

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM FÍSICA
AMBIENTAL**

**CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO CUIABÁ E SIMULAÇÕES DE
CENÁRIOS FUTUROS**

KEYLYANE SANTOS DA SILVA ALVES

PROFA. DRA. LUCIANA SANCHES

Orientadora

PROF. DR. MARCELO DE CARVALHO ALVES

Coorientador

Cuiabá, MT
Dezembro, 2022

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM FÍSICA
AMBIENTAL**

**CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO CUIABÁ E SIMULAÇÕES DE
CENÁRIOS FUTUROS**

KEYLYANE SANTOS DA SILVA ALVES

*Tese apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Física Ambiental da Universidade
Federal de Mato Grosso, como parte
dos requisitos para obtenção do
título de Doutora em Física
Ambiental.*

PROFA. DRA. LUCIANA SANCHES

Orientadora

PROF. DR. MARCELO DE CARVALHO ALVES

Coorientador

Cuiabá, MT
Dezembro, 2022

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

A474c Alves, Keylyane Santos da Silva.

Caracterização climática da bacia hidrográfica do Rio Cuiabá e simulações de cenários futuros [recurso eletrônico] / Keylyane Santos da Silva Alves. -- Dados eletrônicos (1 arquivo : 102 f., il. color., pdf). -- 2022.

Orientadora: Luciana Sanches.

Coorientador: Marcelo de Carvalho Alves.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2022.

Modo de acesso: World Wide Web: <https://ri.ufmt.br>.

Inclui bibliografia.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CUIABÁ E SIMULAÇÕES DE CENÁRIOS FUTUROS

AUTORA: DOUTORANDA KEYLYANE SANTOS DA SILVA ALVES

Tese defendida e aprovada em **15 de dezembro de 2022**.

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

1. Profa. Dra. LUCIANA SANCHES (Presidente Banca / **ORIENTADORA**)

INSTITUIÇÃO: Universidade Federal de Mato Grosso

2. Prof. Dr. MARCELO DE CARVALHO ALVES (Coorientador)

INSTITUIÇÃO: Universidade Federal de Lavras (UFLA)

3. Prof. Dr. CARLO RALPH DE MUSIS (Membro Interno)

INSTITUIÇÃO: Universidade de Cuiabá (UNIC)

4. Prof. Dr. DENILTON CARLOS GAIO (Membro Interno)

INSTITUIÇÃO: Universidade Federal de Mato Grosso

5. Profa. Dra. DIANA CAROLINA JESUS DE PAULA (Membro Externo)

INSTITUIÇÃO: Centro Universitário de Várzea Grande (UNIVAG)

6. Prof. Dr. LUCAS PERES ANGELINI (Membro Externo)

INSTITUIÇÃO: Instituto Federal de Goiás (IFGO)

CUIABÁ, 15/12/2022.



Documento assinado eletronicamente por **SERGIO ROBERTO DE PAULO**, Coordenador(a) de **Programas de Pós-Graduação em Física Ambiental - IF/UFMT**, em 09/02/2023, às 17:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **CARLO RALPH DE MUSIS, Usuário Externo**, em 09/02/2023, às 18:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Diana Carolina Jesus de Paula, Usuário Externo**, em 10/02/2023, às 11:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **DENILTON CARLOS GAIO, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 12/03/2023, às 14:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Lucas Peres Angelini, Usuário Externo**, em 10/04/2023, às 14:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5516644** e o código CRC **1D87EE70**.

DEDICATÓRIA

A minha querida filha Manuela,
meu amor incondicional, a
razão dos meus maiores
sorrisos, que me ensina todos os
dias o verdadeiro significado do
amor.

A minha amada mãe Suelene,
por toda dedicação e incentivo e
por ter sido meu braço direito
nos cuidados com a Manuela,
para que eu pudesse realizar
essa pesquisa .

Ao meu amado esposo Wendy
pelo amor, compreensão e por
sempre me apoiar e incentivar a
realizar meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

- A Deus pelo dom da vida, que me guia e ilumina meus pensamentos para que eu desenvolva minha luz.
- A minha filha Manuela, que é meu combustível diário para seguir em frente e alcançar cada conquista com o maior esforço do mundo.
- Ao meu esposo Wendy Alves da Cruz, meu companheiro de todas as horas, cujo amor me deu forças para encarar todas as dificuldades durante este período.
- A minha mãe Suelene da Marcena Santos Silva, mulher guerreira que me ensinou tudo que sei e instiga as minhas maiores virtudes.
- Ao meu pai Milton Soares da Silva, meu exemplo de homem e de ser humano, que sempre me apoiou para que eu chegasse até aqui.
- Aos meus irmãos Késya Kenya Santos da Silva e Kennedy Santos da Silva, por acreditarem na minha capacidade e incentivar a vencer os momentos difíceis.
- A professora Dra. Luciana Sanches (orientadora) pela oportunidade de ter sido sua orientanda, pelo carinho, pelos conselhos, pela paciência e confiança depositada em mim, por ser tão atenciosa em todos os momentos e por me instigar a ser a melhor versão de mim do início ao fim desse processo.
- Ao professor Dr. Marcelo Alves de Carvalho (Coorientador), por todas as contribuições para que a pesquisa fosse desenvolvida da melhor maneira possível.
- Ao professor Dr. José de Souza Nogueira (Paraná (in memória)) por todos os ensinamentos e conselhos que foram de suma importância para minha permanência no mestrado.
- A professora Dra. Marta Nogueira, pelo apoio e acolhimento, nos fazendo sentir uma família unida.
- Aos professores da banca Dr. Carlo Ralph de Musis, Dr. Denilton Carlos Gaio, Dr. Lucas Peres Angelini e Dra. Diana Carolina de Jesus de Paula, pela disposição e contribuições que foram essenciais para o aperfeiçoamento da pesquisa.

- A todos os colegas e amigos do Programa de Pós-graduação em Física Ambiental em especial a Pablinne Cynthia, Natallia Sanches, Diana de Paula, Lucas Angelini, Dalila, Daniele, Lucas Douglas, Larissa Pavão, Elio, Bruno.
- Ao Henrique Gonzalez da Ambiental Pro pelas contribuições que me ajudaram a finalizar os mapas gerados na pesquisa.
- À Soilce e Cesário pela colaboração nos serviços da secretaria que auxiliam o desenvolvimento do doutorado.
- Aos meus familiares por compreender a minha ausência para dedicação no doutorado.
- A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro durante a realização desta pesquisa.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xiv
LISTA DE ABREVIACÕES E/OU SÍMBOLOS.....	xv
RESUMO	xvi
ABSTRACT	xvii
1. INTRODUÇÃO	18
1.1. Problemática.....	18
1.2 Justificativa	19
1.3 Hipótese	19
2. OBJETIVOS.....	21
2.1. Objetivo geral.....	21
2.2. Objetivos específicos.....	21
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
3.1. Mudanças climáticas	22
3.2. Modelos climáticos globais.....	24
3.3. Impactos das mudanças climáticas no Brasil.....	28
4. MATERIAL E MÉTODOS	30
4.1. Localização e descrição da área de estudo	30
4.2. Banco de dados utilizado	33
4.2.1. Dados históricos climáticos.....	35
4.3. Mapeamento do uso e ocupação do solo.....	36
4.4. Pré-processamento de superfície climática	38
4.5. Mapeamento de superfícies climáticas	38
4.6. Estatística dos dados	39

4.7. Definição do período chuvoso e de estiagem pelo método de Thornthwaite	41
4.8. Classificação Climática pelo método de Thornthwaite	41
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
5.1. Classificação de uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do Alto e Médio Rio Cuiabá	42
5.2. Cenário de referência clima atual (1970 – 2000)	46
5.2.1. Determinação do período chuvoso-seco e o balanço hídrico climatológico	46
5.2.2. Variação espaço-temporal da temperatura do ar	49
5.2.3. Variação espaço-temporal da precipitação pluvial	55
5.2.4. Variação espaço-temporal da radiação solar, velocidade do vento e pressão de vapor de água	59
5.2.5. Classificação climática conforme Thornthwaite (1948) para o cenário atual	65
5.3. Caracterização de cenários futuros de mudanças climáticas na BHC	67
5.3.1. Variação espaço-temporal da temperatura do ar	67
5.3.2. Variação espaço-temporal da precipitação pluvial	79
5.3.3. Classificação climática conforme Thornthwaite (1948) nos cenários futuros	86
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	92
7. REFERÊNCIAS	94

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Variação da temperatura média global entre 1920 e 2015	23
Figura 2 - Emissões históricas e projeções futuras de emissões de CO ₂ para os caminhos SSPs apresentados no CMIP6. A área sombreada representa o intervalo de cenários de linha de base sem política.	26
Figura 3 - Mapa da localização e de elevação (m) da bacia hidrográfica do Alto e Médio Rio Cuiabá no Estado do Mato Grosso Brasil.	30
Figura 4 - Fluxograma da metodologia utilizada para o desenvolvimento da pesquisa.	34
Figura 5 - Matriz geral de tabulação cruzada para comparação de dois mapas em dois momentos distintos.	37
Figura 6 - Resumo do teste de Friedman para as variáveis: temperatura máxima (a), mínima (b), média (c), Amplitude térmica (d), precipitação (e), radiação solar (f), pressão de vapor de água (g) e velocidade do vento (h).	40
Figura 7 - Mapa de uso e ocupação do solo para os anos de 1985, 2000 e 2021, da bacia hidrográfica do Alto e Médio Rio Cuiabá no Estado do Mato Grosso, Brasil.	42
Figura 8 - Matriz de transição do uso e ocupação do solo entre os anos 1985 e 2021, na bacia hidrográfica do Alto e Médio Rio Cuiabá no Estado do Mato Grosso, Brasil.	45
Figura 9 - Precipitação acumulada mensal (P, mm/mês) e evapotranspiração potencial (ETP, mm/mês) na bacia hidrográfica do Alto e Médio Rio Cuiabá, no período de referência 1970 – 2000. A área sombreada representa o período chuvoso.	47
Figura 10 - Resultado do balanço hídrico climatológico para BHC: Precipitação média (P), Evapotranspiração Potencial (ETP) e Temperatura média (T _{méd}).....	48
Figura 11 - Boxplot da média mensal de temperatura máxima, mínima, média e amplitude térmica na bacia hidrográfica do Alto e Médio Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, no período 1970-2000.....	49
Figura 12 - Mapeamento da T _{máx} mensal do ar (°C) e da T _{máx} por período (chuvoso e seco), na bacia hidrográfica do Alto Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, no período 1970-2000.	51

Figura 13 - Mapeamento da $T_{mín}$ mensal do ar ($^{\circ}C$) e da $T_{mín}$ por período (chuvoso e seco), na bacia hidrográfica do Alto Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, no período 1970-2000.	53
Figura 14 - Mapeamento da $T_{méd}$ mensal do ar ($^{\circ}C$) e da $T_{méd}$ por período (chuvoso e seco), na bacia hidrográfica do Alto Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, no período 1970-2000.	54
Figura 15 - Boxplot da precipitação pluvial mensal por período chuvoso e seco e de janeiro a dezembro (P, mm/mês), na bacia hidrográfica do Alto e Médio Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, no período 1970-2000. O gráfico representa o máximo e mínimo e primeiro e terceiro quartis dos dados. A linha sólida representa a mediana e a tracejada a média.	56
Figura 16 - Mapeamento da P (mm/mês) e da P acumulada (mm/período), na bacia hidrográfica do Alto Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, no período de 1970 a 2000.	57
Figura 17 - Boxplot da Pressão de vapor de água (PVA, kPa), radiação solar (Rsg, $kJm^{-2} dia^{-1}$) e velocidade do vento (V, ms^{-1}), na bacia hidrográfica do Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, no período 1970-2000.	60
Figura 18 - Mapeamento da PVA mensal (kPa) e da PVA (kPa) por período (chuvoso e seco), na bacia hidrográfica do Alto Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, no período 1970-2000.	61
Figura 19 - Mapeamento da Rsg mensal ($kJ/m^2 dia^{-1}$) e da Rsg ($kJ/m^2 dia^{-1}$) por período (chuvoso e seco), na bacia hidrográfica do Alto Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, no período 1970-2000.	63
Figura 20 - Mapeamento de V mensal (m/s) e V (m/s) por período (chuvoso e seco), na bacia hidrográfica do Alto Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, no período 1970-2000.	64
Figura 21 – Mapeamento: (A) Índice de Umidade anual (I_u) calculado com base na média anual da temperatura do ar ($^{\circ}C$) e na precipitação pluvial anual (mm/ano), (B) Classificação climática de Thornthwaite e Mather (1955), na bacia do Alto e Médio Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, no período de referência 1970-2000.	66
Figura 22 - Box-plot da média mensal de temperatura máxima e mínima do ar na bacia hidrográfica do Alto e Médio Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, nos cenários futuros 2021-2040; 2041-2060; 2061-2080 e 2081-2100.	68

Figura 23 - Mapeamento da T _{máx} mensal do ar (°C) e da T _{máx} por período (chuvoso e seco), na bacia hidrográfica do Alto Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, no cenário futuro 2021-2040.....	70
Figura 24 - Mapeamento da T _{máx} mensal do ar (°C) e da T _{máx} por período (chuvoso e seco), na bacia hidrográfica do Alto Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, no cenário futuro 2041-2060.....	71
Figura 25 - Mapeamento da T _{máx} mensal do ar (°C) e da T _{máx} por período (chuvoso e seco), na bacia hidrográfica do Alto Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, no cenário futuro 2061-2080.....	72
Figura 26 - Mapeamento da T _{máx} mensal do ar (°C) e da T _{máx} por período (chuvoso e seco), na bacia hidrográfica do Alto Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, no cenário futuro 2081-2100.....	73
Figura 27 - Mapeamento da T _{mín} mensal do ar (°C) e da T _{mín} por período (chuvoso e seco), na bacia hidrográfica do Alto Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, no cenário futuro 2021-2040.....	75
Figura 28 - Mapeamento da T _{mín} mensal do ar (°C) e da T _{mín} por período (chuvoso e seco), na bacia hidrográfica do Alto Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, no cenário futuro 2041-2060.....	76
Figura 29 - Mapeamento da T _{mín} mensal do ar (°C) e da T _{mín} por período (chuvoso e seco), na bacia hidrográfica do Alto Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, no cenário futuro 2061-2080.....	77
Figura 30 - Mapeamento da T _{mín} mensal do ar (°C) e da T _{mín} por período (chuvoso e seco), na bacia hidrográfica do Alto Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, no cenário futuro 2081-2100.....	78
Figura 31 - Box-plot da precipitação pluvial mensal (P, mm/mês), na bacia hidrográfica do Alto e Médio Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, para os cenários futuros 2021-2040; 2041-2060; 2061-2080 e 2081-2100. O gráfico representa o máximo e mínimo, e primeiro e terceiro quartil dos dados. A linha tracejada representa a média anual da precipitação.....	81
Figura 32 - Distribuição espacial da média mensal da P (mm/mês) e da P acumulada (mm/período), no período 2021-2040, cenário ssp126, modelo CNRM-ESM2-1, na bacia hidrográfica do Alto rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.....	82

Figura 33 - Distribuição espacial da média mensal da P (mm/mês) e da P acumulada (mm/período), no período 2041-2060, cenário ssp126, modelo CNRM-ESM2-1, na bacia hidrográfica do Alto rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.....	83
Figura 34 - Distribuição espacial da média mensal da P (mm/mês) e da P acumulada (mm/período), no período 2061-2080, cenário ssp126, modelo CNRM-ESM2-1, na bacia hidrográfica do Alto rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.....	84
Figura 35 - Distribuição espacial da média mensal da P (mm/mês) e da P acumulada (mm/período), no período 2081-2100, cenário ssp126, modelo CNRM-ESM2-1, na bacia hidrográfica do Alto rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.....	85
Figura 36 - Mapeamento do Índice de umidade anual (Iu) calculado com base na média anual da temperatura do ar (°C) e na precipitação pluvial anual (mm/ano) na bacia do Alto e Médio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, nos cenários futuros 2021-2040; 2041-2060; 2061-2080 e 2081-2100.....	87
Figura 37 - Mapeamento da Classificação climática adaptada de Thornthwaite e Mather (1955), na bacia do Alto e Médio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, nos cenários futuros 2021-2040; 2041-2060; 2061-2080 e 2081-2100.....	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores das classes referente ao uso e ocupação do solo, juntamente com suas respectivas áreas (ha) para os anos de 1985, 2000 e 2021 e a porcentagem de aumento ou decréscimo das áreas dos anos de 2000 e 2021 com relação ao ano de 1985, da bacia hidrográfica do Alto e Médio Rio Cuiabá no Estado do Mato Grosso, Brasil. O sinal positivo indica aumento de área e o sinal negativo decréscimo de área.	43
Tabela 2 - Correlação de Spearman (ρ) para os dados de elevação e temperatura do ar, para a Bacia hidrográfica do Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.	52
Tabela 3 - Correlação de Spearman (ρ) para os dados de elevação e precipitação pluvial para a Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá, no período de 1970 a 2000.	58
Tabela 4 - Correlação de Spearman (ρ) para os dados de elevação, radiação solar, velocidade do vento e pressão de vapor de água na Bacia hidrográfica do Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.	62
Tabela 5 - Classificação climática segundo Thornthwaite e Mather (Thornthwaite e Mather, 1955).....	65
Tabela 6 - Precipitação máxima, mínima e média acumulada anual para o clima atual e os cenários futuros, na bacia hidrográfica do Alto e Médio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.	79
Tabela 7 - Área (ha) das classes climáticas no clima atual e nos cenários 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080, 2080-2100, na bacia hidrográfica do Alto e Médio Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.	89
Tabela 8 - Aumento ou diminuição das classes climáticas nos cenários nos cenários 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080, 2080-2100 com relação ao clima atual, em porcentagem, na bacia hidrográfica do Alto e Médio Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. Os valores positivos representam o aumento das classes e os valores negativos representam a diminuição das classes.	89

LISTA DE ABREVIACÕES E/OU SÍMBOLOS

AR5	Relatório de Avaliação fase 5
AR6	Relatório de Avaliação fase 6
Aw	Tropical Chuvoso
BHC	Bacia hidrográfica do Alto e Médio Rio Cuiabá
CMIP	Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados (em inglês <i>Coupled Model Intercomparison Project</i>)
ENSO	El Niño Oscilação Sul
ETP	Evapotranspiração Potencial
GEE	Gases de efeito estufa
GCMs	Modelos Climáticos Globais (em inglês <i>Global Climate Models</i>)
IPCC	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (em inglês <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>)
Iu	Índice de Umidade
mEc	Massa de ar Equatorial Continental
SSPs	Caminhos Socioeconômicos Compartilhados (em inglês <i>Shared Socioeconomic Pathways</i>)
P	Precipitação Pluvial
PVA	Pressão de Vapor d'água
RCPs	Vias de concentrações Representativas (em inglês <i>Representative Concentration Pathway</i>)
Rsg	Radiação Solar Global
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
T_{máx}	Temperatura Máxima do Ar
T_{mín}	Temperatura Mínima do Ar
T_{méd}	Temperatura Média do Ar
V	Velocidade do Vento
ZCAS	Zonas de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

RESUMO

ALVES, K. S. S. **Caracterização climática e simulações de cenários futuros de mudanças climáticas da bacia hidrográfica do Rio Cuiabá UPG – P4.** Cuiabá, MT. 78 f. Tese (Doutorado em Física ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, 2022.

Espera-se que as mudanças climáticas alterem o clima futuro, podendo causar modificações significativas no ciclo hidrológico, influenciando a intensidade e frequência com que os eventos extremos ocorrerão e afetando assim os sistemas naturais humanos, sobretudo a produção de alimento e abastecimento de água. No presente estudo, tem-se como objetivo identificar o clima atual da Bacia Hidrográfica do Alto e Médio Rio Cuiabá através da variação espaço-temporal das variáveis climáticas bem como futuras mudanças climáticas na BHC. Dados históricos e futuros de chuva do modelo CMIP6 CNRM-ESM2-1 foram analisados para os períodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 e 2081-2100, no cenário SSP126, resolução espacial de ~1km. Dados históricos de temperatura média, máxima e mínima do ar, precipitação, pressão de vapor d'água, radiação solar global e velocidade do vento do período 1970-2000 de mesma resolução espacial. A variação espaço-temporal das variáveis climáticas atuais e futuras foram caracterizadas por mapeamento e análises estatísticas, considerando a variação mensal, período seco e chuvoso bem como os totais anuais. Foram analisados dados do MapBiomas referentes a uso e ocupação do solo e revelaram que entre 1985 e 2021 as principais mudanças ocorridas na BHC foram a substituição das áreas naturais por áreas antropizadas, sobretudo por pastagem e agricultura. As variáveis climáticas apresentaram sazonalidade característica e variação dentro da região geográfica da BHC, com os maiores valores no período chuvoso e menores no período seco. Segundo a classificação climática de Thornthwaite e Mather (1955), o clima varia de: uma reduzida área no extremo nordeste da bacia Úmido B3, Úmido B2, Úmido B1, Sub-úmido C2 e uma pequena área na região noroeste classificada como Sub-úmido seco C1. As projeções futuras apontaram que poderá haver aumento das temperaturas do ar em pelo menos 2°C até o final do século XXI. Mudanças entre a duração dos períodos seco e chuvoso foram identificadas em todas as projeções, bem como um futuro processo de redução dos acumulados anuais de precipitação, sendo a região sentido noroeste/sudeste a mais vulnerável, implicando no desaparecimento das classes climáticas mais úmidas e no aumento em extensão das classes mais secas.

Palavras-chave: Mudanças climáticas, modelos climáticos globais, modelo CMIP6 CNRM-ESM2-1 SSP 126.

ABSTRACT

It is expected that climate change will alter the future climate, causing significant changes in the hydrological cycle, influencing the intensity and frequency with which extreme events will occur and thus affecting human natural systems, especially food production and water supply. In the present study, the objective is to identify the current climate of the Upper and Middle Cuiabá River Basin through the space-time variation of climate variables as well as future climate changes in the BHC. Historical and future rainfall data from the CMIP6 CNRM-ESM2-1 model were analyzed for the periods 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 and 2081-2100, in the SSP126 scenario, spatial resolution of ~1km. Historical data on average, maximum and minimum air temperature, precipitation, water vapor pressure, global solar radiation and wind speed for the period 1970-2000 at the same spatial resolution. The space-time variation of current and future climate variables were characterized by mapping and statistical analyses, considering monthly variation, dry and rainy seasons as well as annual totals. Data from MapBiomas referring to land use and occupation were analyzed and revealed that between 1985 and 2021 the main changes that occurred in the BHC were the replacement of natural areas by anthropized areas, especially for pasture and agriculture. The climatic variables showed characteristic seasonality and variation within the geographical region of the BHC, with the highest values in the rainy season and the lowest in the dry season. According to the climate classification of Thornthwaite and Mather (1955), the climate varies from: a small area in the extreme northeast of the basin Humid B3, Humid B2, Humid B1, Sub-humid C2 and a small area in the northwest region classified as Sub-humid section C1. Future projections indicate that there may be an increase in air temperatures by at least 2°C by the end of the 21st century. Changes between the duration of the dry and rainy periods were identified in all projections, as well as a future process of reduction in accumulated annual precipitation, with the northwest/southeast region being the most vulnerable, implying the disappearance of the most humid climate classes and the increase in extension of the drier classes.

Keywords: Climate change, global climate models, CMIP6 CNRM-ESM2-1 SSP 126 model.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Problemática

As mudanças climáticas podem afetar a dinâmica espaço-temporal do ciclo hidrológico, bem como influenciar a intensidade e frequência de eventos extremos, afetando os sistemas naturais e humanos, como a produção de alimentos, abastecimento de água, geração de energia e muitos outros usos (VÉLEZ-NICOLÁS et al., 2022; YANG et al., 2019; ZOU; ZHOU, 2013)

A expectativa é que as alterações climáticas se intensifiquem ainda mais no futuro, aumentando o estresse hídrico em muitas partes do mundo, apesar de ainda existirem muitas incertezas nas projeções futuras e como serão as respostas de cada região climática (MOSS et al., 2010; VÉLEZ-NICOLÁS et al., 2022). Distúrbios no ciclo hidrológico podem causar escassez de água em uma região, ou seja, em um sistema de oferta de água, a consequência mais relevante pode ser a restrição no consumo. A escassez é a medida em que a demanda excede os recursos disponíveis e pode ser causada por seca ou por ações humanas, como crescimento populacional, uso indevido de água e desigualdade de acesso aos recursos.

Considerando que a seca é uma característica recorrente do clima caracterizada pela escassez de água em relação ao suprimento normal, durante um longo período de tempo – uma estação, um ano, ou vários anos. O termo é relativo, pois as secas diferem em extensão, duração e intensidade, definidos de acordo com as características de cada regime climático, setores afetados ou com referência a aplicação ao uso dos recursos hídricos e seus efeitos negativos podem ser observados por inúmeros fatores, como a demanda dos recursos hídricos ou sua estratégia de gestão (VÉLEZ-NICOLÁS et al., 2022; WILHITE; GLANTZ, 1985).

A mudança climática é caracterizada com base nas tendências abrangentes de temperatura e precipitação, em um período de longa duração e outros componentes, como pressão e o nível de umidade de um ambiente (ABBASS et al., 2022). Uma ampla variedade de índices foram desenvolvidos para detectar, monitorar e avaliar as mudanças climáticas, em específico os períodos de secas. Esses índices geralmente são relevantes para um determinado tipo de seca e dependem de combinações dos

dados de precipitação, temperatura, evapotranspiração ou vazão de um curso d'água (VÉLEZ-NICOLÁS et al., 2022).

1.2 Justificativa

Este trabalho se justifica pelo fato de que a caracterização climática da bacia hidrográfica a partir de dados climáticos de referência, pode ser comparada com cenários futuros de mudanças climáticas. Tais comparações, permitirão analisar a influência das mudanças climáticas sob cenários futuros sobretudo, a sazonalidade no ciclo hidroclimatológico, especialmente as características de variação espaço-temporal da precipitação relacionados aos eventos extremos.

Esses aspectos são de grande importância para a gestão e planejamento dos recursos hídricos e dos ecoambientes assim como a mitigação dos riscos de inundações e secas em uma bacia hidrográfica (PAN et al., 2016; REBOITA et al., 2019; WANG et al., 2013).

A BHC alimenta núcleos urbanos, desta forma, analisar a disponibilidade hídrica da bacia pode auxiliar no planejamento do plano de recursos hídricos por Estado conforme a Lei N° 9.433 de 8 de janeiro de 1997.

Conhecer os padrões das variáveis climáticas é crucial para conceber o alerta precoce e para uma melhor gestão da água e mitigação do impacto a partir de simulações baseadas em cenários de mudanças climáticas, mudanças nos usos das terras fornecendo informações importantes de avaliação sobre o efeito das políticas públicas setoriais sob diferentes condições.

1.3 Hipótese

O Estado de Mato Grosso, considerado como um estado brasileiro com abundância hídrica, vem apresentando em algumas áreas e em determinadas épocas do ano, estresse hídrico, devido à extensão e heterogeneidade hidrometeorológica e/ou às alterações decorrentes das atividades antrópicas sobre a quali-quantidade do recurso natural. Nesse sentido, é muito provável que a bacia hidrográfica do Alto e Médio Rio Cuiabá sofra episódios de seca mais longos e severos no futuro, assim

como o aumento da temperatura do ar ao longo dos anos, o que poderá implicar em uma reclassificação climática da região.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

O objetivo geral foi realizar a caracterização climática da bacia hidrográfica do Alto e Médio Rio Cuiabá a partir de superfícies referente ao período de 1970 a 2000 bem como a simulação de cenários futuros compreendendo os períodos de 2021 a 2040, 2041 a 2060, 2061 a 2080 e 2081 a 2100.

2.2. Objetivos específicos

Como objetivos específicos tem-se:

- Caracterizar espaço-temporalmente o clima atual a partir das superfícies climáticas de temperaturas mínima, média e máxima do ar, precipitação pluvial, pressão de vapor de água, radiação solar e velocidade do vento na resolução espacial ~1km (período de referência 1970-2000) em escala anual, sazonal e mensal.
- Definir o período chuvoso e de estiagem baseado no método de Thornthwaite (1955);
- Avaliar a relação das variáveis climáticas com a elevação da bacia hidrográfica do Alto e Médio Rio Cuiabá;
- Caracterizar espaço-temporalmente o clima futuro, por meio de projeções de superfícies climáticas de temperatura máxima e mínima do ar e de precipitação, nos períodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 e 2081-2100 pelo modelo CNRM_ESM2-1 e cenário SSP 126;
- Realizar a classificação climática atual e no futuro com base no método de classificação de Thornthwaite (1948).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Mudanças climáticas

As mudanças climáticas são consideradas pelo Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas (IPCC) como “uma variação estatisticamente significativa no estado médio do clima ou em sua variabilidade, que persiste por um período prolongado, geralmente de décadas ou mais, podendo ser decorrentes de processos internos naturais, forçantes externas naturais, ou mudanças antropogênicas persistentes na composição atmosférica e no uso da terra.” Mais específico, a *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) define mudanças climáticas como: “uma alteração no clima que é atribuída direta ou indiretamente à atividade humana, que modifica a composição da atmosfera e que se soma à variabilidade climática natural observada ao longo de escalas temporais comparáveis.”

As mudanças climáticas globais são sentidas localmente nas alterações das chuvas, sistemas de drenagem e inundações vêm ganhando destaque ao longo das décadas. Muitas pesquisas vêm sendo desenvolvidas com intuito de analisar tal cenário (CHONG-HAI; YING, 2012; OH et al., 2014; POURMOKHTARIAN et al., 2017; ZHANG; ABRAHAO; THOMPSON, 2021). As alterações climáticas decorrente de influências antropogênicas, influenciam diretamente o ciclo hidrológico provocando impactos relevantes nos padrões de chuvas, afetando tanto no escoamento superficial quanto na frequência e magnitude das inundações.

Estudos mencionam que as mudanças climáticas já estão ocorrendo como consequências das emissões de gases de efeito estufa (GEE) resultante das ações antrópicas, comprovando que o aumento da temperatura em nível global (Figura 1) tem levado ao aumento de eventos extremos, dentre eles o aumento e a frequência de precipitação e como consequências episódios catastróficos de inundação em várias localidades (MAHMOUD; GAN, 2018; RAMOS FILHO, 2022).

