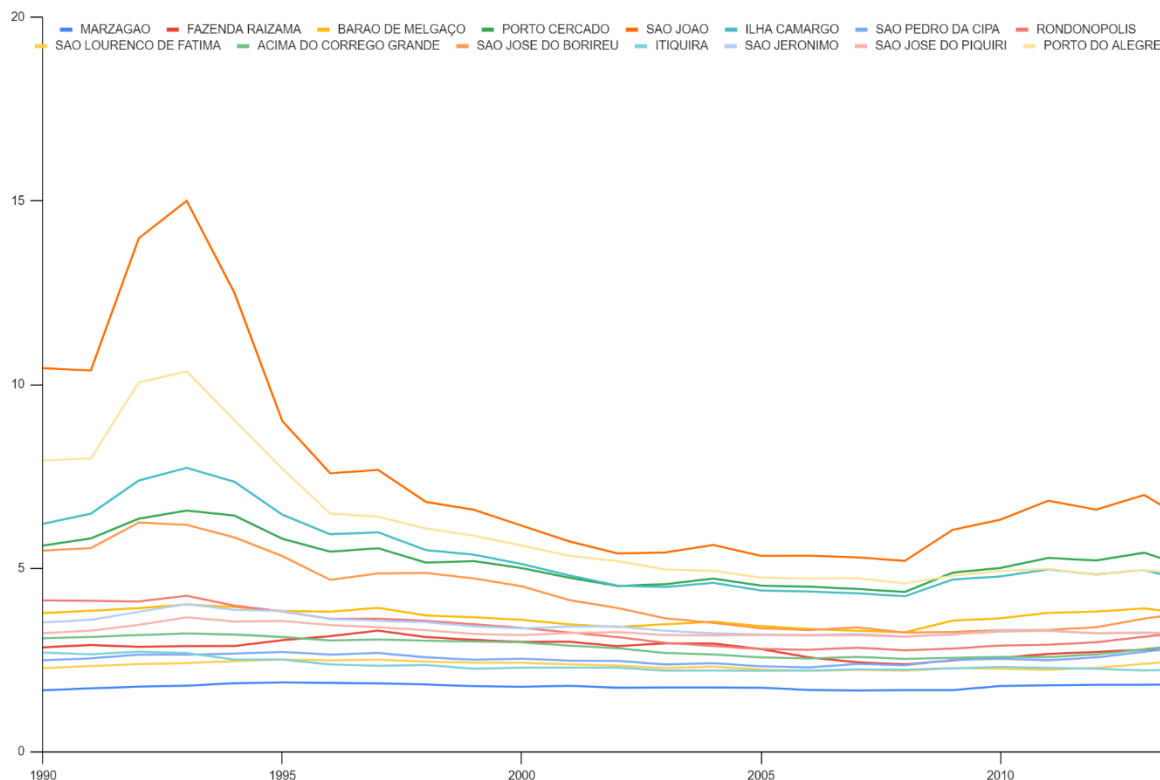
Figura 15 – Variação das médias móveis de 10 anos dos índices evaporativo e de aridez e os principais grupos de classes de uso do solo para as sub-bacias cujas estações fluviométricas estão localizadas nos Rios Piquiri e Itiquira



Fonte: Elaborado pela autora

Com os valores de IE e IA definidos, aplicou-se a equação 2 para a obtenção do parâmetro w . A variação temporal do parâmetro w estimado para cada sub-bacia é apresentada na Figura 16.

Figura 16 – Variação das médias móveis de 10 anos do parâmetro w de cada sub-bacia estimado a partir dos valores dos índices evaporativo e de aridez



Fonte: Elaborado pela autora.

A partir dos valores de w , aplicou-se a regressão linear proposta por Jiang et al. (2015), na qual foram utilizadas como variáveis explicativas relacionadas ao clima a precipitação e a temperatura máxima e como variável explicativa relacionada a fatores antropogênicos a classe de uso do solo agropecuária. As variáveis precipitação e temperatura máxima foram escolhidas em função da influência das mudanças climáticas sobre elas, demonstrada em diversos estudos. Já a agropecuária foi a variável antropogênica escolhida em função de ser a única classe de uso do solo que apresentou crescimento em todas as bacias analisadas, além da importância que essa atividade apresenta na região.

As equações 7.1 a 7.15 consideram variações da média móvel de 10 anos de áreas com atividade agropecuária ($\overline{Agro}$), da precipitação anual ($\overline{Prec}$) e da média anual da temperatura máxima ($\overline{T_{max}}$) como variáveis explicativas para variações no parâmetro w . As variáveis foram normalizadas pelas suas médias gerais ($\overline{Agro}$, $\overline{Prec}$ e $\overline{T_{max}}$). Assim, foram estimadas as seguintes equações para cada sub-bacia:

$$w_{\text{marzagao}} = 1,7728 - 0,2008 \times \ln \frac{\text{Agro}}{\text{Agro}} - 1,8593 \times \ln \frac{\text{Prec}}{\text{Prec}} + 1,5212 \times \ln \frac{T_{\text{max}}}{T_{\text{max}}} \quad (7.1)$$

$$w_{\text{fazenda raizama}} = 2,9414 - 0,0917 \times \ln \frac{\text{Agro}}{\text{Agro}} + 1,0218 \times \ln \frac{\text{Prec}}{\text{Prec}} - 6,0496 \times \ln \frac{T_{\text{max}}}{T_{\text{max}}} \quad (7.2)$$

$$w_{\text{barao de melgaço}} = 3,6448 - 0,5938 \times \ln \frac{\text{Agro}}{\text{Agro}} + 6,8036 \times \ln \frac{\text{Prec}}{\text{Prec}} - 3,0451 \times \ln \frac{T_{\text{max}}}{T_{\text{max}}} \quad (7.3)$$

$$w_{\text{porto cercado}} = 4,9776 - 1,4149 \times \ln \frac{\text{Agro}}{\text{Agro}} + 24,4042 \times \ln \frac{\text{Prec}}{\text{Prec}} - 15,8054 \times \ln \frac{T_{\text{max}}}{T_{\text{max}}} \quad (7.4)$$

$$w_{\text{são joão}} = 6,4969 - 6,5508 \times \ln \frac{\text{Agro}}{\text{Agro}} + 99,1850 \times \ln \frac{\text{Prec}}{\text{Prec}} - 66,0121 \times \ln \frac{T_{\text{max}}}{T_{\text{max}}} \quad (7.5)$$

