



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

TESE DE DOUTORADO

**APLICAÇÕES DOS DADOS DE REANÁLISES ERA5-LAND E PROJEÇÕES  
CLIMÁTICAS DO CMIP6 NO ZONEAMENTO DE RISCO CLIMÁTICO DO  
MILHO NO ESTADO DA BAHIA**

WENDY KAORI MATSUNAGA

Campina Grande – PB

2023

WENDY KAORI MATSUNAGA

**APLICAÇÕES DOS DADOS DE REANÁLISES ERA5-LAND E PROJEÇÕES  
CLIMÁTICAS DO CMIP6 NO ZONEAMENTO DE RISCO CLIMÁTICO DO  
MILHO NO ESTADO DA BAHIA**

Tese de doutorado apresentada ao colegiado do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito final à obtenção do título de Doutora em Meteorologia.

**Área de concentração:** Agrometeorologia e Micrometeorologia

**Sub-área:** Climatologia Agrícola

**Orientador:** Prof. Dr. José Ivaldo Barbosa de Brito

Campina Grande -PB

2023

- M434a Matsunaga, Wendy Kaori.  
Aplicações dos dados de reanálises ERA5-LAND e projeções climáticas do CMIP6 no zoneamento de risco climático do milho no Estado da Bahia / Wendy Kaori Matsunaga. – Campina Grande, 2023.  
164 f. : il. color.
- Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2023.  
"Orientação: Prof. Dr. José Ivaldo Barbosa de Brito".  
Referências.
1. Agrometeorologia. 2. Micrometeorologia. 3. Climatologia Agrícola. 4. Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC). 5. Cultura do Milho – Bahia – ZARC – Viabilidade. 6. Análise dos Índices de Vegetação. I. Brito, José Ivaldo Barbosa de. II. Título.
- CDU 551.5:631(043)

WENDY KAORI MATSUNAGA

APLICAÇÕES DOS DADOS DE REANÁLISES ERA5-LAND E PROJEÇÕES  
CLIMÁTICAS DO CMIP6 NO ZONEAMENTO DE RISCO CLIMÁTICO DO  
MILHO NO ESTADO DA BAHIA

TESE APROVADA EM 07/11/2023

BANCA EXAMINADORA

*Jose Ivaldo B. Brito*

Prof. Dr. JOSÉ IVALDO BARBOSA DE BRITO  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande

*Madson Tavares Silva*

Prof. Dr. MADSON TAVARES SILVA  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande

Documento assinado digitalmente

gov.br

CARLOS ANTONIO COSTA DOS SANTOS  
Data: 28/11/2023 07:49:40-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. CARLOS ANTONIO COSTA DOS SANTOS  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande

Documento assinado digitalmente

gov.br

FRANCINETE FRANCIS LACERDA  
Data: 20/11/2023 11:54:21-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. FRANCINETE FRANCIS LACERDA  
Instituto Agrônômico de Pernambuco

Documento assinado digitalmente

gov.br

EVALDO DE PAIVA LIMA  
Data: 23/11/2023 14:17:17-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. EVALDO DE PAIVA LIMA  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus avós maternos, Nady e Aleysio Mori. Símbolos de amor e carinho em minha vida.

## AGRADECIMENTOS

Sou grata a Deus por todas as pessoas que entraram na minha vida e fazem ou fizeram parte da minha rede de apoio.

Ao meu orientador de doutorado, José Ivaldo Brito, por sua diretriz e apoio fundamentais para o desenvolvimento da tese e, por conseguinte, para o meu crescimento enquanto pesquisadora.

A minha primeira orientadora de graduação na UFPA (Universidade Federal do Pará), Aline Maria Meiguins de Lima, por ter sido modelo inspiradora na escolha da carreira acadêmica.

À professora Midori Makino por ser amiga e companheira durante a minha formação.

Ao Romero Wanzeler e Victória Amorim por nossa amizade valer a metade do dobro.

De modo especial, a Lucas Farias por ser a melhor companhia nos bons e maus momentos, criando boas memórias e sendo meu maior apoio. Namorado e melhor amigo, não sei descrever sua imensa importância em minha vida, além de jamais esquecer do carinho e acolhimento dos seus pais, Wanderleya Farias e Alexandre Martins, e seus avós, Otanice e Ariel Farias.

Aos amigos que fiz em Campina Grande, Thalles Tácilo, Morganna Ellen e Gervásio Junior que foram parceiros de vários momentos na jornada.

Aos amigos de Belém, Luiz, Gilson, Victor, Suzane, Tamires, Daniele e Gleyce que deixaram o Telegram e voltaram ao WhatsApp somente para mantermos o contato e, assim, permanecermos unidos mesmo não morando mais próximos e sem as frequentes reuniões da turma.

Ao casal Mayara Koga e Fellip Barroso junto a sua filha Ayumi. Apareceram em minha vida tal como família.

Fabiana Ribeiro, presente em minha vida desde a tenra idade. Pessoa que, sem dúvidas, estará comigo até o final.

Flávia Maiara pela amizade verdadeira que suporta o tempo e a distância.

Aos amigos do vôlei (Estica) Leda Maia, Mateus Rangel, Dhiego Rodrigues e Igor Faustino por animarem minhas terças-feiras.

Às meteorologistas Mayara Villela e Caroline Nascimento por todos os memes trocados e pela amizade descontraída.

Ao tio Kunio Matsunaga, *in memoriam*, que não pode me acompanhar neste momento importante da minha vida, mas teve presença fundamental para eu conseguir me tornar meteorologista.

Ao meu avô Toshio Matsunaga, *in memoriam*, com quem possuo boas lembranças da sua companhia na parada de ônibus e da sua felicidade ao ganhar um chocolate branco.

Aos tios Shunichi e Elza Matsunaga pelas visitas a mim feitas, enquanto morava em Belém. Companhias gentis nos passeios ao Mangal das Garças e shoppings durante minha infância.

Às tias Carmela Mory e Guilhermina Matsunaga que, por diversas vezes, fizeram o papel de amáveis avós.

Ao meu núcleo familiar: minha mãe Anita Mori, meu pai Akira Matsunaga e meu irmão Kenichi Matsunaga. Todos me acolhendo (e também acolhendo a minha gata Fafi) em todos os momentos.

Meus tios Aracy Mori, Juscelino Inomata, Nádia Mori, Fernando Gomes, Kátia Mori, Wellington Paes, Aluizio Mori e Armando Mori, além do meu primo Harrison Hyuichi. Todos sendo o motivo do meu amor em visitar o Amazonas. Fizeram-me apreciar a canastra, o dominó, a pesca, o nadar nos rios e as muitas risadas.

Por último, porém não menos importante, ao meu cachorro Momo, *in memoriam*, que neste ano partiu, mas deixou lembranças dos 15 anos da sua existência. Comigo desde a infância, causa-me muita saudade e esperança de um dia poder reencontrá-lo.

“Antes que a verdade o liberte  
Ela vai te irritar  
Antes que você encontre um lugar para estar  
Você vai perder a trama”  
-Mantra, BRING ME THE HORIZON.

## RESUMO

O zoneamento agrícola de risco climático (ZARC) é uma ferramenta fundamental para as atividades agrícolas, pois identifica regiões e épocas de menor risco climático para plantio e semeadura. Para elaborar um ZARC de grandes áreas é necessária uma rede de estações meteorológicas com distribuição espacial densa e observações precisas e contínuas. No Brasil, há uma boa distribuição espacial de pluviômetros, mas há escassez na distribuição espacial das estações meteorológicas necessárias para a realização de um ZARC. Uma forma de superar a falta de dados observados *in situ* é utilizar dados de reanálise. Porém, é necessário mostrar que é possível realizar um ZARC confiável. Portanto, o objetivo desta pesquisa é elaborar um ZARC para o milho no estado da Bahia utilizando dados de reanálise e quantificar sua viabilidade. Também se analisou possíveis relações entre os índices Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) e Enhanced Vegetation Index (EVI), e o ZARC. Por fim elaborou-se um ZARC, para cultura do milho na Bahia, usando dados de projeções climáticas do Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6), precisamente os modelos CNRM-CM6-1-HR e EC-Earth3-Veg-LR, ambos no cenário SSP2-4.5. O banco de dados de reanálise escolhido foi ERA5-Land. Ao realizar a validação dos dados de reanálise do ERA5-Land, verificou-se que a precipitação foi à única variável meteorológica necessária para um ZARC que não apresentou valores e variabilidade sazonal e interanual semelhantes aos já observados. Portanto, decidiu-se validar os dados de precipitação do Projeto de Precipitação CPC/NOAA. Com os dados da reanálise ERA5-Land e do Projeto de Precipitação CPC/NOAA validados, o ZARC para o milho foi realizado no estado da Bahia, levando à conclusão de que é possível desenvolver um ZARC confiável e robusto com dados de reanálise. Por outro lado, verificou-se que os índices de vegetação acompanham o ZARC em algumas áreas, principalmente nas de vegetação nativa e em outras não se observou o acompanhamento, especialmente nas áreas mais antropizadas. Os ZARCs elaborados como os dados do CMIP6 usando os modelos CNRM-CM6-1-HR e EC-Earth3-Veg-LR apresentaram resultados diferentes entre si e também com o ZARC realizado com dados da reanálise.

Palavras chaves: ZARC; viabilidade; índices de vegetação; CNRM-CM6-1-HR; EC-Earth3-Veg-LR.