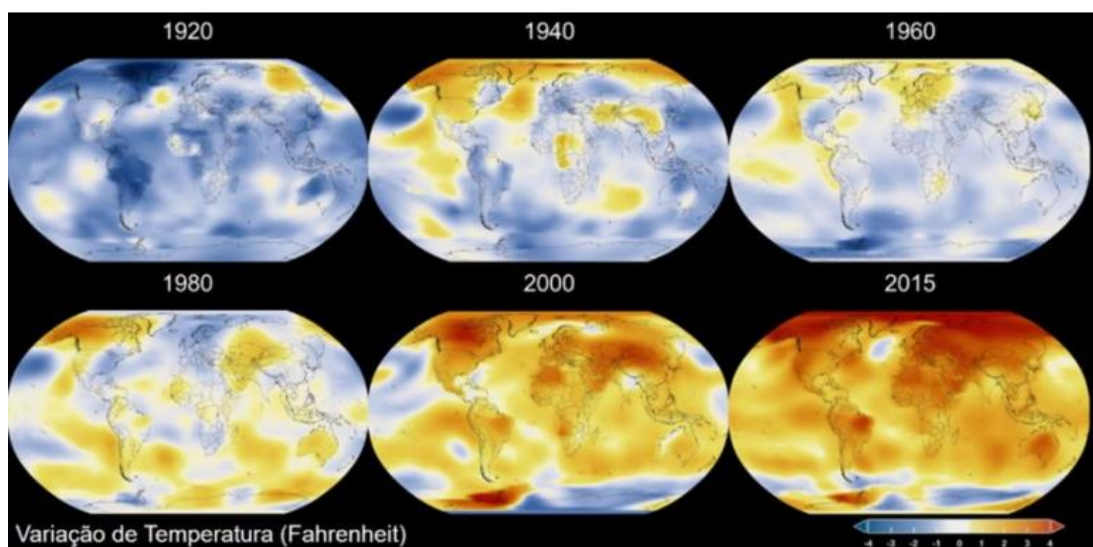


Figura 1- Variação da temperatura média global entre 1920 e 2015

Fonte: NASA, 2022.

A intensificação das mudanças climáticas induzidas por ações humanas foi relatada no quinto Relatório de Avaliação - AR5 (IPCC, 2014) e reafirmada no sexto relatório do Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas - IPCC (2022), por meio de mudanças observadas em eventos extremos de precipitação, secas severas, ciclones tropicais assim como ondas de calor. A previsão é que, decorrente do aquecimento global ocorra alteração na variabilidade do ciclo da água aumentando a gravidade dos eventos úmidos e secos globais e regionais. Os dados projetados indicam, que até o final do século, as temperaturas poderiam aumentar de 2,6 a 4,8° C na média global, com incremento de 0,45 a 0,82 metros no nível do mar (IPCC, 2022)

Estudos têm sido desenvolvidos em escalas que vão desde de pequenas bacias hidrográficas a todo o globo, afim de identificar os impactos das mudanças climáticas nos sistemas hidrológicos. Apesar das mudanças climáticas serem um fenômeno global, os impactos causados são sentidos principalmente em cidades onde se encontram os assentamentos humanos que concentram a maior parcela da população que vive em situação de vulnerabilidade e que dependem de setores que são sensíveis ao clima como agricultura, recursos hídricos e silvicultura para sua subsistência (JHA et al., 2006; STEINMETZ, 2020; XU et al., 2013). A alteração das variáveis climáticas temperatura, precipitação e concentração de dióxido de carbono na atmosfera podem provocar impactos em outras variáveis como evapotranspiração,

vazão, umidade do solo, afetando direta ou indiretamente a produção agrícola (FEREIDOON; KOCH, 2018; ZHANG; ABRAHAO; THOMPSON, 2021).

Os impactos oriundos das mudanças climáticas são diversos e heterogêneos e afetam não só a quantidade, mas a qualidade da água, incluindo aumento significativo na demanda de água para irrigação, diminuição dos ciclos vegetativos, aumento do risco de onda de calor ou inundações, grandes repercussões diretas na produção agrícola ou impactos na qualidade dos produtos (STEINMETZ, 2020; ZHANG; ABRAHAO; THOMPSON, 2021).

Os padrões de eventos extremos de precipitação decorrente das mudanças climáticas vêm sendo objeto de estudos sob condições históricas e futuras. O mapeamento dessas mudanças se torna essencial para o planejamento de estratégias de adaptação e mitigação, sobretudo em áreas ambientalmente críticas em que pequenas mudanças podem gerar transformações significativas no setor de serviços envolvendo a água, sendo o uso de modelos climáticos globais uma abordagem comumente usada para avaliação dessas alterações (HAMED et al., 2022; MALLAKPOUR; VILLARINI, 2017; RAMOS FILHO, 2022; THANVISITTHPON; SHRESTHA; PAL, 2018).

3.2. Modelos climáticos globais

Os Modelos Climáticos Globais (em inglês *Global Climate Models* – GCMs) são as principais ferramentas para analisar as projeções de cenários de mudanças climáticas, pois são modelos matemáticos que simulam processos físicos, químicos e biológicos da atmosfera, terra e oceano e auxiliam cientistas a entenderem como o clima mudou no passado e pode mudar no futuro como resposta do clima global, decorrente de diferentes cenários de emissões GEE (RAMOS FILHO, 2022). Tais modelos fazem parte do Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados (em inglês *Coupled Model Intercomparison Project* – CMIP) do IPCC.

Os GCMs estão em constantes atualizações e evoluíram significativamente desde a primeira geração (CMIP1), até a mais nova versão (CMIP6), para atender as demandas de pesquisadores, melhorando os déficits do CMIP5 e espera-se que

possíveis vieses sejam minimizados nesses novos modelos (EYRING et al., 2016; SONG et al., 2021).

O sexto relatório de avaliação do IPCC (AR6) apresentou este ano ao público os novos modelos de última geração CMIP6, contando com 100 modelos climáticos produzidos por 49 grupos diferentes de modelagem. Os componentes presentes nos modelos mais recentes estão detalhados em Séférian et al. (2019) e Voldoire et al. (2019) e aqui, será apresentado um breve resumo dos componentes, são eles: 1) atmosférico que é baseado no modelo espectral atmosférico global ARPEGE-Climat, onde é utilizado um truncamento triangular linear T127 junto com uma grade Gaussiana reduzida correspondente, representando 91 níveis verticais da atmosfera; 2) o núcleo dinâmico que é baseado em um esquema de integração numérica semi-lagrangiana de dois níveis de tempo marcado como ciclo 37 do sistema ARPEGE/IFS, que considera variáveis prognósticas (vorticidade, divergência, temperatura, umidade específica, pressão superficial, concentração de ozônio, nuvem e conteúdo de água sólida e líquida precipitante tanto para estratiformes e partes convectivas, energia cinética turbulenta e velocidade vertical convectiva; 3) superfície – SURFEX (*SURFace EXternalisée*) que é uma plataforma numérica que simula os fluxos superficiais na superfície da Terra, que considera três tipos de superfície: terra (incluindo áreas urbanas) lagos e oceanos; 4) Oceânico – NEMO (*Nucleus for European Models of the Ocean*) que representa os contornos mais realistas das plataformas de gelo assim como a dinâmica oceânica em 75 níveis verticais; 5) Gelo Marinho – GELATO, embutido no Nemo esse componente é responsável por melhorar a consistência do código para as representações de sal, água e conservação de energia nos gelos marinhos; 6) acoplamento – os componentes desses modelos são acoplados usando o software OASIS, que implementa trocas entre as várias fases executáveis do código rodando simultaneamente usando uma comunicação *Message Passing Interface* (MPI); 7) servidor de saída – XIOS, software de servidor paralelo de entrada/saída que permite a descrição declarativa dos conteúdos de saída e a realização de operações online nos campos, eliminado a necessidade de pós-processamento dos modelos.

Conjuntos de cenários de emissões denominados de Caminhos Socioeconômicos Compartilhados (em inglês *Shared Socioeconomic Pathways* –

SSPs) foram desenvolvidos e chamados de SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP4-6.0 e SSP5-8.5, que, diferentemente dos cenários antigos do AR5, as Vias de Concentrações Representativas (em inglês *Representative Concentration Pathway* – RCPs), são impulsionados por narrativas socioeconômicas da sociedade global, como demografia, educação, urbanização e taxa de desenvolvimento tecnológico. Um grande avanço apresentado nos cenários do CMIP6 foi a melhor exploração dos prováveis resultados da linha de base “sem política climática”, com a inclusão dos novos cenários SSP1-1.9, SSP4-3.4, SSP5-3.4OS e SSP3-7.0 (HAUSFATHER, 2019). O gráfico da Figura 2 apresenta as projeções desse conjunto de cenários.

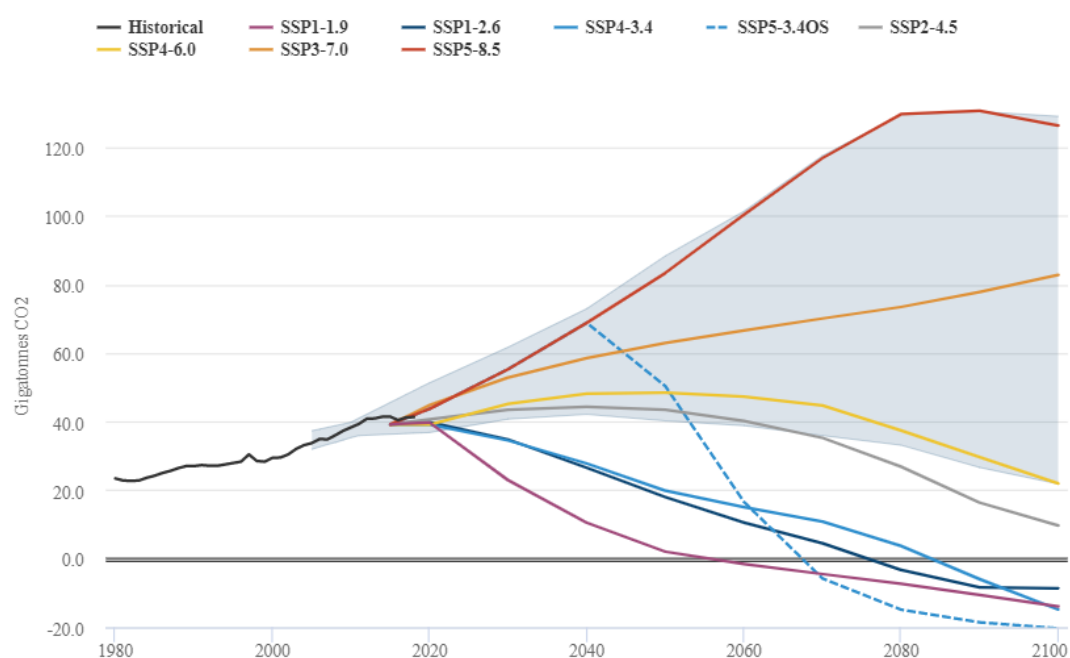


Figura 2 - Emissões históricas e projeções futuras de emissões de CO₂ para os caminhos SSPs apresentados no CMIP6. A área sombreada representa o intervalo de cenários de linha de base sem política.

Fonte: HAUSFATHER (2019)

Os SSPs foram baseados em cinco narrativas que descrevem amplas tendências socioeconômicas que podem moldar a sociedade futura. Elas incluem: um mundo de crescimento e igualdade com foco na sustentabilidade (SSP1); um mundo “no meio no caminho” onde as tendências seguem amplamente os padrões históricos (SSP2); um mundo fragmentado de “nacionalismo ressurgente” (SSP3); um mundo de desigualdade cada vez maior (SSP4); e um mundo de crescimento rápido e irrestrito na produção econômica e no uso de energia (SSP5) (RIAHI et al., 2017).

Dificuldades da utilização dos GCMs são mencionadas em estudos de impactos climáticos em escalas menores decorrente de suas resoluções globais, pois não possuem detalhes exigidos em nível regional ou local (CHEN; HUANG; CHEN, 2021; SIABI et al., 2021), além de limitações como erros sistemáticos (vieses), que são erros oriundos da resolução espacial limitada (grande espaçamento de grade), processos termodinâmicos simplificados e física ou compreensão incompleta de sistema climático global. Ramos filho (2022) menciona que para sanar essas dificuldades muitos estudos que avaliam os impactos das mudanças climáticas em escalas locais realizam o *downscaling* (redução de escala) e a correção de vies.

Neste sentido, a base de dados do WorldClim – *Global Climate Data* que disponibiliza dados de projeções futuras reduzidas do CMIP6 tem sido muito útil para pesquisas científicas, pois são disponibilizados no portal 9 modelos com *downscaling* e correções de vies. Na base mais recente, o WorldClim v2.1 utiliza um cenário climático de referência (*baseline*), disponibilizando os GCMS: BCC-CSM2-MR, CNRM-CM6-1, CNRM-ESM2-1, CanESM5, GFDL-EMS4, IPSL-CM6a-LR, MIROC-ES2L, MIROC6 e MRI-ESM2-0 para os caminhos SSP 126, SSP 245, SSP 370 e SSP 585. Dados mensais de temperatura mínima, temperatura máxima, precipitação e variáveis bioclimáticas são disponibilizados como valores médios em períodos de 20 anos (2021-2040; 2041-2060; 2061-2080; 2081-2100) para resoluções de 10 minutos, 5 minutos, 2,5 minutos e 30 segundos (sistema angular de longitudes e latitudes) (RAMOS FILHO, 2022).

O modelo utilizado nesta pesquisa foi CNRM-ESM2-1 sob o caminho socioeconômico compartilhado (SSP126, o caminho sustentável com um nível de forçamento de $2,6 \text{ W/m}^2$ até 2100) para investigar possíveis mudanças climáticas na bacia hidrográfica do Alto e Médio Rio Cuiabá. O CNRM-ESM2-1 é baseado no núcleo físico do CNRM-CM6-1 AOGCM que representa a atmosfera, terra, oceano e gelo marinho, processos físicos e dinâmicos e suas interações (VOLDOIRE et al., 2017). É um modelo de sistema terrestre de segunda geração que torna esse modelo mais complexo e realista em termos de processos. Os componentes do sistema terrestre são aerossóis troposféricos interativos, química atmosférica, bem como ciclos de carbono terrestres e oceânicos.

3.3. Impactos das mudanças climáticas no Brasil

As mudanças climáticas recentes decorrentes das atividades humanas provocam o aumento da temperatura global, chuvas anômalas e flutuações extremas no ciclo hidrológico observadas em diferentes regiões da Terra. No setor agrícola, as mudanças climáticas devem significativamente a segurança alimentar. Eventos como EL Niño Oscilação Sul (ENSO) devem continuar com variações regionais substanciais (GETACHEW; MANJUNATHA, 2022).

No Brasil, as mudanças climáticas estão refletindo na contração da estação chuvosa (BUTT; DE OLIVEIRA; COSTA, 2011), sendo a previsão da contração da estação chuvosa na região do cerrado de 5 a 6 meses até 2050 (COSTA; PIRES, 2010). Além disso, o desmatamento nos biomas Amazônia e Cerrado está associado ao início tardio e ao desaparecimento precoce da estação chuvosa (LEITE-FILHO; COSTA; FU, 2020; SAMPAIO et al., 2007). Essas mudanças relacionadas ao desmatamento, de alterações da estação chuvosa, têm o potencial de impactar tanto a viabilidade quanto o rendimento dos sistemas de cultivo duplo, com os impactos estimados em magnitude semelhantes à das mudanças climáticas globais (COSTA et al., 2019).

No Nordeste do Brasil, a grande preocupação relacionada às mudanças climáticas está ligada ao abastecimento de água para irrigação, para consumo humano, risco de inundações, geração de energia bem como o turismo e pesca. Desta forma, estudos que visem identificar padrões de variabilidade e mudanças climáticas nessa região podem ser úteis para redefinir políticas de gerenciamento de recursos e tornar o sistema mais resiliente aos desafios decorrentes das mudanças climáticas (GUIMARÃES et al., 2016; RAMOS FILHO, 2022; SILVEIRA et al., 2016).

Na região Amazônica, o desmatamento é um dos objetos de estudo mais relevantes com relação a mudanças climáticas. Identificar quais as reais consequências devidas as modificações do clima ajudam a compreender e mitigar os prováveis impactos que a flora e a fauna sofrerão com as prováveis mudanças climáticas (FEARNSIDE, 2002; FERRANTE; FEARNSIDE, 2020; SILVA et al., 2018). Almeida (2021), ao analisar as mudanças climáticas e os efeitos em comunidades de peixes amazônicos, relata quanto as mudanças climáticas, o clima

mais seco afetará o clima aquático que sofrerá profundas alterações, pois com o aumento das temperaturas, os índices de chuvas diminuirão, afetando todo sistema aquático, uma vez que será reduzida a disponibilidade de alimento e haverá quedas nas chances reprodutivas.

Na região Sudeste, Carvalho Júnior et al. (2022) avaliaram os efeitos das mudanças climáticas na alteração das chuvas na produção de Café em Minas Gerais e observaram mudanças no início e final da estação chuvosa, bem como um processo futuro de redução das acumulações de precipitações anuais na maior parte do estado, sendo as porções leste e nordeste as mais vulneráveis, com redução de 96 mm. Os autores mencionam que a redução da precipitação na região poderá causar impactos na produtividade do café, afetando a fase de expansão das frutas.

Em Mato Grosso, o regime pluviométrico é bem distinto, o Norte do Estado apresenta longa duração do período chuvoso de 9 meses com precipitação anual superior a 2.000 mm, enquanto que o Sul experimenta um período chuvoso de 7 meses com precipitação anual em torno de 1.500 mm, onde a estação seca ocorre de maio a outubro (ZHANG; ABRAHAO; THOMPSON, 2021).

No bioma cerrado, a grande problemática em relação às mudanças climáticas está associada a atividades antrópicas especialmente a agricultura e pastagem. Estudos foram realizados com objetivo de identificar os padrões de temperatura e precipitação por meio do balanço hídrico climatológico, evidenciando períodos críticos de escassez, sobretudo, da precipitação decorrente de tais atividades antrópicas e evidenciam que, ao longo dos anos, com o avanço do desmatamento, a tendência é não só a diminuição da estação chuvosa, mas também um atraso no início da mesma, sendo necessárias adaptações frente aos cenários de mudanças climáticas (CASSETTARI; QUEIROZ, 2016; REDIVO, 2020; ZHANG; ABRAHAO; THOMPSON, 2021).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Localização e descrição da área de estudo

A área de estudo foi a bacia hidrográfica do Alto e Médio Rio Cuiabá localizada nas coordenadas geográficas de 54°38' e 56°55' de latitude Oeste e 14°10' e 16°50' de longitude Sul, com área territorial de 22.851,1 km², na porção centro sul do Estado de Mato Grosso (Figura 3). Sua área compreende os municípios de Jangada, Acorizal e parte dos municípios de Chapada dos Guimarães, Cuiabá, Várzea Grande, Nossa Senhora do Livramento, Rosário Oeste, Nobres, Alto Paraguai, Diamantino, Planalto da Serra, Nova Brasilândia e Campo Verde (VITAL; COSTA; CURVO, 1996).

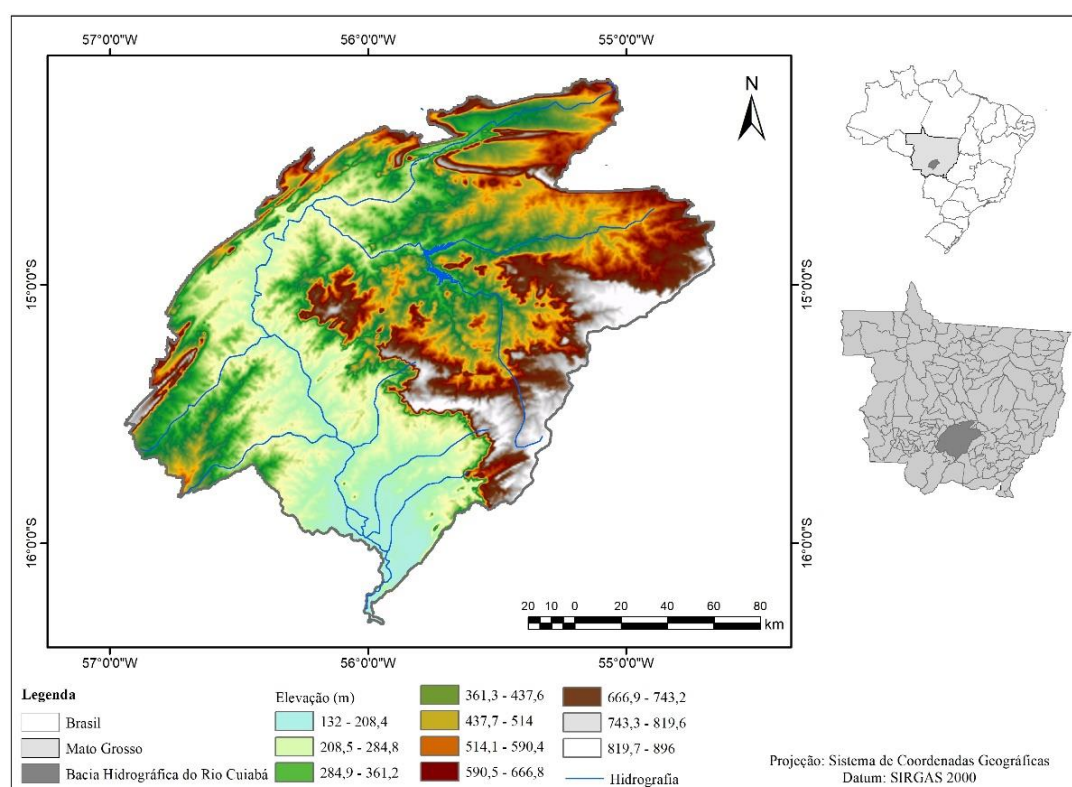


Figura 3 - Mapa da localização e de elevação (m) da bacia hidrográfica do Alto e Médio Rio Cuiabá no Estado do Mato Grosso Brasil.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

As cotas altimétricas da bacia hidrográfica do Alto e Médio Rio Cuiabá (BHC) variam entre 100 e 900 m, e os níveis altimétricos mais predominantes encontram-se entre 200 e 300 m na Depressão Cuiabana e no Planalto do Casca. Já os níveis acima dos 600 m ocorrem predominantemente na Chapada do Guimarães, em terrenos moldados em formas erosivas do tipo de superfícies Pediplanada em litologias terciárias. O ponto mais alto da BCH com 869 m se localiza na região sudoeste na Província Serrana. Já a menor cota é 158 m e ocorre na saída da mesma (ZEILHOFER, 2001).

De acordo com a classificação de Köppen, o clima é do tipo Aw – Tropical Chuvoso, cujo regime sazonal é controlado fundamentalmente por massas de ar originárias da zona tropical, sobretudo pelo Anticiclone do Atlântico Sul. A temperatura média anual do ar varia entre 22° e 25° C em acentuada correlação inversa com a altitude, onde na Depressão Cuiabana ocorre a maior média anual e na medida em que se afasta desta no sentido do Planalto dos Guimarães a temperatura diminui. As médias diárias são relativamente altas ao longo do ano todo, indicando um regime térmico com pequenas variações sazonais, onde a amplitude térmica não ultrapassa 4°C. A umidade relativa do ar média anual é 74,3%, com médio máximo nos quatros meses mais úmidos em torno de 81,3%, médio mínimo nos cinco meses mais secos e torno de 40% e médio mínimo absoluto em torno de 24% (CHIARANDA; COLPINI; SOARES, 2016).

A precipitação média anual é 1335 mm, variando sazonalmente entre dois períodos distintos: um chuvoso de outubro a abril e outro seco de maio a setembro. O trimestre mais chuvoso compreende os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, em que 60% da precipitação anual ocorre, sendo o mês de janeiro com o maior índice pluviométrico, com valores superiores a 200 mm/mês. Já o trimestre mais seco compreende os meses de junho, julho e agosto, em que a precipitação média é 26 mm/mês, sendo agosto com menor índice pluviométrico, com valores inferiores a 10 mm/mês. A sazonalidade da precipitação é decorrente dos sistemas regionais de circulação atmosférica, com distribuição não homogênea e diretamente relacionada ao relevo, sendo característica do regime sazonal tipicamente tropical (CHIARANDA; COLPINI; SOARES, 2016).

O rio Cuiabá tem sua nascente na depressão interplanáltica de Paranatinga, município de Rosário Oeste, a aproximadamente 500 m de altitude, e tem seu curso considerado até o bairro porto na cidade de Cuiabá, à aproximadamente 158 m de altitude. A área drenada é considerada uma bacia hidrográfica quando pela passagem pelo bairro Porto como referência, ou uma sub-bacia hidrográfica quando o leito do rio Cuiabá, até sua confluência com rio Paraguai. A rede de drenagem é constituída por cursos d'água perenes como os formadores do rio Cuiabá, rio Cuiabá da Larga e o Cuiabá Bonito; como tributários pela margem esquerda tem-se os rios Marzagão, Manso, Acorizal e Coxipó-Açu e pela margem direita estão os rios Chiqueirão, Jangada, Espinheiro e Pari (ZEILHOFER, 2001).

A variação na declividade do curso principal e o tempo de concentração das águas diferem na BHC entre a região do Alto Cuiabá e Médio Cuiabá, uma vez que a primeira região tem maiores valores de declividades do curso d'água e menor tempo de concentração. Já na segunda região, os valores são inversos, pois a área é característica do Pantanal Matogrossense, onde a declividade é extremamente baixa, o que corrobora no aumento do tempo de concentração (CHIARANDA; COLPINI; SOARES, 2016).

Com relação à geologia, as unidades litoestratigráficas que ocorrem na BHC são: Aluviões atuais, Cobertura Detrito Laterítica, Grupo ou Formação Bauru, Grupo São Bento, Grupo Paraná, Grupo Alto Paraguai e Grupo Cuiabá. As maiores extensões da cobertura são o grupo Cuiabá que representa 54,75%, seguido do grupo Alto Paraguai com 18,42% e o Grupo Bauru com 12,59% (CHIARANDA; COLPINI; SOARES, 2016).

Conforme o terceiro táxon geomorfológico, as unidades geomorfológicas presentes na BHC são: o Planalto dos Guimarães, Depressão do Rio Paraguai, Depressão Interplanáltica de Paranatinga e Província Serra. As maiores extensões são a Depressão do Rio Paraguai e o Planalto dos Guimarães, com 55,36% e 30,62%, respectivamente. Com relação aos solos, a BHC é recoberta em grande parte pelos tipos Podzólico Vermelho-Amarelo (23,64%), Areias Quartzosas (12,24%), Cambissolo (13,05%), Litossólico (16,66%) e Concrecionários (26,85%) (CHIARANDA; COLPINI; SOARES, 2016).

A vegetação é predominantemente de região Fitoecológica das Savanas, mas também com regiões como Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Estacional Decidual e Savana/Floresta Estacional. As maiores extensões são de Savana Arbórea Aberta com Floresta de Galeria, representando 57,94% e 15,25% dentro das regiões de Savana e Savana/ Floresta Estacional, respectivamente (CHIARANDA; COLPINI; SOARES, 2016).

4.2. Banco de dados utilizado

A Figura 4 representa o delineamento da metodologia, desde a aquisição dos dados e seus respectivos processamentos até as análises realizadas. A estrutura foi esquematizada, considerando formas e cores de um fluxograma básico, em que: 1) os cilindros em horizontais na cor azul escura, representam os bancos de dados que serão adquiridos para realização da pesquisa; 2) os losangos na cor azul claro, representam a etapa de pré-processamento dos dados, ou seja, nessa etapa os dados são tratados afim de selecionar espaço-temporalmente o período e local de estudo; 3) os paralelogramos na cor pastel, representam os dados adquiridos já tratados; 4) os retângulos em rosa claro, representam os processos que serão realizados para cada tipo de dado e 5) os retângulos em verde claro, representam os subprocessos que serão realizados para cada tipo de dado.

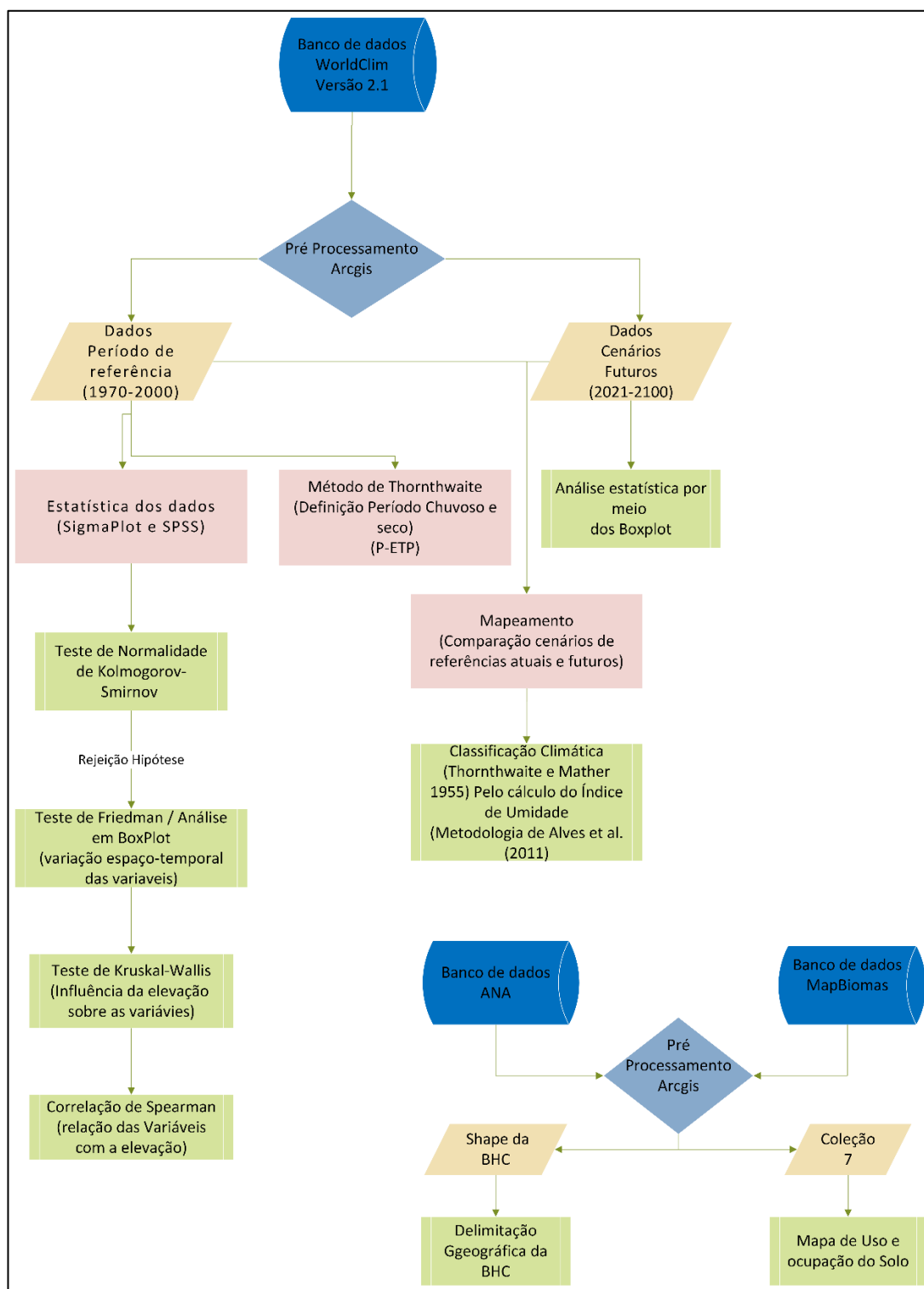


Figura 4 - Fluxograma da metodologia utilizada para o desenvolvimento da pesquisa.