$$w_{\text{ilha camargo}} = 4,9255 - 2,4918 \times \ln \frac{\text{Agro}}{\text{Agro}} + 31,5564 \times \ln \frac{\text{Prec}}{\text{Prec}} - 26,8540 \times \ln \frac{T_{\text{max}}}{T_{\text{max}}} \quad (7.6)$$

$$w_{\text{são pedro da cipa}} = 0,2136 + 3,7060 \times \ln \frac{\text{Agro}}{\text{Agro}} + 4,2039 \times \ln \frac{\text{Prec}}{\text{Prec}} + 2,4983 \times \ln \frac{T_{\text{max}}}{T_{\text{max}}} \quad (7.7)$$

$$w_{\text{rondonópolis}} = 3,5066 - 3,4534 \times \ln \frac{\text{Agro}}{\text{Agro}} + 7,4059 \times \ln \frac{\text{Prec}}{\text{Prec}} + 2,5406 \times \ln \frac{T_{\text{max}}}{T_{\text{max}}} \quad (7.8)$$

$$w_{\text{s. l. de fátima}} = 2,3566 + 1,3755 \times \ln \frac{\text{Agro}}{\text{Agro}} + 3,7979 \times \ln \frac{\text{Prec}}{\text{Prec}} + 0,0807 \times \ln \frac{T_{\text{max}}}{T_{\text{max}}} \quad (7.9)$$

$$w_{\text{ac. córrego grande}} = 2,9071 + 0,7748 \times \ln \frac{\text{Agro}}{\text{Agro}} + 6,2331 \times \ln \frac{\text{Prec}}{\text{Prec}} + 1,2503 \times \ln \frac{T_{\text{max}}}{T_{\text{max}}} \quad (7.10)$$

$$w_{\text{são josé do boriréu}} = 4,5233 - 4,5310 \times \ln \frac{\text{Agro}}{\text{Agro}} + 18,0467 \times \ln \frac{\text{Prec}}{\text{Prec}} + 1,0056 \times \ln \frac{T_{\text{max}}}{T_{\text{max}}} \quad (7.11)$$

$$w_{\text{itiquira}} = 2,3271 - 0,5663 \times \ln \frac{\text{Agro}}{\text{Agro}} + 2,2408 \times \ln \frac{\text{Prec}}{\text{Prec}} + 0,4390 \times \ln \frac{T_{\text{max}}}{T_{\text{max}}} \quad (7.12)$$

$$w_{\text{são jerônimo}} = 3,3786 - 0,4061 \times \ln \frac{\text{Agro}}{\text{Agro}} + 7,6993 \times \ln \frac{\text{Prec}}{\text{Prec}} + 1,0639 \times \ln \frac{T_{\text{max}}}{T_{\text{max}}} \quad (7.13)$$

$$w_{\text{são josé do piquiri}} = 3,2685 + 0,2056 \times \ln \frac{\text{Agro}}{\text{Agro}} + 5,7581 \times \ln \frac{\text{Prec}}{\text{Prec}} + 1,9400 \times \ln \frac{T_{\text{max}}}{T_{\text{max}}} \quad (7.14)$$

$$w_{\text{porto do alegre}} = 5,9897 - 2,5050 \times \ln \frac{\text{Agro}}{\text{Agro}} + 56,2176 \times \ln \frac{\text{Prec}}{\text{Prec}} - 7,1252 \times \ln \frac{T_{\text{max}}}{T_{\text{max}}} \quad (7.15)$$

A Tabela 24 apresenta as estatísticas de performance das equações 7, bem como os respectivos valores de AICc. O RMSE indica variações entre 0,05 e 0,76; PBIAS indica subestimativa de até 8,10% na sub-bacia São José do Piquiri e superestimativa de até 8,48% na sub-bacia São João; R² indica pior performance nas sub-bacias Marzagão, Fazenda Raizama, Barão de Melgaço, São Pedro da Cipa e São Lourenço de Fátima, com valores abaixo de 0,7 indicando que provavelmente outras variáveis tiveram maior influência nessas sub-bacias. As

demais sub-bacias apresentaram coeficiente de determinação acima de 0,82.

Tabela 24 – Estatísticas para as equações estimadas para o parâmetro w de cada sub-bacia

Sub-bacia	RMSE	PBIAS	R ²	AICc
Marzagão	0,06	-1,00	0,13	-305,08
Fazenda Raizama	0,17	1,94	0,35	-197,41
Barão de Melgaço	0,12	1,26	0,63	-229,97
Porto Cercado	0,21	-2,04	0,88	-179,44
São João	0,76	8,48	0,92	-52,38
Ilha Camargo	0,27	-1,25	0,92	-154,08
São Pedro da Cipa	0,10	1,26	0,44	-253,78
Rondonópolis	0,06	-5,85	0,97	-292,73
São Lourenço de Fátima	0,05	1,35	0,65	-310,17
Acima do Córrego Grande	0,05	-1,49	0,94	-318,45
São José do Boriréu	0,14	-2,31	0,97	-215,84
Itiquira	0,04	3,77	0,94	-346,76
São Jerônimo	0,05	1,86	0,95	-324,42
São José do Piquiri	0,05	-8,10	0,82	-309,34
Porto do Alegre	0,37	1,16	0,95	-124,73

Fonte: Elaborado pela autora.

Definidas as equações do parâmetro w para cada sub-bacia, foi possível quantificar a variação no escoamento ocorrida em função da variação no índice de aridez (ΔQ_{c1}) e devido a alterações ocorridas no parâmetro w que podem ter sido ocasionadas tanto pelas variações climáticas (ΔQ_{c2}) quanto pela variação em áreas de agropecuária (ΔQ_h). Essas variações são apresentadas nas Figuras 17, 18, 19 e 20 onde também é visualizada a variação observada no deflúvio (ΔQ). No eixo x encontra-se o ano central da janela da média móvel e no eixo y a

variação do deflúvio anual em médias móveis de 10 anos, tendo como base os valores referentes à primeira média móvel (de 1985 a 1995).

Todas as sub-bacias apresentaram variações no deflúvio influenciadas em maior ou menor grau pelas mudanças climáticas, pela influência do clima no parâmetro w e pelas atividades antropogênicas. As maiores reduções do deflúvio observado no período ocorreram em 2014 na sub-bacia Marzagão com variação de 163,23mm e 2012 na sub-bacia São Pedro da Cipa, com variação de 144,74 mm. Os maiores aumentos de deflúvio ocorreram em Itiquira em 1998, com aumento de 82,93 mm e São João, em 2007, com aumento de 18,66 mm.