## ABSTRACT

The agricultural zoning of climate risk (AZCR) is a fundamental tool for agricultural activities, as it identifies regions and times of lower climatic risk for planting and sowing crops. An AZCR representative of large areas requires a network of meteorological stations with dense spatial distribution, routine, and accurate observations. In Brazil, there is a good spatial distribution of rain gauges, but there is a scarcity in the spatial distribution of meteorological stations necessary to conduct an AZCR. One way to overcome the lack of data observed in situ is to use reanalysis data. However, it is necessary to show that it is possible to carry out a reliable AZCR. Therefore, the objective of this research is to elaborate an AZCR for corn in the state of Bahia using reanalysis data and quantifying its viability. Possible relationships between the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Enhanced Vegetation Index (EVI) and AZCR were also analyzed. Finally, a AZCR was created for corn cultivation in Bahia, using climate projections data from the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6), precisely the CNRM-CM6-1-HR and EC-Earth3-Veg-LR models, both in the SSP2-4.5 scenario. The ERA5-Land reanalysis database was chosen. When performing the validation of the ERA5-Land reanalysis data, it was verified that rainfall was the only meteorological variable needed for an AZCR that did not present seasonal and interannual values and variability similar to those already observed. Therefore, it was decided to validate the rainfall data from the CPC/NOAA Precipitation Project. With data from the ERA5-Land and CPC/NOAA Precipitation Project reanalysis validated, the AZCR for corn was performed in the state of Bahia, leading to the conclusion that it is possible to develop a reliable and robust AZCR with reanalysis data. On the other hand, it was found that the vegetation indices follow the ZCAR in some areas, mainly those with original vegetation, and in others there was no coherence, especially in the most anthropic areas. The AZCR prepared with CMIP6 data using the CNRM-CM6-1-HR and EC-Earth3-Veg-LR models presented different results between themselves and also with the AZCR performed with reanalysis data.

Keywords: AZCR; viability; vegetation indices; CNRM-CM6-1-HR; EC-Earth3-Veg-LR.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Fluxograma da estrutura da Tese. ....  | 6  |
| Figura 2. Mapa de localização do estado da Bahia e das estações meteorológicas. ....   | 22 |
| Figura 3. Ilustração das resoluções espaciais; a) ERA5-Land; b) ERA5-Land em grade de 0,5° x 0,5°; c) Projeto de Precipitação CPC/NOAA e CNRM-CM6-1-HR; d) EC-Earth3-Veg-LR; e) Todas as resoluções. ....  | 27 |
| Figura 4. Capacidade de água disponível (AWC) para o estado da Bahia. ....   | 34 |
| Figura 5. Balanço hídrico do milho para o município de Alagoinhas com as fases fenológicas da planta nos ciclos precoce (a), médio (b) e tardio (c). Simulações com os dados híbridos. .   | 51 |
| Figura 6. Balanço hídrico do milho para o município de Bom Jesus da Lapa com as fases fenológicas da planta nos ciclos precoce (a), médio (b) e tardio (c). Simulações com os dados híbridos. ....   | 53 |
| Figura 7. Balanço hídrico do milho para o município de Cipó com as fases fenológicas da planta nos ciclos precoce (a), médio (b) e tardio (c). Simulações com os dados híbridos. ....  | 55 |
| Figura 8. Balanço hídrico do milho para o município de Correntina com as fases fenológicas da planta nos ciclos precoce (a), médio (b) e tardio (c). Simulações com os dados híbridos. .   | 57 |
| Figura 9. Balanço hídrico do milho para o município de Jacobina com as fases fenológicas da planta nos ciclos precoce (a), médio (b) e tardio (c). Simulações com os dados híbridos. ....  | 59 |
| Figura 10. Balanço hídrico do milho para o município de Lençóis com as fases fenológicas da planta nos ciclos precoce (a), médio (b) e tardio (c). Simulações com os dados híbridos. ....  | 61 |
| Figura 11. Balanço hídrico do milho para o município de Vitória da Conquista com as fases fenológicas da planta nos ciclos precoce (a), médio (b) e tardio (c). Simulações com os dados híbridos. ....   | 63 |
| Figura 12. (a) Mapa de áreas com recomendação do plantio de milho no estado da Bahia. (b) Mapa da média anual de precipitação (mm ano <sup>-1</sup> ). ....  | 65 |
| Figura 13. Recomendações de plantio de milho de ciclo precoce no estado da Bahia, utilizando o modelo ERA5-Land e o Projeto de Precipitação CPC. (a) Decêndios 30 e 31, de 21 de outubro a 10 de novembro. (b) Decêndios 32 e 33, de 11 de novembro a 30 de novembro. (c) Decêndios 34 e 35, de 1º de dezembro a 20 de dezembro. (d) Decêndios 36 e 1, de 21 de dezembro a 10 de janeiro. (e) Decêndios 2 e 3, de 11 a 31 de janeiro. (f) Decêndios 4 e 5, de 1º a 20 de fevereiro. (g) Decêndios 6 e 7, de 21 de fevereiro a 10 de março. (h) Decêndios 8 e 9, de 11 a 31 de março. (i) Decêndios 10 e 11, de 1º a 20 de abril. (j) Decêndios |    |

|   |    |
|---|----|
| 12 e 13, de 21 de abril a 10 de maio. (k) Decêndios 14 e 15, de 11 a 31 de maio. (l) Decêndios 16 e 17, de 1º a 20 de junho. ....   | 69 |
| Figura 14. Mapa de áreas com recomendação do plantio de milho no estado da Bahia em 2065, projeção do CNRM-CM6-1-HR no cenário SSP2-4.5.....  | 74 |
| Figura 15. Mapa de áreas com recomendação do plantio de milho no estado da Bahia em 2065, projeção do EC-Earth3-Veg-LR no cenário SSP2-4.5.....   | 75 |
| Figura 16. Recomendações de plantio de milho de ciclo precoce no estado da Bahia, utilizando o modelo CNRM-CM6-1-HR. (a) Decêndios 30 e 31, de 21 de outubro a 10 de novembro. (b) Decêndios 32 e 33, de 11 de novembro a 30 de novembro. (c) Decêndios 34 e 35, de 1º de dezembro a 20 de dezembro. (d) Decêndios 36 e 1, de 21 de dezembro a 10 de janeiro. (e) Decêndios 2 e 3, de 11 a 31 de janeiro. (f) Decêndios 4 e 5, de 1º a 20 de fevereiro. (g) Decêndios 6 e 7, de 21 de fevereiro a 10 de março. (h) Decêndios 8 e 9, de 11 a 31 de março. (i) Decêndios 10 e 11, de 1º a 20 de abril. (j) Decêndios 12 e 13, de 21 de abril a 10 de maio. (k) Decêndios 14 e 15, de 11 a 31 de maio. (l) Decêndios 16 e 17, de 1º a 20 de junho..... | 79 |
| Figura 17. Recomendações de plantio de milho de ciclo precoce no estado da Bahia. (a) Decêndios 34 e 35, de 1º de dezembro a 20 de dezembro. (b) Decêndios 36 e 1, de 21 de dezembro a 10 de janeiro. (c) Decêndios 2 e 3, de 11 a 31 de janeiro. (d) Decêndios 4 e 5, de 1º a 20 de fevereiro. (e) Decêndios 6 e 7, de 21 de fevereiro a 10 de março. (f) Decêndios 8 e 9, de 11 a 31 de março. (g) Decêndios 10 e 11, de 1º a 20 de abril. (h) Decêndios 12 e 13, de 21 de abril a 10 de maio. ....   | 82 |
| Figura 18. Mapa do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para o estado da Bahia.....   | 84 |
| Figura 19. Mapa do Índice de Vegetação Ajustado por Emissão (EVI) para o estado da Bahia. ....  | 85 |
| Figura 20. Mapa da hipsometria para o estado da Bahia. ....   | 86 |
| Figura 21. Mapas do (a) Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e (b) Índice de Vegetação Ajustado por Emissão (EVI) malha 12,75 a 13,25° S e 39,75 a 40,25° W.....  | 89 |

### LISTA DE QUADROS

|  |    |
|--|----|
| Quadro 1. Duração média dos ciclos e de suas respectivas fases fenológicas. ....     | 36 |
| Quadro 2. Períodos de plantio, com as datas correspondentes para cada decêndio. .... | 37 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1. Coeficiente de cultivo (Kc) para os ciclos precoce, médio e tardio com 100, 120 e 140 dias, respectivamente. Valores representam a média por decêndio ajustados para a Bahia.<br>.....   | 36 |
| Tabela 2. Valores do erro quadrado médio para temperatura do ar máxima e mínima, Umidade relativa média do ar, velocidade média do vento, evapotranspiração de referência e precipitação organizados por decêndios.....  | 41 |
| Tabela 3. Valores do erro padrão de estimativa para temperatura do ar máxima e mínima, Umidade relativa média do ar, velocidade média do vento, evapotranspiração de referência e precipitação organizados por decêndios.....  | 43 |
| Tabela 4. Valores do erro absoluto médio percentual para temperatura do ar máxima e mínima, Umidade relativa média do ar, velocidade média do vento, evapotranspiração de referência e precipitação organizados por decêndios.....   | 45 |
| Tabela 5. Valores do erro médio absoluto para temperatura do ar máxima e mínima, Umidade relativa média do ar, velocidade média do vento, evapotranspiração de referência e precipitação organizados por decêndios.....  | 47 |
| Tabela 6. Valores do erro quadrado médio, erro padrão de estimativa, erro absoluto médio percentual e erro médio absoluto para temperatura do ar máxima e mínima, Umidade relativa média do ar, velocidade média do vento, evapotranspiração de referência e precipitação em uma média geral de todos os decêndios. .... | 48 |
| Tabela 7. Recomendações de plantio no município de Alagoinhas. ....  | 49 |
| Tabela 8. Recomendações de plantio no município de Bom Jesus da Lapa. ....   | 52 |
| Tabela 9. Recomendações de plantio no município de Cipó. ....  | 54 |
| Tabela 10. Recomendações de plantio no município de Correntina. ....   | 56 |
| Tabela 11. Recomendações de plantio no município de Jacobina. ....   | 58 |
| Tabela 12. Recomendações de plantio no município de Lençóis. ....  | 60 |
| Tabela 13. Recomendações de plantio no município de Vitória da Conquista.....  | 62 |
| Tabela 14. (a) Datas, em decêndios do ano, recomendadas para plantio do milho de ciclo médio e tardio no estado da Bahia, começando da região oeste até a região central. ....   | 71 |