4.2.1. Dados históricos climáticos

Considerando a disponibilidade de informações climáticas, os bancos de dados globais têm sido usados como ponto de referência para estudos climáticos, por exemplo, WorldClim (FICK; HIJMANS, 2017; HIJMANS et al., 2005), CHELSA (KARGER et al., 2020), ENVIREM (TITLE; BEMMELS, 2018) e MERRAclima (VEGA; PERTIERRA; OLALLA-TÁRRAGA, 2017). *WorldClim* é o conjunto de dados mais citado e atualizado periodicamente (NOCE; CAPORASO; SANTINI, 2020). Os bancos de dados foram projetados especificamente para fornecer estimativas climáticas altamente precisas, especialmente precipitação, em toda a superfície terrestre, combinando diferentes fontes de dados (BECK et al., 2020).

As superfícies climáticas globais de temperaturas mínima, média e máxima do ar ($^{\circ}\text{C}$), precipitação pluvial (mm), radiação solar ($\text{kJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$), pressão de vapor de água (kPa), e velocidade do vento (ms^{-1}) foram obtidas do projeto *WorldClim*, versão 2.1, na resolução espacial de 30 s ($\sim 1 \text{ km}^2$), referente ao período 1970-2000, dados estes amplamente utilizados pelo IPCC para as projeções apresentadas no AR6. Foram realizados os downloads de cada variável na plataforma do *Worldclim* (2022), cada download corresponde a um arquivo zip com 12 arquivos GeoTiff (.tif), sendo um para cada mês do ano (1 para janeiro; 12 para dezembro) (FICK; HIJMANS, 2017). Estes dados foram considerados como clima de referência, denominado como “clima atual”.

Para as projeções futuras de temperatura do ar e de precipitação pluvial, foram utilizados dados mensais, no período de 2021 a 2100 – classificados por intervalos de tempo ou *time-slices* (2021 – 2040; 2041 – 2060; 2061 – 2080; 2081 – 2100) do modelo climático acoplado CNRM-ESM2-1 da fase 6 do Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados (Sigla para CMIP6 – *Coupled Model Intercomparison Project Phase 6*) com o caminho socioeconômico compartilhado (Sigla para SSPs – *Shared Socio-economic Pathways*) SSP 126 com nível de forçamento $2,6 \text{ W/m}^2$, na resolução espacial 30 segundos disponibilizados pelo WorldClim e definido em um subconjunto na estação na extensão da BHC de acordo com a feição do polígono (SÉFÉRIAN et al., 2019). Os dados foram analisados com

técnicas de geovisualização para poder comparar os cenários de referência atuais e futuros de temperatura do ar e precipitação pluvial.

4.2.2. Delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá

A delimitação da bacia foi realizada pelo recorte da área de estudo utilizando um shape da ottobacia da região hidrográfica da BHC a partir do metadados da Agência Nacional das Águas (ANA, 2014), projetado no sistema de coordenadas geográficas SIRGAS 2000, com base no código de referência da ottobacia.

4.3. Mapeamento do uso e ocupação do solo

O mapeamento do uso e ocupação do solo foi realizado utilizando bancos de dados da plataforma MapBiomas versão 7. A metodologia de classificação utilizada pelo MapBiomas é feita a partir dos mosaicos Landsat que resultam nos mapas de cobertura e uso da terra para cada ano. Todos os dados estão no formato GeoTiff e possuem compressão LZW (MAPBIOMAS, 2022).

O download da coleção mais recente (coleção 7) foi feito por meio dos Toolkits preparados no Google Earth Engine que permite o download por Estado, bioma, município ou qualquer outra geometria desejada. Essa ferramenta tem a vantagem de exportar tanto o mapa como a estatística de área para as geometrias e períodos selecionados.

Com o intuito de representar as formas de uso e ocupação do solo para a BHC, foram selecionados três anos que compreendessem o período de estudo. Desta forma, os anos selecionados foram 1985, 2000 e 2021, sendo os dados de 1985 os mais antigos, o de 2000, os intermediários e de 2021 os mais recentes, disponíveis gratuitamente na plataforma.

As alterações gerais do uso e cobertura do solo foram observadas pelas seguintes equações:

$$MUC = MUC(\text{ano mais recente}) - MUC(\text{ano mais antigo})$$

$$MUC(\%) = (MUC(ha)/MUC(\text{ano mais antigo})) \times 100$$

Em que: MUC (ha) corresponde à mudança de uso e cobertura do solo em hectares; MUC (%) é a mudança de uso e cobertura em porcentagem; MUC (ano mais antigo) e MUC (ano mais recente) são a área total do tipo de classe de uso e cobertura do solo em hectares entre os anos de 1985, 2000 e 2021.

Foi avaliado também, a mudança do uso e cobertura do solo entre os anos de 1985 e 2021 mediante a construção da matriz geral de tabulação cruzada ou matriz de transição (Figura 5). A matriz permite analisar o quantitativo de áreas que se mantém ou persiste entre dois momentos distintos e as alterações, sendo os valores relacionados às classes no ano de 1985 apresentados nas linhas, às classes no ano de 2021, nas colunas e às persistências, na diagonal (sombreada) da matriz, de forma descente, possibilitando quantificar os ganhos e perdas de cada categoria. (ALVES; MARTINS; SCOPEL, 2018; ANGELINI, 2020; PONTIUS; SHUSAS; MCEACHERN, 2004).

Classificação 1985	Classificação 2021					Total 1985	Perdas
	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe n		
Classe 1	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{1n}	$\sum_{i=1}^{i=n} L_{1x}$	$\sum_{i=1}^{i=n} L_{1x} - C_{11}$
Classe 2	C_{21}	C_{22}	C_{23}	C_{24}	C_{2n}	$\sum_{i=1}^{i=n} L_{2x}$	$\sum_{i=1}^{i=n} L_{2x} - C_{22}$
Classe 3	C_{31}	C_{32}	C_{33}	C_{34}	C_{3n}	$\sum_{i=1}^{i=n} L_{3x}$	$\sum_{i=1}^{i=n} L_{3x} - C_{33}$
Classe 4	C_{41}	C_{42}	C_{43}	C_{44}	C_{4n}	$\sum_{i=1}^{i=n} L_{4x}$	$\sum_{i=1}^{i=n} L_{4x} - C_{44}$
Classe n	C_{n1}	C_{n2}	C_{n3}	C_{n4}	C_{nn}	$\sum_{i=1}^{i=n} L_{nx}$	$\sum_{i=1}^{i=n} L_{nx} - C_{nn}$
Total 2021	$\sum_{i=1}^{i=n} C_{x1}$	$\sum_{i=1}^{i=n} C_{x2}$	$\sum_{i=1}^{i=n} C_{x3}$	$\sum_{i=1}^{i=n} C_{x4}$	$\sum_{i=1}^{i=n} C_{xn}$	$\sum_{i=1}^{i=n} total\ 1985$	$\sum_{i=1}^{i=n} perdas$
Ganhos	$\sum_{i=1}^{i=n} C_{x1} - C_{11}$	$\sum_{i=1}^{i=n} C_{x2} - C_{22}$	$\sum_{i=1}^{i=n} C_{x3} - C_{33}$	$\sum_{i=1}^{i=n} C_{x4} - C_{44}$	$\sum_{i=1}^{i=n} C_{xn} - C_{nn}$	$\sum_{i=1}^{i=n} ganhos$	$\sum_{i=1}^{i=n} total\ 1985 - perdas$

Figura 5 - Matriz geral de tabulação cruzada para comparação de dois mapas em dois momentos distintos.

Fonte: adaptado de Pontius; Shusas; Mceachern (2004).

Através da soma de suas classes em cada linha com a subtração de sua persistência, é obtido a perda e por meio da soma das classes em cada coluna com a subtração de sua persistência, é obtido o ganho. Conforme apresentado na figura 5, o

somatório da coluna total 1985 permite observar o total de área de todas as classes presente na bacia e o somatório da coluna perdas observa-se o total de área das classes que tiveram perdas em 1985, assim como o somatório do total de 1985 menos o somatório das perdas observa-se a persistência geral das classes na bacia. Já somatório de ganhos, observa-se o total de ganho de áreas de todas as classes que ocorreram em 2021 (ALVES; MARTINS; SCOPEL, 2018; ANGELINI, 2020; PONTIUS; SHUSAS; MCEACHERN, 2004).

4.4. Pré-processamento de superfície climática

As superfícies climáticas globais das variáveis temperaturas, mínima ($T_{mín}$), média ($T_{méd}$) e máxima ($T_{máx}$) do ar, precipitação pluvial (P), radiação solar (R_{sg}), pressão de vapor de água (PVA) e velocidade do vento (V) do clima atual e temperatura máxima e mínima do ar e precipitação dos cenários futuros, foram importadas no software ArcGis 10.3 versão para estudante (ESRI, 2014) para recortar as superfícies climáticas na região geográfica da bacia hidrográfica e renomeá-las de acordo com a variável e o mês. Posteriormente, foram extraídos os valores de cada variável na tabulação dos dados em planilhas eletrônicas, sendo realizados os gráficos, análise dos boxplots e análises estatísticas no software SigmaPlot® versão 12.5 (SYSTAT SOFTWARE INC. - SSI, 2006) e SPSS versão 22 (IBM CORP, 2017).

4.5. Mapeamento de superfícies climáticas

Os arquivos de superfícies climáticas na BHC das variáveis temperaturas mínima, média e máxima do ar, precipitação pluvial, radiação solar, pressão de vapor de água e velocidade do vento, foram importados para realização do mapeamento por período (Chuvoso e seco) e mensal comparativo de cada variável no software ArcGis 10.3 versão para estudante (ESRI, 2014).

4.6. Estatística dos dados

Para análise estatística dos dados, fez-se o uso das médias mensais de temperatura do ar máxima, mínima, média, precipitação, radiação solar global, pressão de vapor d'água e velocidade do vento da série histórica do clima atual e de temperatura do ar máxima e mínima e precipitação dos cenários futuros, ademais foram utilizados dados de elevação do terreno da bacia e amplitude térmica (diferença entre a máxima e mínima).

A análise estatística adotada foi inicialmente a verificação da normalidade dos dados, por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov (TORMAN; COSTER; RIBOLDI, 2012) para avaliar se a distribuição dos dados adere à normal, sendo rejeitada a aderência com $\text{sig.} < 0,05$.

Após a rejeição da hipótese da normalidade, adotou-se para análise da variação espaço-temporal das variáveis climáticas o teste não paramétrico de Friedman (PIRES et al., 2018) de comparação múltiplas de amostras relacionadas (Figura 6), em que, a significância $p < 0,05$, em que a hipótese a ser testada é a de que não há nenhuma diferença entre os efeitos de tratamentos contra a hipótese alternativa de que pelo menos um par de tratamento difere entre si (PONTES, 2000).



Figura 6 - Resumo do teste de Friedman para as variáveis: temperatura máxima (a), mínima (b), média (c), Amplitude térmica (d), precipitação (e), radiação solar (f), pressão de vapor de água (g) e velocidade do vento (h).

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

O teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (SABINO; LAGE; NORONHA, 2017; SHESKIN, 2011) foi adotado para as comparações entre as medianas dos grupos, sendo detectadas diferenças significativas com $\text{sig.} < 0,05$, ou seja, os grupos evidenciam comportamentos diferentes entre si, quando se analisa a influência da elevação do terreno nas variáveis climáticas.

Por último, foi aplicada a correlação de Spearman para a verificar a relação das variáveis temperatura do ar e precipitação com a elevação (topografia), em que

o(s) par(es) de variáveis com coeficientes de correlação positivos e valores de P abaixo de 0,050 tendem a aumentar juntos. Para os pares com coeficientes de correlação negativos e valores de P abaixo de 0,050, uma variável tende a diminuir enquanto a outra aumenta. Para pares com valores de P superiores a 0,050, não há relação significativa entre as duas variáveis.

4.7. Definição do período chuvoso e de estiagem pelo método de Thornthwaite

Os períodos, chuvoso e seco foram definidos com base no balanço hídrico simplificado, por meio do cálculo da evapotranspiração potencial (ETP) pelo método de Thornthwaite e Mather (1955) e, posteriormente cálculo da diferença entre a precipitação (P) e a evapotranspiração potencial (ETP) mensal (CASSETTARI; QUEIROZ, 2016; NASCIMENTO; NOVAIS, 2020; NOVAIS, 2020).

A razão entre a P e ETP define o período chuvoso ou seco. Se a precipitação for menor que a evapotranspiração potencial, o mês foi considerado seco. Considerando que nessas condições quando ocorre maior evapotranspiração há uma deficiência no sistema solo-planta-atmosfera, o que pode gerar uma restrição no crescimento das plantas e diminuição da vazão tanto superficial quanto subsuperficial. No entanto, se a diferença entre P e ETP for maior que zero, o excesso de água pode gerar um escoamento superficial e um abastecimento dos níveis freáticos, favorecendo um crescimento máximo da vegetação.

4.8. Classificação Climática pelo método de Thornthwaite

Foram obtidos, por meio do modelo *worldClim 2*, os valores das variáveis climáticas P (mm) e T (°C) para o cálculo do índice de umidade (Iu). O Iu foi calculado conforme a metodologia de Alves et al. (2011), que consiste em um modelo matemático de regressão linear múltipla para caracterizar o índice de umidade de Thornthwaite Mather (1955) com base em banco de dados de temperatura média anual e precipitação pluviométrica anual.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Classificação de uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do Alto e Médio Rio Cuiabá

Levando-se em consideração que os resultados referentes a variabilidade das variáveis climatológicas tanto no clima atual como nos períodos futuros podem estar relacionados com a variabilidade do uso e ocupação do solo na região da BHC, fez-se necessária a classificação do uso e ocupação entre os anos específicos de 1985, 2000 e 2021 (Figura 7) e detalhada na Tabela 1. Observa-se que em 1985 o predomínio era das classes de formações naturais (Formação Florestal e Savânica), essas formações naturais em 1985 representavam cerca de 80% do total da bacia, em 2021 passou a ser aproximadamente 57%, ou seja, com passar dos anos grande parte dessas áreas foram ocupadas pelo aumento de áreas com produções agrícolas e pastagem.

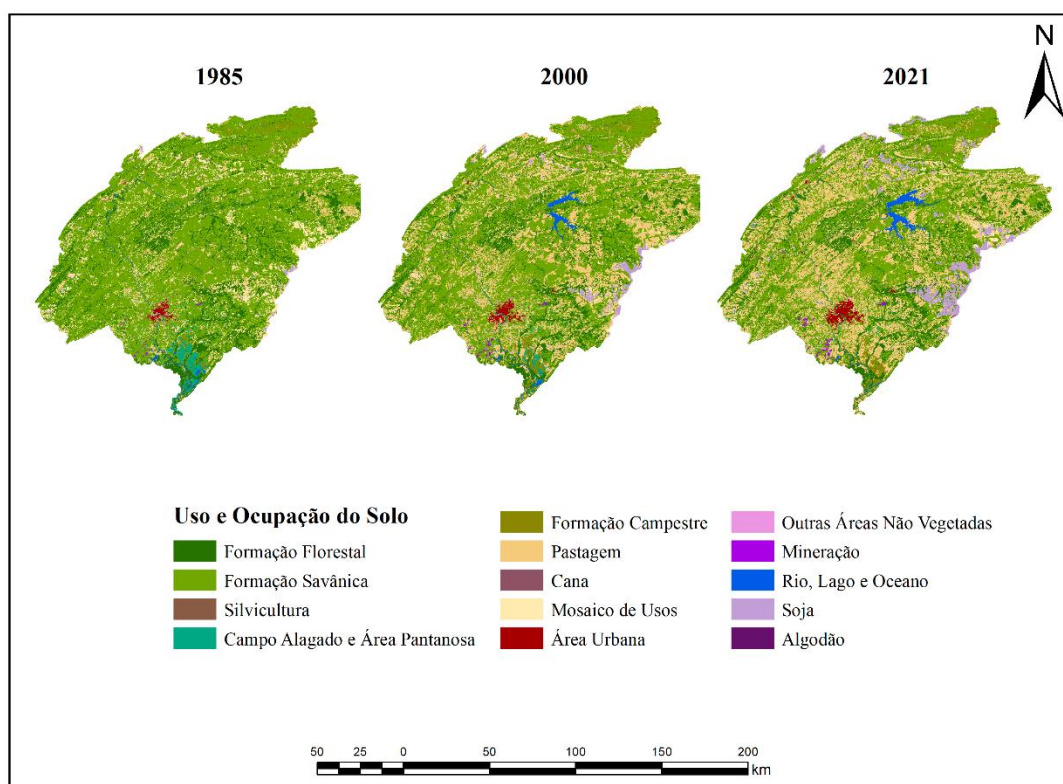


Figura 7 - Mapa de uso e ocupação do solo para os anos de 1985, 2000 e 2021, da bacia hidrográfica do Alto e Médio Rio Cuiabá no Estado do Mato Grosso, Brasil. Fonte: Dados MapBiomas. Elaborado pela autora (2022).

Conforme a tabela 1, as mudanças mais relevantes revelaram que a BHC sofreu o predomínio de pastagem com aumento de 349,5 e 450,68% para os anos de 2000 e 2021, respectivamente, seguido do aumento do cultivo de soja (421,44 e 1270%), da mineração (125,32 e 243,72) e de áreas urbanas (66,72 e 142,5%).

Tabela 1 - Valores das classes referente ao uso e ocupação do solo, juntamente com suas respectivas áreas (ha) para os anos de 1985, 2000 e 2021 e a porcentagem de aumento ou decréscimo das áreas dos anos de 2000 e 2021 com relação ao ano de 1985, da bacia hidrográfica do Alto e Médio Rio Cuiabá no Estado do Mato Grosso, Brasil. O sinal positivo indica aumento de área e o sinal negativo decréscimo de área.

Uso e ocupação do Solo	Área - 1985 (ha)	Área - 2000 (ha)	Área - 2021 (ha)	(%)	(%)
Formação Florestal	450237,26	410007,89	411304,03	-8,94	-8,65
Formação Savânica	1912669,26	1544491,49	1283778,26	-19,25	-32,88
Silvicultura		1211,28	11009,75		
Campo Alagado e Área Pantanosa	49420,79	25419,21	15025,69	-48,57	-69,60
Formação Campestre	40644,82	53649,17	51951,16	32,00	27,82
Pastagem	149793,72	673319,37	824891,18	349,50	450,68
Cana			3,12		
Mosaico de Usos	287775,84	123695,76	145273,08	-57,02	-49,52
Área Urbana	11267,09	18784,00	27322,61	66,72	142,50
Outras Áreas Não Vegetadas	16819,39	13949,43	10323,33	-17,06	-38,62
Mineração	1952,48	4399,27	6711,03	125,32	243,72
Rio, Lago e Oceano	16474,18	32012,37	40587,27	94,32	146,37
Soja	8570,57	44690,58	117447,67	421,44	1270,36
Algodão			0,67		

Schindel (2022) relata que o aumento da degradação, sobretudo no Cerrado, por meio da pastagem, ocasionou grandes danos ambientais tais como a “fragmentação de habitats, extinção da biodiversidade, invasão de espécies exóticas, erosão dos solos, poluição de aquíferos, degradação de ecossistemas, alterações nos regimes de queimadas, desequilíbrios no ciclo do carbono e supostamente modificações climáticas regionais”. Já as consequências decorrentes do aumento da produção agrícola e expansão urbana podem ser relacionadas ao uso da água, uma vez que pode haver um aumento na demanda de irrigação e de abastecimento, principalmente nos períodos de estiagem.

A partir da tabela de transição (Figura 8), é possível observar que de modo geral as principais alterações foram a substituição de áreas de formações naturais (formação florestal, formação Savânica, Campo alagado e Área pantanosa, Formação Campestre) que somadas totalizam uma perda de 811.416,41ha das respectivas áreas em 2021 com relação ao que se tinha em 1985, o que representa uma redução de 27,55% das classes de formação natural com relação a área total da bacia.

Em contra partida, as áreas antropizadas (Pastagem, Cana, Mosaico de usos, Área urbana, Outras áreas não vegetadas, Mineração, Soja e Algodão) tiveram ganho expressivo ao longo dos anos, totalizando 1.141.859,99ha, implicando um crescimento de 38,76% dessas áreas na extensão da bacia.

A diminuição de áreas naturais, podem afetar o equilíbrio do sistema solo-planta-atmosfera, uma vez que podem causar modificações na evapotranspiração e na absorção de carbono, influenciando na eficiência do uso da água. Desta forma, compreender como a vegetação realiza esse ciclo e os fatores que podem modificá-lo podem fornecer informações sobre as respostas às mudanças climáticas e ambientais, dando assim, meios para estudos sobre formas de mitigação das consequências relacionadas as modificações das áreas naturais (SANTIAGO; BARBOSA; WASHINGTON, 2021).

A partir da análise individual das classes, observa-se que as maiores perdas ocorreram nas classes: i) Outras áreas não vegetadas (79,97%) em que, as perdas ocorridas foram majoritariamente para pastagem com 31,50% de área convertida; ii) Campo alagado (77,41%) em a área convertida em Formação campestre e pastagem com 39,27% e 32,59%, respectivamente; iii) Mosaico de Usos (75,33%) que foram convertidas em Pastagem e soja com 50,99% e 18,05%, respectivamente; iv) Rio, Lago e Oceano (45,73%) convertidos em Formação florestal e Formação Campestre com 14,68% e 12,98% respectivamente; v) Formação Savânica (35,54%) convertidas grande parte em pastagem com 26,45%.

Fica evidente que ao longo desses quase 40 anos a bacia hidrográfica do Alto e Médio Rio Cuiabá passou por uma grande expansão das áreas de agricultura e pastagem sobre áreas originalmente cobertas por vegetação típicas do Cerrado, sendo estas, as principais alterações de perdas observadas na paisagem mapeada.

Uso e ocupação do solo 1985	Uso e ocupação do Solo 2021														Total 1985	Perdas
	Formação Florestal	Formação Savânica	Silvicultura	Campo Alagado e Área Pantanosa	Formação Campestre	Pastagem	Cana	Mosaico de Usos	Área Urbana	Outras Áreas não vegetadas	Mineração	Rio, Lago e Oceano	Soja	Algodão		
Formação Florestal	370451,26	17180,99	802,19	408,43	408,02	42120,50	1,17	4966,68	205,40	202,90	255,32	12296,41	1401,39	0,19	450700,84	80249,59
Formação Savânica	31217,32	1231821,57	7279,18	1785,24	2167,32	505524,10	0,00	53311,26	10084,90	4827,99	3138,95	16220,03	43507,69	0,44	1910885,98	679064,40
Silvicultura	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Campo Alagado e Área Pantanosa	566,17	788,74	0,84	11178,99	19430,86	16122,77	0,00	192,94	86,51	56,08	282,42	674,86	96,80	0,00	49477,98	38299,00
Formação Campestre	7,79	514,51	77,07	109,02	26887,56	9874,02	0,00	1019,95	28,81	831,44	38,18	16,52	1286,12	0,00	40690,98	13803,42
Pastagem	3562,87	21984,65	569,85	445,41	807,29	96203,41	0,23	12894,16	1897,04	276,34	126,36	1620,77	9568,28	0,00	149956,66	53753,25
Cana	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mosaico de Usos	2488,22	10336,74	1852,30	108,74	157,98	147239,25	1,81	71227,02	1376,51	707,89	519,76	632,72	52119,41	0,06	288768,42	217541,40
Área Urbana	1,29	4,22	-	0,17	-	3,11	0,00	0,66	11262,77	0,34	0,09	0,43	-	-	11273,08	10,31
Outras Áreas não vegetadas	112,01	1615,53	411,16	37,80	26,27	5324,71	0,00	1762,88	2313,50	3387,05	345,05	198,88	1371,57	0,00	16906,39	13519,35
Mineração	0,09	1,27	-	-	-	1,01	-	0,09	2,26	-	1952,79	-	-	-	1957,50	4,71
Rio, Lago e Oceano	2412,12	996,15	0,35	1022,35	2126,69	787,12	0,00	53,38	19,90	52,74	34,80	8915,15	5,55	0,00	16426,30	7511,16
Soja	0,17	11,92	1,06	-	-	284,48	0,00	259,81	0,89	13,02	-	-	8003,64	0,00	8574,99	571,35
Algodão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total 2021	410819,30	1285256,31	10993,97	15096,15	52011,99	823484,48	3,21	145688,81	27278,51	10355,80	6693,70	40575,77	117360,46	0,68	2945619,14	1104327,93
Ganhos	40368,04	53434,73	10993,97	3917,16	25124,43	727281,07	3,21	74461,79	16015,73	6968,76	4740,91	31660,62	109356,82	0,68	1104327,93	1841291,20

Figura 8 - Matriz de transição do uso e ocupação do solo entre os anos 1985 e 2021, na bacia hidrográfica do Alto e Médio Rio Cuiabá no Estado do Mato Grosso, Brasil. As células em cinza representam os valores das áreas que permaneceram sem alterações entre 1985 e 2021. As células com um traço representam áreas em que não houve perda (na horizontal) ou não houve ganho (Na vertical).

A supressão da vegetação nativa frente à expansão dos cultivos agrícolas, podem comprometer a manutenção de serviços ambientais, como a purificação da água, proteção do solo, regulação climática e falta de água, podendo impactar o ciclo hidrológico (MATRICARDI et al., 2019).

Com relação aos ganhos das classes, observa-se que as classes que mais alteraram a paisagem natural da bacia foram: i) soja (1275,30%), em que as classes reduzidas foram Mosaico de Uso e Formação Savânica com 44,41% e 37,07%, respectivamente; ii) Pastagem (484,99%) sendo a Formação Savânica mais atingida com 61,39% de sua área convertida em pastagem; iii) Mineração (242,19%) modificando 46,89% de Formação Savânica; iv) Rio, Lago e Oceano (192,74%) modificando Formações Savânica e Florestas com 39,97% e 30,30%, respectivamente; v) Área Urbana (142,07%) em que a principal alteração ocorreu em áreas de Formação Savânica 36,97%; vi) Formação Campestre (61,74%) em que a classe Campo Alagado e Área Pantanosa foi a mais convertida, 37,36%.

Essa configuração de conversão de formações naturais em principalmente áreas de cultivo e pastagem foram observadas sobretudo nas regiões mais plana da bacia (cota em torno de 208m). Em regiões do cerrado onde as características do relevo são mais planas, estas estão associadas a extensas áreas de cultivo ou pastagem, pois os solos são mais desenvolvidos e com boas características físicas facilitando a infiltração da água das chuvas, além de permitir a mecanização dessas áreas (SANTANA SANTOS; GUIMARÃES FERREIRA, 2017).

Outro fator que deve ser destacado foi aumento da classe que representa a hidrografia da bacia, esse ganho pode estar associado a criação de um grande empreendimento hidroelétrico que alagou uma área considerável da bacia nos anos 2000, o que não só afetou a flora como a fauna nativa da região (SIQUEIRA; HENKES, 2014).

5.2. Cenário de referência clima atual (1970 – 2000)

5.2.1. Determinação do período chuvoso-seco e o balanço hídrico climatológico

Durante o período de referência, houve sazonalidade climática bem definida, com os menores valores de P e ETP no período de seco e maiores durante o período chuvoso (Figura 9). Com relação a P, a média mínima do acumulado mensal ocorreu em julho e máxima em janeiro, 14,08 e 226 mm/mês, respectivamente. A ETP

apresentou mínima em junho e máxima em dezembro, 117,85 e 150,02 mm/mês, respectivamente.

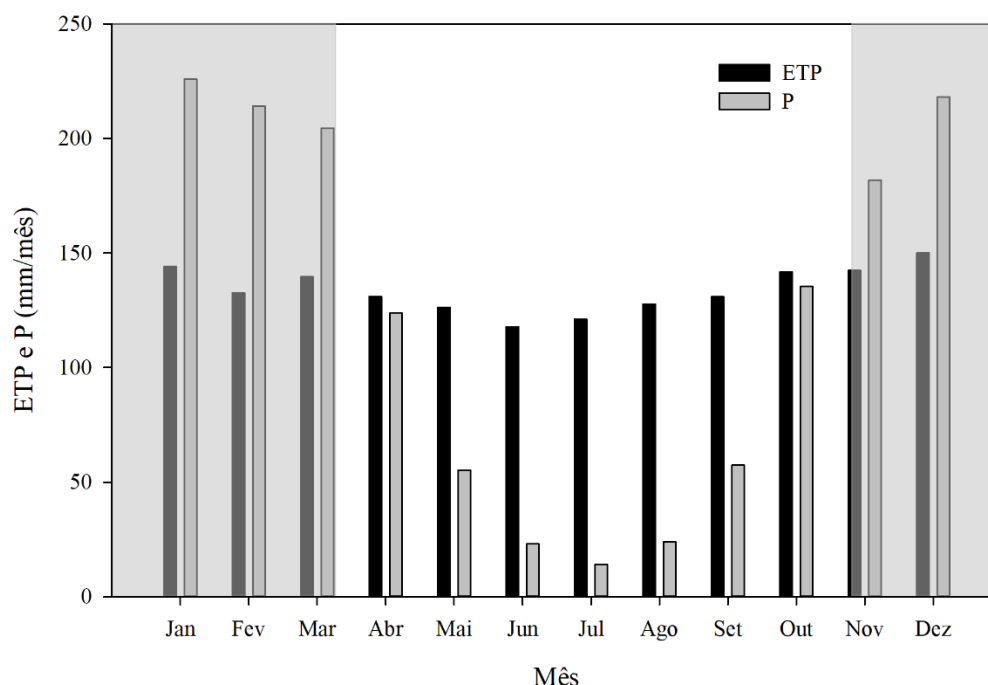


Figura 9 - Precipitação acumulada mensal (P, mm/mês) e evapotranspiração potencial (ETP, mm/mês) na bacia hidrográfica do Alto e Médio Rio Cuiabá, no período de referência 1970 – 2000. A área sombreada representa o período chuvoso. Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A diferença entre P e ETP calculados indicou que a P foi maior que a ETP durante os meses de janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro. Durante abril a outubro, a ETP foi maior que a P. Estes resultados corroboram com Cassettari e Queiros (2020), que realizaram o balanço hídrico e a classificação climática na bacia do rio do Jauquara, região de transição Cerrado e Amazônia Brasileira, e observaram os maiores índices pluviométricos entre dezembro e março (período chuvoso), com médias superiores a 200 mm e os menores entre maio a setembro (período seco), com médias inferiores a 40 mm. Os autores afirmam que essas são características típicas da região Centro-Oeste do Brasil, onde há a ocorrência de dois períodos distintos em relação a entrada de água no sistema: um com alta e outro com baixa pluviosidade.