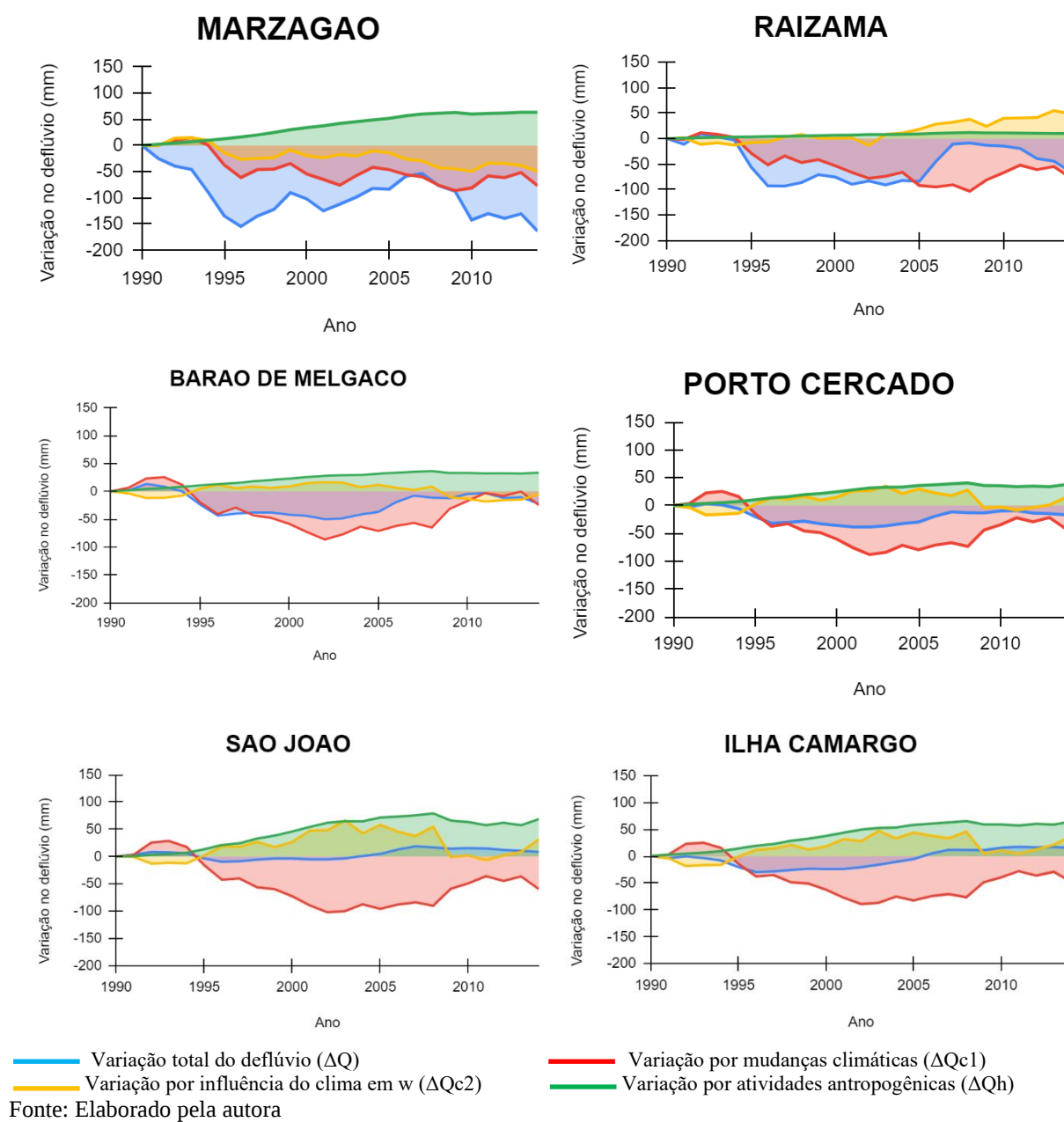
Nas sub-bacias cujas estações fluviométricas encontram-se no Rio Cuiabá foi possível verificar uma redução nas vazões de cabeceira (Marzagão e Fazenda Raizama) influenciadas principalmente pelas mudanças climáticas.

Na sub-bacia Marzagão as atividades antropogênicas resultaram em aumento da vazão, enquanto as mudanças climáticas e as alterações do parâmetro w devido ao clima provocaram redução da vazão. No entanto, as variações totais obtidas pela decomposição do método de Budyko (-62 mm) ficaram aquém da variação total observada (-163 mm). Isso deve-se principalmente ao fato de esta sub-bacia apresentar o pior ajuste para as equações do parâmetro w utilizando as variáveis explicativas relacionadas à temperatura máxima, precipitação e agropecuária ($R^2 = 0,13$). Muito provavelmente outras variáveis apresentam maior influência no parâmetro w nesta sub-bacia. Importante ressaltar que esta sub-bacia registrou o evento com maior severidade registrada em toda a BHRC (2010-2013). Além disso, apesar do aumento da área relacionada à agropecuária, as áreas não vegetadas foram o grupo de classes de uso e cobertura do solo com a maior variação no período (56 km², aumento de 430,81%).

Na sub-bacia Fazenda Raizama a influência das atividades antropogênicas foi muito menor que a verificada na sub-bacia Marzagão. A partir de 2003 (média móvel de 1998 a 2008) é possível observar um aumento de vazão influenciada pelas alterações do clima no parâmetro w . Além disso, a redução observada que apresentou certa estacionariedade até então também foi amenizada, voltando a crescer no final da série. Esse período coincide com a construção e entrada em operação da Usina de Manso, que atende ao conceito de usos múltiplos, tendo sido projetada inicialmente para reduzir as cheias em Cuiabá em virtude da grande enchente ocorrida em março de 1974 na capital e em municípios que hoje integram a região metropolitana de Cuiabá e seu entorno (FURNAS, 2024; Valentini et al, 2011). Apesar de as obras do aproveitamento terem sido iniciadas ainda em 1988, elas ficaram paralisadas até 1998 e a usina entrou em operação apenas no ano 2000 (Valentini et al, 2011). O grupo de classes de uso do

solo corpo d'água foi o que teve maior variação (322,12 km², aumento de 1.985,99%) na sub-bacia justamente em virtude da Usina. Além disso, nesta sub-bacia a equação do parâmetro w também apresentou baixo coeficientes de determinação ($R^2 = 0,35$). Dessa forma, estudos mais aprofundados são necessários para entender a influência de outras variáveis na sub-bacia.