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

% – porcentagem

' – minutos

ANA – Agência Nacional de Águas

ARM – Armazenamento de água

ASAS – Alta Subtropical do Atlântico Sul

AWC – capacidade de água disponível

BDMEP – Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa

BHC – balanço hídrico de cultura

C3S – Copernicus Climate Change Service

CH<sub>4</sub> – metano

CIDRA – Sistema de Recuperação Automática do IBGE

cm – centímetro

CMIP – Coupled Model Intercomparison Project

CMIP6 – Coupled Model Intercomparison Project Phase 6

CO<sub>2</sub> – dióxido de carbono

CPC – Climate Prediction Center

DECK – Diagnostic, Evaluation and Characterization of Klima

DEF – deficiência hídrica

DOL – Distúrbios Ondulatório de Leste

ECMWF – European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

ESGF – Earth System Grid Federation

ET<sub>o</sub> – evapotranspiração de referência

ETP – evapotranspiração potencial

ET<sub>r</sub> – evapotranspiração real

EVI – Enhanced Vegetation Index

EXC – excedente hídrico

FAO – Food and Agriculture Organization

GCAM – Modelo de Avaliação de Mudança Global

GEE – Google Earth Engine

GPCC – Global Precipitation Climatology Centre

GPCP – Global Precipitation Climatology Project  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IFS – Sistema Integrado de Previsão  
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia  
JISAO – Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean  
K – Kelvin  
K<sub>c</sub> – coeficiente de cultivo  
kPa – quilopascal  
m – metro  
m s<sup>-1</sup> – metro por segundo  
MAE – erro médio absoluto  
MAPA – Ministério da Agricultura e Pecuária  
MAPE – erro percentual médio absoluto  
MIPs – Endorsed Model Intercomparison Projects  
MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> – megajoule por metro quadrado, diário  
mm – milímetro  
mm ano<sup>-1</sup> – milímetro por ano  
mm m<sup>-1</sup> – milímetro por metro  
NDVI – Normalized Difference Vegetation Index  
NEB – Nordeste do Brasil  
NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration  
° – graus  
O – Oeste  
OI – Interpolação ótima  
O<sub>2</sub> – oxigênio  
°C – graus celsius  
PCD – grau de concentração de precipitação  
ppm – parte por milhão  
QGIS – Quantum GIS  
RCP – Representative Concentration Pathway  
RMSE – erro quadrático médio  
S – Sul

s m<sup>-1</sup> – segundo por metro

ScenarioMIP – Scenario Model Intercomparison Project

SEE – erro padrão da estimativa

SF – Sistemas Frontais

SSP – Shared Socio-economic Pathways

TSR – radiação solar total

VCAN – Vórtice Ciclônicos de Altos Níveis

WCRP – World Climate Research Programme

W m<sup>-2</sup> – Watts por metro quadrado

WMO – Organização Meteorológica Mundial

WRSI – índice de satisfação da necessidade hídrica da cultura

ZARC – Zoneamento Agrícola de Risco Climático

ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO .....  | 1  |
| 2 OBJETIVOS.....  | 7  |
| 2.1 OBJETIVO GERAL .....                                      | 7  |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                               | 7  |
| 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....                                  | 8  |
| 3.1 ASPECTOS FENOLÓGICOS E METEOROLÓGICOS DO MILHO .....      | 8  |
| 3.1.1 Precipitação .....                                      | 9  |
| 3.1.2 Temperatura .....                                       | 9  |
| 3.1.3 Radiação .....  | 10 |
| 3.1.4 Evapotranspiração de referência .....                   | 11 |
| 3.2 ZONEAMENTO AGRÍCOLA DE RISCO CLIMÁTICO .....              | 12 |
| 3.3 REGIME PLUVIOMÉTRICO DA BAHIA .....                       | 13 |
| 3.4 PROJETO DE PRECIPITAÇÃO CLIMATE PREDICTION CENTER.....    | 14 |
| 3.5 COPERNICUS CLIMATE CHANGE SERVICE (C3S) .....             | 15 |
| 3.5.1 ERA5-Land .....   | 16 |
| 3.5.2 Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 .....     | 18 |
| 3.5.3 Shared Socio-economic Pathways .....                    | 19 |
| 3.6 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA.....        | 20 |
| 4 MATERIAL E MÉTODOS .....                                    | 22 |
| 4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DO LOCAL DE ESTUDO .....    | 22 |
| 4.1.1 Validação e espacialização dos modelos.....             | 24 |
| 4.2 DESCRIÇÃO DAS EQUAÇÕES .....                              | 27 |
| 4.2.1 Saldo de radiação: INMET.....                           | 30 |
| 4.2.2 Saldo de radiação e magnitude do vento: ERA5-Land ..... | 30 |
| 4.2.3 Saldo de radiação: CNRM-CM6-1-HR.....                   | 31 |
| 4.2.4 Saldo de radiação: EC-Earth3-Veg-LR.....                | 31 |
| 4.2.5 Pressão atmosférica .....                               | 32 |
| 4.3 BALANÇO HÍDRICO DE CULTURA.....                           | 33 |
| 4.4 DURAÇÃO DO CICLO E FASES FENOLÓGICAS .....                | 36 |
| 4.5 CONFIGURAÇÃO TEMPORAL DOS PERÍODOS DE SEMEADURA.....      | 36 |
| 4.6 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA.....        | 37 |

|  |     |
|--|-----|
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....   | 40  |
| 5.1 VALIDAÇÃO ESTATÍSTICA .....  | 40  |
| 5.1.1 Erro quadrático médio .....  | 40  |
| 5.1.2 Erro padrão da estimativa .....  | 42  |
| 5.1.3 Erro absoluto médio percentual .....   | 44  |
| 5.1.4 Erro médio absoluto .....  | 46  |
| 5.1.5 Estatística média geral .....  | 48  |
| 5.2 ZONEAMENTO AGRÍCOLA DE RISCO CLIMÁTICO .....   | 48  |
| 5.2.1 Alagoinhas .....   | 49  |
| 5.2.2 Bom Jesus da Lapa .....  | 51  |
| 5.2.3 Cipó .....   | 53  |
| 5.2.4 Correntina .....   | 55  |
| 5.2.5 Jacobina .....   | 57  |
| 5.2.6 Lençóis .....  | 59  |
| 5.2.7 Vitória da Conquista .....   | 61  |
| 5.3. ZONEAMENTO AGRÍCOLA DE RISCO CLIMÁTICO PARA O ESTADO DA BAHIA .....   | 63  |
| 5.3.1 Recomendações de plantio .....   | 66  |
| 5.4 ZONEAMENTO AGRÍCOLA DE RISCO CLIMÁTICO PARA O ESTADO DA BAHIA EM 2065 .....  | 73  |
| 5.4.1 Recomendações de plantio: CNRM-CM6-1-HR .....  | 76  |
| 5.4.2 Recomendações de plantio: EC-Earth3-Veg-LR .....   | 80  |
| 5.5 APLICAÇÃO DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NDVI E EVI PARA ANÁLISE DO ZONEAMENTO AGRÍCOLA DE RISCO CLIMÁTICO DO MILHO NA BAHIA ..... | 83  |
| 6 CONCLUSÕES .....   | 90  |
| REFERÊNCIAS .....  | 93  |
| APÊNDICES .....  | 105 |

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) tem por finalidade melhorar a qualidade e a disponibilidade de informações sobre riscos agroclimáticos, com ênfase no apoio à formulação, ao aperfeiçoamento e à operacionalização de programas e políticas públicas de gestão. O ZARC elaborado a cada ano tende a minimizar os riscos relacionados aos fenômenos climáticos adversos e permite a cada município identificar a melhor época de plantio das culturas, nos diferentes tipos de solo e ciclos de cultivares (MAPA, 2023). Destaca-se que, o ZARC possui metodologia validada e o apoio técnico-científico pela Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (BRASIL, 2019), consistindo então como uma ferramenta valiosa na produção rural.

Na elaboração do ZARC as principais variáveis meteorológicas de entrada são a precipitação pluvial e a evapotranspiração de referência. Os dados de precipitação são obtidos de estação meteorológica ou de posto pluviométrico, enquanto, os de evapotranspiração de referência são estimados a partir de várias informações obtidas através de estações meteorológicas (temperaturas máxima e mínima, vento, umidade relativa, balanço de radiação) obtidos em estações. Portanto, ao realizar um ZARC é conveniente ter-se uma boa densidade de estações meteorológica, que de acordo com a Organização Meteorológica Mundial (WMO, 1981; WMO, 2008), para áreas com relevo suave, se faz necessário uma estação por 900 km<sup>2</sup>, com dados confiáveis e com observações contínuas, sem interrupções, ao longo do tempo. Neste contexto, Baba *et al.* (2014) citam que ausência de registros meteorológicos é um problema frequente na maioria das séries climatológicas brasileiras e pesquisadores como Xavier *et al.* (2016), Monteiro e Martins (2019) e Xavier *et al.* (2022) relatam que um dos grandes problemas recorrentes no Brasil é a indisponibilidade de dados em áreas específicas e a irregularidade das observações.