Alguns autores mencionam que os meses de abril e outubro são considerados meses de transição entre o período chuvoso e o seco e entre o período seco e o

chuvoso, pois tais características estão relacionadas a atuação da massa de ar tropical continental que causa instabilidade na região (CALLEJAS, 2012; PAULA, 2021).

Desta forma, os meses que compreendem o período chuvoso são de novembro a março e o período seco de maio a setembro. O resultado do balanço hídrico climatológico para precipitação, temperatura do ar e evapotranspiração potencial são apresentados na Figura 10.

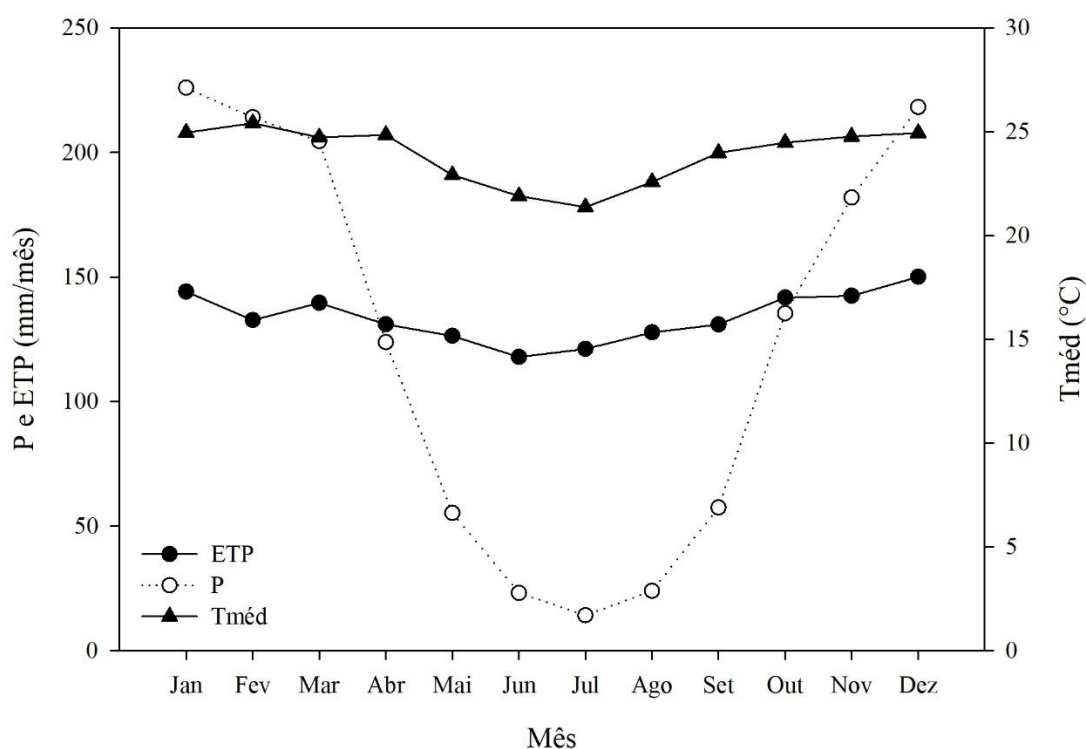


Figura 10 - Resultado do balanço hídrico climatológico para BHC: Precipitação média (P), Evapotranspiração Potencial (ETP) e Temperatura média (Tméd).
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A precipitação total anual acumulada da média do clima atual foi 1477,95 mm/ano e a ETP 1605,63 mm, evidenciando uma demanda hídrica de 127,68 mm maior que a precipitação, observa-se que a ETP não varia muito mês a mês, tendo um comportamento semelhante a Tméd. Já a P, além de variar consideravelmente ao longo do ano, apresenta os maiores valores (acima de 150 mm/mês) no período em que ocorrem as maiores Tméd (acima de 20° C).

Estes resultados corroboram com o estudo de Cassettari e Quieroz (2020) que afirmam que isso ocorre porque a água armazenada e disponível no solo não é

suficiente para prover todo o potencial evapotranspirométrico, limitando a evapotranspiração real com efeito direto no desenvolvimento dos organismos vegetais. Afirmam ainda que no período seco ocorre uma severidade hídrica significativa, de modo que a manutenção dos corpos hídricos e o ciclo hidrológico se tornam mais lentos, com menor entrada de água no sistema.

5.2.2. Variação espaço-temporal da temperatura do ar

Houve sazonalidade característica da temperatura do ar com menores médias mensais entre maio e setembro, e maiores nos meses restantes. As temperaturas máximas variaram entre 33,5 e 26,4 °C, com a maior temperatura em outubro e menor em julho, respectivamente. As temperaturas mínimas variaram entre 21,9 e 10,2 °C, em janeiro e julho respectivamente (Figura 11). Desta forma as temperaturas não apresentaram distribuição normal espaçotemporalmente, evidenciados no teste de Friedman com $\text{sig} < 0,05$.

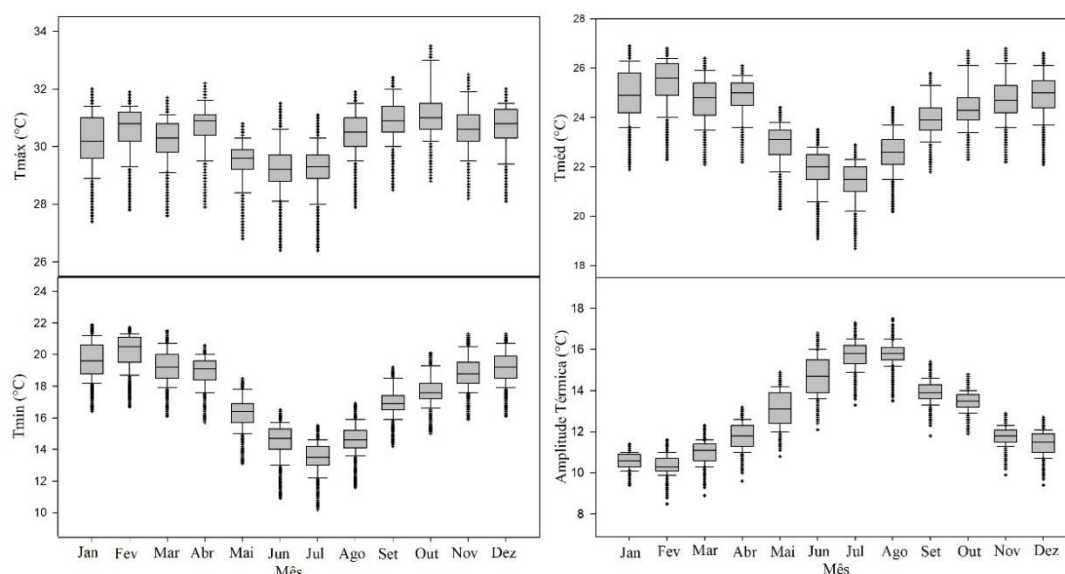


Figura 11 - Boxplot da média mensal de temperatura máxima, mínima, média e amplitude térmica na bacia hidrográfica do Alto e Médio Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, no período 1970-2000.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A maior e menor T_{med} ocorrem em janeiro e julho, 26,9 e 18,7 °C, respectivamente. Com relação a amplitude térmica, a sazonalidade apresentou o comportamento inverso das demais temperaturas, pois as maiores amplitudes

ocorreram entre maio e setembro e as menores nos meses restantes, com o maior valor no mês de julho 17,5 °C e menor 8,5°C em fevereiro.

Tal comportamento foi apresentado em estudos feitos em regiões semelhantes e/ou circunvizinhas à área de estudo, onde os autores evidenciaram a sazonalidade com maiores temperaturas ocorridas no período chuvoso e menores no período seco, revelando que esse comportamento pode estar associado a fatores como: o período seco compreender a época do ano que mais sofre déficit hídrico; condições sinóticas do período de estiagem, que podem ter influências de massa de ar como a massa tropical atlântica no período chuvoso e massas de ar de origem polar no período seco, além de fatores como latitude e altitude (CARVALHO et al., 2021; MENDES; DANIELICHEN; PEREIRA, 2019; NASCIMENTO; NOVAIS, 2020).

As figuras Figura 12, Figura 13 e Figura 14 apresentam o mapeamento da T_{máx} do ar (°C), T_{mín} do ar (°C) e T_{méd} do ar (°C), no período 1970-2000, na bacia hidrográfica do Alto e Médio Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. No geral, observa-se que as menores temperaturas estão concentradas apenas ao leste da BHC no período chuvoso, já no período seco elas ocorrem de forma mais esparsas ao longo da BCH, ao passo que as maiores frequências das temperaturas máximas ocorreram no período chuvoso em partes das regiões norte e oeste, mas sobretudo na região sudeste, região essa onde se concentram as regiões densamente urbanizadas.

O comportamento das temperaturas máximas pode ser observado no mapeamento que retrata os períodos (Figura 12). No período chuvoso as maiores T_{máx} são predominantes por quase toda bacia (acima dos 30° C) e os menores valores (até 28° C) concentram-se apenas na região leste. Já no período seco as maiores T_{máx} ocorrem na região noroeste e em parte da região sudoeste e as menores ocorrem no sentido leste/oeste da bacia.

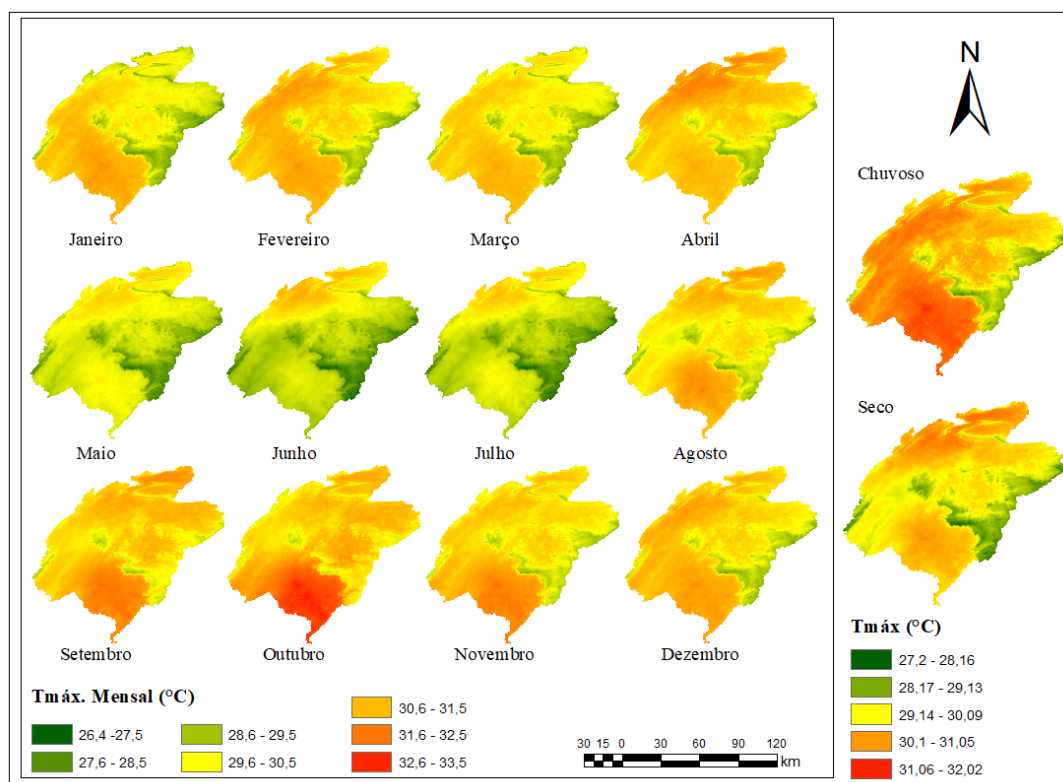


Figura 12 - Mapeamento da Tmáx mensal do ar (°C) e da Tmáx por período (chuvoso e seco), na bacia hidrográfica do Alto Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, no período 1970-2000.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Com relação a distribuição mensal da Tmáx, apesar da relativa proximidade dos maiores valores de Tmáx, percebe-se o predomínio espacial por quase todos os meses do ano (acima os 29° C), exceto maio, junho e julho. Desta forma, as menores temperaturas ficaram restritas apenas a região leste da bacia. Já, durante os referidos meses, o predomínio espacial foi das temperaturas mais baixas (até 28° C), ao passo que os maiores valores de temperatura se concentraram em partes da região noroeste da BHC.

Esse comportamento corrobora com o descrito por Nascimento e Novais (2020), que mencionam valores de temperatura do ar entre 32,1 e 37,5°, sobretudo, nas porções norte e noroeste do bioma cerrado, coincidindo sobre a área de estudo. Os autores explicam que tal comportamento pode estar associado à influência da altitude.

A Tabela 2 apresenta os resultados das correlações das temperaturas do ar e a elevação na BHC, uma vez que, realizado os testes de Kruskal-Wallis em todos os casos, a elevação apresentou influência significativa ($p\text{-valor} < 0,001$) sobre a variável

temperatura do ar. Observa-se correlação inversa entre a elevação e temperatura, ou seja, as menores temperaturas do ar ocorrem nas regiões mais elevadas ao passo que na regiões de elevações mais baixas ocorrem as maiores temperaturas do ar, exceto para a amplitude térmica.

Tabela 2 - Correlação de Spearman (ρ) para os dados de elevação e temperatura do ar, para a Bacia hidrográfica do Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.

Mês	(ρ) Elevação x Temperatura Máxima	(ρ) Elevação x Temperatura Mínima	(ρ) Elevação x Temperatura Média	(ρ) Elevação x Amplitude térmica
Janeiro	-0,956	-0,929	-0,957	0,518
Fevereiro	-0,928	-0,973	-0,976	0,638
Março	-0,961	-0,946	-0,969	0,586
Abril	-0,619	-0,966	-0,890	0,615
Maio	-0,593	-0,951	-0,944	0,582
Junho	-0,387	-0,905	-0,736	0,577
Julho	-0,541	-0,826	-0,739	0,446
Agosto	-0,654	-0,787	-0,756	0,428
Setembro	-0,675	-0,834	-0,789	0,545
Outubro	-0,635	-0,881	-0,783	0,380
Novembro	-0,899	-0,932	-0,934	0,632
Dezembro	-0,941	-0,948	-0,973	0,498

Considerando a $T_{máx}$, os meses que apresentaram as correlações mais fracas foram justamente os meses de maio, junho e julho. Já no restante dos meses, essa correlação passa a ser entre moderada e forte. Vale destacar que a correlação com a elevação se mostra mais evidente nas $T_{mín}$ e $T_{méd}$ enquanto que para amplitude térmica as correlações foram fracas para quase todos os meses.

Com relação as $T_{mín}$ (Figura 13), o predomínio espacial foi de classes com $T_{mín}$ superiores a 18° C entre novembro e abril com temperaturas inferiores a esse patamar se concentrando apenas na porção leste. Já os meses de maio a setembro

apresentaram predomínio espacial de temperaturas inferiores a 16° C, e se concentraram na região leste exceto no mês de julho em que a distribuição espacial se deu com temperaturas inferiores a 12° C por quase toda BHC.

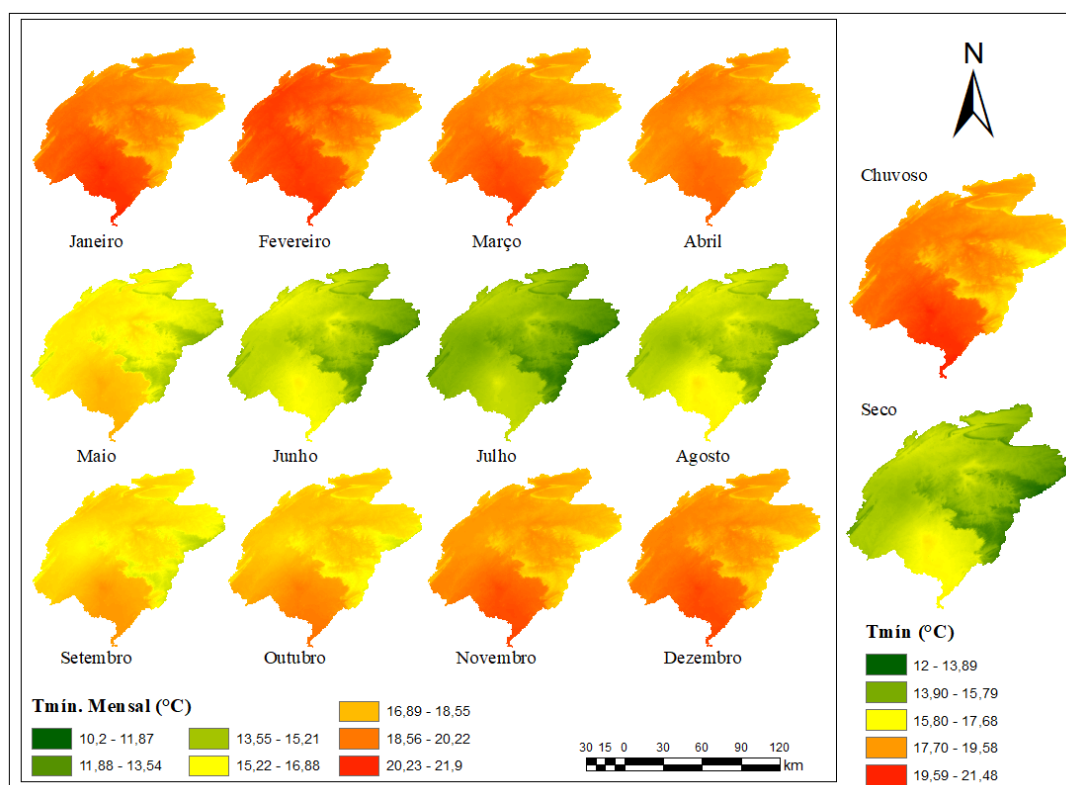


Figura 13 - Mapeamento da Tmín mensal do ar (°C) e da Tmín por período (chuvoso e seco), na bacia hidrográfica do Alto Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, no período 1970-2000.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Dentre todas as correlações analisadas, as melhores correlações com a elevação foi Tmín, pois conforme a Tabela 2, elas foram superiores a -0,7 para todos os meses. Coincidentemente durante os meses que apresentaram as correlações mais baixas foram os meses de julho e agosto. Vale ressaltar que nesses referidos meses é observado a presença de massas de ar de origem polar e são períodos que por conta da atuação dessas massas, ocorrem a entrada de frentes frias fazendo com que as temperaturas diminuam, ou seja, podem alterar o padrão espacial das Tmín nesse período sem a interação da altitude ao longo da BHC (PAULA, 2021).

No que concerne à variação mensal da Tméd (Figura 14), percebe-se que na maioria dos meses as médias foram superiores a 24°C por toda BHC, com menores

valores de temperatura na região leste, região com maior altitude. A exceção foi entre maio e agosto, meses que apresentaram médias inferiores a 22°C, sendo a região sudeste a única com valores superiores. Vale destacar que o mês de julho foi o que apresentou a menor média com valores inferiores a 20°C. Aqui as Tméd também apresentaram fortes correlações com a elevação (Tabela 2), porém houve uma ligeira tendência de queda nos meses de junho a outubro.

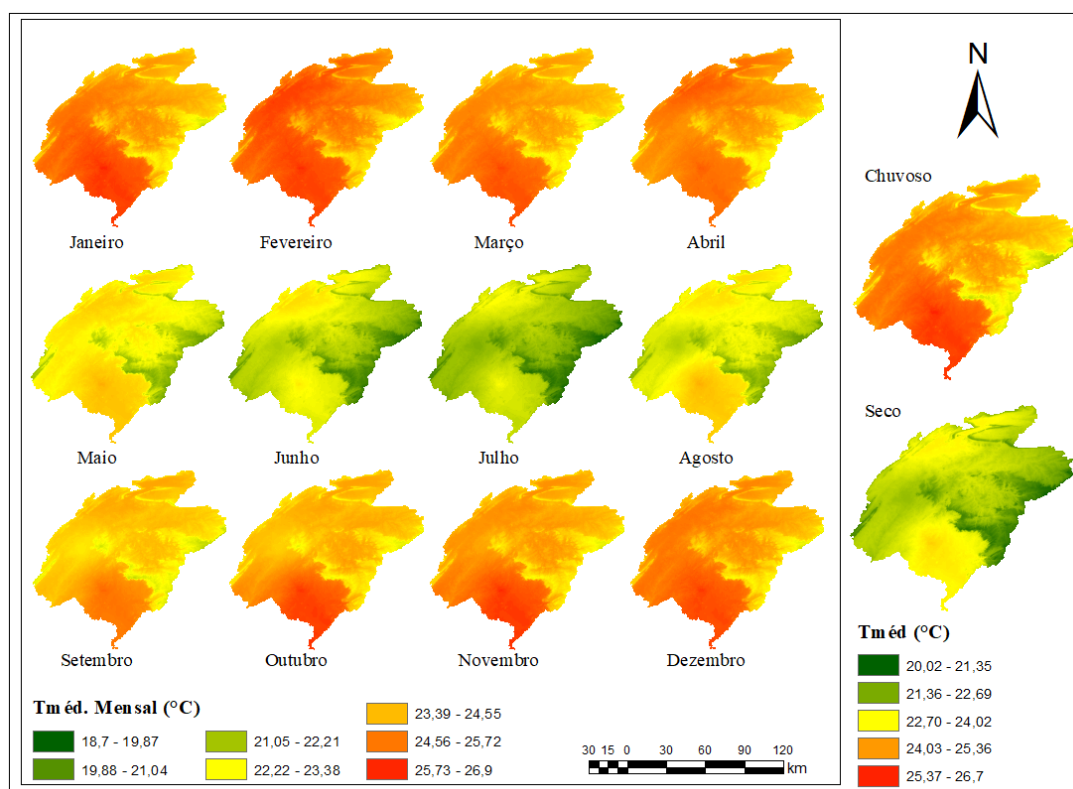


Figura 14 - Mapeamento da Tméd mensal do ar (°C) e da Tméd por período (chuvoso e seco), na bacia hidrográfica do Alto Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, no período 1970-2000.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Resultados semelhantes, foram encontrados por Rocha et al. (2018), que analisaram a variabilidade climática no município de Diamantino – MT, no período de 1987 a 2017 e encontraram pequenas variações entre a média dos meses mais quentes e os meses mais frios variando entre, 22,6° C em julho e 27° C em outubro. Ainda encontraram que durante o período de estiagem ocorreram as maiores amplitudes térmicas, compreendendo os meses de maio a agosto, e associaram o fato

decorrente da falta de água no sistema atmosférico, sendo fenômeno comumente observado em regiões de climas que sofre influência de continentalidade, pois o vapor d'água desempenha um efeito regulador, atenuando as amplitudes térmicas.

Chiaranda et al. (2016) afirmam que a maior média ocorre na Depressão Cuiabana e decresce à proporção que se afasta desta para o Planalto do Guimarães. Explicam ainda que o regime térmico na BHC não apresenta grandes variações sazonais, uma vez que há predominância de médias diárias relativamente elevadas durante o ano todo com amplitudes apresentando valores de 4°C.

5.2.3. Variação espaço-temporal da precipitação pluvial

Em relação aos dados históricos, a média da precipitação pluvial acumulada anual foi 1478 mm/ano, com mínimo e máximo de 1189 e 1804 mm/ano, respectivamente. Do total da precipitação acumulada anual, 86% ocorrem no período chuvoso e 14% no período seco. Considerando P mensal, os maiores valores foram observados em janeiro, seguido de dezembro (315 e 296 mm, respectivamente). Os meses de junho, julho e agosto foram os meses que apresentaram os menores valores (11,5 e 15 mm, respectivamente). O regime de precipitação foi caracterizado por duas estações, ou seja, uma estação seca no inverno austral e uma estação chuvosa no verão austral (ARVOR et al., 2014).

Conforme a Figura 15, as maiores variações espaço-temporais ocorreram no período chuvoso, em que além dos maiores valores P, houve maiores diferenças de ocorrência ao longo da BHC. Já o período seco, além de não ocorrerem grandes P, a distribuição da mesma foi relativamente parecida por toda área da bacia, pois nesse período a P não ultrapassou 70 mm/mês. Após o término do período seco, com baixa pluviosidade, houve a ocorrência de chuvas esparsas que se generalizam durante os meses de outubro e novembro (ALVES et al., 2011; FUNATSU et al., 2012; GAN; KOUSKY; ROPELEWSKI, 2004).

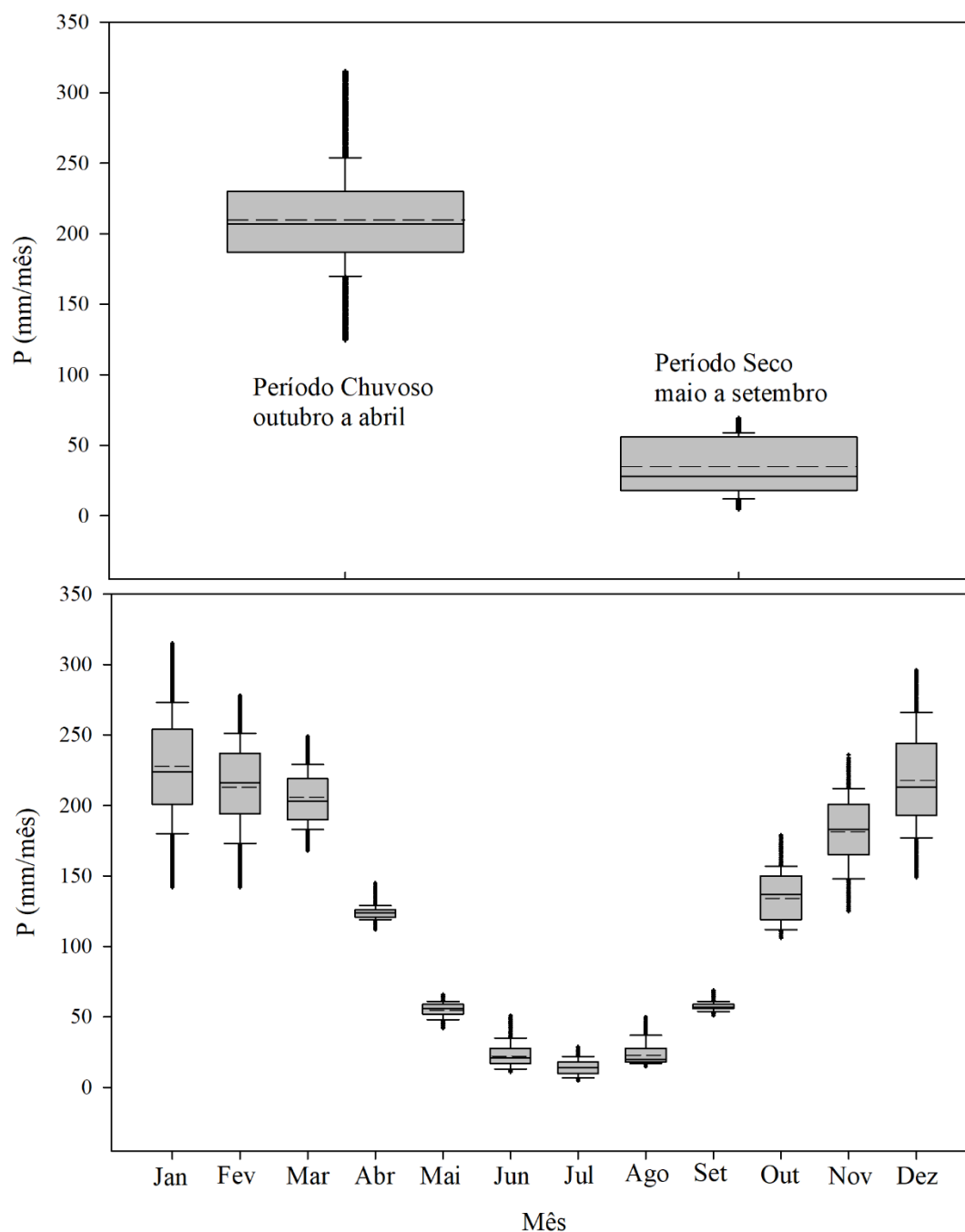


Figura 15 - Boxplot da precipitação pluvial mensal por período chuvoso e seco e de janeiro a dezembro (P, mm/mês), na bacia hidrográfica do Alto e Médio Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, no período 1970-2000. O gráfico representa o máximo e mínimo e primeiro e terceiro quartis dos dados. A linha sólida representa a mediana e a tracejada a média.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A marcante sazonalidade das chuvas é evidenciada pelos mapas na porção direita da Figura 16, com predomínio das classes com médias de P superiores a 1045

mm durante o período chuvoso e de classes com médias de P inferiores 174 mm no período seco. De fato, os mapas de variação mensal deixam evidente essa sazonalidade, sendo possível perceber que durante os meses de maio a setembro o predomínio espacial é das classes com médias mensais abaixo dos 70 mm de chuva, quando é possível verificar o valor mínimo de apenas 5 mm de P nesse período visto no mês de julho, ao passo que de novembro a março há o predomínio de classes com médias mensais de P superiores 210 mm.