Figura 17 – Variações no deflúvio das sub-bacias localizadas no Rio Cuiabá



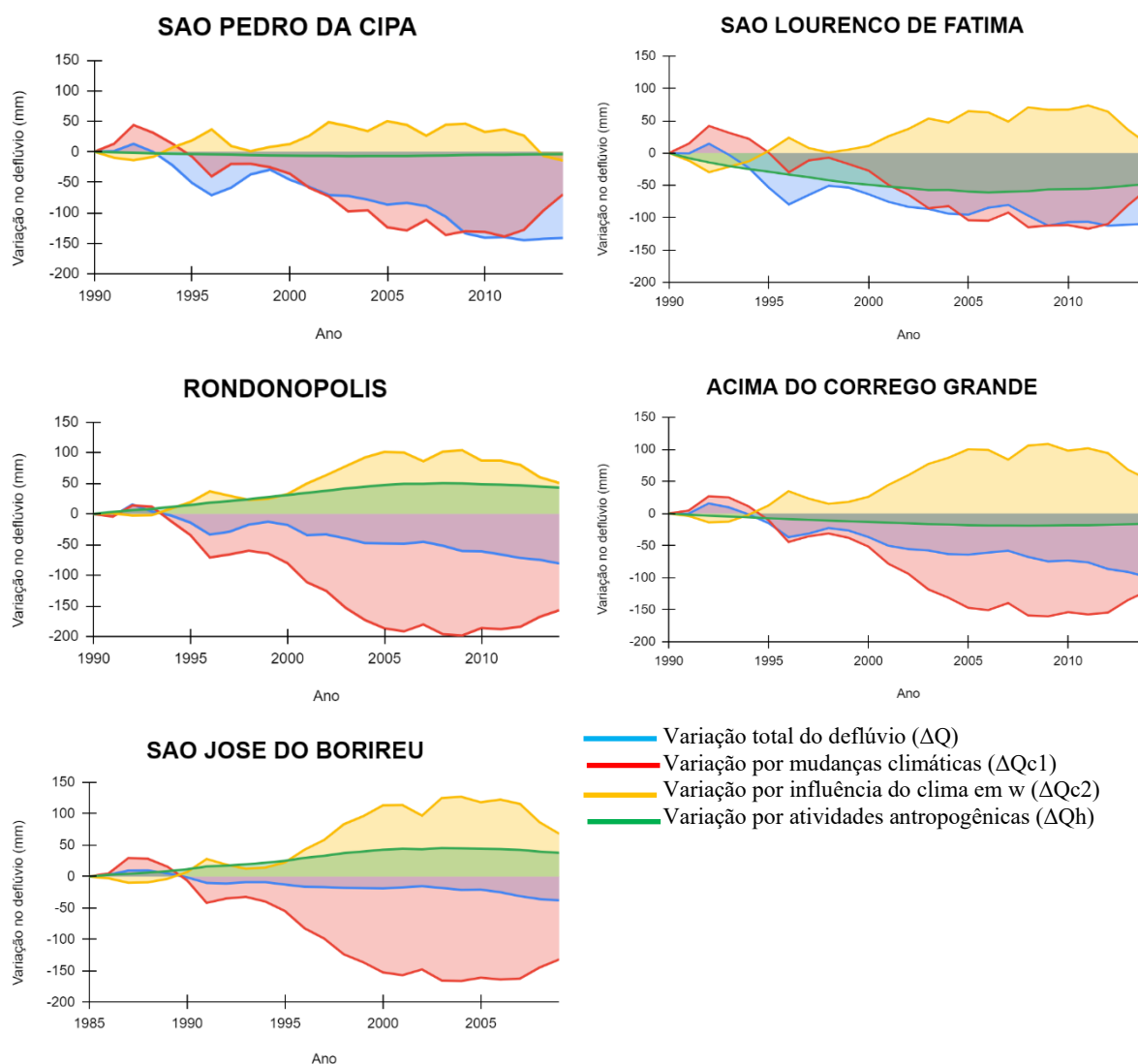
As sub-bacias a jusante apresentaram comportamento similar entre si com aumentos no deflúvio influenciados pelas atividades agropecuárias e pelas alterações do clima no

parâmetro w e reduções influenciadas pelas mudanças climáticas. De modo geral, é possível verificar que a partir de 2004 (média móvel de 1999 a 2009) as variações observadas apresentam aumento, influenciadas sobretudo pelas atividades antropogênicas. As equações do parâmetro w para estas sub-bacias apresentaram ajustes moderados a elevados com coeficientes de determinação (R^2) de 0,63 (Barão de Melgaço), 0,88 (Porto Cercado), 0,92 (São João) e 0,92 (Ilha Camargo). No entanto, as variações totais obtidas pela decomposição do método de Budyko não se aproximaram da variação total observada. Conforme mencionado anteriormente essas sub-bacias acabam sofrendo influência da operação da Usina de Manso, o que pode impactar nos resultados observados. Além disso, essas estações encontram-se no Bioma Pantanal e apresentaram as maiores lacunas de dados dentre as sub-bacias analisadas, sendo necessárias análises complementares para identificar a influência de variáveis mais adequadas.

Nas sub-bacias cujas estações fluviométricas encontram-se no Rio São Lourenço e seus afluentes foi possível observar uma relação inversamente proporcional entre as variações ocorridas em virtude das mudanças climáticas e aquelas influenciadas pelas alterações do clima no parâmetro w .

As sub-bacias de cabeceira apresentaram comportamentos distintos em relação às variações ocorridas em virtude das atividades agropecuárias. São Pedro da Cipa apresentou variações negativas e de menor proporção, sendo a variação total observada sido influenciada principalmente pelas mudanças climáticas. Rondonópolis por sua vez, apresentou variações positivas e de maior proporção que culminaram em uma variação total observada menor, mesmo com a grande influência das mudanças climáticas na redução das vazões. As equações do parâmetro w para São Pedro da Cipa apresentaram ajuste pior ($R^2 = 0,44$) que Rondonópolis ($R^2 = 0,97$), o que favoreceu o fato de as variações totais obtidas pela decomposição do método de Budyko ficarem aquém da variação total observada na sub-bacia São Pedro da Cipa. Com relação aos eventos de seca observados, São Pedro da Cipa apresentou a menor quantidade de eventos de seca (6) de toda a BHRC enquanto Rondonópolis apresentou a maior (9). No entanto, as maiores variações observadas no deflúvio ocorreram em São Pedro da Cipa. As duas sub-bacias apresentaram variações semelhantes com relação ao uso da terra, sendo a única diferença observada no grupo corpo d'água que na sub-bacia São Pedro da Cipa apresentou redução de 57,35% e em Rondonópolis apresentou redução de 27,64%.