Como alternativa, a ausência de dados observados em estações meteorológicas, estão disponíveis dados produzidos por reanálise atmosférica. As reanálises mesclam dados observacionais irregulares e modelos que englobam muitos processos físicos e dinâmicos para gerar uma estimativa sintetizada do estado do sistema terrestre através de uma grade uniforme, com homogeneidade espacial, continuidade temporal e uma hierarquia multidimensional, tornando-se uma valiosa fonte de dados para estudar sistemas climáticos e variabilidade climática. Bosilovich *et al.*, (2008) e Sun *et al.*, (2018) informam que um sistema de reanálise consiste em um modelo de previsão acurado e rotina de assimilação de dados consistentes e confiáveis.

Pelo exposto, pode-se perguntar: é possível realizar um ZARC confiável utilizando dados de reanálise? ou elaborar um ZARC mesclando dados observados em estações e postos pluviométricos e de reanálise para os locais que não se tem informações observadas? Para responder estas perguntas a presente pesquisa tem como objetivo realizar um ZARC da cultura do milho, para o estado da Bahia, usando dados de reanálise.

A cultura do milho foi escolhida por ser o segundo grão mais produzido no Brasil e é colhido em três safras ao longo do ano, enquanto, a soja o grão mais produzido apresenta uma única safra (CONAB, 2023). O milho também é o segundo grão mais produzido no Nordeste do Brasil (NEB), onde é amplamente explorado na agricultura de sequeiro, e é um alimento básico importante não só para a população humana, mas também para os animais (Martins *et al.* 2019; de Carvalho *et al.* 2019). A Bahia é o único estado que apresenta produção relevante de milho nas três safras (CONAB 2023). Ademais, Marengo *et al.* (2022) fizeram uma revisão sobre a política de adaptação agrícola e segurança alimentar no NEB e observaram que o estado da Bahia é responsável pela maior parte da produção agrícola anual da região, inclusive de milho. Dados fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no Sistema de Recuperação Automática do IBGE (SIDRA) (IBGE, 2021) indicam que entre os estados do Nordeste, a Bahia teve a maior produtividade de grãos de milho nos anos de 2003 a 2019, com recordes de produção em todos os municípios produtores de milho, com destaque para São Desidério, Formosa do Rio Preto, Barreiras, Correntina e Luís Eduardo Magalhães, onde foi observada a maior produção.

Para reanálise, a ERA5-Land do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) foi escolhida por apresentar resolução espacial refinada de  $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ , resolução temporal horária, com cobertura temporal de janeiro de 1950 até o presente e atualização, em tempo quase real e ser conhecida por fornecer informações precisas sobre variáveis meteorológicas globais da superfície terrestre e uma descrição precisa do clima do passado (MUÑOZ-SABATER, 2019).

O ERA5-Land utiliza variáveis atmosféricas do ERA5 (temperatura e umidade do ar) como dados de entrada para controlar os campos das variáveis meteorológicas simulados para superfície da Terra. Isso é chamado de forçamento atmosférico. Sem a restrição do forçamento atmosférico, as estimativas baseadas em modelos podem se desviar rapidamente da realidade. Assim, embora as observações não sejam usadas diretamente na produção do ERA5-Land, elas têm uma influência indireta por meio do forçamento atmosférico usado para executar a simulação (MUÑOZ-SABATER, 2019).

Entretanto, antes de elaborar o ZARC se faz necessário realizar a validação dos dados do ERA5-Land. Para tanto é conveniente escolher estações meteorológicas como pouca ausência de dados e cobertura temporal que capture as variabilidades sazonais, intrasazonais e interanuais do clima local, como, por exemplo, anos secos e chuvosos. Com relação à ausência de dados, a WMO (2017) sugere que para realizar as normais climatológicas, as estações selecionadas devem ter no máximo 20% de dados ausentes. Contudo, a WMO (2017) informa que para as variáveis não acumulativas, como, por exemplo, a temperatura, é aceitável até 30% de dados ausentes, desde que seja em períodos não consecutivos, para elaboração das normais climatológicas mensais. Com relação ao período, Lenters *et al.* (2005) utilizaram dez anos de dados para analisar as variabilidades sazonais, intrasazonais e interanuais na evaporação do lago para Sparkling Lake no norte de Wisconsin (EUA). Portanto, para a presente pesquisa estabeleceu-se como critério de selecionar as estações meteorológicas com um período de dez anos consecutivos e com no máximo 20% de dados ausentes, para a precipitação, e 25% para as demais variáveis.

Para as variáveis temperaturas máximas e mínimas, vento a 10 m de altura do solo, umidade relativa do ar e evapotranspiração de referência, a reanálise ERA5-Land fornece dados com valores e variabilidades sazonais, intrasazonais e interanuais análogos aos dados observados *in situ*. No entanto, a ERA5-Land não apresentou estimativas satisfatórias para precipitação. Ressalta-se que resultados semelhantes foram obtidos por Lavers *et al.* (2022) e Gleixner *et al.* (2020). A princípio, esta situação não apresenta grandes problemas, pois, em geral, se tem uma densidade espacial mais elevada de postos pluviométricos do que de estações meteorológicas e pode ser feita a opção por realizar um ZARC híbrido, utilizando dados observados de precipitação e para as demais variáveis meteorológicas dados de reanálise. Entretanto, para as localidades que não dispõe de dados de pluviômetro como proceder? Para solucionar este questionamento, buscou-se realizar a validação dos dados de precipitação do conjunto de dados do projeto CPC Global Unified Gauge-Based Analysis of Daily Precipitation do Climate Prediction Center/National Oceanic and Atmospheric Administration (CPC/NOAA), também conhecido como Projeto de Precipitação CPC/NOAA. Destaca-se que este conjunto de dados apresenta uma quantidade consistente e qualidade constantemente aprimorada, combinando todas as fontes de informação disponíveis no CPC/NOAA, cobrindo todo o globo com uma resolução horizontal de 0,5° x 0,5° gerada por meio de técnicas de análise de interpolação objetiva (CHEN *et al.* 2008; SADEGHI *et al.* 2019).

Portanto, na presente pesquisa, além do objetivo básico, que é realizar um ZARC para a cultura do milho no estado da Bahia empregando dados de reanálise, teve os seguintes objetivos específicos: (1) validação dos dados de temperaturas máxima e mínima, velocidade do vento em 10 m de altura do solo, umidade relativa do ar e evapotranspiração de referência da reanálise ERA5-Land; (2) validação dos dados de precipitação do CPC/NOAA Precipitation Project; (3) realização de um ZARC para cultura do milho utilizando concomitantemente dados observados, quando se tinha a informação, e de reanálise, nas áreas que não tinham dados observados.

É oportuno enfatizar que não foram feitas sobreposição de validação de dados. Para temperaturas máxima e mínima, velocidade do vento, umidade relativa do ar e evapotranspiração de referência foram validados os dados da reanálise ERA5-Land, para a precipitação foram validados os dados do Projeto de Precipitação CPC/NOAA, que por sua vez fornece apenas dados de precipitação. Ressalta-se, que na análise de validação verificou-se que os dados da reanálise ERA5-Land e Projeto de Precipitação CPC/NOAA apresentam valores e variabilidades sazonais, intrasazonais e interanuais análogos aos observados *in situ*. Também foi observado que os ZARC obtidos com dados de reanálise e dados híbridos (precipitação observada e demais variáveis de reanálise) apresentam resultados semelhantes ao obtido apenas com dados de estações. Conclui-se que o ZARC elaborado com dados da reanálise ERA5-Land e Projeto de Precipitação CPC/NOAA são viáveis e confiáveis e na ausência de dados observados os da reanálise são muito úteis e devem ser utilizados. Ademais, informa-se que dados de outras reanálises, desde que validados, podem ser utilizados na elaboração de ZARC.

Unindo a necessidade de conhecer a melhor época para o plantio do milho em regime de sequeiro, importante cultivo na agricultura regional baiana, e a carência de dados meteorológicos em muitos municípios do estado da Bahia. Surge a importância deste estudo que estima as componentes meteorológicas procedidas de dados de reanálises que podem ser utilizadas no balanço hídrico da cultura do milho em municípios da Bahia, para aprimorar o planejamento agrícola por meio do ZARC em locais com ausência de dados e minimizar riscos de perdas.

Adicionalmente, para ampliar os estudos sobre ZARC, tornou-se pertinente entender o cenário de projeções futuras geradas pelo aquecimento global utilizando o conjunto Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) como uma ferramenta para compreender e reduzir incertezas associadas as mudanças do clima. Na qual o principal objetivo da utilização deste tipo de projeto é facilitar uma investigação integrada sobre o impacto de cenários

futuros plausíveis sobre os sistemas físicos e humanos, e sobre as opções de mitigação e adaptação; abordar estudos específicos sobre os efeitos de determinadas forças em colaboração com os demais conjuntos de modelos; e ajudar a quantificar incertezas de projeções baseadas em conjuntos de modelos e restrições emergentes (EYRING *et al.*, 2015).

E por fim, buscou-se relacionar índices de vegetação com o ZARC. Ressalta-se que, o entendimento das formas de uso e ocupação do solo, com fins de modelagem e representação de grandes áreas com bom nível de detalhamento, pode ser consideravelmente aprimorado com o uso de ferramentas de geoprocessamento. Além de reduzir o trabalho de campo, a extração de informações em imagens digitais de média resolução, permite que áreas maiores sejam estudadas em menor tempo. Neste contexto, Silva *et al.* (2019) compararam cinco índices de vegetação no sul do Brasil e consideraram que o Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) e o Enhanced Vegetation Index (EVI) obtiveram ajustes confiáveis para classificar o uso e ocupação da terra. Na determinação da classe de florestas nativas, o NDVI foi o melhor índice, também adequado para determinar corpos d'água, áreas em pousio e florestas plantadas. Dessa forma, ambos os índices foram selecionados para este trabalho.