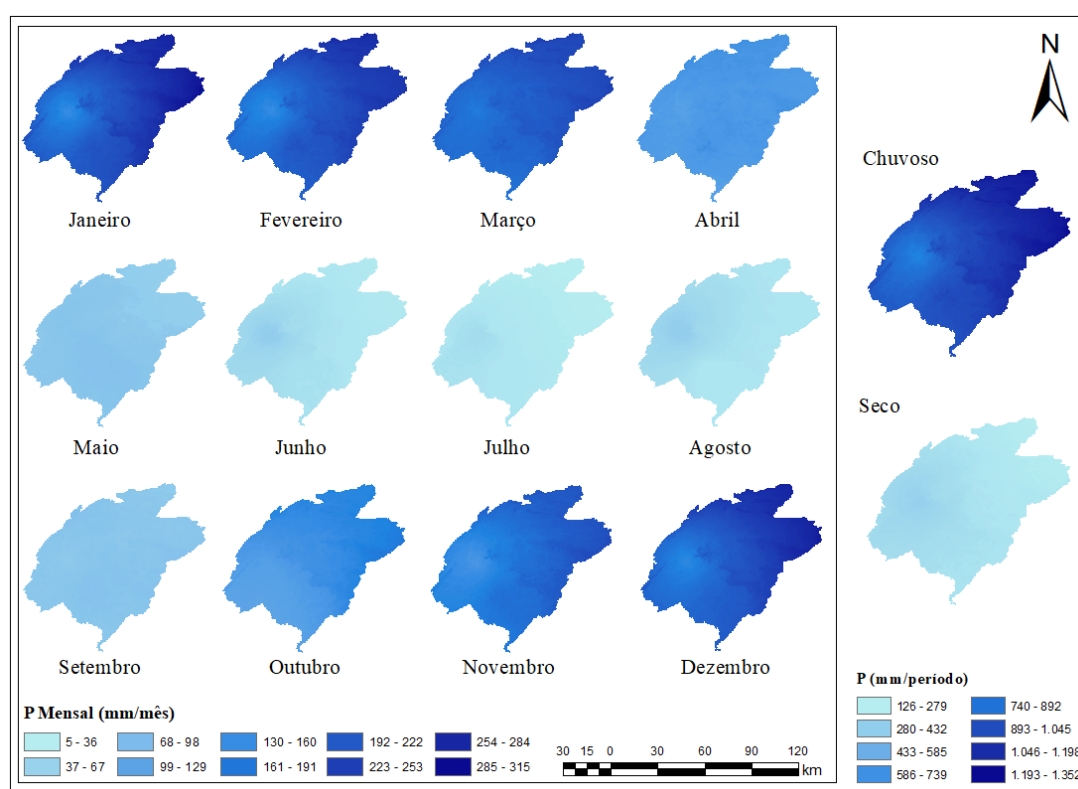


Figura 16 - Mapeamento da P (mm/mês) e da P acumulada (mm/período), na bacia hidrográfica do Alto Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, no período de 1970 a 2000. Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A Tabela 3 apresenta os resultados da variação de P com relação à altitude. É possível observar que não existe uma forte correlação da P com a elevação, apesar de quando feitos, os testes de Kruska-Wallis demonstraram alta significância da influência da elevação sobre a precipitação ($p\text{valor} < 0,001$), as correlações não ultrapassam 0,7, sendo consideradas correlações de fracas a moderadas. No geral, no período chuvoso, as correlações foram positivas e no período seco as correlações são

inversas. As melhores correlações foram nos meses de março e outubro, ao passo que as piores correlações ocorreram em agosto e setembro.

Tabela 3 - Correlação de Spearman (ρ) para os dados de elevação e precipitação pluvial para a Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá, no período de 1970 a 2000.

Mês	(ρ)	Mês	(ρ)	Mês	(ρ)
Janeiro	0,660	Maio	-0,600	Setembro	0,074
Fevereiro	0,624	Junho	-0,599	Outubro	0,721
Março	0,722	Julho	-0,627	Novembro	0,650
Abril	0,395	Agosto	-0,190	Dezembro	0,661

Durante o período chuvoso, pelo mapeamento da distribuição espacial pluviométrica, observa-se as menores precipitações no lado oeste da região, sendo a porção sudoeste a mais crítica e susceptível a eventuais estiagens. Ainda nesse período, o lado leste é marcado por maiores índices pluviométricos principalmente a noroeste, regiões de cabeceiras e recargas pluviais. Durante o período seco, as menores precipitações ocorreram no lado leste, em especial no mês de julho que apresentou P mensal inferior a 30 mm em grande parte da região norte e leste se estendendo até a região sudeste.

A distribuição espacial da precipitação está relacionada às características topográficas da bacia do Alto e Médio Rio Cuiabá. A bacia abrange regiões de maior altitude a leste/nordeste/sudeste e na região central uma região de planície, de modo que a superfície subjacente e a topografia da bacia são complexas. Tais condições topográficas afetam significativamente as características climáticas. Além disso, vários mecanismos que vão desde características de mesoescala e escala sinótica até teleconexões globais regulam a precipitação sobre a área (NGOMA et al., 2021). As principais características fisiográficas que afetam os padrões espaciais do clima são o terreno e os corpos d'água. A influência do terreno, muitas vezes referida como

orografia, é um fator dominante em todas as escalas espaciais, exceto nas maiores (DALY, 2006).

A relação entre elevação e precipitação é complexa e altamente variável no espaço, mas em geral, a precipitação aumenta com a elevação, devido ao soerguimento forçado e resfriamento de ventos úmidos por barreiras de terreno. O padrão de distribuição espacial na bacia do Alto e Médio Rio Cuiabá corresponde a variação do terreno. As cotas altimétricas na bacia variam entre 100 e 900 m, e os níveis altimétricos predominantes encontram-se entre 200 e 300 m na Depressão Cuiabana e no Planalto do Casca, os níveis acima dos 600 m ocorrem predominantemente na Chapada do Guimarães em terrenos moldados em formas erosivas do tipo de superfícies Pediplanada em litologias terciárias. O ponto mais alto (869 m) está localizado na região sudoeste na Província Serrana e a menor cota (158 m) no exutório da bacia(CHIARANDA; COLPINI; SOARES, 2016b).

No caso das precipitações, Nascimento e Novais (2020) afirmam que a variação ocorre especialmente como resposta da posição geográfica e da atuação dos sistemas atmosféricos responsáveis pelo transporte de umidade e formação de chuvas, que no caso do bioma cerrado, os sistemas atuantes são: a massa de ar equatorial continental (mEc), a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

5.2.4. Variação espaço-temporal da radiação solar, velocidade do vento e pressão de vapor de água.

Com relação aos dados históricos, a pressão de vapor d'água (PVA, kPa) apresentou sazonalidade definida variando de 1,32 a 2,85 kPa (Figura 17), com valores maiores de outubro a abril (acima de 2,2 kPa) e os menores de maio a setembro (até 2 kPa), refletindo bastante semelhança com os dados de temperatura, entretanto, é possível observar que não existe uma grande variação espacial ao longo da BHC. O vapor d'água desempenha papel fundamental nos processos físicos que ocorrem na atmosfera, como transferência de radiação e no transporte de calor latente, além de estabelecer uma ligação entre a superfície do planeta e a atmosfera, essa ligação é feita através de um ciclo hidrológico que envolve um importante

processo de realimentação, pois, à medida que aumenta a temperatura da atmosfera, mais vapor d'água pode ser armazenado (FREITAS et al., 2019).

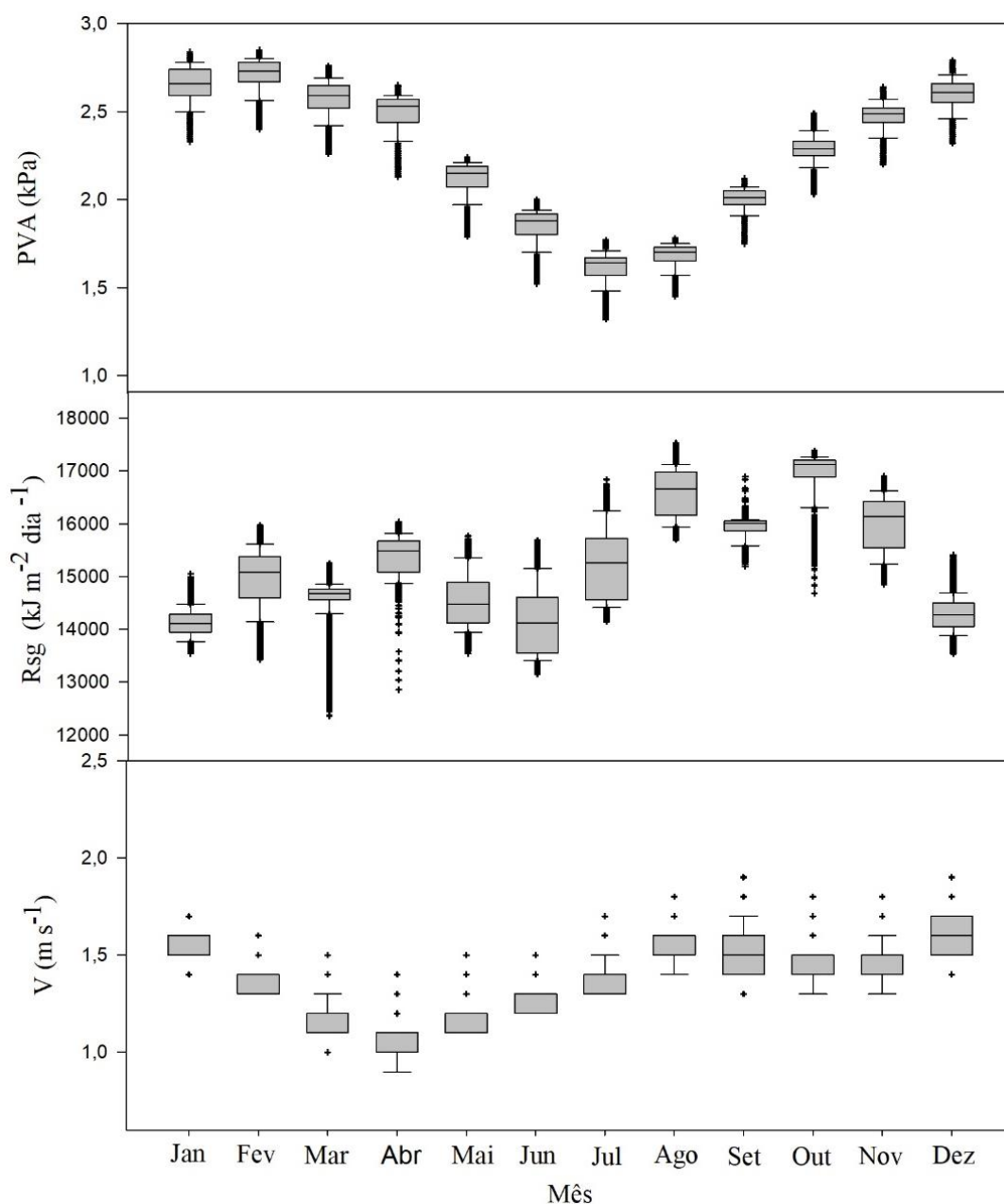


Figura 17 - Boxplot da Pressão de vapor de água (PVA, kPa), radiação solar (Rsg, $\text{kJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) e velocidade do vento (V, m s^{-1}), na bacia hidrográfica do Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, no período 1970-2000.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Quanto a radiação solar global (Rsg, $\text{kJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) é bastante variável ao longo do ano, variando mês a mês, destacando-se os meses de junho, julho agosto, outubro

e novembro que tiveram as maiores variações espaciais (de 13148 a 17543 $\text{kJm}^{-2} \text{dia}^{-1}$). Como a Rsg depende das condições atmosféricas, fatores como nebulosidade têm grande influência na quantidade de radiação que pode atingir a superfície. Quanto aos ventos, de maneira geral tiveram ocorrência de fracos a moderados em quase toda bacia. Sua média mensal é 1,49m/s, cujos meses de maior intensidade de ventos são setembro e dezembro.

As figuras Figura 18, Figura 19 e Figura 20 apresentam o mapeamento da PVA, Rsg e V no período 1970-2000, na bacia hidrográfica do Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. No geral, os maiores valores de PVA ocorreram no período chuvoso variando de 2,19 a 2,77 kPa, enquanto que os menores valores no período seco, variaram de 1,58 a 2,18 kPa. O que pode ser confirmado na distribuição mensal, em que no período chuvoso o maior valor foi 2,85 kPa em fevereiro e o menor 1,32 kPa em julho (Figura 18).

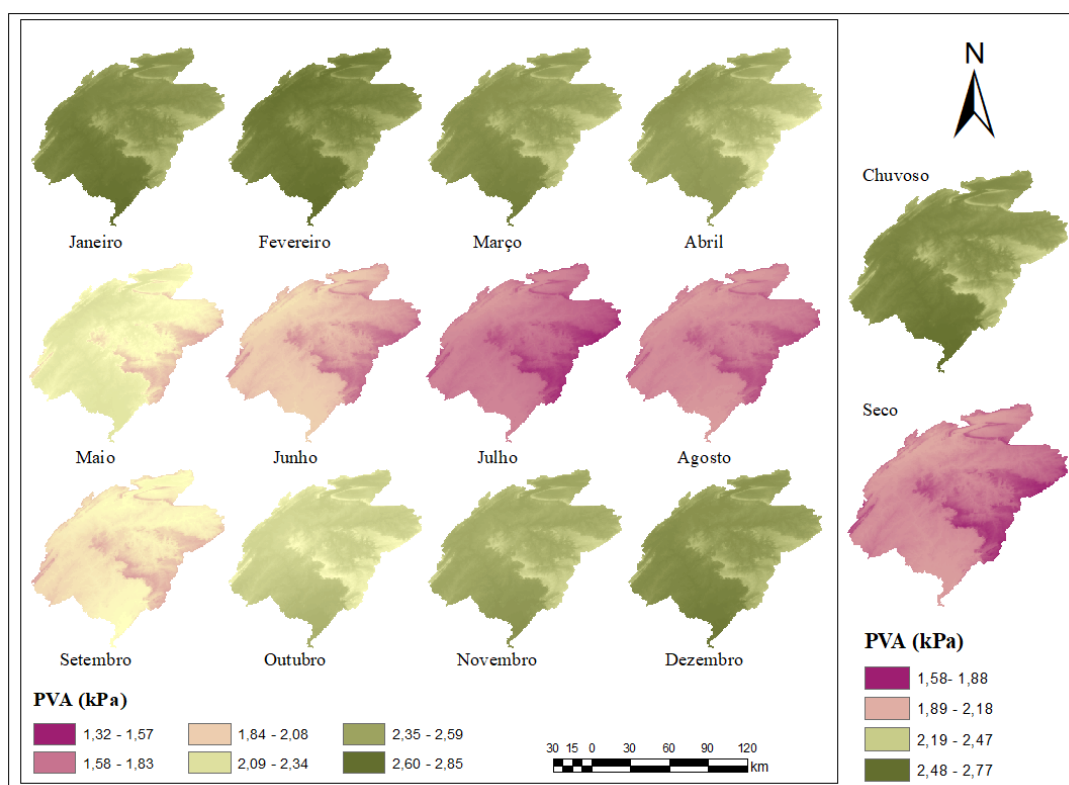


Figura 18 - Mapeamento da PVA mensal (kPa) e da PVA (kPa) por período (chuvoso e seco), na bacia hidrográfica do Alto Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, no período 1970-2000.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Observa-se que os maiores valores de PVA ocorrem nas porções noroeste e sudeste coincidindo justamente com as regiões de menores elevações, enquanto que nas maiores elevações ocorrem as menores PVA, estando correlacionada com o que foi encontrado sobretudo para as $T_{méd}$ e $T_{mín}$. A Tabela 4 apresenta as correlações entre as variáveis climáticas e a elevação e é possível observar que existe uma correlação forte principalmente no período chuvoso, entre PVA e a elevação, sendo essa correlação inversa.

Tabela 4 - Correlação de Spearman (ρ) para os dados de elevação, radiação solar, velocidade do vento e pressão de vapor de água na Bacia hidrográfica do Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.

Mês	(ρ) Elevação x Radiação Solar	(ρ) Elevação x Velocidade do Vento	(ρ) Elevação x Pressão de Vapor de Água
Janeiro	-0,361	-0,203	-0,973
Fevereiro	-0,332	-0,047	-0,975
Março	-0,339	-0,036	-0,984
Abril	0,137	-0,175	-0,923
Maio	0,642	0,125	-0,936
Junho	0,705	0,055	-0,882
Julho	0,697	0,007	-0,791
Agosto	0,533	-0,030	-0,846
Setembro	0,412	-0,300	-0,523
Outubro	0,072	-0,269	-0,752
Novembro	-0,355	-0,189	-0,889
Dezembro	-0,509	-0,233	-0,963

O mapeamento da R_{sg} mostra que não existe um padrão bem definido na distribuição da radiação ao longo da bacia (Figura 19). Observa-se que no período chuvoso as menores radiações ocorrem sobretudo na porção norte da bacia e as maiores na porção sudoeste, ao passo que no período seco esse comportamento se inverte. Com relação a distribuição mensal, cada mês apresentou um comportamento

singular, os destaques são os meses de junho e outubro que registraram os menores e maiores valores de radiação respectivamente.

As correlações no geral (Tabela 4), foram fracas com relação a elevação, a exceção foram os meses de maio, junho e julho que apresentaram correlações moderadas variando de 0,642 a 0,705. Vale destacar que no período chuvoso as correlações foram negativas, ou seja, a radiação solar apresentou comportamento inversamente proporcional a elevação.

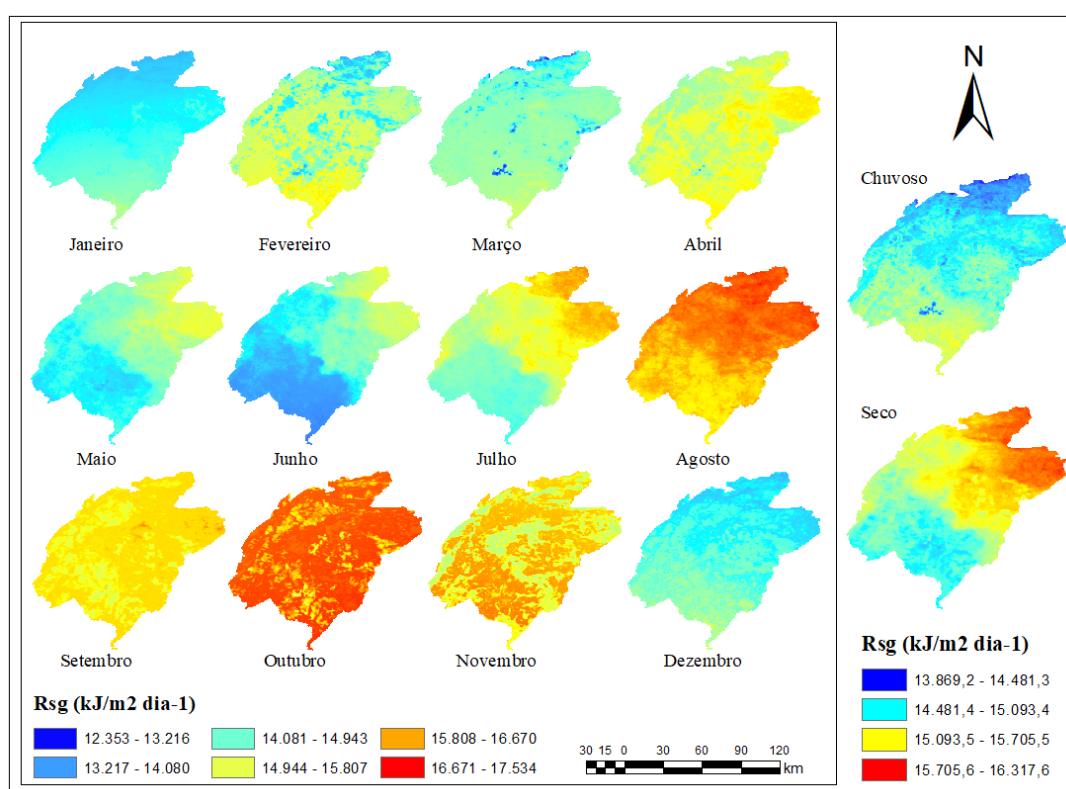


Figura 19 - Mapeamento da Rsg mensal (kJ/m2 dia-1) e da Rsg (kJ/m2 dia-1) por período (chuvoso e seco), na bacia hidrográfica do Alto Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, no período 1970-2000.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

No mês de junho, a massa ar polar tem grande atuação sobre a bacia, o que pode alterar as características da atmosfera local, outro fator importante é que no período seco as queimadas são intensificadas na região da bacia o que contribui para alteração da atmosfera e consequentemente, influenciando na quantidade de radiação que possa atingir a superfície. Já o mês de outubro é o mês considerado transição do

período seco para o chuvoso, logo a tendência nesse período é que a atmosfera esteja mais limpa, o que influencia na quantidade maior de radiação que chega à superfície terrestre (PAULA, 2021).

Com relação a distribuição espacial de V (Figura 20), as maiores intensidades ocorreram no período chuvoso entre 1,49 e 1,70 m/s, sobretudo na região leste e no extremo sudoeste, sendo o mesmo padrão no período seco porém com valores que variaram de 1,46 a 1,48 m/s. Com relação a distribuição mensal, a maior intensidade de vento foi observada nos meses de setembro e dezembro com 1,9 m/s e a menor intensidade em abril 0,89 m/s.

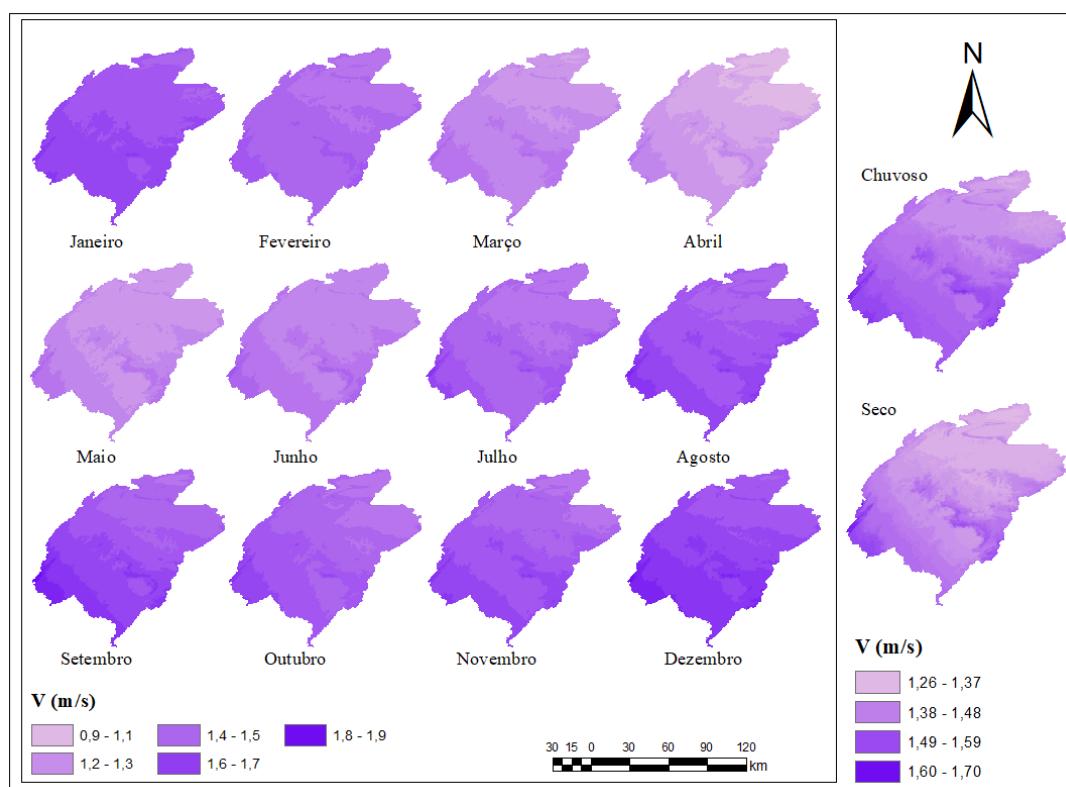


Figura 20 - Mapeamento de V mensal (m/s) e V (m/s) por período (chuvoso e seco), na bacia hidrográfica do Alto Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, no período 1970-2000.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

De acordo com a Tabela 4, as correlações entre V e elevação também foram fracas e negativas em grande maioria, exceto nos meses de maio junho e julho, que foi positiva. Porém, não é possível afirmar que o vento varia conforme a altitude,

pois essa intensidade pode estar mais associada com a direção com que elas ocorrem. Ressalta-se que não se pode confirmar tal suposição, uma vez que não foi possível apresentar dados de direção do vento para BHC.

5.2.5. Classificação climática conforme Thornthwaite (1948) para o cenário atual

A classificação de Köppen (1948) é amplamente utilizada, por ser definida pela precipitação efetiva, considerando a precipitação nas estações secas e frias, entretanto em algumas zonas climáticas, esta classificação pode ser insatisfatória por não considerar as temperaturas do ar e condições específicas regionais de precipitação. Isso porque os climas úmidos podem apresentar estações secas, da mesma forma que os climas secos podem apresentar estações úmidas. Nesse contexto, Thornthwaite (1948) propôs subdivisões em sua classificação baseadas no balanço hídrico considerando o índice de umidade. Por meio do índice de umidade foram definidos diversos tipos climáticos, conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Classificação climática segundo Thornthwaite e Mather (Thornthwaite e Mather, 1955)

Tipos climáticos	Símbolo	Índice de umidade
Superúmido	A	$100 \geq Iu$
Úmido	B4	$80 \leq Iu < 100$
Úmido	B3	$60 \leq Iu < 80$
Úmido	B2	$40 \leq Iu < 60$
Úmido	B1	$20 \leq Iu < 40$
Sub-úmido	C2	$00 \leq Iu < 20$
Sub-úmido seco	C1	$-33,3 \leq Iu < 00$
Semi-árido	D	$-66,7 \leq Iu < -33,3$
Árido	E	$-100 \leq Iu < -66,7$

Alves et al. (2011) propuseram o cálculo do Índice de Umidade por meio da temperatura média do ar (°C) e da precipitação pluviométrica anual (mm/ano). Uma superfície de resposta linear com duas variáveis dependentes de precipitação pluvial

total anual e temperatura média do ar anual é utilizada na modelagem matemática da variável dependente relativa ao índice de umidade de Thornthwaite modificado na bacia hidrográfica. A Figura 21 apresenta a distribuição espacial da média anual do Índice de Umidade (Iu) na bacia do Alto e Médio Rio Cuiabá.

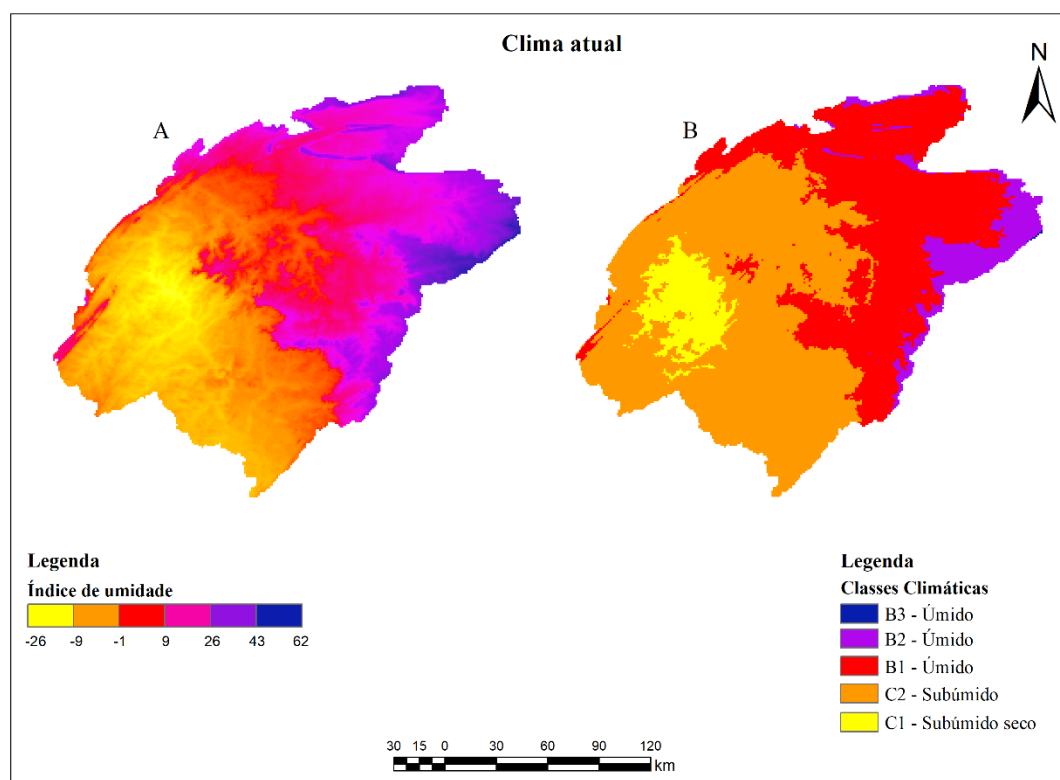


Figura 21 – Mapeamento: (A) Índice de Umidade anual (Iu) calculado com base na média anual da temperatura do ar ($^{\circ}$ C) e na precipitação pluvial anual (mm/ano), (B) Classificação climática de Thornthwaite e Mather (1955), na bacia hidrográfica do Alto e Médio Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, no período de referência 1970-2000. Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A média anual do Índice de Umidade foi 18,18 variando de -6,80 a 61,74 com maiores valores de Iu na região leste/noroeste e menores na região sul/sudoeste. A associação da distribuição do Iu na bacia hidrográfica com a tabela 5, indicam que segundo a classificação climática de Thornthwaite e Mather (Thornthwaite e Matter, 1955), varia de: uma reduzida área no extremo nordeste da bacia classificada como: Úmido B3, Úmido B2, Úmido B1, Sub-úmido C2 e uma pequena área na região noroeste classificada como Sub-úmido seco C1.

5.3. Caracterização de cenários futuros de mudanças climáticas na BHC

5.3.1. Variação espaço-temporal da temperatura do ar

A sazonalidade das temperaturas do ar dos cenários futuros não diferiram do clima atual, com menores valores nos meses junho e julho e maiores valores de outubro a fevereiro. No final do século XXI, a temperatura aumentará 1,8° C em média, com 1,15 e 1,5° C no período 2021-2040 nas temperaturas mínima e máxima, respectivamente, 1,55 e 2,2° C no período 2041-2060, 1,75 e 1,9° C no período 2061-2080 e 1,8 e 2,3° C em 2080-2100.