Figura 18 – Variações no deflúvio das sub-bacias localizadas no Rio São Lourenço e afluentes



Fonte: Elaborado pela autora.

A sub-bacia São Lourenço de Fátima, à jusante de São Pedro da Cipa, apresentou variações negativas decorrentes das atividades antropogênicas, que combinadas às variações influenciadas pelas mudanças climáticas resultaram em variação total negativa. Para São Lourenço de Fátima, o ajuste da equação do parâmetro w foi moderado ($R^2 = 0,65$). Diferente de São Pedro da Cipa, aqui as variações totais obtidas pela decomposição do método de Budyko aproximaram-se dos valores observados. Além disso, mesmo com uma maior ocorrência de eventos de seca, o grupo corpo d'água apresentou variação positiva (27,99), contrário ao verificado em São Pedro da Cipa.

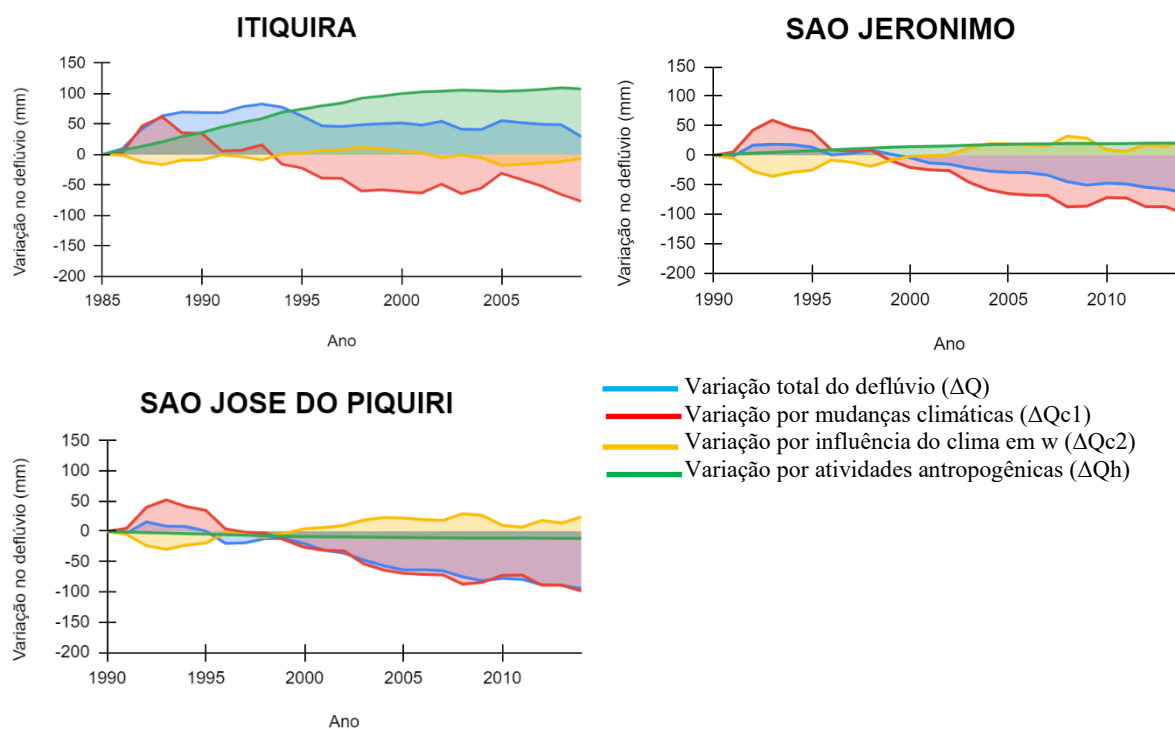
As sub-bacias a jusante apresentaram variações totais observadas negativas, mas em

menores proporções em comparação às sub-bacias à montante. Todas apresentaram variações positivas em decorrência das atividades agropecuárias e ótimos ajustes para as respectivas equações do parâmetro w (R^2 acima de 0,94).

Nas sub-bacias cujas estações fluviométricas encontram-se nos Rios Itiquira e Piquiri a sub-bacia de cabeceira e as sub-bacias a jusante apresentaram variações totais observadas contrárias. Itiquira apresentou variações totais positivas influenciadas sobremaneira pelas atividades agropecuárias enquanto nas sub-bacias São Jerônimo e São José do Piquiri as variações foram negativas, influenciadas principalmente pelas mudanças climáticas sendo que as variações devido às atividades agropecuárias foram menores. As três sub-bacias apresentaram coeficiente de determinação acima de 0,8 para as equações do parâmetro w , o que representa ótimos ajustes.

A sub-bacia Itiquira foi a que apresentou os resultados de maior destaque, seja em relação às mudanças no uso e ocupação do solo ocorridas, seja pela maior quantidade de eventos de seca registrados ou ainda por apresentar aumento no deflúvio decorrente das atividades antropogênicas. Na sub-bacia foi verificado um aumento no grupo de classes de uso do solo de 1.150 km² no período, o que representa um crescimento de 226,89%. Em 2019, a agropecuária representava 57% da área total da sub-bacia enquanto em 1985, representava apenas 17,46%. Essas alterações além de impactarem o processo de infiltração da água no solo influenciam também na evapotranspiração, que aumentou na sub-bacia ao longo do período do estudo. Com relação aos eventos de seca é importante ressaltar que a sub-bacia Itiquira apresentou o maior evento de seca de toda a BHRC, iniciado em dezembro de 2015 e que ainda estava em curso ao final de 2019, apresentando ainda a maior severidade verificada em toda a Bacia no período.

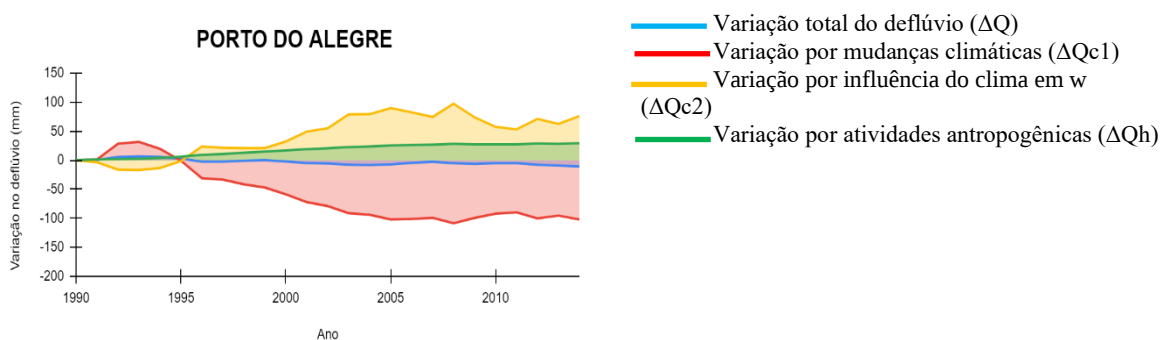
Figura 19 – Variações no deflúvio das sub-bacias localizadas nos Rios Piquiri-Itiquira



Fonte: Elaborado pela autora.