Ademais, como parte resultante deste trabalho da presente Tese é adequado informar que foram preparados três artigos, a saber: (1) Application of ERA5-Land reanalysis data in climate risk zoning for corn in the state of Bahia – Brazil, foi publicado na Theoretical and Applied Climatology, (2) Correspondência entre índices de vegetação e o Zoneamento Agrícola de Risco Climático, encaminhado para uma revista com Qualis A2, (3) Sazonalidade da evapotranspiração de referência na Bahia com dados do ERA5-Land e análise das projeções para o cenário SSP2-4.5. E por fim, está sendo preparado um quarto artigo, referente ao ZARC da cultura do milho no estado da Bahia utilizando dois modelos do CMIP6 e cenário SSP2-4.5 para o ano de 2065. Portanto, a estrutura da tese está organizada de acordo com o fluxograma ilustrado na Figura 1.

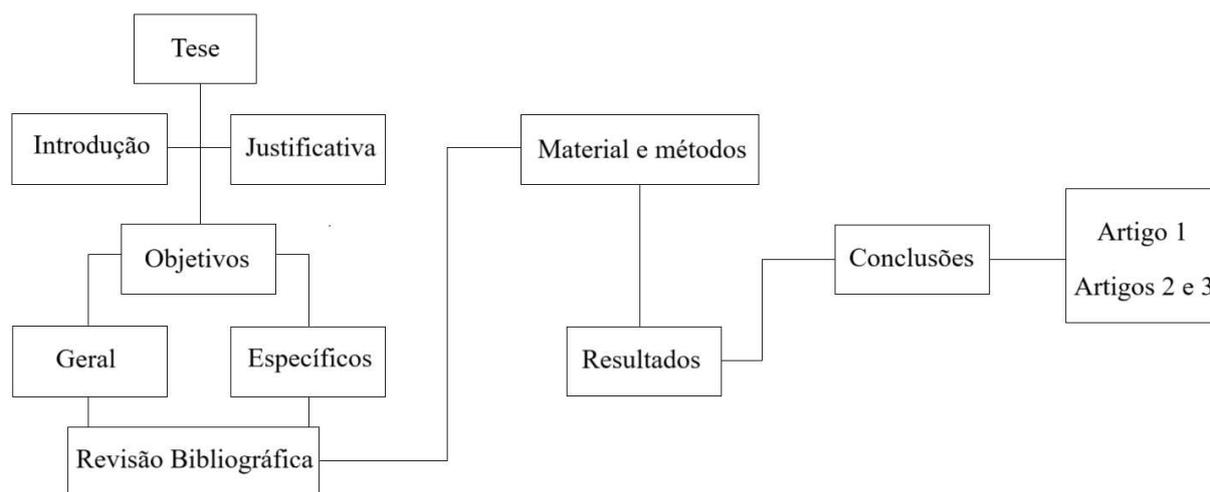


Figura 1. Fluxograma da estrutura da Tese.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar um Zoneamento Agrícola de Risco Climático com o balanço hídrico da cultura do milho em regime de sequeiro para o estado da Bahia, usando os dados validados de reanálises ERA5-Land (ECMWF) e do Projeto de Precipitação do CPC/NOAA, bem como verificar a sua viabilidade.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar a confiabilidade dos dados da reanálise ERA5-land comparando com os observados na estação meteorológica, por meio da análise estatística. Avaliar períodos de déficit e excedente hídrico para a cultura na região através do balanço hídrico de cultura, com média de 10 anos organizados em decênios e, a partir disso, criar mapas propondo datas favoráveis e/ou desfavoráveis para o plantio do milho de sequeiro na Bahia em grades de  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ .

Para aprofundar mais este estudo, buscou-se elaborar o ZARC para a Bahia com o uso dos dados do CMIP6 no cenário de média forçante radiativa SSP2-4.5, através dos modelos CNRM-CM6-1-HR e EC-Earth3-Veg-LR, para o ano de 2065. E averiguar relação entre o ZARC e os índices de vegetação NDVI e EVI, obtidos com imagens LANDSAT-5.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 ASPECTOS FENOLÓGICOS E METEOROLÓGICOS DO MILHO

O milho faz parte das culturas energéticas mais produzidas no Brasil, um país altamente competitivo na produção e em sua eficácia, favorecidos pelas condições agroclimáticas e técnicas de cultivo, já especializadas e com o estudo das interferências nesta produção. O clima pode ser considerado um dos fatores de maior risco para a atividade agrícola, que contribui definitivamente para o sucesso da cultura do milho ou de qualquer outra (MALDANER *et al.*, 2014).

Os estádios de crescimento da planta de milho se dividem em vegetativos (V1 a VT) e reprodutivos (R1 a R6), correspondentes a uma escala aceita internacionalmente. A importância em identificar a planta pelos diversos estádios prende-se ao fato de que o clima (luminosidade, temperatura, umidade do ar e chuva) varia de ano para ano agrícola. O aparecimento de cada estágio vai depender do meio ambiente, e o correto é planejar qualquer medida de manejo pelo nível de desenvolvimento (número de folhas formadas ou estágio de formação do grão), em vez de se utilizar números de dias após o plantio (CRUZ *et al.*, 2011).

Ao final do Século XX, a escala de Ritchie *et al.* (1993) passou a ser adotada na descrição da fenologia do milho. Ela manteve grande parte dos critérios da escala de Hanway (1963), até então a escala mais utilizada. Porém, os estádios vegetativos passaram a ter maior detalhamento.

A radiação solar (intensidade luminosa), a precipitação e a temperatura são as variáveis que mais influenciam na produção de grãos e de matéria seca da cultura do milho. A radiação solar, necessária na fotossíntese para a produção de biomassa, alterna-se com as chuvas, que abastecem o solo de água e reduzem as taxas de radiação por meio das nuvens, sendo a temperatura importante na fisiologia da planta e na sinergia com o ambiente, regulada por essas alternâncias e pelas estações do ano. Nas regiões mais frias, por exemplo, as baixas temperaturas provocam geadas, congelando o orvalho, e representam o fator mais limitante ao desenvolvimento da cultura em algumas épocas do ano. E em regiões menos úmidas, a quantidade de chuvas, no período mais crítico da cultura, pode ser insuficiente para atender à demanda da cultura, resultando em quedas no rendimento. Em grandes áreas da região Nordeste, baixa precipitação e chuvas concentradas em um período estreito limitam drasticamente a produção de milho (CRUZ *et al.*, 2011).

### 3.1.1 Precipitação

Dentre as práticas agrônômicas empregadas visando maior produtividade, a semeadura na época adequada se constitui em uma importante forma de manejo, e pode afetar de forma positiva o rendimento e, conseqüentemente, o lucro do agricultor. A época preferencial de semeadura é aquela que faz coincidir a maior área foliar por planta com os dias mais longos do ano, quando não há limitação hídrica (SIEGA, 2015).

Mesmo sendo uma planta C4 (plantas que utilizam a fotossíntese para concentrar carbono e diminuir a fotorrespiração), o milho apresenta alta sensibilidade aos déficits hídricos. A produtividade pode ser reduzida consideravelmente com a ocorrência de déficit nos períodos críticos de desenvolvimento da cultura, ou seja, na pré-floração ao início do enchimento de grãos. Deste modo, mesmo em anos com índices satisfatórios de precipitações, a ocorrência de déficit hídrico no período crítico da cultura pode afetar o rendimento do milho. Além disso, a ocorrência de déficit hídrico no decorrer do período vegetativo, reduz o crescimento do milho, em consequência dos decréscimos da área foliar e da biomassa. Porém, estes efeitos podem ser amenizados quando às condições hídricas se tornarem favoráveis novamente, sem ocorrência de danos severos no rendimento de grãos, isso porque, durante o período vegetativo não estão sendo formados os componentes do rendimento produtivo (BERGAMASCHI *et al.*, 2004).

### 3.1.2 Temperatura

A temperatura possui uma relação complexa com o desempenho da cultura, uma vez que a condição ótima varia com os diferentes estádios de crescimento e desenvolvimento da planta. A temperatura da planta é basicamente a mesma do ambiente que a envolve. Devido a esse sincronismo, flutuações periódicas influenciam nos processos metabólicos que ocorrem no interior da planta. Nos momentos em que a temperatura é mais elevada, o processo metabólico é mais acelerado e nos períodos mais frios o metabolismo tende a diminuir. Essa oscilação metabólica ocorre dentro dos limites extremos tolerados pela planta de milho, compreendidos entre 10°C e 30°C. Abaixo de 10°C, por períodos longos, o crescimento da planta é quase nulo e sob temperaturas acima de 30°C, também por períodos longos, durante a noite, o rendimento de grãos decresce, em razão do consumo dos produtos metabólicos elaborados durante o dia. Temperaturas noturnas elevadas, por longos períodos, causam diminuição do rendimento de grãos e provocam senescência precoce das folhas. A

temperatura ideal para o desenvolvimento do milho, da emergência à floração, está compreendida entre 24 e 30°C (CRUZ *et al.*, 2011).

Existem vários métodos de estudos relacionando as interações clima-planta, destacando-se o que leva em consideração as unidades de calor ou soma de graus-dia necessários para completar os distintos subperíodos do ciclo da planta. Este parâmetro é de extrema relevância no processo de otimização e redução de riscos climáticos, uma vez que o conhecimento das exigências térmicas de uma cultura contribui para a previsão do ciclo da planta em função dos fatores ambientais (BARBANO *et al.*, 2001).

Para Embrapa (2017) de uma forma geral, o milho responde à alta temperatura, desde que haja suficiente umidade de solo (a indicação do início da semeadura é quando o solo está com temperatura  $\geq 16^{\circ}\text{C}$ ).