Nos cenários futuros, a tendência foi o aumento das temperaturas máximas e mínimas quando comparadas ao cenário atual. As temperaturas mínimas do ar terão maiores valores em janeiro nos cenários 2021-2040 e 2061-2080, de 23,3 e 23,8° C, respectivamente. As maiores T_{min} ocorrerão em janeiro, março e novembro, com 23,8° C no cenário 2061-2080 e no cenário 2081-2100, os maiores valores em novembro com 24° C. Os menores valores de T_{mín} ocorreram em julho em todos os cenários (11,1; 11,4; 11,8 e 11,7° C), 2021-2040; 2041-2060; 2061-2080 e 2081-2100, respectivamente. Inferindo que para T_{mín} o aumento foi de pelo menos 1,5° C em média nos cenários futuros. Sobre as T_{máx}, os maiores valores ocorreram em outubro em todos os cenários (35,5; 36,3; 35,8 e 36,4° C) e os menores em julho (27,5; 28; 27,9 e 28,1° C) em 2021-2040; 2041-2060; 2061-2080 e 2081-2100, respectivamente, e o aumento nesse caso foi de pelo menos 2° C em média (Figura 22).

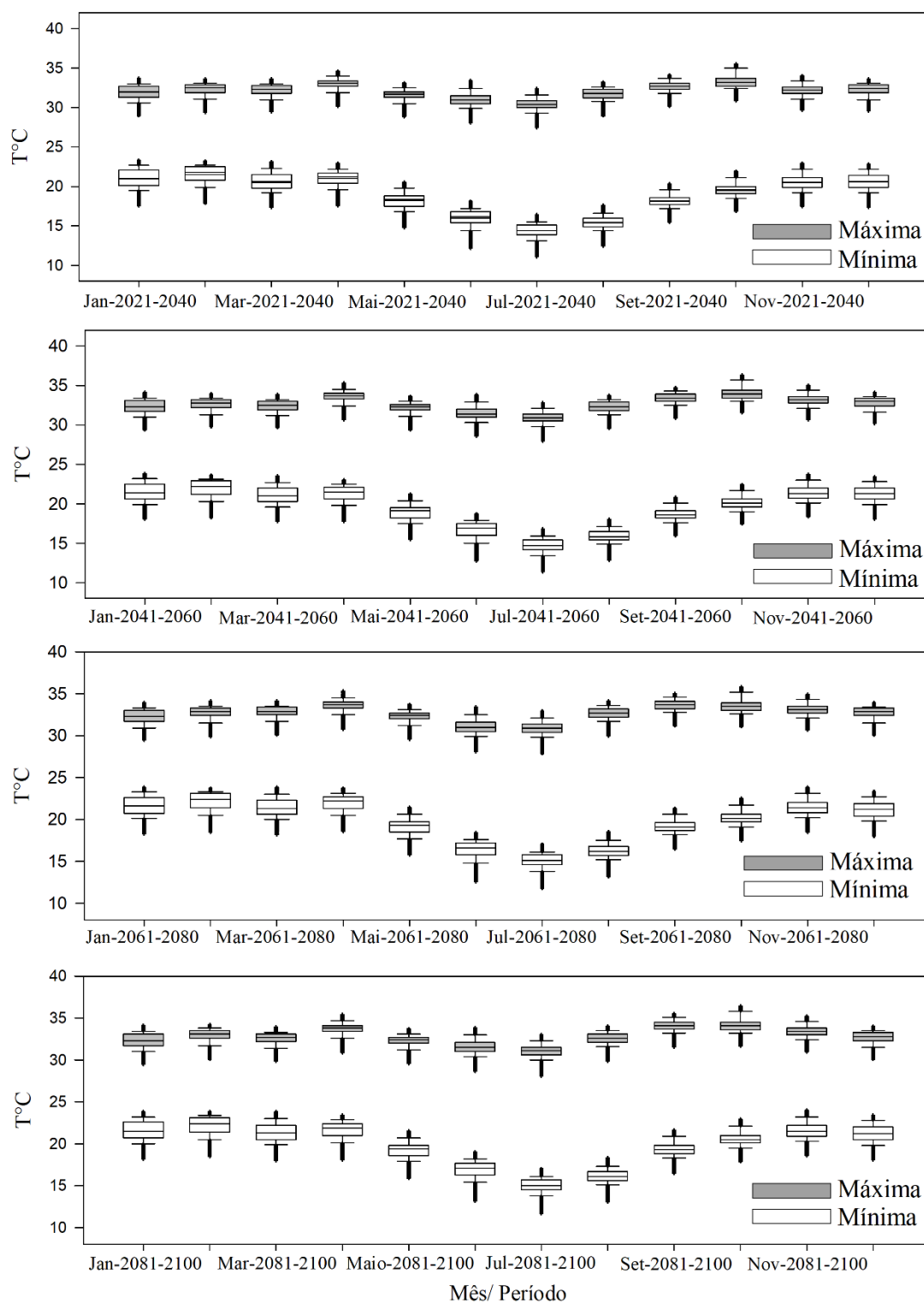


Figura 22 - Box-plot da média mensal de temperatura máxima e mínima do ar na bacia hidrográfica do Alto e Médio Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, nos cenários futuros 2021-2040; 2041-2060; 2061-2080 e 2081-2100.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

O aumento de temperatura do ar foi evidenciado por Sousa et al. (2019), no estado do Tocantins nos dois cenários futuros de mudanças climáticas. Os resultados revelaram sinais positivos de aquecimento em todas as análises e sobre tudo no segundo período futuro (2041-2070), resultando no aumento de temperatura com passar do tempo. Como os autores avaliaram modelos mais pessimistas de cenários climáticos, os aumentos de temperatura foram de 5,9 e 4,8° C para temperatura máxima e mínima, respectivamente em um cenário e 3,9 e 2,8° C para máxima e mínima para o segundo cenário. De maneira geral, o aquecimento projetado foi persistente nos períodos chuvosos e de estiagem.

A variabilidade espacial das temperaturas do ar na BHC não apresentou mudanças no regime de distribuição nos cenários futuros com relação ao clima atual. As menores temperaturas no período chuvoso também ocorrem nas regiões mais elevadas ao passo que as maiores temperaturas nas regiões de altitudes mais baixas, sobretudo, na porção sudoeste da bacia, coincidindo com núcleos urbanos.

Paula (2021), ao realizar simulações de cenários futuros para ilha de calor na cidade de Cuiabá, evidenciou que a temperatura do ar pode aumentar até 2,25° C no inverno, 1,80°C na primavera e até 0,95° C no verão, e explica que esse aumento pode estar associado a prováveis mudanças na tipologia construtiva da cidade onde perda da vegetação arbustiva dá lugar a construções de edifícios e superfícies pavimentadas. Desta forma, as prováveis alterações nas projeções de temperatura na BHC podem estar associadas ao aumento do desmatamento, por exemplo, alterando as características locais contribuindo para o aumento das temperaturas até ao final do século XXI.

As figuras Figura 23, Figura 24, Figura 25 e Figura 26 apresentam o mapeamento da T_{máx} na BHC nos cenários futuros. Nota-se, que no período chuvoso ocorrem as maiores T_{máx} nos sentidos nordeste/noroeste e noroeste/sudeste. Entretanto, no período seco as maiores T_{máx} concentram-se nas porções noroeste e sudoeste. Observa-se que com o passar dos anos a tendência foi o aumento da temperatura do ar em pelo menos 2° C, quando comparado ao cenário atual tanto no período chuvoso quanto no período seco.

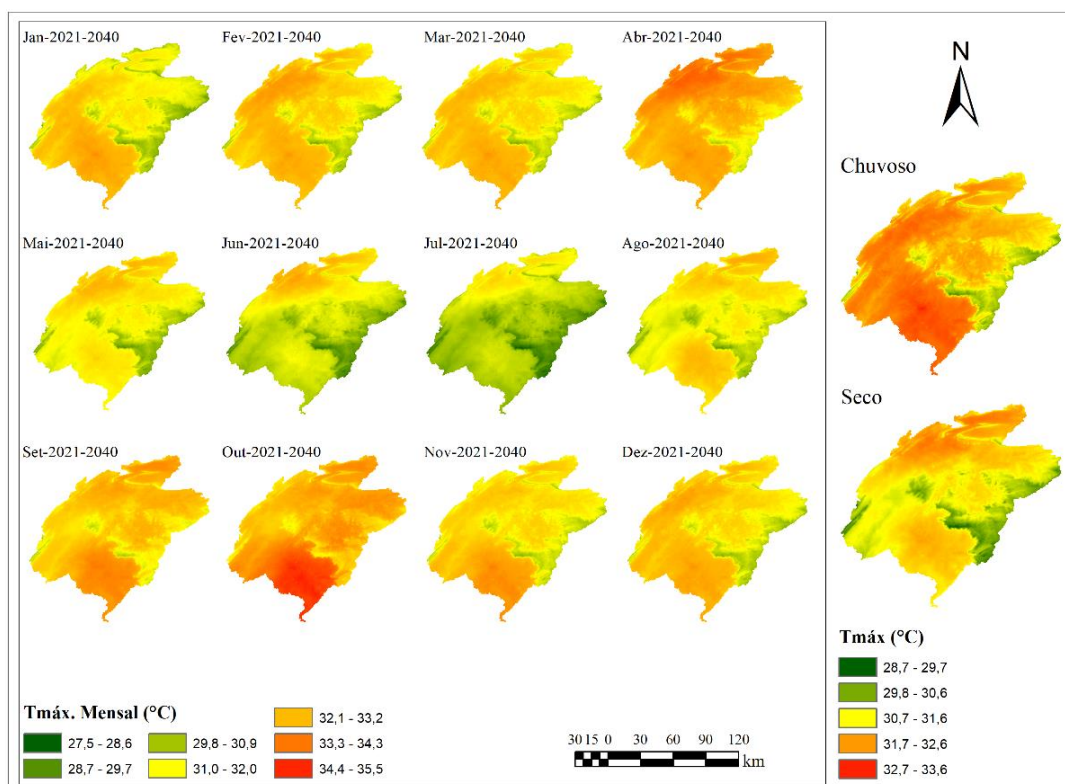


Figura 23 - Mapeamento da Tmáx mensal do ar (°C) e da Tmáx por período (chuvoso e seco), na bacia hidrográfica do Alto Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, no cenário futuro 2021-2040.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

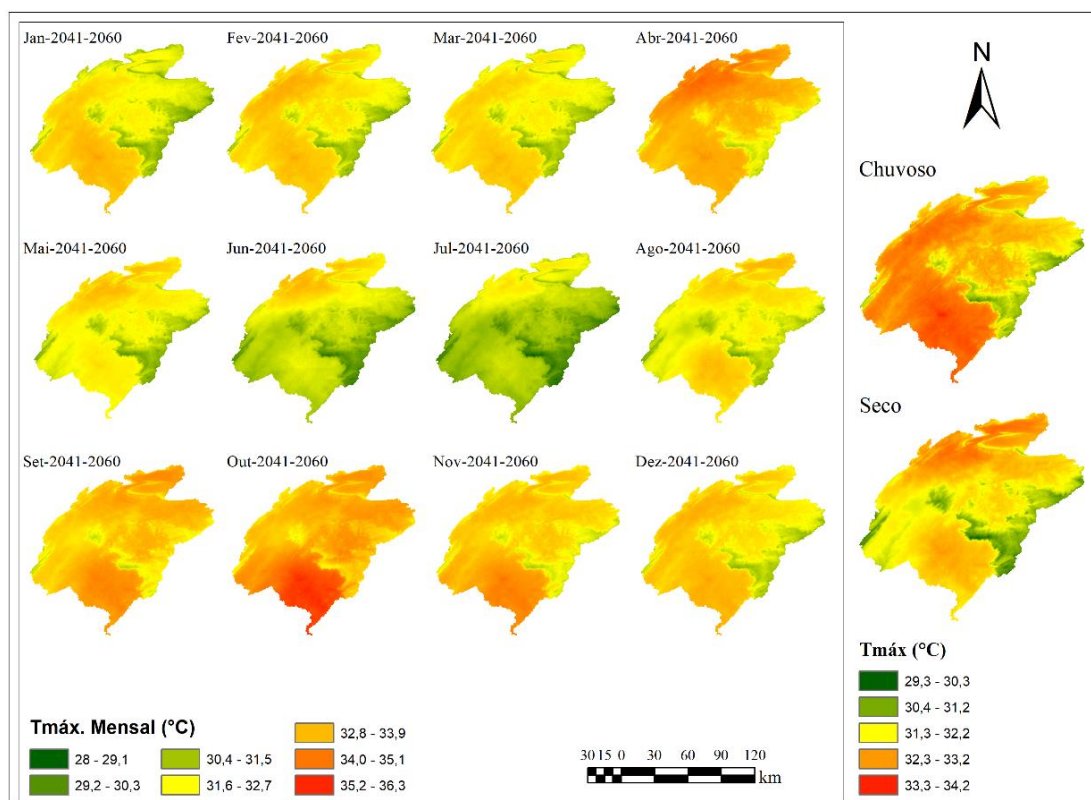


Figura 24 - Mapeamento da Tmáx mensal do ar (°C) e da Tmáx por período (chuvoso e seco), na bacia hidrográfica do Alto Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, no cenário futuro 2041-2060.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

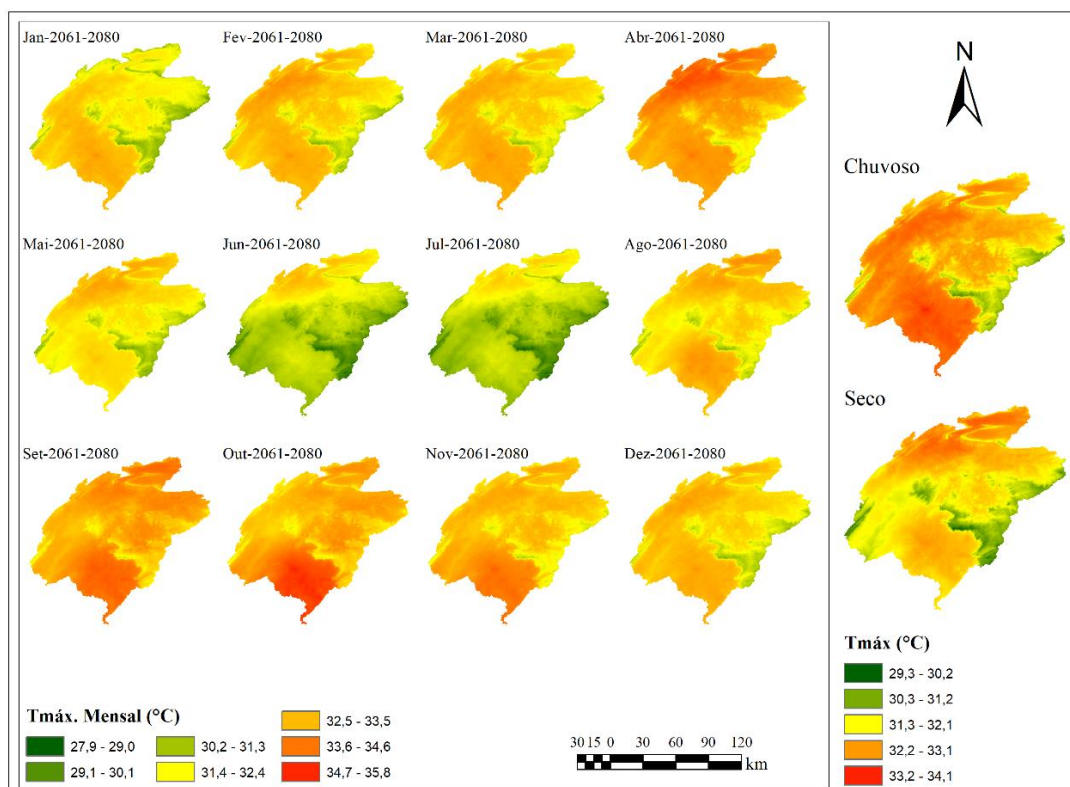


Figura 25 - Mapeamento da Tmáx mensal do ar (°C) e da Tmáx por período (chuvoso e seco), na bacia hidrográfica do Alto Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, no cenário futuro 2061-2080.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

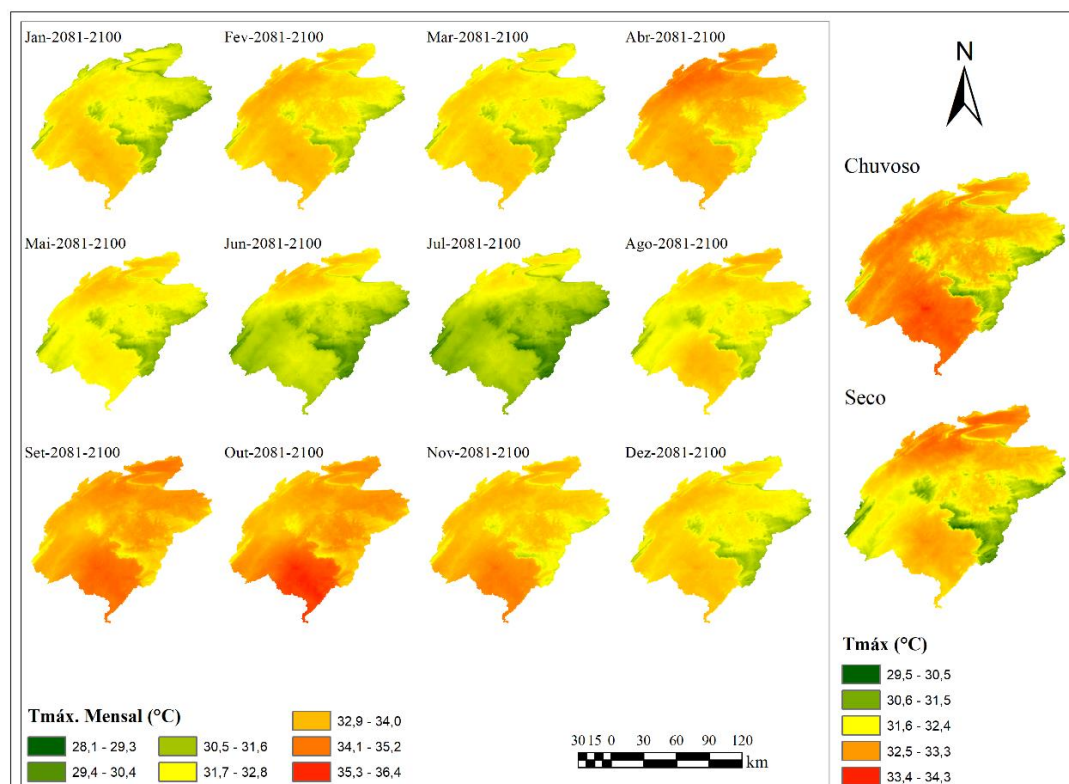


Figura 26 - Mapeamento da Tmáx mensal do ar (°C) e da Tmáx por período (chuvoso e seco), na bacia hidrográfica do Alto Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, no cenário futuro 2081-2100.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Sousa et al. (2019) identificaram um gradiente crescente na distribuição espacial de temperatura do ar no Cerrado Tocantinense na direção noroeste-sudoeste, com projeções mais severas na porção sudoeste. Os autores afirmam que o aumento de temperatura corrobora para o aumento da evapotranspiração potencial, e, por consequência, redução da precipitação também evidenciadas no estudo podem contribuir para intensificação do déficit hídrico.

A distribuição espacial mensal das Tmáx para os cenários futuros foi ligeiramente diferente com relação ao clima atual. Antes, o que se tinha era que nos meses de maio, junho e julho ocorriam as menores Tmáx em grande parte da bacia e, no restante dos meses, ficavam concentradas apenas na porção leste com predominância no restante da bacia, das maiores classes de Tmáx durante quase todos os meses. Agora, com o passar dos anos, é possível observar que houve uma redução das menores classes de Tmáx, ficando restrita apenas nos meses de junho e julho

suas predominâncias. Desta forma, além do aumento das T_{máx} para cada mês, haverá um aumento de meses com maiores T_{máx} ao longo dos cenários futuros.

Outro destaque foi para o comportamento dos meses de abril e outubro, em que estes são considerados meses de transição entre o período chuvoso-seco e período seco-chuvoso, respectivamente. Os referidos meses apresentaram as maiores T_{máx} para todos os cenários futuros, porém a distribuição espacial foi diferente em cada mês. Apesar da predominância de T_{máx} elevadas por toda bacia no mês de abril, a região noroeste registrou as maiores classes, enquanto que no mês de outubro, as maiores classes ocorreram na porção sudoeste da bacia.

As figuras Figura 27, Figura 28, Figura 29 e Figura 30 apresentam o mapeamento da T_{mín} para os cenários futuros 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 e 2081-2100, respectivamente, na BHC. A sazonalidade das projeções de T_{mín} nos cenários futuros não apresentou grandes mudanças com relação ao que foi evidenciado para o clima atual. As menores T_{mín} estão distribuídas no período seco e maiores no período chuvoso.

A diferença se deu no aumento da T_{mín} com o passar dos anos. Enquanto no cenário atual a variação da T_{mín} foi de 12 a 21° C, a variação nos cenários futuros foram de 13,2 a 23,1° C para 2021-2040, de 13,7 a 23,5 °C para 2041-60, de 13,9 a 23,6 °C para 2061-2080 e de 14,0 a 23,7° C para 2081-2100, considerando período chuvoso e seco respectivamente, tendo um aumento de T_{mín} de 1,7 a 1,9° C em média.

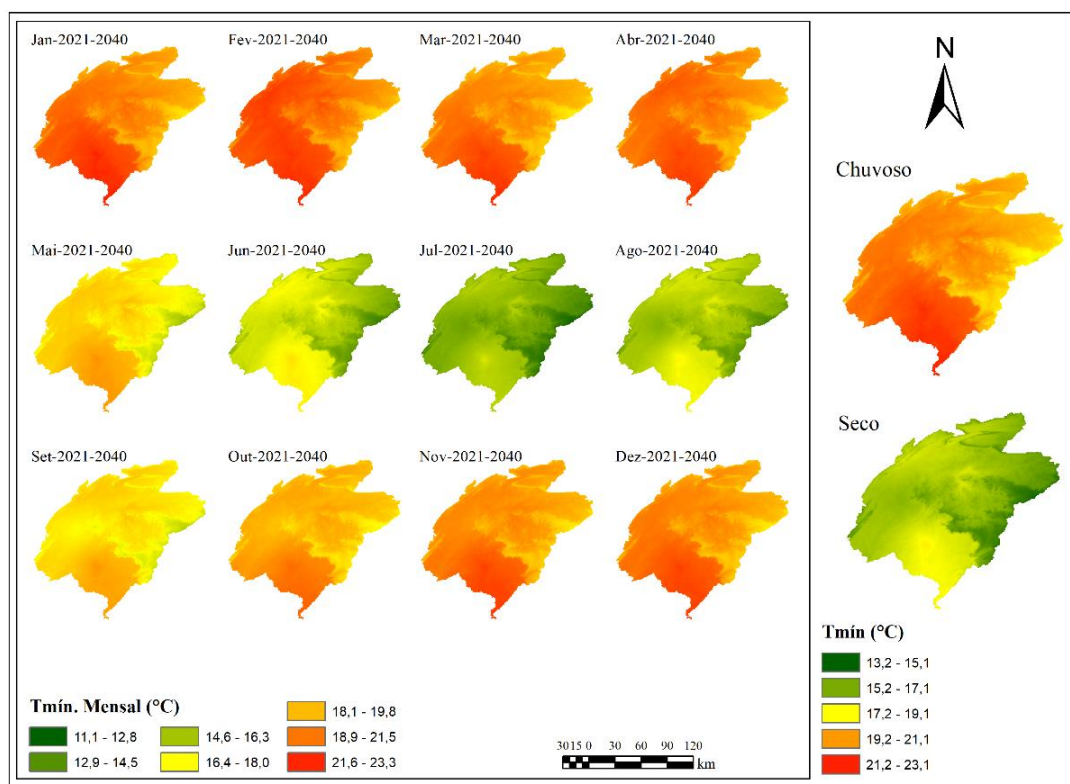


Figura 27 - Mapeamento da Tmín mensal do ar (°C) e da Tmím por período (chuvoso e seco), na bacia hidrográfica do Alto Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, no cenário futuro 2021-2040.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

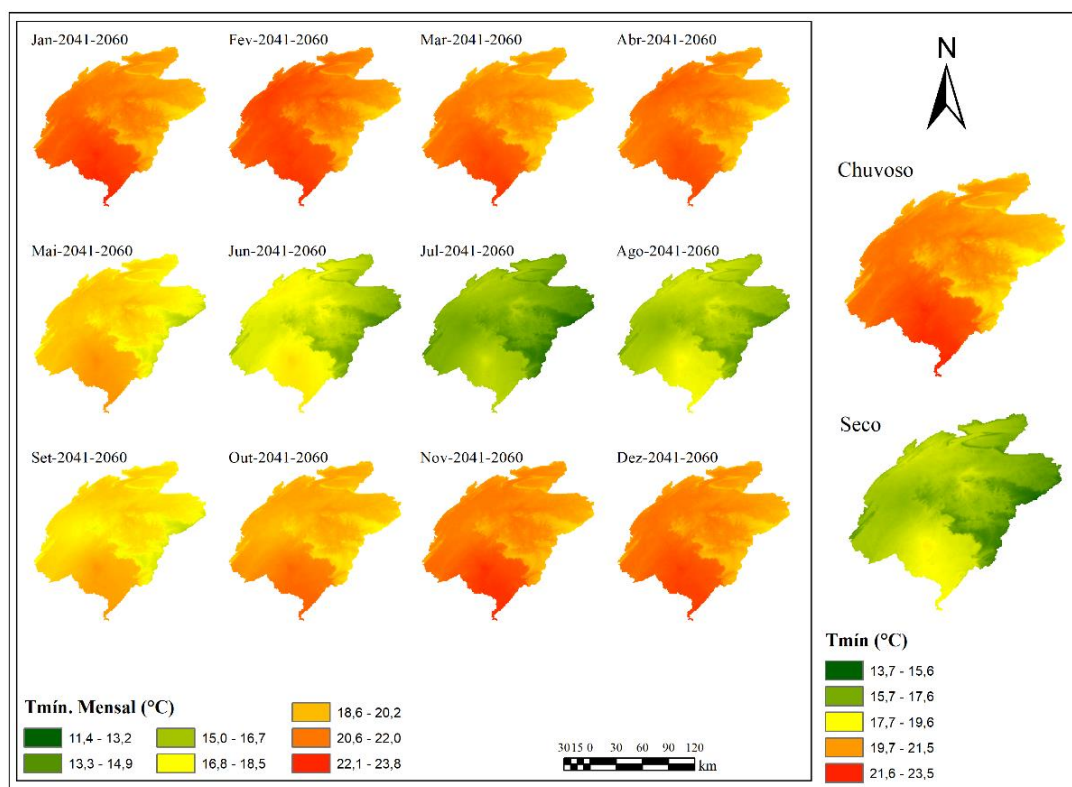


Figura 28 - Mapeamento da Tmín mensal do ar (°C) e da Tmím por período (chuvoso e seco), na bacia hidrográfica do Alto Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, no cenário futuro 2041-2060.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

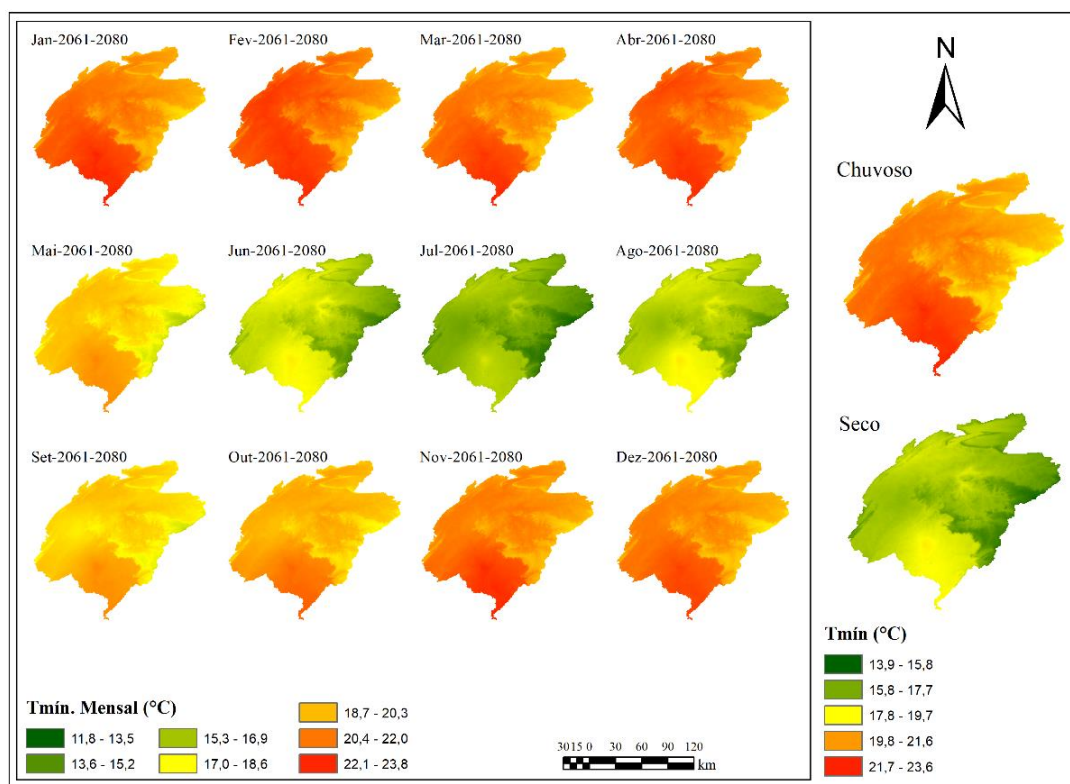


Figura 29 - Mapeamento da Tmín mensal do ar (°C) e da Tmím por período (chuvoso e seco), na bacia hidrográfica do Alto Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, no cenário futuro 2061-2080.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

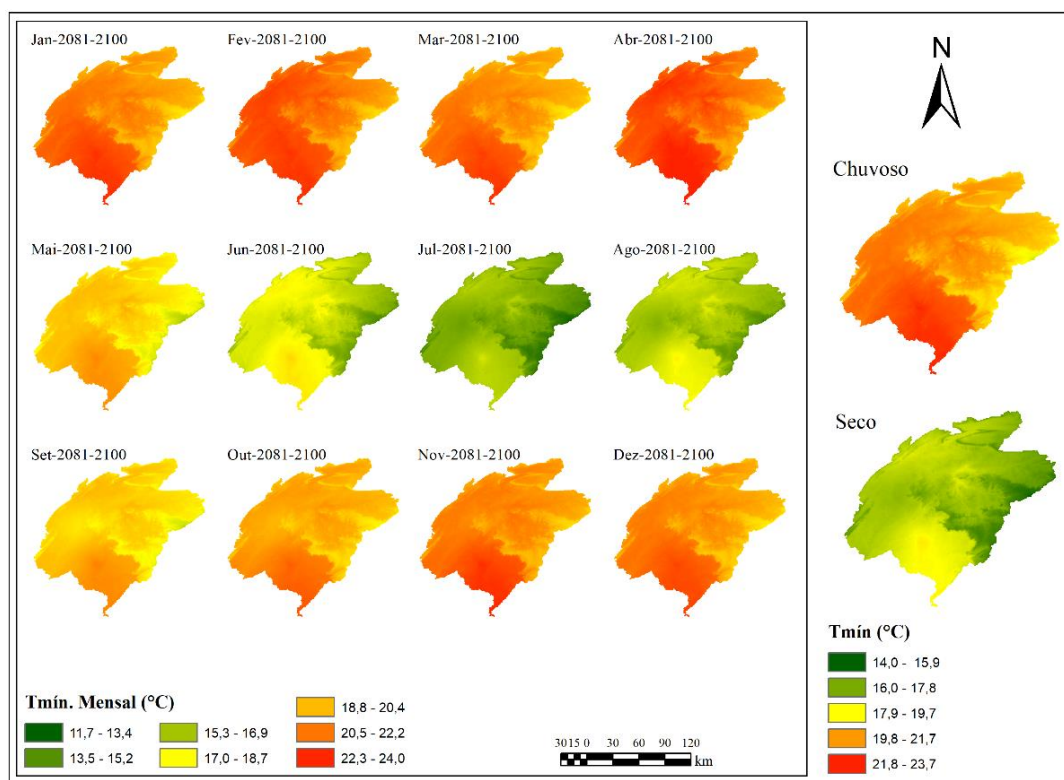


Figura 30 - Mapeamento da Tmín mensal do ar (°C) e da Tmím por período (chuvoso e seco), na bacia hidrográfica do Alto Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, no cenário futuro 2081-2100.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Com relação a distribuição mensal, as maiores Tmín ocorrerão de novembro a abril no sentido noroeste/sudoeste nos referidos meses. Já as menores Tmín ocorrerão em junho, julho e agosto, com as Tmín mais inferiores na porção leste. Vale destacar que durante julho as temperaturas não ultrapassarão os 17° C sendo o mês que apresentou a menor Tmín 11,1; 11,4; 11,8 e 11,7° C em 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080, 2081-2100, respectivamente.