Por fim, a sub-bacia Porto do Alegre, cuja estação fluviométrica encontra-se no Rio Cuiabá e recebe as águas advindas de todas as outras sub-bacias, apresentou variações positivas influenciadas pelas atividades agropecuárias e pelas alterações no parâmetro w devido ao clima, enquanto as variações devido às mudanças climáticas foram negativas e prevaleceram em relação às demais resultando em uma variação total observada negativa e de menores proporções (10 mm).

Figura 20 – Variações no deflúvio na sub-bacia Porto do Alegre



Fonte: Elaborado pela autora.

A Tabela 25 apresenta as variações observadas no deflúvio (ΔQ) e as variações devido às mudanças climáticas (ΔQ_{c1}) e devido a alterações ocorridas no parâmetro w que podem ter sido ocasionadas tanto pelas variações climáticas (ΔQ_{c2}) quanto pela variação em áreas de agropecuária (ΔQ_h).

Tabela 25 – Variações no deflúvio nas sub-bacias analisadas. Variações observadas (ΔQ), devido às mudanças climáticas (ΔQ_{c1}), devido a influência das variações climáticas no parâmetro w (ΔQ_{c2}) e devido à influência da agropecuária (ΔQ_h)

(continua)

Sub-bacia	ΔQ (mm)	ΔQ_{c1} (mm)	ΔQ_{c2} (mm)	ΔQ_h (mm)
Marzagão	-163,23 (-16,60%) *	-76,66 (-7,80%)	-49,09 (-4,99%)	63,46 (6,46%)
F. Raizama	-64,97 (-10,48%)	-76,88 (-12,40%)	48,60 (7,84%)	10,27 (1,66%)
B. de Melgaço	-22,35 (-4,91%)	-24,80 (-5,45%)	-5,18 (-1,14%)	33,49 (7,36%)
Porto Cercado	-16,81 (-5,13%)	-42,01 (-12,82%)	14,71 (4,49%)	37,44 (11,43%)
São João	8,22 (3,38%)	-59,81 (-24,61%)	31,39 (12,92%)	68,60 (28,23%)
Ilha Camargo	15,24 (5,14%)	-47,63 (-16,06%)	37,00 (12,48%)	64,46 (21,74%)
São Pedro da Cipa	-141,21 (-20,73%)	-69,70 (-10,23%)	-14,30 (-2,10%) *	-3,91 (-0,57%)
Rondonópolis	-80,86 (-17,23%) *	-157,21 (33,49%)	50,46 (10,75%)	43,12 (9,19%)
São Lourenço de Fátima	-109,29 (-15,63%)	-55,16 (-7,89%)	13,67 (1,96%)	-47,91 (-6,85%)
Acima do Córrego Grande	-99,20 (-18,27%) *	-120,30 (-22,16%)	53,01 (9,76%)	-15,82 (-2,91%)

Tabela 25 – Variações no deflúvio nas sub-bacias analisadas. Variações observadas (ΔQ), devido às mudanças climáticas (ΔQ_{c1}), devido a influência das variações climáticas no parâmetro w (ΔQ_{c2}) e devido à influência da agropecuária (ΔQ_h)

				(conclusão)
Sub-bacia	ΔQ (mm)	ΔQ_{c1} (mm)	ΔQ_{c2} (mm)	ΔQ_h (mm)
São José do	-38,08	-132,06	68,16	37,77
Boriréu	(-10,10%) *	(-35,03%)	(18,08%)	(10,02%)
Itiquira	29,37	-76,85	-6,66	107,62
	(4,50%)	(-11,78%)	(-1,02%)	(16,50%)
São Jerônimo	-63,41	-99,74	27,13	20,74
	(-16,59%) *	(-26,10%) *	(7,10%)	(5,43%) *
São José do	-94,47	-98,75	23,66	-11,97
Piquiri	(-24,91%) *	(-26,04%) *	(6,24%)	(-3,16%) *
Porto do	-10,55	-101,99	76,03	29,21
Alegre	(-4,62%) *	(-44,68%) *	(33,31%)	(12,80%) *

Fonte: Elaborado pela autora. *Maior variação no deflúvio ao final de 2019.

As atividades agropecuárias relacionam-se com aumentos no deflúvio em 11 das 15 sub-bacias analisadas. Ao final de 2019, as atividades antropogênicas foram as maiores responsáveis pela variação observada no deflúvio em 3 das 15 sub-bacias analisadas. Todas elas estão entre as 5 sub-bacias com os maiores aumentos verificados no grupo de classes de uso do solo agropecuária, com aumentos superiores a 140%, sendo Itiquira o maior aumento com 226%. Das 15 sub-bacias analisadas, 12 apresentaram redução da vazão no período estudado, todas influenciadas pelas mudanças climáticas.

De forma geral os resultados mais consistentes foram obtidos nas sub-bacias cujas estações fluviométricas encontram-se nos Rios São Lourenço (e afluentes) e Itiquira-Piquiri. As sub-bacias cujas estações fluviométricas encontram-se no Rio Cuiabá apresentaram maiores desafios ao estudo.

Além disso, a análise focou no aumento das áreas de agropecuária como variável relacionada às atividades antropogênicas, mas não foram analisadas outras variáveis relacionadas a esta atividade e que podem apresentar impacto mais significativos, como a irrigação ou ainda a área de soja ou de pastagens, isoladamente. A implantação de pequenas

centrais hidrelétricas (PCH), centrais geradoras hidrelétricas (CGH) e barragens (para irrigação ou outros usos) também são variáveis a serem consideradas para estudos futuros. Por fim, a disponibilidade de dados/estações hidrometeorológicas é uma limitação do estudo, tendo em vista que uma maior densidade de estações com séries históricas mais longas permite análises mais aprofundadas.