### 3.1.3 Radiação

De acordo com Embrapa (2017), à medida que se deseja melhorar a produtividade de grãos, deve-se considerar, com maior prioridade, os fatores temperatura do ar e radiação solar, que devem ser altos durante o pré-florescimento e o enchimento de grãos, pois a cultura responde à soma térmica. E a maneira como a radiação fotossinteticamente ativa é interceptada pelo dossel das plantas é fundamental para a fotossíntese e para a produção da cultura (STEWART *et al.*, 2003).

O milho é uma espécie com metabolismo fotossintético C<sub>4</sub>, caracterizado por um mecanismo de concentração de CO<sub>2</sub> no sítio ativo da Ribulose-bifosfato-carboxilase-oxigenase (Rubisco) do Ciclo de Calvin e Benson, que mantém alta razão entre o dióxido de carbono e gás oxigênio (CO<sub>2</sub> / O<sub>2</sub>) e elimina a fotorrespiração (EHLERINGER *et al.*, 1997).

Segundo Taiz e Zeiger (2009), o milho por ser uma planta que possui metabolismo C<sub>4</sub>, naturalmente é uma planta que possui a enzima PEPCase (fosfoenolpiruvatocaborxilase) que apresenta afinidade apenas com o CO<sub>2</sub>, assim não perde energia com a fotorrespiração. A PEPCase e PEP (fosfoenolpiruvato) são as principais responsáveis por manter a concentração elevada de CO<sub>2</sub> no sítio ativo da RUBISCO (ribose-1,5-bifosfato carboxilase/oxidase), com isso o ciclo de Calvin sempre possuirá CO<sub>2</sub>, assim poderá manter seus estômatos fechados por um período maior e suportar temperaturas mais altas e níveis elevados de radiação. Isso garante que o milho sintetize fotoassimilados com baixa quantidade de água e temperaturas mais elevadas.

Apesar da grande importância da radiação solar total (TSR), as medições da TSR in situ são esparsas e apenas algumas estações de radiação estão disponíveis devido aos altos custos de instalação e manutenção. Por outro lado, existem muitas outras estações meteorológicas onde variáveis meteorológicas de rotina são coletadas, como a temperatura da superfície do solo, umidade relativa, pressão atmosférica, duração da luz solar e velocidade do vento. Portanto, numerosas relações empíricas ou semiempíricas entre o TSR e essas variáveis foram desenvolvidas para estimar o TSR no caso de estações com falha de dados registrados em radiação (JIANG *et al.*, 2019). Ressalta-se que é possível o uso de dados de radiação (onda curta descendente, albedo, onda longa descendente e ascendente) de reanálise, como por exemplo, o ERA5-land, desde que validados. Neste contexto, Zuluaga *et al.* (2023) realizaram um experimento, em que compararam os dados das componentes de radiação do ERA5-land e de satélite com dados observado in situ. Concluíram que o ERA5-land apresentou um melhor desempenho, exceto para onda curta descendente.

#### **3.1.4 Evapotranspiração de referência**

Evaporação é o processo em que a água de superfícies evaporantes, tais como lagos, rios, solos e vegetação, é convertida em vapor. A transpiração consiste da vaporização de água líquida contida nos tecidos vegetais e sua remoção para a atmosfera. Enquanto, a evapotranspiração é a evaporação e a transpiração acontecendo simultaneamente (ALLEN *et al.*, 1998).

É fundamental conhecer os diferentes conceitos de evapotranspiração, como, por exemplo, a evapotranspiração potencial (ETP), que é a água evaporada ou evapotranspirada por uma ampla superfície vegetada, em crescimento ativo e abrangendo completamente um terreno bem suprido de umidade, tal que a demanda atmosférica em nem um momento é restringida por falta d'água no solo. A evapotranspiração real (ETr) é a que ocorre numa superfície vegetada, independentemente de sua área, de seu porte e das condições de umidade do solo e sem imposição de qualquer condição de contorno. Evapotranspiração de referência é uma evapotranspiração potencial para uma condição específica, ou seja, é a evapotranspiração que ocorre em uma superfície de cultura hipotética, com altura de 0,12 m, albedo de 0,23 e resistência do dossel constante e igual a  $70 \text{ s m}^{-1}$  (TOMASSELA & ROSSATO, 2005).

O milho utiliza grande quantidade de água durante o ciclo de desenvolvimento, devido ao seu elevado rendimento de massa seca. Trata-se, no entanto, de uma cultura eficiente no uso de água, medida pela massa seca produzida por unidade de água utilizada. O elevado

consumo de água não é devido apenas ao alto rendimento de massa seca, mas também pelo fato de tratar-se de um cereal de estação estival. Isso significa que a maior demanda de água pela planta coincide com a maior demanda evaporativa da atmosfera. Em função desses aspectos, a disponibilidade hídrica é o fator que mais frequentemente limita a obtenção de elevado rendimento de grãos. O consumo diário de água durante o ciclo da cultura varia de 2 mm a 7 mm, dependendo do estágio e da demanda atmosférica. A maior exigência ocorre durante o pendramento e espigamento (em torno de 7 mm dia<sup>-1</sup>), quando a planta tem a maior área foliar (EMBRAPA, 2017). Evidentemente que para se atingir um bom desenvolvimento da cultura do milho se faz necessário conhecer a oferta (precipitação local) e demanda (evapotranspiração do milho) de água. Entretanto, devido às dificuldades na obtenção da evapotranspiração potencial do milho usa-se sua estimativa, por meio do coeficiente de cultura e da evapotranspiração potencial ou de referência estimada por métodos empíricos.

Um método empírico de estimativa a evapotranspiração de referência recomendado pela FAO é o de Penman-Monteith (NIKAM *et al.*, 2014). Provavelmente, devido a esta recomendação os pesquisadores, como, por exemplo, Sentelhas *et al.* (2010) denominam este método de FAO-Penman-Monteith.

### 3.2 ZONEAMENTO AGRÍCOLA DE RISCO CLIMÁTICO

O Zoneamento Agrícola de Risco Climático envolve a análise espaço-temporal simultânea de parâmetros relacionados a clima, solo e planta. Os estudos dependem de uma sólida base de dados climatológicos que permita gerar informações sobre a pluviometria, a temperatura e a evapotranspiração; parâmetros do solo indicativos da profundidade e capacidade de retenção de água, e os requerimentos das culturas durante as fases de crescimento (GUIMARÃES *et al.*, 2020).

Existe um Programa Nacional de Zoneamento Agrícola de Risco Climático, regido pelo Decreto Nº 9.841/2019, que tem por finalidade melhorar a qualidade e a disponibilidade de dados e informações sobre riscos agroclimáticos no Brasil, com ênfase no apoio à formulação, ao aperfeiçoamento e à operacionalização de programas e políticas públicas de gestão. O estudo é elaborado com o objetivo de minimizar os riscos relacionados aos fenômenos climáticos adversos e permite a cada município identificar a melhor época de plantio das culturas, nos diferentes tipos de solo e ciclos de cultivares (BRASIL, 2019).

Minitti (2020) afirma que a utilização do ZARC traz maior segurança e transparência as partes envolvidas no processo, sendo um importante pilar de sustentação das ações de

seguro rural, público e privado, no País. Por ter seu uso restrito às áreas prioritárias para uso agrícola, evitando conflitos com a conservação de recursos naturais, torna-se um instrumento essencial para o componente de sustentabilidade econômica, em sinergia com as questões ambientais. Em relação ao aspecto financeiro, foram levantados uma série de benefícios intangíveis gerados pelo ZARC, como por exemplo: o aumento de capital circulante em determinado município que esteja enquadrado no zoneamento, a manutenção em patamares aceitáveis dos valores das alíquotas do seguro rural, a viabilidade do sistema de seguridade agrícola no País, os empregos gerados e a valorização de terras. Vale ressaltar que apesar de seus 26 anos de história, o ZARC se mantém atual, na medida em que mais culturas vêm sendo incorporadas, como nos casos da banana, do cacau e da uva, além da recente divulgação de faixas de risco de 20%, 30% e 40% para as culturas anuais.

Destaca-se a importância da continuação e aprimoramento da ferramenta ZARC em estados com grande produção de milho. Como é o caso da Bahia, que possui 417 municípios, das quais 395 possuem pelo menos seis anos de registro de produção de milho (1º e 2º safra) entre os anos de 2003 a 2019 segundo o SIDRA (IBGE, 2021). Os dados de área plantada, área colhida, quantidade produzida e rendimento médio de milho, na 1ª e 2ª safra, apontam São Desidério, Barreiras, Formosa do Rio Preto, Correntina e Luíz Eduardo Magalhães como os maiores produtores do grão no estado ao longo dos 17 anos apontados; totalizando 6.581.395, 3.271.590, 3.181.636, 3.084.385, 2.359.354 toneladas produzidas, respectivamente (IBGE, 2021).

A atualização do ZARC deve considerar uma abordagem integrada, considerando não apenas os dados históricos de clima, mas também projeções futuras e modelos climáticos que preveem os possíveis impactos das mudanças climáticas na região. Isso ajudaria a identificar quais culturas têm maior tolerância ao estresse hídrico e às altas temperaturas, orientando os agricultores na escolha de cultivos mais adaptados ao novo cenário climático.