Conforme apresentado na distribuição espacial mensal de Tmín a tendência foi de aumento em todos os cenários futuros e o período de 2080-2100 apresentou as maiores anomalias, sobretudo nos meses que compreende o período chuvoso. Aumentos de temperatura foram indicados em outros estudos em bacias e regiões, associando tal evidência com o aumento da emissão de gases de efeito estufa em vários cenários juntamente com a dinâmica de evolução da Terra (população, uso e ocupação, economia), podendo ser um aumento de 4,9° C até o fim do século

(PACHAURI et al., 2014; REDIVO, 2020; SAAVEDRA, 2020; TALCHABHADEL; KARKI, 2019).

Silveira et al. (2016) avaliaram modelos de globais do IPCC Ar5 sob dois cenários RCP 4.5 e RCP 8,5 na bacia hidrográfica do rio São Francisco, e observaram que ambos tiveram tendências positivas para temperatura com as maiores anomalias de temperatura variando de 3 a 6,4° C no período 2071-2100. Os autores mencionam que o aumento na temperatura contribui para o aumento da evapotranspiração potencial e por consequência haverá um déficit hídrico principalmente no período de estiagem, o que poderia causar impactos sobre a agricultura e sobre os hidrossistemas ligados ao rio São Francisco ocasionando uma demanda maior por água para irrigação.

5.3.2. Variação espaço-temporal da precipitação pluvial

Com relação aos cenários futuros, haverá uma redução da precipitação em todos os cenários com relação ao clima atual para precipitação acumulada anual, sendo o período 2041-2060 a menor redução (Tabela 6), com 6,65%, 7,06% e 6,90% para P máxima, mínima e média, respectivamente. Já o período 2061-2080 foi o que menos apresentará redução na P, nesse período a redução será 3,60%, 2,02% e 2,37% para P máxima, mínima e média, respectivamente.

Estudos mencionam que há tendência de redução da precipitação ao longo das décadas e associam essa redução a fatores como mudanças na cobertura do solo, sobretudo, o desmatamento em regiões de recargas dos aquíferos, o que pode alterar o ciclo hidrológico de uma região, provocando diminuição das chuvas (ZHANG; ABRAHAO; THOMPSON, 2021).

Tabela 6 - Precipitação máxima, mínima e média acumulada anual para o clima atual e os cenários futuros, na bacia hidrográfica do Alto e Médio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.

Período	P Máx (mm)	P Mín (mm)	P Méd (mm)
Clima atual	1804	1189	1478
2021-2040	1731	1128	1408
2041-2060	1684	1105	1376

2061-2080	1739	1165	1443
2081-2100	1727	1150	1423

A sazonalidade da precipitação pluvial é bem definida com menores valores em junho e julho e maiores valores em janeiro e fevereiro nos cenários 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 e 2080-2100 (Figura 31).

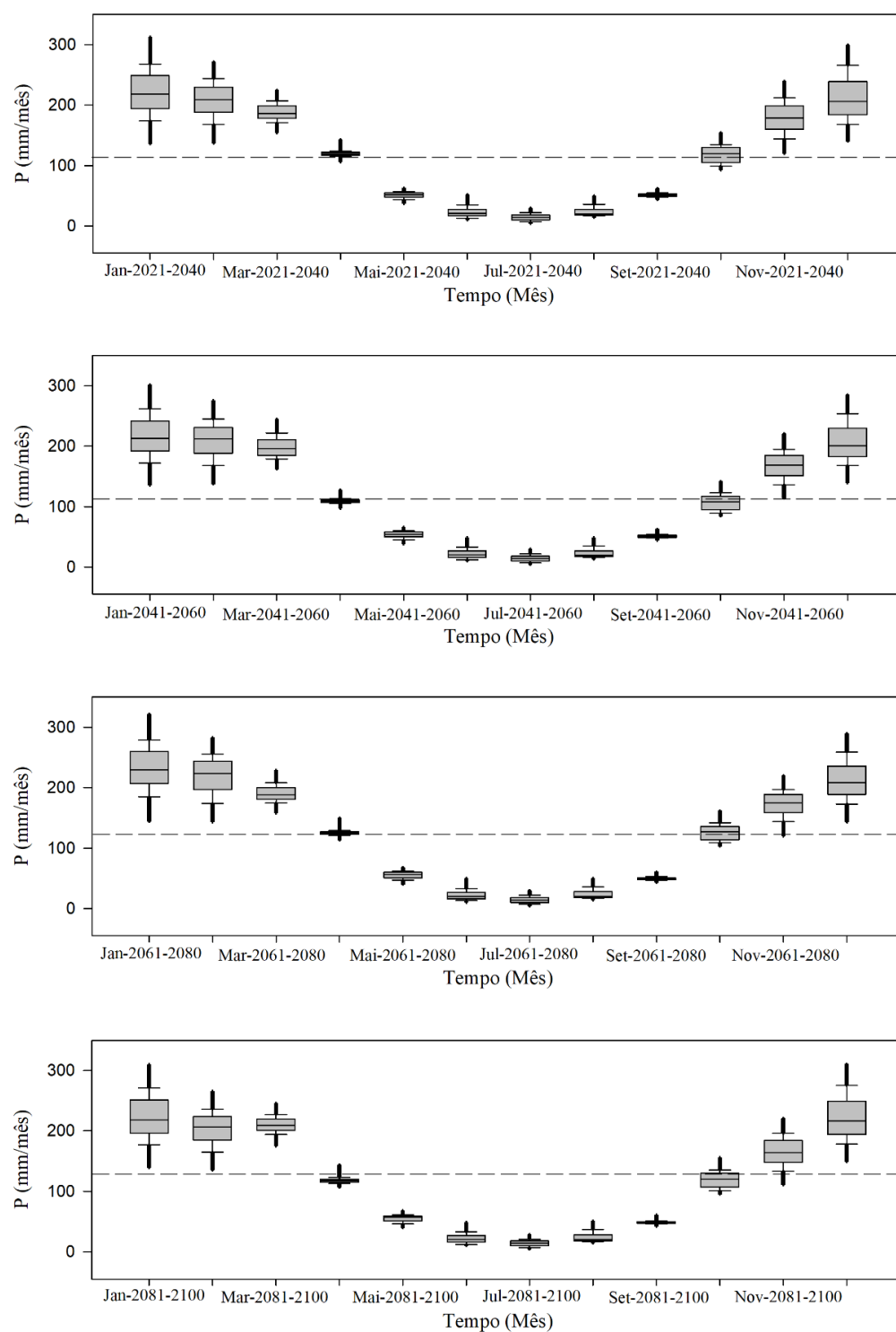


Figura 31 - Box-plot da precipitação pluvial mensal (P, mm/mês), na bacia hidrográfica do Alto e Médio Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, para os cenários futuros 2021-2040; 2041-2060; 2061-2080 e 2081-2100. O gráfico representa o máximo e mínimo, e primeiro e terceiro quartil dos dados. A linha tracejada representa a média anual da precipitação.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

As figuras Figura 32, Figura 33, Figura 34 e Figura 35 apresentam o mapeamento da média mensal da P (mm/mês) e da P acumulada (mm/período) nos cenários futuros 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 e 2081-2100, respectivamente. Durante maio a setembro as maiores precipitações ocorrem do sentido leste/sudeste para oeste/noroeste. Durante os meses, outubro a abril este padrão é alterado e as maiores precipitações ocorrem da direção oeste/noroeste para leste/sudeste.

Considerando os períodos chuvoso e seco, as projeções futuras mostraram um aumento da P, sobretudo no período chuvoso apenas para o cenário 2021-2040 se comparado ao clima atual, nesse período a máxima P foi 1541 mm, uma diferença de 189 mm com relação ao clima atual (Figura 32). Já para os outros cenários a tendência observada foi de ligeira redução da P (Figuras 30, 31 e 32).

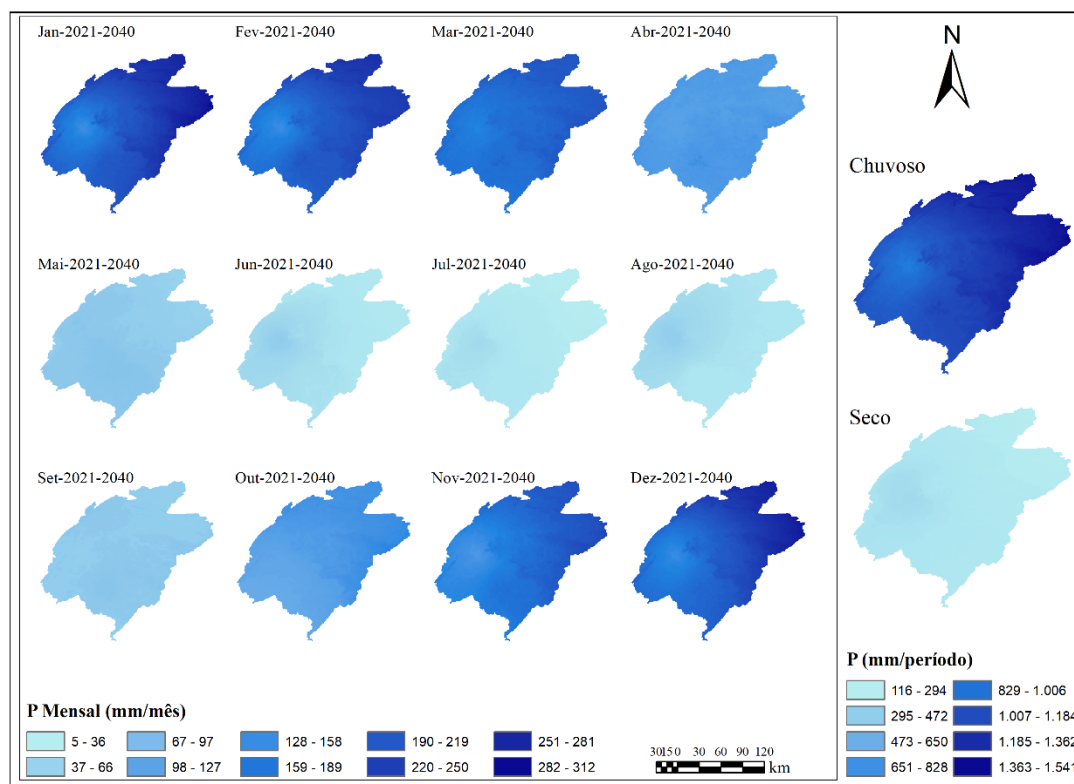


Figura 32 - Distribuição espacial da média mensal da P (mm/mês) e da P acumulada (mm/período), no período 2021-2040, cenário ssp126, modelo CNRM-ESM2-1, na bacia hidrográfica do Alto rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

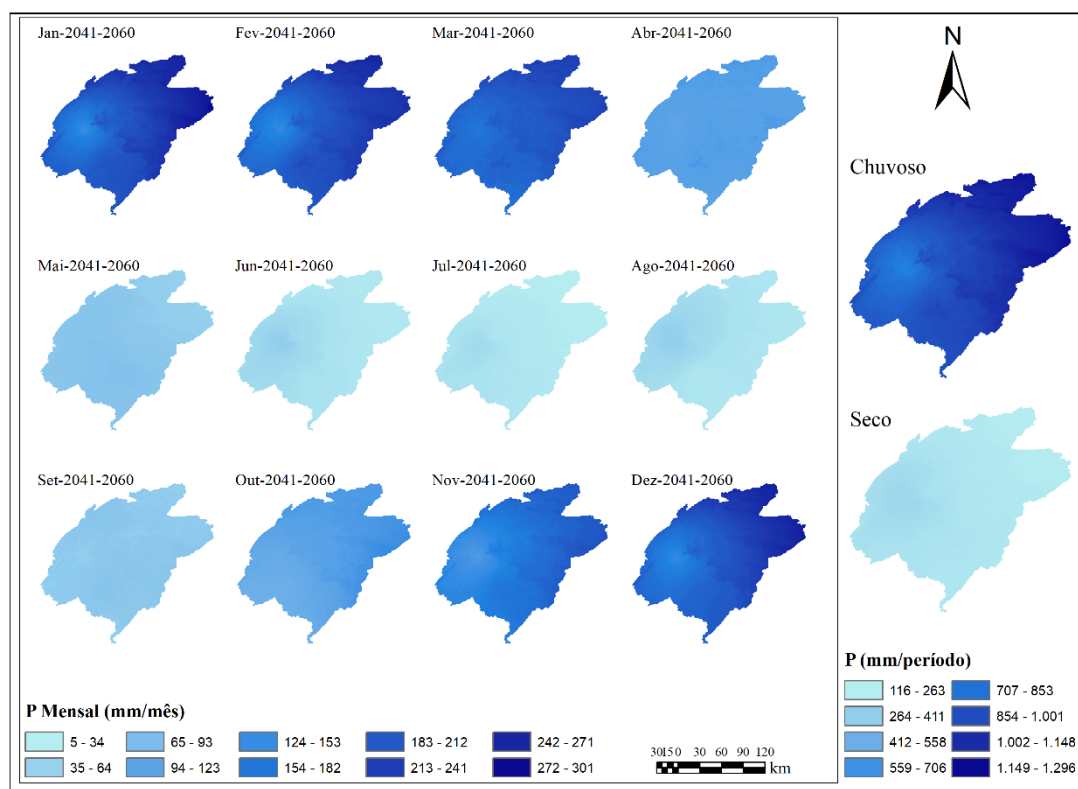


Figura 33 - Distribuição espacial da média mensal da P (mm/mês) e da P acumulada (mm/período), no período 2041-2060, cenário ssp126, modelo CNRM-ESM2-1, na bacia hidrográfica do Alto rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

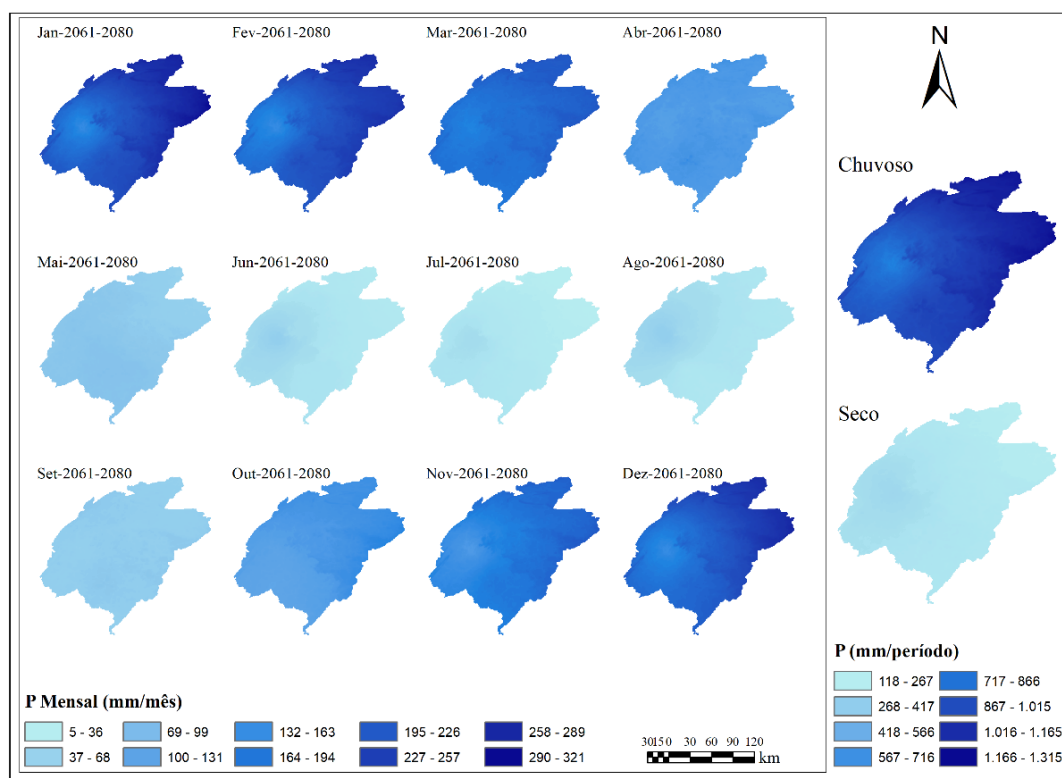


Figura 34 - Distribuição espacial da média mensal da P (mm/mês) e da P acumulada (mm/período), no período 2061-2080, cenário ssp126, modelo CNRM-ESM2-1, na bacia hidrográfica do Alto rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

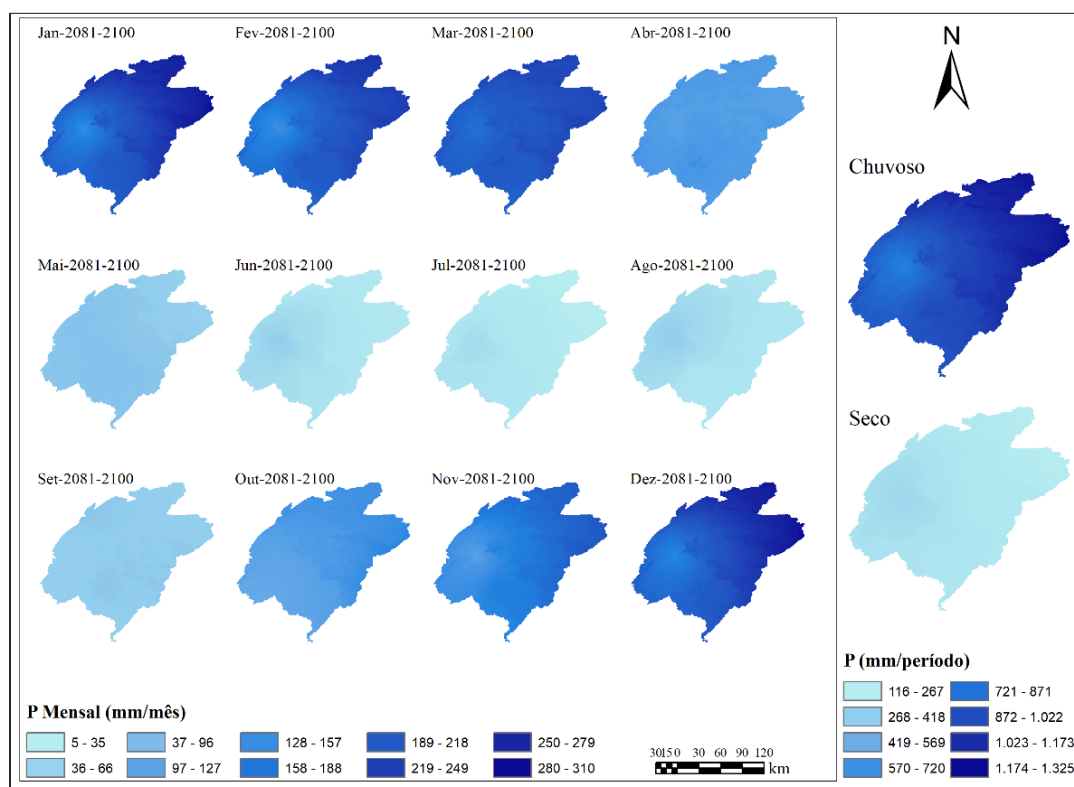


Figura 35 - Distribuição espacial da média mensal da P (mm/mês) e da P acumulada (mm/periódodo), no período 2081-2100, cenário ssp126, modelo CNRM-ESM2-1, na bacia hidrográfica do Alto rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Com relação a distribuição mensal da precipitação, os dados demonstraram que a P terá um compartimento variado mês a mês nos cenários futuros em relação ao clima atual. As diferenças foram mais perceptíveis nos meses que compreendem o período chuvoso. No entanto, não houve um padrão de aumento ou diminuição ao longo dos cenários. Para cada um, mostrou-se variada a releção da distribuição e quantidade de precipitação para cada mês.

Estudos demonstram que não há um comportamento conclusivo sobre a precipitação simulada em cenários de mudança climática, podendo indicar indícios de aumento em algumas regiões e reduções em outras, inferindo que a variabilidade espacial da precipitação e demais fatores que a influenciam, como uso do solo e vegetação, por exemplo, podem afetar as mudanças na mesma (CHONG-HAI; YING, 2012; OH et al., 2014; POURMOKHTARIAN et al., 2017), corroborando justamente, com o que foi encontrado quando verificado quais as principais mudanças

que a bacia sofreu ao longo dos anos, permitindo inferir que as prováveis consequências da redução da precipitação poderá ter alguma relação com a diminuição de regiões de florestas nativas, dando lugares a regiões de agricultura, pastagem e áreas urbanas.

As mudanças de precipitação são muito mais heterogêneas espacialmente em comparação com as mudanças de temperatura, ou seja, existem algumas áreas em que um modelo projeta um aumento nas precipitações, enquanto outro modelo destaca uma diminuição delas. Portanto, a confiança na mudança de precipitação é menor do que a confiança na mudança de temperatura. Isso se deve, em grande parte, ao fato de que as mudanças de temperatura dependem diretamente do forçamento radiativo, enquanto as variações de precipitação são afetadas por várias interações complexas, incluindo mudanças na capacidade de retenção de água de uma atmosfera em aquecimento, circulação atmosférica, evaporação e outros fatores (FAGGIAN, 2021; SHEPHERD, 2014).

Experimentos com dados de alta resolução mostram que forçamentos locais associados a topografias e linhas costeiras complexas podem modular substancialmente sinais de grande escala, muitas vezes ao ponto de serem de sinal oposto. Este *spread* causa alguma incerteza nos cenários multimodelo, uma incerteza que deve ser levada em consideração na avaliação dos resultados finais.

5.3.3. Classificação climática conforme Thornthwaite (1948) nos cenários futuros

Em relação aos cenários futuros de mudanças climáticas, houve uma grande variação na distribuição do índice de umidade na BHC (Figura 36). A média do índice de umidade para os cenários futuros foi de 0,22, variando de -26,615 a 45,612. As principais mudanças no índice de umidade que ocorrerão nos cenários futuros com relação ao clima atual, é que haverá um aumento acentuado dos intervalos abaixo de 0 e a inexistência dos intervalos acima 46, ou seja, haverá um aumento dos índices que remetem as classes mais secas e uma diminuição dos índices que remetem as classes mais úmidas.

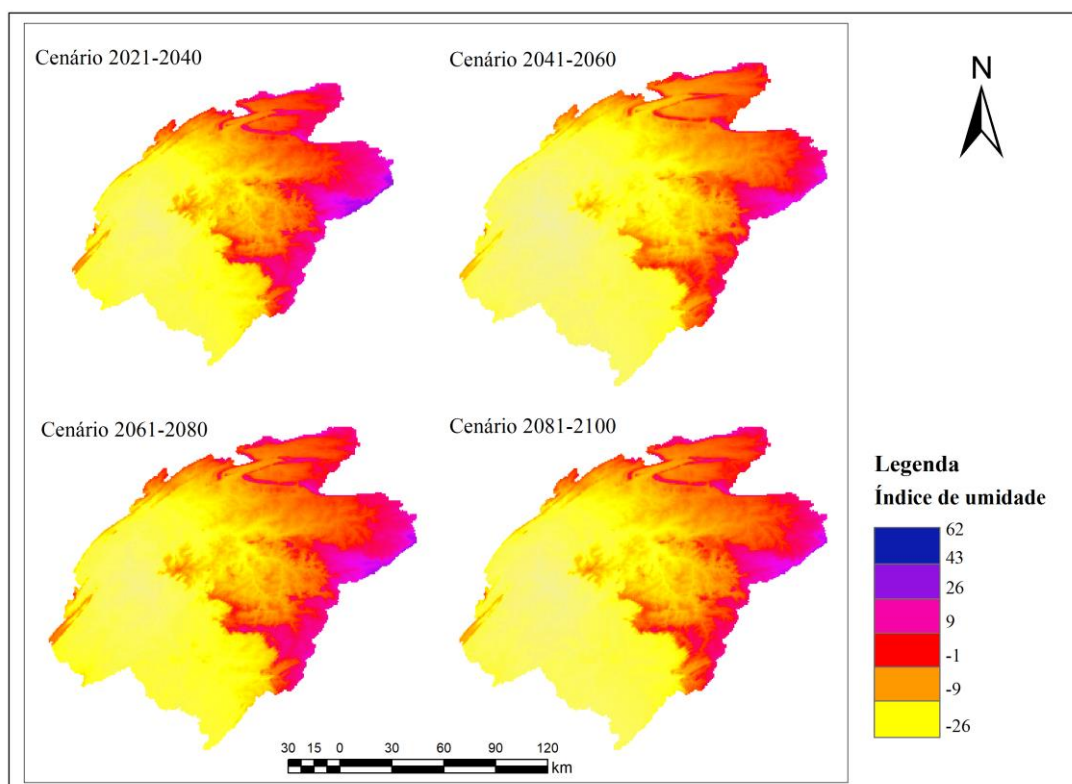


Figura 36 - Mapeamento do Índice de umidade anual (Iu) calculado com base na média anual da temperatura do ar (°C) e na precipitação pluvial anual (mm/ano) na bacia do Alto e Médio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, nos cenários futuros 2021-2040; 2041-2060; 2061-2080 e 2081-2100.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

O cenário 2041-2060 será o que sofrerá as alterações mais acentuadas entre os cenários, tanto no aumento dos menores índices (intervalo de Iu de -26 a 0) quanto na diminuição dos maiores índices (Iu acima de 40), com relação ao que foi observado no clima atual. Este resultado corrobora com o que foi encontrado nas análises futuras de precipitação, uma vez que esse foi o cenário que também apresentou as diminuições mais acentuadas de precipitação.

De modo geral, as principais alterações da caracterização climática atual com os cenários futuros foram: a classe climática mais úmida B3 deixou de existir nas projeções futuras e a expressiva redução das classes Úmido B2 e Úmido B1, além do aumento acentuado das classes Sub-Úmido C2 e Sub-Úmido seco C1, no sentido noroeste/sudoeste (Figura 37).

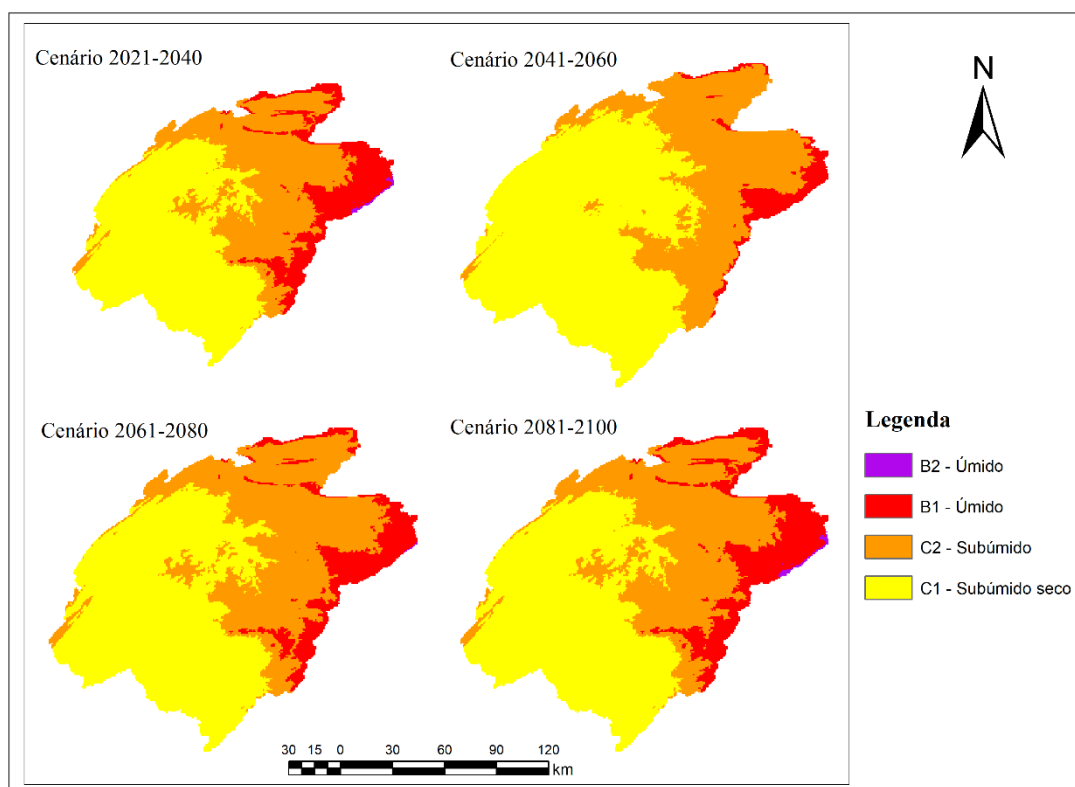


Figura 37 - Mapeamento da Classificação climática adaptada de Thornthwaite e Mather (1955), na bacia do Alto e Médio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, nos cenários futuros 2021-2040; 2041-2060; 2061-2080 e 2081-2100.
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Estes resultados corroboram com Lorençone et al. (2022), que encontraram uma expressiva redução das classes climáticas mais úmidas (B3, B2 e B1) e a presença de outra classe climática C1 – sub-úmido seco nos períodos 2041-2060 e 2061-2080 no estado do Mato Grosso do Sul, sendo, portanto, os mais quentes com relação aos outros cenários devidos as maiores concentrações de gases de efeito estufa no referido período. Os autores mencionam que uma vez que a grande redução de umidade do estado pode levar a uma diminuição da produtividade agrícola na região, além de grandes impactos na dinâmica hídrica do Estado.