6 CONCLUSÕES

Entre 1985 e 2019 foram observadas variações no deflúvio da Bacia do Rio Cuiabá que se relacionam com as variações no clima e com as mudanças no uso da terra (acréscimo de áreas agrícolas) demonstrando que as mudanças climáticas e a atividade agropecuária impactam a disponibilidade hídrica da Bacia do Rio Cuiabá. Três das quinze sub-bacias analisadas apresentaram aumento no deflúvio devido às atividades antropogênicas, sendo o maior impacto verificado na sub-bacia Itiquira com aumento de 29,37 % no deflúvio. As alterações climáticas foram mais influentes em doze das quinze sub-bacias consideradas, reduzindo o deflúvio.

As variações verificadas podem aumentar a vulnerabilidade da Bacia a eventos de seca que conforme observado têm sido mais frequentes, apresentando ainda maior duração, severidade e intensidade principalmente a partir dos anos 2000. A ocorrência do evento de seca por si só não caracteriza a ocorrência de desastres, que irá depender das condições de vulnerabilidade e capacidade de resposta do local. No entanto, o estudo apresentou que as mudanças no uso do solo e as mudanças climáticas impactaram a disponibilidade hídrica na BHRC o que favorece condições para a ocorrência de desastres tanto relacionados à seca quanto à precipitação em excesso.

Mais estudos devem ser realizados sob a perspectiva da gestão de riscos de desastres relacionados às secas na Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá. Sugere-se que outras variáveis relacionadas às atividades antropogênicas sejam consideradas na variação do parâmetro w e que sejam realizados estudos de cenários futuros, de modo a compreender melhor como as dinâmicas verificadas na Bacia podem impactar na vulnerabilidade e na capacidade de resposta aos eventos de seca e definir as ações de gestão de risco a serem implantadas.

REFERÊNCIAS

- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas 2017 (BHO 2017)**. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/0c698205-6b59-48dc-8b5e-a58a5dfcc989>. Acesso em: 21 de junho. 2022.
- _____. **Usos consuntivos da água no Brasil (1931-2030)**. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNmFhMjA4NmQtY2Y4Yy00OWE4LTkyNzEtOTk2MTY4MTQzMtliiwidCI6ImUwYmI0MDEyLTgxMGItNDY5YS04YjRkLTY2N2ZjZDFiYWY4OCJ9>. Acesso em 21 de ago. 2022.
- ATLAS DO DESENVOLVIMENTO HUMANO NO BRASIL. **Índice de Desenvolvimento Humano dos Municípios**. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/map>. Acesso em: 21 de ago. 2022.
- BEVACQUA A.; CHAFFE P.; CHAGAS V.; AGHA KA. Spatial and temporal patterns of propagation from meteorological to hydrological droughts in Brazil. **Journal of Hidrology**, v. 603. dez. 2021.
- BRITO, T. R. C.; LIMA, J. R. S.; OLIVEIRA, C. L.; SOUZA, R. M. S.; ANTONINO, A. C. D.; MEDEIROS, E. V.; SOUZA, E. S.; ALVES, E. M. Mudanças no Uso da Terra e Efeito nos Componentes do Balanço Hídrico no Agreste Pernambucano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13, n.02 (2020) 870-886.
- BUDYKO, M. I. **Climate and Life**. Cambridge: Academic Press, 1974.
- CABALLERO, C. B.; RUHOFF, A.; BIGGS, T. Land use land cover changes and their impacts on surface-atmosphere interactions in Brazil: a systematic review. **Science of the Total Environment**, v. 808, p. 152134, 2021.
- CASTRO, A. L. de A.; ANDRADE, E. P.; UGAYA, C. M. L.; FIGUEIREDO, M. C. B. de. Escassez hídrica. In: UGAYA, C. M. L.; ALMEIDA NETO, J. A. de; FIGUEIREDO, M. C. B. de. (orgs). **Recomendação de modelos de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida para o Contexto Brasileiro**. Brasília, DF: Ibict, 2019.
- CHAGAS, V. B. P. C. **Mudanças nos regimes de chuva e vazão no Brasil, de 1985 a 2015**. Dissertação. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2019. 157 p.
- CUNHA, A.P.M.A.; ZERI, M.; DEUSDARÁ LEAL, K.; Costa, L.; CUARTAS, L.A.; MARENGO, J.A.; TOMASELLA, J.; VIEIRA, R.M.; BARBOSA, A.A.; CUNNINGHAM, C.; et al. Extreme Drought Events over Brazil from 2011 to 2019. **Atmosphere**, 2019, 10, 642. <https://doi.org/10.3390/atmos10110642>
- FERNANDÉZ, A. J. C. **Do cerrado à Amazônia: as estruturas sociais da economia da soja em Mato Grosso**. Tese. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de

Ciências Econômicas, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural, Porto Alegre, 2007. 262 f. il.

FIEMT - FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE MATO GROSSO. OBSERVATÓRIO DA INDÚSTRIA. **Perfil Econômico dos Municípios**. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiaYTRjZTU2NWQtMmRkZS00MTNkLWJhY2ItNzIzNDk2NDYwNWVmliwidCI6IjFlZjYzMjNmLWM4MjMtNGZkZS1hZmE4LTE3ODE1OGQ4MzRkMiJ9>. Acesso em: 21 de ago 2022.

FU, B.-P. On the calculation of the evaporation from land surface. **Chinese Journal of Atmospheric Sciences**, v. 5, n. 1, p. 23–31, 1981.

FURNAS. **Usina de Manso**. Disponível em: <https://www.furnas.com.br/subsecao/124/usina-de-manso?culture=pt>. Acesso em: 06 de jun 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Base de Bacias Hidrográficas do Brasil - BHB250**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.

_____. **Biomass e Sistema Costeiro-Marinho do Brasil 2019**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/15842-biomass.html?=&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 20 de jun. 2022a.

_____. **Censo 2022 - Panorama** Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/indicadores.html?localidade=BR>. Acesso em: 02 de jul. 2023.

_____. **Mapa de Clima do Brasil 2002**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/15817-clima.html?=&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 20 de jun. 2022b.

_____. **Mapa de Solos do Brasil 2001**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/15829-solos.html?=&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 20 de jun. 2022c.

IPCC. **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_FullReport.pdf. Acesso em: 19 de ago. 2022.

JIANG, C. et al. Separating the impacts of climate change and human activities on runoff using the Budyko-type equations with time-varying parameters. **Journal of Hydrology**, v. 522, p. 326–338, 1 mar. 2015.