### 3.3 REGIME PLUVIOMÉTRICO DA BAHIA

Com relação ao regime de precipitação o estado da Bahia é uma área de transição entre os sistemas precipitantes atuantes mais ao sul, como os Sistemas Frontais (SF) e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), mais ao oeste, as Monções, mais ao norte a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), e os sistemas atuantes ao leste, os Distúrbios Ondulatório de Leste (DOL) (JESUS, 2008). Ressalta-se que devido à atuação de diferentes sistemas precipitantes em diferentes áreas do Estado a variabilidade espacial da precipitação

no estado da Bahia pode ser caracterizada em áreas distintas, as quais são: a faixa do litoral, que possui índices superiores a 1300 mm/ano, chegando até mesmo a 2400 mm ano<sup>-1</sup>, na parte central do litoral, em geral, nesta região a chuva é caracterizada por ter uma distribuição mais regular no decorrer do ano; a parte ocidental do Estado, onde também possui índices elevados, com 1000 mm ano<sup>-1</sup>, mas não apresenta uma distribuição regular da precipitação pluviométrica; a encosta Diamantina, outra área com índices pluviométricos que atingem 1000 mm ano<sup>-1</sup>, entretanto, na Chapada Diamantina, como um todo, a precipitação é da ordem de 800 mm ano<sup>-1</sup>. Os índices pluviométricos mais baixos inferiores a 500 mm ano<sup>-1</sup> são encontrados no Raso da Catarina, no norte do Estado, e inferiores a 600 mm ano<sup>-1</sup>, observados em dois pequenos núcleos um no centro leste do Estado e outro na porção centro-sul (DINIZ, 2016).

O principal período chuvoso em quase todo estado da Bahia, incluindo o semiárido, ocorre nos meses de novembro a março, com máximo climatológico em dezembro (KOUSKY & CHU, 1978; RAO & HADA, 1990). A precipitação nesse período está associada à penetração de Sistemas Frontais ou seus vestígios (KOUSKY, 1979), Vórtice Ciclônico dos Altos Níveis Troposféricos (KOUSKY & GAN, 1981), Zona de Convergência do Atlântico Sul (Reboita *et al.*, 2010) e pela atuação da Alta Subtropical do Atlântico Sul (CHAVES & NOBRE, 2004). Contudo, no extremo centro-norte do Estado, área em que a precipitação média climatológica total anual é inferior a 500 mm/ano, o período chuvoso é de dezembro a abril. Enquanto, no leste do estado, ou seja, em toda faixa litorânea o período chuvoso mais intenso é de abril a agosto, que de acordo com Yamazaki e Rao (1977) são chuvas decorrentes dos Distúrbios Ondulatórios de Leste. Entretanto, Kousky (1980) constatou que na parte leste do Nordeste do Brasil (NEB), incluindo praticamente todo o litoral da Bahia, as chuvas mais intensas observadas nos meses de abril a junho são em grande parte explicada pela interação de circulação de Brisa Terrestre com os ventos alísios predominantes de leste e sudeste. A interação entre o sistema de brisa local e os alísios impõe um pico de precipitação noturno. As chuvas no litoral são ainda explicadas pela modulação dos alísios e da Alta Subtropical e pelos vestígios de Sistemas Frontais (KOUSKY, 1979; RAO *et al.*, 1993).

### 3.4 PROJETO DE PRECIPITAÇÃO CLIMATE PREDICTION CENTER

Chen *et al.* (2008) conduziram uma série de intercomparações e testes de validação cruzada nas análises de precipitação interpoladas a partir de dados das estações meteorológicas. Foram utilizadas três técnicas objetivas para examinar o desempenho das

análises em várias partes do globo, para todas as estações do ano, incluindo redes de estações de densidades diferentes. O método de interpolação ótima (OI) apresentou consistentemente o melhor desempenho entre as três técnicas, exibindo maior correlação da função de densidade de probabilidade e sendo selecionada para gerar o banco de dados de precipitação do CPC; entretanto todas as três técnicas objetivas (Método de Cressman, Shepard e OI) foram capazes de gerar análises de precipitação diária, sobre domínios global e regional, com alta correlação e próximos aos valores observados das estações.

Ressalta-se que a partir do estudo de Chen *et al.* (2008), diversos autores trabalharam utilizando os dados do Projeto de Precipitação CPC/NOAA, incluindo Torres *et al.* (2020), que validaram totais mensais de precipitação no período de 1998 a 2018. No estudo de Torres *et al.* (2020) foram avaliadas as análises do CPC, Global Precipitation Climatology Centre (GPCC) e Global Precipitation Climatology Project (GPCP) nas bacias hidrográficas do Sapucaí e São Francisco. As estatísticas mostraram que os três conjuntos de dados possuem desempenho satisfatório na representação dos dados mensais observados, com destaque para o CPC que apresenta o melhor desempenho em quatro sub-bacias (Médio e Baixo São Francisco e Alto e Baixo Sapucaí). Enquanto, o GPCP tem bom desempenho em duas sub-bacias (Submédio São Francisco e Médio Sapucaí), e o GPCC em apenas uma sub-bacia (Alto São Francisco).

### 3.5 COPERNICUS CLIMATE CHANGE SERVICE (C3S)

Os dados ERA5-Land e do CMIP6 encontram-se disponíveis em Muñoz-Sabater (2019) e C3S (2021). As alterações induzidas pelo homem no ambiente global nos últimos dois séculos deram aos humanos uma capacidade sem precedentes de monitorar, simular e prever o clima que nos rodeia. Foi ao longo dos últimos dois séculos que a evolução tecnológica facilitou a sociedade a alterar o meio ambiente em escala global e prever como o sistema terrestre responde às mudanças externas e internas (BUONTEMPO *et al.*, 2020).

Buontempo *et al.* (2020) manifesta a necessidade de um profundo repensar da relação que a humanidade tem com o planeta, algo que seria impossível sem uma produção sistemática e operacional de conjuntos de dados, ferramentas e informações sobre o passado, o presente e a situação futura do clima global. O C3S pretende preencher esta lacuna promovendo simultaneamente a transição para uma sociedade climaticamente inteligente. A plataforma C3S foi implementada pelo ECMWF, em nome da Comissão Europeia, e

representa uma solução operacional e uma resposta a alguns desafios nos estudos e análises das mudanças climáticas globais.

### 3.5.1 ERA5-Land

As reanálises ERA, do ECMWF, são sistemas de assimilação de dados que avançam no tempo em ciclos onde as observações disponíveis são combinadas com previsões para deduzir o estado evolutivo da atmosfera e a superfície abaixo dela. A assimilação de dados produz um banco de dados fisicamente coerente do estado global da atmosfera limitado pelas observações disponíveis (TETZNER *et al.*, 2019).

O ECMWF é uma organização intergovernamental independente apoiada por 34 países. Conta com poderosas instalações de supercomputação e arquivos de dados meteorológicos em todo o mundo, produz previsões meteorológicas numéricas globais e outros dados para seus estados membros e cooperantes, bem como a comunidade mais ampla. ERA5 é o mais recente produto de reanálise lançado pela ECMWF. Após vários anos de avanços e desenvolvimento em modelagem e assimilação de dados, um novo ciclo de modelo para o Sistema Integrado de Previsão (IFS Cycle 41r2) foi introduzido nas operações de reanálise para garantir um aumento significativo na precisão da previsão e eficiência computacional. A reanálise integra o modelo com observações de locais em todo o mundo em uma forma global completa e conjunto de dados consistente por meio da assimilação de dados, simultaneamente restringido por leis físicas. O submodelo de assimilação é responsável por avaliar o equipamento e a tendência operacional entre as observações, portanto, peneirando ainda mais os dados de boa qualidade de registros diversos, enquanto as leis físicas permitem estimativas fora das estações existentes, onde a cobertura de dados não está disponível, por exemplo, a temperatura da superfície no Platô Tibetano ou no Ártico. Outros esforços incluem o uso de observações de alta densidade para verificação de precipitação e diagnosticar o desempenho nos trópicos por meio de decomposições da circulação global. O conjunto de dados ERA5 fornece estimativas de vários parâmetros atmosféricos, da superfície terrestre e do estado do mar para cada hora do dia em grades de  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$  latitude-longitude (JIANG *et al.*, 2019), também são apresentados em uma sub-grade mais refinada de  $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ .

O ERA5-Land é um conjunto de dados de reanálise que fornece uma visão consistente da evolução das variáveis de superfície ao longo de várias décadas em uma resolução aprimorada em comparação com o ERA5. O ERA5-Land foi produzido reproduzindo o

componente terrestre do ERA5 de reanálise climática, usando como entrada para controlar os campos de superfície simulados ERA5 variáveis atmosféricas, como temperatura e umidade do ar; chamado de forçamento atmosférico. Sem a restrição do forçamento atmosférico, as estimativas baseadas em modelos podem rapidamente se desviar da realidade. Entretanto, embora as observações não sejam usadas diretamente na produção do ERA5-Land, elas têm uma influência indireta por meio da forçante atmosférica usada para executar a simulação. Além disso, a temperatura do ar de entrada, a umidade do ar e a pressão usadas para executar o ERA5-Land são corrigidas para levar em conta a diferença de altitude entre a grade do forçamento e a grade de resolução mais alta do ERA5-Land, sendo chamada de 'correção de lapse rate' (MUÑOZ-SABATER, 2019).

Lompar *et al.*, (2019) usou séries temporais de dados de temperatura por hora para cinco estações meteorológicas em diferentes paisagens: planície, região montanhosa, deserto e ilha e encontrou resultados que indicam que, no caso em que os dados medidos não estão disponíveis, os dados ERA5 podem ser usados para preencher a lacuna de temperatura. No entanto, nos casos em que a grade ERA5 se desvia significativamente do ponto de observação, especialmente em montanhas altas.