A Tabela 7 apresenta a área (ha) correspondente a cada classe climática do clima atual e dos cenários futuros. Observa-se que com relação ao que foi observado no clima atual, o destaque é para o cenário 2041-2061 que poderá deixar de existir as classes climáticas B2 e B3, inferindo que nesse período provavelmente a BCH poderá passar por processos de secas mais prolongadas, sobretudo nos sentidos

noroeste/sudeste da bacia. Essa característica, pode afetar diretamente o abastecimento da população, na irrigação das agriculturas presente na bacia, além da dessedentação de animais, já que essas são umas das principais demandas da bacia, principalmente nas regiões de elevações mais baixas (< 280 m), cuja as maiores modificações do uso e ocupação do solo ocorrem nessas áreas ao longo dos anos.

Tabela 7 - Área (ha) das classes climáticas no clima atual e nos cenários 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080, 2080-2100, na bacia hidrográfica do Alto e Médio Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.

Classe Climática	Clima atual	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100
	Área (ha)	Área (ha)	Área (ha)	Área (ha)	Área (ha)
B3	743,96				
B2	208134,8	8594,2		909,26	413,33
B1	1081264,45	413661,6	136380,09	304562,21	205910,40
C2	1474186,62	1079079,28	1041960,68	1135671,6	1141009,32
C1	193126,39	1456121,14	1779115,45	1516313,15	1610123,17

A

Tabela 8 apresenta a porcentagem de redução ou aumento das classes climáticas para os cenários futuros com relação ao que foi observado no clima atual. Com base no que já foi supracitado, esses dados reforçam o quão expressivo serão as reduções de algumas classes, a ponto de deixarem de existir em alguns cenários, como também os aumentos expressivos da Classe C1 que poderão ocorrer em todos as projeções futuras. O destaque aqui fica para o cenário 2041-2060 que terá as maiores alterações climáticas, seguido do cenário 2081-2100.

Tabela 8 - Aumento ou diminuição das classes climáticas nos cenários nos cenários 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080, 2080-2100 com relação ao clima atual, em porcentagem, na bacia hidrográfica do Alto e Médio Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. Os valores positivos representam o aumento das classes e os valores negativos representam a diminuição das classes.

Classes Climáticas	(%) 2041-2060	(%) 2041-2060	(%) 2061-2080	(%) 2081-2100
B3				
B2	-95,87		-99,56	-99,80
B1	-61,74	-87,39	-71,83	-80,96
C2	-26,80	-29,32	-22,96	-22,60
C1	653,97	821,22	685,14	733,71

A região Centro-Oeste tende a apresentar menor umidade ao longo do século XXI, se tornando uma região com a classificação climática de ligeiramente a moderadamente mais seca, como consequência do aumento da temperatura e da dinâmica relacionadas ao aumento dos gases de efeito estufa, alterando a fauna e flora principalmente em espécies sensíveis a variações das variáveis climáticas (ELGUINDI et al., 2014; JUNIOR et al., 2018; REDIVO, 2020).

Elguindi et al (2014) realizaram um estudo em que aplicaram uma classificação climática de Thornthwaite modificada para um conjunto de 32 modelos climáticos globais do CMIP5 sob dois cenários futuros de concentração de gases de efeito estufa (RCP4.5 e RCP8.5) em 25 regiões diferentes no mundo e observaram que a cobertura de áreas de tipos de clima quente tende a aumentar em 11% e 19% nas projeções RCP4.5 e RCP8.5, respectivamente, observaram ainda, que uma grande parte das áreas nos trópicos experimentará condições térmicas que excederão a faixa de valores históricos e cairão em uma nova classe de clima superquente. Os autores evidenciaram que o maior crescimento em tipos de unidade em zonas climáticas estará entre aqueles com climas secos (valores de índice de umidade < 0) com áreas aumentadas em mais de 8%.

Junior et al (2018) avaliaram o balanço hídrico de Thornthwaite a partir de das projeções do IPCC – AR5 considerando 14 modelos de projeções para os cenários RCP4.5 e RCP8.5, para o período de 2010 a 2099, em comparação ao cenário histórico (1950 a 1999) para o Brasil e observaram que, as regiões Norte e Centro-Oeste apresentam aumento da área coberta por climas mais áridos, enquanto que a região Sul aponta para um aumento da área coberta por climas úmidos. Os autores enfatizam que estas características podem representar aumento de escoamento superficial na região Sul e sua diminuição nas regiões Norte e Centro-Oeste.

Redivo (2020) realizou uma simulação da variação climática na disponibilidade hídrica em duas bacias hidrográficas próximas a BHC, utilizando dados do *WorldClim*, com o período de referência de 1970 a 2000 e os períodos 2041 a 2060 e 2061 a 2080. Ao realizar a classificação climática, foram encontrados $Iu > 40$ para o período de referência e Iu variando de 17,5 a 38,8 para os períodos futuros,

inferindo que a condição climática da região está entre a classe C2 e B2. Desta forma a autora afirma que de acordo com a classificação climática a tendência é que no primeiro período futuro, a região passará por uma redução da classe B2 a B1 e no segundo período futuro essa redução continuará acontecendo alcançando a classe C2, inferindo menor umidade nas regiões mais baixas das bacias.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados demonstraram que as variáveis climáticas apresentaram sazonalidade característica com períodos secos e chuvosos bem definidos com menores valores de precipitação, temperatura média, máxima e mínima do ar, e vapor d'água durante o período seco e maiores durante o período chuvoso. As variáveis climáticas radiação solar global e velocidade do vento não apresentaram um padrão bem definido de distribuição e isso pode estar associado ao fato de serem variáveis que podem sofrer interferências de fatores locais como nebulosidade e a topografia do terreno.

As variáveis temperatura do ar e pressão de vapor d'água apresentaram satisfatórias correlações negativas com a elevação, indicando que as maiores temperaturas do ar e pressão de vapor d'água ocorrem sobretudo nas regiões mais baixas, coincidindo com os núcleos urbanos existentes na bacia, principalmente na região sudoeste. O padrão de distribuição da precipitação foi um tanto diferente, no período chuvoso ocorreram correlações positivas com a elevação, inferindo que nas regiões mais elevadas ocorrem os maiores volumes de chuva, o que contribui para as recargas dos aquíferos, ao passo que no período chuvoso apesar de não ocorrerem grandes volumes de chuva a correlação é negativa.

As análises de uso e ocupação do solo permitiram inferir que as principais modificações que ocorreram na bacia hidrográfica do Alto e Médio Rio Cuiabá foram a conversão de algumas áreas de vegetação nativa do cerrado em áreas de agricultura e pastagem, principalmente na porção sentido noroeste/sudeste.

Com relação as projeções futuras o modelo climático acoplado CNRM-ESM2-1 SSP 126 apontou que haverá aumento das temperaturas do ar em todos os cenários futuros e quanto mais distante o cenário, maiores são os valores, e haverá uma redução na quantidade de meses onde ocorrem as menores temperaturas, aumentando assim o número de meses com temperaturas do ar elevadas.

Haverá um aumento de P apenas no primeiro cenário futuro (2021-2040), e nos demais cenários uma redução. Haverá também um aumento dos meses com menores índices pluviométricos, inferindo uma provável redução do período chuvoso.

Com relação a classificação climática de Thornthwaite (1948), analisando o clima atual, foram observadas cinco classes de tipos climáticos oriundos do Índice de umidade, variando de: Úmido B3, Úmido B2, Úmido B1, Sub-úmido C2 e Sub-úmido seco C1. Já as projeções futuras demonstraram que, além da inexistência da classe Úmido B3 e redução da classe Úmido B2, ocorrerá um aumento da classe Sub-úmido C1, apontando que a tendência é que o clima da BHC se torne mais seco ao final do século XXI.

Apesar do modelo climático acoplado CNRM-ESM2-1 SSP 126 ser um modelo que tem por pressupostos um mundo de crescimento e igualdade com foco na sustentabilidade, esta pesquisa demonstrou que as modificações na paisagem na bacia podem estar relacionadas ao que foi encontrado para as projeções futuras, uma vez que o modelo é alimentado com dados do passado e presente para prever o futuro.

Desta forma, compreender o processo hidrológico de uma bacia hidrográfica e simular mudanças dos elementos hidrológicos sob cenários futuros são de grande importância para gestão e planejamento dos recursos hídricos, assim como a mitigação dos riscos de inundações e secas, sobretudo as características de variação espaço-temporal da precipitação relacionados aos eventos extremos.

7. REFERÊNCIAS

ABBASS, K. et al. A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 28, p. 42539–42559, 4 jun. 2022.

ALVES, M. DE C. et al. Ecological zoning of soybean rust, coffee rust and banana black sigatoka based on Brazilian climate changes. **Procedia Environmental Sciences**, v. 6, p. 35–49, 2011.

ALVES, W. DOS S.; MARTINS, A. P.; SCOPEL, I. USO DA TERRA E COBERTURA VEGETAL NA BACIA DO RIBEIRÃO DAS ABÓBORAS, EM RIO VERDE (GO), ENTRE OS ANOS DE 1985 E 2015. **Caminhos de Geografia**, v. 19, n. 65, p. 125–145, 23 jul. 2018.

ANGELINI, P. C. B. **Efeitos do Uso do Solo Sobre o Balanço de Radiação e Energia em Cuiabá - MT**. Tese—Cuiabá - MT: Universidade Federal de Mato Grosso, dez. 2020.

ARVOR, D. et al. Spatial patterns of rainfall regimes related to levels of double cropping agriculture systems in Mato Grosso (Brazil). **International Journal of Climatology**, v. 34, n. 8, p. 2622–2633, jun. 2014.

BECK, H. E. et al. Bias Correction of Global High-Resolution Precipitation Climatologies Using Streamflow Observations from 9372 Catchments. **Journal of Climate**, v. 33, n. 4, p. 1299–1315, 15 fev. 2020.

BUTT, N.; DE OLIVEIRA, P. A.; COSTA, M. H. Evidence that deforestation affects the onset of the rainy season in Rondonia, Brazil. **Journal of Geophysical Research**, v. 116, n. D11, p. D11120, 15 jun. 2011.

CALLEJAS, I. J. A. **AVALIAÇÃO TEMPORAL DO BALANÇO DE ENERGIA EM AMBIENTES URBANOS NA CIDADE DE CUIABÁ-MT**. Tese (Doutorado)—Cuiabá: Universidade federal de Mato Grosso, mar. 2012.

CARVALHO, A. C. X. DE et al. INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DO AR, UMIDADE RELATIVA DO AR E PRECIPITAÇÃO NA PRODUÇÃO DE SERRAPILHEIRA NO NORTE DO PANTANAL MATO-GROSSENSE. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 29, p. 1–23, dez. 2021.

CARVALHO JÚNIOR, F. V. DE et al. **Climate Change Effects of Rainfall on Coffee Production in Minas Gerais**. [s.l.: s.n.].

CASSETTARI, G. A.; QUEIROZ, T. M. DE. BALANÇO HÍDRICO E CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA NA BACIA DO RIO JAUQUARA, REGIÃO DE TRANSIÇÃO ENTRE O CERRADO E AMAZÔNIA BRASILEIRA. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, p. 70, jun. 2016.

CHEN, J.; HUANG, G.; CHEN, W. Towards better flood risk management: Assessing flood risk and investigating the potential mechanism based on machine

learning models. **Journal of Environmental Management**, v. 293, p. 112810, set. 2021.

CHIARANDA, R.; COLPINI, C.; SOARES, T. S. Characterization of the Watershed of Cuiabá River. **Advances in Forestry Science**, v. 3, n. 1, p. 13–20, 31 mar. 2016a.

CHIARANDA, R.; COLPINI, C.; SOARES, T. S. Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá. **Adv. For. Sci**, v. 3, n. 1, p. 13–20, 31 mar. 2016b.

CHONG-HAI, X.; YING, X. The Projection of Temperature and Precipitation over China under RCP Scenarios using a CMIP5 Multi-Model Ensemble. **Atmospheric and Oceanic Science Letters**, v. 5, n. 6, p. 527–533, 3 jan. 2012.

COSTA, M. H. et al. Climate risks to Amazon agriculture suggest a rationale to conserve local ecosystems. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 17, n. 10, p. 584–590, 4 dez. 2019.

COSTA, M. H.; PIRES, G. F. Effects of Amazon and Central Brazil deforestation scenarios on the duration of the dry season in the arc of deforestation. **International Journal of Climatology**, v. 30, n. 13, p. 1970–1979, 15 nov. 2010.

DALY, C. Guidelines for assessing the suitability of spatial climate data sets. **International Journal of Climatology**, v. 26, n. 6, p. 707–721, maio 2006.

ELGUINDI, N. et al. Assessment of CMIP5 global model simulations and climate change projections for the 21 st century using a modified Thornthwaite climate classification. **Climatic Change**, v. 122, n. 4, p. 523–538, 9 fev. 2014.

ESRI. **ArcGIS for Student Use | GIS Software, Data & Training for Students**. Disponível em: <<https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-for-student-use/overview>>. Acesso em: 29 out. 2022.

EYRING, V. et al. Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. **Geoscientific Model Development**, v. 9, n. 5, p. 1937–1958, 26 maio 2016.

FAGGIAN, P. Future Precipitation Scenarios over Italy. **Water**, v. 13, n. 10, p. 1335, 11 maio 2021.

FEARNSIDE, P. M. DEFORESTATION IN THE BRAZILIAN AMAZON: HOW FAST IS IT OCCURRING? **Interciencia**, v. 7, n. 2, 17 set. 2002.

FEREIDON, M.; KOCH, M. SWAT-MODSIM-PSO optimization of multi-crop planning in the Karkheh River Basin, Iran, under the impacts of climate change. **Science of The Total Environment**, v. 630, p. 502–516, jul. 2018.

FERRANTE, L.; FEARNSIDE, P. M. The Amazon's road to deforestation. **Science**, v. 369, n. 6504, p. 634, 7 ago. 2020.

FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 12, p. 4302–4315, 1 out. 2017.

FREITAS, R. A. P. et al. Relação entre o Vapor D'Água Atmosférico e a Temperatura da Superfície do Mar Sobre a Região da Confluência Brasil-Malvinas com Base em Dados Coletados In Situ. **Revista Brasileira de Geografia Física** v. v. 12, p. 1687–1702, 2019.

FUNATSU, B. M. et al. Convective activity in Mato Grosso state (Brazil) from microwave satellite observations: Comparisons between AMSU and TRMM data sets. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 117, n. D16, p. n/a-n/a, 27 ago. 2012.

GAN, M. A.; KOUSKY, V. E.; ROPELEWSKI, C. F. The South America Monsoon Circulation and Its Relationship to Rainfall over West-Central Brazil. **Journal of Climate**, v. 17, n. 1, p. 47–66, jan. 2004.

GETACHEW, B.; MANJUNATHA, B. R. Potential climate change impact assessment on the hydrology of the Lake Tana Basin, Upper Blue Nile River Basin, Ethiopia. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v. 127, p. 103162, out. 2022.

GUIMARÃES, S. O. et al. Projeções de Mudanças Climáticas sobre o Nordeste Brasileiro dos Modelos do CMIP5 e do CORDEX. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 3, p. 337–365, set. 2016.

HAMED, M. M. et al. Inconsistency in historical simulations and future projections of temperature and rainfall: A comparison of CMIP5 and CMIP6 models over Southeast Asia. **Atmospheric Research**, v. 265, p. 105927, jan. 2022.

HAUSFATHER, Z. **CMIP6: the next generation of climate models explained** . Disponível em: <<https://www.carbonbrief.org/cmip6-the-next-generation-of-climate-models-explained/>>. Acesso em: 30 out. 2022.

HIJMANS, R. J. et al. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 25, n. 15, p. 1965–1978, dez. 2005.

IBM CORP. **IBM SPSS Statistics for Windows**. Disponível em: <<https://www.ibm.com/br-pt/products/spss-statistics>>. Acesso em: 25 out. 2022.

IPCC. AR5 Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. **IPCC Working Group III Contribution to AR5**, 2014.

IPCC. **AR6 Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability — IPCC**. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/>>. Acesso em: 1 dez. 2022.

JHA, M. et al. CLIMATE CHHANGE SENSITIVITY ASSESSMENT ON UPPER MISSISSIPPI RIVER BASIN STREAMFLOWS USING SWAT. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 42, n. 4, p. 997–1015, ago. 2006.

JUNIOR, A. D. M. et al. Classificação Climática de Thornthwaite para o Brasil com Base em Cenários de Mudanças Climáticas do IPCC-AR5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 4, p. 647–664, dez. 2018.

KARGER, D. N. et al. High-resolution monthly precipitation and temperature time series from 2006 to 2100. **Scientific Data**, v. 7, n. 1, p. 248, 23 dez. 2020.

LEITE-FILHO, A. T.; COSTA, M. H.; FU, R. The southern Amazon rainy season: The role of deforestation and its interactions with large-scale mechanisms. **International Journal of Climatology**, v. 40, n. 4, p. 2328–2341, 30 mar. 2020.

LORENÇONE, J. A. et al. Assessment of Climate Change Using Humidity index of Thornthwaite Climate Classification in Pantanal Biome. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 37, n. 1, p. 99–119, mar. 2022.

MAHMOUD, S. H.; GAN, T. Y. Urbanization and climate change implications in flood risk management: Developing an efficient decision support system for flood susceptibility mapping. **Science of The Total Environment**, v. 636, p. 152–167, set. 2018.

MALLAKPOUR, I.; VILLARINI, G. Analysis of changes in the magnitude, frequency, and seasonality of heavy precipitation over the contiguous USA. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 130, n. 1–2, p. 345–363, 10 out. 2017.

MAPBIOMAS. **Coleções MapBiomias**. Disponível em: <https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR#>. Acesso em: 9 dez. 2022.

MATRICARDI, E. A. T. et al. DINÂMICA NO USO E COBERTURA DA TERRA NA REGIÃO DO MATOPIBA ENTRE 2000 E 2016. **Nativa**, v. 7, n. 5, p. 547, 12 set. 2019.

MENDES, O. R.; DANELICHEN, V. H. D. M.; PEREIRA, O. A. Avaliação da temperatura da superfície no Pantanal Mato-grossense por Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física** v, v. 12, n. 5, p. 1784–1793, 20 nov. 2019.

MOSS, R. H. et al. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. **Nature**, v. 463, n. 7282, p. 747–756, fev. 2010.

NASA. **NASA, NOAA to Announce 2021 Global Temperatures, Climate Conditions**. Disponível em: <<https://www.nasa.gov/press-release/nasa-noaa-to-announce-2021-global-temperatures-climate-conditions>>. Acesso em: 8 dez. 2022.

NASCIMENTO, D. T. F.; NOVAIS, G. T. Clima do Cerrado: dinâmica atmosférica e características, variabilidades e tipologias climáticas. **Eliséé**, v. 9, n. 2, 2020.

NGOMA, H. et al. Evaluation of precipitation simulations in <scp>CMIP6</scp> models over Uganda. **International Journal of Climatology**, v. 41, n. 9, p. 4743–4768, 24 jul. 2021.

NOCE, S.; CAPORASO, L.; SANTINI, M. A new global dataset of bioclimatic indicators. **Scientific Data**, v. 7, n. 1, p. 398, 16 dez. 2020.

NOVAIS, G. T. Classificação climática aplicada ao Estado de Goiás e ao Distrito Federal, Brasil. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 40, 2020.

OH, S.-G. et al. Assessment of the RegCM4 over East Asia and future precipitation change adapted to the RCP scenarios. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 119, n. 6, p. 2913–2927, 27 mar. 2014.

PACHAURI, R. K. et al. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. **EPIC3Geneva, Switzerland, IPCC, 151 p., pp. 151, ISBN: 978-92-9169-143-2**, 2014.

PAN, Z. et al. Current and future precipitation extremes over Mississippi and Yangtze River basins as simulated in CMIP5 models. **Journal of Earth Science**, v. 27, n. 1, p. 22–36, 2 fev. 2016.

PAULA, D. C. J. DE. **Simulação de cenários futuros de iha de calor e morfologia urbana como instrumento no planejamento de cidades**. Tese de doutorado—Cuiabá: Universidade Federal de Mato Grosso, ago. 2021.

PIRES, M. C. et al. **Estatística não paramétrica básica no software R: uma abordagem por resolução de problemas**. Minas Gerais: [s.n.]. Disponível em: <www.coordest.ufpr.br/wp-content/uploads/2016/08/aluno->.

PONTES, A. C. F. **Obtenção dos níveis de significância para os testes de Kruskal-Wallis, Friedman e comparações múltiplas não-paramétricas**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 29 jun. 2000.

PONTIUS, R. G.; SHUSAS, E.; MCEACHERN, M. Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 101, n. 2–3, p. 251–268, fev. 2004.

POURMOKHTARIAN, A. et al. Modeled ecohydrological responses to climate change at seven small watersheds in the northeastern United States. **Global Change Biology**, v. 23, n. 2, p. 840–856, fev. 2017.

RAMOS FILHO, R. DA S. **Cenários de projeção do risco a inundações no Estado da Paraíba**. Dissertação (mestrado)—Campina Grande - PB: Universidade Federal de Campina Grande, 2022.

REBOITA, M. S. et al. The South Atlantic Subtropical Anticyclone: Present and Future Climate. **Frontiers in Earth Science**, v. 7, 26 fev. 2019.

REDIVO, P. C. **Simulação da variação climática na disponibilidade hídrica das bacias do Córrego Queima Pé e do Rio Ararã do Estado do Mato Grosso**. Dissertação de Mestrado—Cuiabá: Universidade Federal de Mato Grosso, fev. 2020.

RIAH, K. et al. The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. **Global Environmental Change**, v. 42, p. 153–168, jan. 2017.

ROCHA, A. A. et al. CARACTERIZAÇÃO DA VARIABILIDADE CLIMÁTICA EM DIAMANTINO/MT - BRASIL NO PERÍODO DE 1987 A 2017. **Enciclopédia Biosfera**, v. 15, n. 27, p. 69–80, 20 jun. 2018.

SAAVEDRA, C. Análisis de anomalías climáticas para la cuenca del río La Villa, Panamá, basado en los escenarios RCP. **I+D Tecnológico**, v. 16, n. 1, p. 83–89, 28 jan. 2020.

SABINO, C. V. S.; LAGE, L. V.; NORONHA, C. V. DE. Variação sazonal e temporal da qualidade das águas em um ponto do Córrego Gameleiras usando técnicas quimiométricas robustas. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 5, p. 969–983, out. 2017.

SAMPAIO, G. et al. Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. **Geophysical Research Letters**, v. 34, n. 17, p. L17709, 13 set. 2007.

SANTANA SANTOS, P.; GUIMARÃES FERREIRA, L. ANÁLISE DESCRITIVA DOS ASPECTOS BIOFÍSICOS ASSOCIADOS AOS PADRÕES DE COBERTURA E USO DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VERMELHO, BIOMA CERRADO. **GeoFocus Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica**, v. 20, p. 3–28, 27 dez. 2017.

SANTIAGO, D. DE B.; BARBOSA, H. A.; WASHINGTON, L. F. C. F. Alterações na eficiência do uso da água relacionadas com fatores climáticos e uso e ocupação do solo, na região do MATOPIBA. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 9, 2021.

SCHINDEL, N. Y. A. **Levantamento de indicadores na recuperação de pastagens degradadas no cerrado brasileiro**. Trabalho de Conclusão de Curso—Goiânia - GO: PUC - Goiás, 14 jun. 2022.

SÉFÉRIAN, R. et al. Evaluation of CNRM Earth System Model, CNRM-ESM2-1: Role of Earth System Processes in Present-Day and Future Climate. **Journal of Advances in Modeling Earth Systems**, v. 11, n. 12, p. 4182–4227, 10 dez. 2019.

SHEPHERD, T. G. Atmospheric circulation as a source of uncertainty in climate change projections. **Nature Geoscience**, v. 7, n. 10, p. 703–708, 21 out. 2014.

SHEKIN, D. **Handbook of parametric and nonparametric statistical procedures**. 5. ed. [s.l.: s.n.].

SIABI, E. K. et al. Statistical downscaling of global circulation models to assess future climate changes in the Black Volta basin of Ghana. **Environmental Challenges**, v. 5, p. 100299, dez. 2021.

SILVA, S. S. DA et al. Dynamics of forest fires in the southwestern Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 424, p. 312–322, 15 set. 2018.

SILVEIRA, C. et al. Mudanças climáticas na bacia do rio São Francisco: Uma análise para precipitação e temperatura / Climate change in the São Francisco river basin: analysis of precipitation and temperature. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 2, p. 416–428, 1 abr. 2016.

SIQUEIRA, J. E. DE; HENKES, J. A. IMPACTOS GERADOS POR REPRESAS DE USINAS HIDRELÉTRICAS: O CASO DA USINA HIDRELÉTRICA DE MANSO. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 3, n. 1, p. 359, 28 maio 2014.

SONG, Y. H. et al. Advances in CMIP6 INM-CM5 over CMIP5 INM-CM4 for precipitation simulation in South Korea. **Atmospheric Research**, v. 247, p. 105261, jan. 2021.

SOUSA, R. M. DE et al. Projeções climáticas regionalizadas para o Estado do Tocantins, Brasil, nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 24, n. 15, p. 330–347, 2019.

STEINMETZ, A. A. **Impacto das mudanças climáticas sobre vazões em bacias hidrográficas do Pampa brasileiro**. Tese (Doutorado)—Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2020.

SYSTAT SOFTWARE INC. - SSI. **SigmaPlot – Inpixon**. Disponível em: <<https://systatsoftware.com/sigmaplot/>>. Acesso em: 25 out. 2022.

TALCHABHADEL, R.; KARKI, R. Assessing climate boundary shifting under climate change scenarios across Nepal. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 191, n. 8, p. 520, 29 ago. 2019.

THANVISITTHPON, N.; SHRESTHA, S.; PAL, I. Urban Flooding and Climate Change: A case study of bangkok thailand. **Environment and Urbanization ASIA**, v. 9, n. 1, p. 86–100, 15 mar. 2018.

TITLE, P. O.; BEMMELS, J. B. ENVIREM: an expanded set of bioclimatic and topographic variables increases flexibility and improves performance of ecological niche modeling. **Ecography**, v. 41, n. 2, p. 291–307, fev. 2018.

TORMAN, V. B. L.; COSTER, R.; RIBOLDI, J. Normalidade de variáveis : métodos de verificação e comparação de alguns testes não-paramétricos por simulação. **Revista HCPA**, v. 32, n. 2, p. 227–234, 2012.

VEGA, G. C.; PERTIERRA, L. R.; OLALLA-TÁRRAGA, M. Á. MERRAclim, a high-resolution global dataset of remotely sensed bioclimatic variables for ecological modelling. **Scientific Data**, v. 4, n. 1, p. 170078, 19 dez. 2017.

VÉLEZ-NICOLÁS, M. et al. Precipitation Variability and Drought Assessment Using the SPI: Application to Long-Term Series in the Strait of Gibraltar Area. **Water**, v. 14, n. 6, p. 884, 11 mar. 2022.

VITAL, A. R.; COSTA, E. S.; CURVO, M. **Projeto de Recuperação e Conservação da Bacia do Rio Cuiabá**. Cuiabá, MT: FEMA - MT, 1996.

VOLDOIRE, A. et al. SURFEX v8.0 interface with OASIS3-MCT to couple atmosphere with hydrology, ocean, waves and sea-ice models, from coastal to global scales. **Geoscientific Model Development**, v. 10, n. 11, p. 4207–4227, 20 nov. 2017.

VOLDOIRE, A. et al. Evaluation of CMIP6 DECK Experiments With CNRM-CM6-1. **Journal of Advances in Modeling Earth Systems**, v. 11, n. 7, p. 2177–2213, 11 jul. 2019.

WANG, W. et al. Characterizing the changing behaviours of precipitation concentration in the Yangtze River Basin, China. **Hydrological Processes**, v. 27, n. 24, p. 3375–3393, 29 nov. 2013.

WILHITE, D. A.; GLANTZ, M. H. Understanding: the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. **Water International**, v. 10, n. 3, p. 111–120, 22 jan. 1985.

XU, X. et al. Local and global factors controlling water-energy balances within the Budyko framework. **Geophysical Research Letters**, v. 40, n. 23, p. 6123–6129, 16 dez. 2013.

YANG, Q. et al. Climate change will pose challenges to water quality management in the st. Croix River basin. **Environmental Pollution**, v. 251, p. 302–311, ago. 2019.

ZEILHOFER, P. Modelação de Relevo e Obtenção de Parâmetros Fisiográficos na Bacia do Rio Cuiabá. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 6, n. 3, p. 95–109, 28 maio 2001.

ZHANG, M.; ABRAHAO, G.; THOMPSON, S. Sensitivity of soybean planting date to wet season onset in Mato Grosso, Brazil, and implications under climate change. **Climatic Change**, v. 168, n. 3–4, p. 15, 14 out. 2021.

ZOU, L.; ZHOU, T. Near future (2016-40) summer precipitation changes over China as projected by a regional climate model (RCM) under the RCP8.5 emissions scenario: Comparison between RCM downscaling and the driving GCM. **Advances in Atmospheric Sciences**, v. 30, n. 3, p. 806–818, 17 maio 2013.