MATO GROSSO. **Lei Complementar nº 359, de 27 de maio de 2009**. Dispõe sobre a Criação da Região Metropolitana do Vale do Rio Cuiabá e dá outras providências. Cuiabá: Diário Oficial do Estado de Mato Grosso, [2009]. Disponível em:

<https://app1.sefaz.mt.gov.br/sistema/legislacao/LeiComplEstadual.nsf/9733a1d3f5bb1ab384256710004d4754/9fcbd862aa45ffa8042575c40046cb9d?OpenDocument#:~:text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20Cria%C3%A7%C3%A3o%20da,Cuiab%C3%A1%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%A2ncias>. Acesso em: 20 de ago. 2022

MAPA. **Nota nº 01-2022/CGPLAC/DAEP/SPA/MAPA**. Disponível em: <http://astecna.com.br/wp-content/uploads/2022/01/doc-ministeriodaagricultura-municipiosmaisricosdoagro.pdf>. Acesso em: 21 de ago. 2022.

MELO, P.A., ALVARENGA, L.A., TOMASELLA, J., MELLO C.R., MARTINS, M.A., COELHO, G. Analysis of hydrological impacts caused by climatic and anthropogenic changes in Upper Grande River Basin, Brazil. **Environmental Earth Sciences**, 81, 504 (2022). <https://doi.org/10.1007/s12665-022-10631-2>

NAUMANN, G., PODESTÁ, G., MARENGO, J., LUTERBACHER, J., BAVERA, D., ARIAS MUÑOZ, C., BARBOSA, P., CAMMALLERI, C., CHAMORRO, L., CUARTAS, A., DE JAGER, A., ESCOBAR, C., HIDALGO, C., LEAL DE MORAES, O., MCCORMICK, N., MAETENS, W., MAGNI, D., MASANTE, D., MAZZESCHI, M., SELUCHI, M., SKANSI, M. M., SPINONI, J., TORETI, A. (2022). **O episódio de seca extrema de 2019-2021 na bacia de La Plata**. Joint Research Centre Technical Report. Luxemburgo: Publications Office of the European Union. Disponível em: <https://sisia.crc-sas.org/wp-content/uploads/2022/02/Informe-bajante-Parana-Portugues.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2022

OLIVEIRA, K. D. et al. Impacts of sugarcane expansion on water availability in a river basin in southeastern Brazil. **CATENA**, v. 216, p. 106437, 1 set. 2022.

ORLANDI, M.; LIMA, J. F. de. Ocupação Territorial e a Espacialidade das Atividades Econômicas: O Caso do Estado de Mato Grosso. **Informe Gepec**, Toledo, v. 16, nº 1, p. 26-41, 2012.

PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil**. Disponível em: <http://mapbiomas.org>. Acesso em: 01 de abr. 2024.

TOMASELLA, J. et al. Assessment of trends, variability and impacts of droughts across Brazil over the period 1980–2019. **Natural Hazards**, v. 116, n. 2, p. 2173–2190, 1 mar. 2023.

UNDRR - UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. **Global Assessment Report: Special Report on Drought 2021**. Geneva: ONU, 2021.

UNDRR - UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. **Terminology**. Disponível em: <https://www.undrr.org/terminology>. Acesso em: 18 de ago. 2022a.

UNFCCC - UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. New York: United Nations, 1992

VALENTINI, C. M. A.; PINHEIRO, A. C. M.; SALES, F. N.; GUILHER, M. C.; SILVA T. C. A.; MISSA JR, S. Impactos Socioambientais Gerados aos Pescadores da Comunidade

Ribeirinha de Bonsucesso- MT pela Construção da Barragem de Manso. **HOLOS**, Natal, ano 27, v. 4, p. 3-22, 2011

VAN LOON, A. F. Hydrological drought explained. **WIREs Water** 2015, v 2, p. 359–392. doi: 10.1002/wat2.1085.

VILARINHO NETO, C. S. Dinâmica Urbana e regional. In: MORENO, G.; HIGA, T. C. S. (orgs). **Geografia de Mato Grosso: território, sociedade e ambiente**. 2^a ed. Cuiabá: Entrelinhas, 2017.

WANG, D.; HEJAZI, M. Quantifying the relative contribution of the climate and direct human impacts on mean annual streamflow in the contiguous United States. **Water Resources Research**, v. 47, n. 10, 2011.

XAVIER, A. C., SCANLON, B. R., KING, C. W., & ALVES, A. I. (2022). New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020). **International Journal of Climatology**, 1–15. <https://doi.org/10.1002/joc.7731>.

APÊNDICE A – Meses de seca registrados por ano hidrológico por sub-bacia

Quadro 1 – Meses de seca registrados por ano hidrológico por sub-bacia

(continua)

Ano/ sub-bacia	Marzagão	F. Raizama	B. de Melgaço	P. Cercado	São João	I. Camargo	S. P. da Cipa	Rondonópolis	S. L. de Fátima	A. do C. Grande	S. J. do Boriréu	Itiquira	S. Jerônimo	S. J. do Piquiri	P. do Alegre
1985							5		1			1			
1986		9	12	12	12	12	12	11	12	12	12	12	12	12	12
1987	4		12	12	12	12	1					4	3	1	1
1988	2		2	2	2	2			1						
1989									6						
1990															
1991															
1992												10			
1993	2	2		2	2	2		2	2	2	2	2			
1994	3	10		10	10	10		9	10	10	10	0			
1995															
1996															
1997															
1998	7	7	8	7	7	7									
1999	12	3	3	4	1	1	0	1							
2000	12	12	12	12			12	10	12	12	12			3	12
2001	12	12	12	12			12	10	12	12	12	10			12
2002			1	2	1	1	1					1			0
2003			11	12	12	12	0					12			9
2004			2	2	2	2	0					10	12	9	0
2005	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	12	12	12	11

Quadro 1 – Meses de seca registrados por ano hidrológico por sub-bacia

(conclusão)

Ano/ sub-bacia	Marzagão	F. Raizama	B. de Melgaço	P. Cercado	São João	I. Camargo	S. P. da Cipa	Rondonópolis	S. L. de Fátima	A. do C. Grande	S. J. do Boriréu	Itiquira	S. Jerônimo	S. J. do Piquiri	P. do Alegre
2006		4	4	4	4	4	9	12	9	10	10	9	5	4	4
2007							4	4	3	3	3	2			
2008							12	12	12	12	12	4			
2009	9	9			9	9	11	11	10	12	12	5	11	12	12
2010	6	12	1	1	1	1	10	4	5	4	4	2	3	4	4
2011	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	3	6	7	12
2012	12	12	12	12	12	12	9	10	9	10	11	7	9	10	12
2013	3	3	2	3	3	3								3	3
2014															
2015	1	1										1	1	1	1
2016	1	1					8	9	8	9	9	12	12	12	12
2017							2	11	2	4	5	12	12	12	12
2018												12	10	10	4
2019	2	11	2	2	2	2		2				12	3	3	2