O ERA5-Land descreve a evolução dos ciclos da água e da energia sobre a terra de uma forma consistente ao longo do período de produção, o que, entre outros, pode ser utilizado para analisar tendências e anomalias. Isto é conseguido através de integrações numéricas globais de alta resolução do modelo de superfície terrestre ECMWF impulsionadas pelo forçamento meteorológico reduzido da reanálise climática ERA5, incluindo uma correção de elevação para o estado termodinâmico próximo à superfície. O ERA5-Land partilha com o ERA5 a maior parte das parametrizações que garantem a utilização da modelação de superfície terrestre de última geração aplicada a modelos numéricos de previsão meteorológica (MUÑOZ-SABATER *et al.*, 2021).

Pesquisas utilizando variáveis do ERA5-Land demonstraram bons desempenhos em diversas partes do globo (WU *et al.*, 2021, WANG *et al.*, 2022, YILMAZ, 2023). Muñoz-Sabater *et al.* (2021) destacam que a principal vantagem do ERA5-Land em comparação com o ERA5 e o antigo ERA-Interim é a resolução horizontal, que é aprimorada globalmente para 9 km em comparação com 31 km (ERA5) ou 80 km (ERA-Interim), enquanto a resolução temporal é horária como no ERA5. A avaliação com base em observações *in situ* e modelos globais ou conjuntos de dados de referência baseados em satélite mostra o valor acrescentado do ERA5-Land na descrição do ciclo hidrológico, em particular com uma melhor umidade do solo, e um melhores estimativas de vazão de rios com observações disponíveis.

### 3.5.2 Coupled Model Intercomparison Project Phase 6

A quantidade total de saída do CMIP6 é estimada entre 20 e 40 petabytes, ou seja, mais de dez vezes superior aos 2 petabytes de dados para CMIP5 e pode ultrapassar em mais de mil vezes os 40 terabytes para CMIP3 (PETRIE *et al.*, 2021).

O CMIP6 segue com o padrão de evolução e adaptação característica das fases anteriores do CMIP. Para centralizar o CMIP no centro das atividades dentro da ciência climática e incentivar ligações entre atividades dentro do World Climate Research Programme (WCRP), o CMIP6 foi formulado cientificamente em torno de três questões específicas, por trás dos sete Grandes Desafios Científicos do WCRP. Para encontrar as demandas científicas cada vez mais amplas da comunidade de ciências climáticas, mas ainda assim responder às prioridades individuais e às limitações de recursos dos centros de modelagem, adotando uma nova estrutura organizacional mais federada (EYRING *et al.*, 2016).

Eyring *et al.* (2016) ainda destacam que existem 21 Endorsed Model Intercomparison Projects (MIPs) individuais assegurados durante a fase 6 do projeto, bem como ainda se encontra disponível o módulo Diagnostic, Evaluation and Characterization of Klima (DECK) e simulações históricas objetivando o aperfeiçoamento do CMIP6. Ressalta-se que estes módulos são de natureza diagnóstica, o que significa que requerem saída adicional dos modelos, mas não simulações. Os MIPs variam muito, desde o clima de um passado distante até a resposta dos processos turbulentos de nuvens ao forçamento radiativo, de como a biosfera terrestre influencia a absorção de CO<sub>2</sub> à previsibilidade da quantidade armazenada no oceano, de como projetar melhor as mudanças climáticas futuras de curto e longo prazo, considerando a interdependência e as diferenças no desempenho do modelo no conjunto CMIP6.

Um requisito essencial do CMIP6 é que os milhares de diagnósticos gerados em cada centro a partir de centenas de simulações sejam produzidos e documentados de maneira consistente para facilitar comparações significativas entre modelos. Assim, para cada experiência, os MIPs solicitaram que resultados específicos fossem arquivados e partilhados através da Earth System Grid Federation (ESGF), e os organizadores do CMIP6 impuseram requisitos sobre formato dos arquivos e metadados (JUCKES *et al.* 2020).

### 3.5.3 Shared Socio-economic Pathways

As projeções de mudanças climáticas futuras desempenham um papel fundamental na melhoria da compreensão do sistema climático, bem como na caracterização de riscos sociais e opções de resposta. O Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) é a principal atividade da Fase 6 do CMIP que fornece projeções climáticas com base em cenários alternativos de emissões futuras e mudanças no uso da terra produzidas com modelos de avaliação integrados (O'NEILL *et al.*, 2016).

Um dos grandes avanços na elaboração do CMIP5 foi à incorporação dos Representative Concentration Pathway (RCP), que são cenários de emissões de gases de efeito estufa que abrangem faixas de valores de forçamento radiativo até o ano 2100. Foram estabelecidas quatro faixas de RCP, os RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 e RCP8.5. O RCP4.5 é um cenário que estabiliza o forçamento radiativo em  $4,5 \text{ W m}^{-2}$  em 2100 sem nunca exceder esse valor, ou seja, é o aumento do efeito estufa da atmosfera terrestre em  $4,5 \text{ W m}^{-2}$  gradativamente até 2100. Simulado com o Modelo de Avaliação de Mudança Global (GCAM), o RCP4.5 inclui à longo prazo, emissões globais de gases de efeito estufa, além do uso e cobertura da terra, com base na estrutura econômica global (THOMSON *et al.*, 2011). Ressalta-se, que no RCP4.5 as taxas de emissões antrópicas de  $\text{CO}_2$  apresentam um pico em torno de 2045, a partir de 2045 as taxas diminuem e atinjam metade das taxas de emissões de 1980-1990 em 2100. No RCP2.6 o pico de emissões antrópicas de  $\text{CO}_2$  deveria ocorrer em 2020 e chegasse a zero em 2100, enquanto, no RCP8.5 a taxa de emissões antrópicas de  $\text{CO}_2$  continuaria aumentado até 2100 (IPCC, 2019).

Posteriormente os RCPs foram substituídos por cenários Shared Socio-economic Pathways (SSP). Abrangendo uma gama ainda mais ampla de futuros de concentração de  $\text{CO}_2$ , com o extremo superior o SSP5-8.5, cenário com produção de concentrações de gases de efeito estufa tão elevadas quanto o cenário RCP8.5 anterior, e o cenário inferior SSP1-1.9 com emissões negativa de  $\text{CO}_2$  na segunda metade do século XXI, resultando em uma concentração de  $\text{CO}_2$  até 350 ppm em a longo prazo (2150). Além disso, num aspecto mais técnico, as concentrações do SSP abrem novos caminhos. Pela primeira vez, as projeções de gases de efeito estufa estão disponíveis para 43 gases de efeito estufa, com variações latitudinais e sazonais. Por exemplo, em 2050, as concentrações do hemisfério norte no cenário SSP3-7.0 serão 1,2% e 4,3% superiores às médias do hemisfério sul para  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$ , respectivamente; com implicações correspondentes não negligenciáveis para o forçamento

radiativo (MEINSHAUSEN *et al.*, 2020). Ademais, as faixas de forçamento radioativo para o SSP são as seguintes: SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5.

### 3.6 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA

Os índices de vegetação são medidas quantitativas que indicam o vigor e a saúde da vegetação. Eles apresentam melhor sensibilidade do que bandas espectrais únicas para detecção de vegetação verde. A sua utilidade auxilia a interpretação e avaliação de imagens de sensoriamento remoto, alterações no uso do solo, densidade da cobertura vegetal, silvicultura, previsão de culturas, entre outros (BANNARI *et al.*, 1995). O índice mais utilizado é o NDVI proposto por Rouse *et al.* (1973), seguido pelo EVI (HUETE *et al.*, 1997).

A popularidade do NDVI pode estar conectada com a ampla gama de disciplinas na qual tem sido usada com sucesso, abrangendo de monitoramento ambiental e atividades da agronomia, até o comportamento animal e diversificando por diversas áreas da ecologia. O tamanho de possíveis aplicações tem possibilitado visibilidade constante através das últimas décadas e para estabelecê-lo como uma adição viável ao conjunto tradicional de variáveis ambientais disponíveis para cientistas (DAVY, 2013). Segundo Moore (2013) o NDVI já foi aplicado com sucesso à investigação sobre tendências temporais e espaciais e variação na distribuição, produtividade e dinâmica da vegetação, para monitorizar a degradação e fragmentação do habitat, e os efeitos ecológicos de desastres climáticos, como secas ou incêndios.

O uso do NDVI facilita as aplicações de sensoriamento remoto, em parte porque se correlaciona com o estado de uma ampla gama de propriedades da vegetação, simplificando assim o complexo. Ao mesmo tempo, o desenvolvimento popular da tecnologia de sensoriamento remoto promoveu subsequentemente a geração de dados de imagem de baixo custo, úteis para ampliar suas aplicações. A detecção remota mudou a forma como os recursos terrestres são vistos, utilizados e geridos. O mesmo se aplica à forma como o NDVI abrange a saúde, os padrões e o estado da vegetação. Não há dúvida de que este índice continuará a ser dominante, entretanto a eficiência da sua utilização depende da qualidade dos dados multiespectrais e da interpretação dos seus valores (HUANG *et al.*, 2021)

O Índice de Vegetação Melhorado (EVI) foi proposto para reduzir simultaneamente o ruído de fundo atmosférico e do solo. Embora ele tenha um desempenho melhor que o NDVI em muitas aplicações, ele é mais sensível às condições topográficas (MATSUSHITA *et al.*, 2015). Assim, pode-se concluir que é o fator de ajuste do solo no EVI que o torna muito mais

sensível ao efeito direto do que o NDVI. E ambos podem ser influenciados pelo efeito indireto da topografia, que é determinado pela função de distribuição de refletância bidirecional da superfície (MATSUSHITA *et al.*, 2015; PACHECO *et al.* 2023).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DO LOCAL DE ESTUDO

O estudo foi realizado para o estado da Bahia (Figura 2), situada na região Nordeste do Brasil, entre as latitudes de  $8^{\circ} 32'$  e  $18^{\circ} 21'$  S e longitudes de  $37^{\circ} 20'$  e  $46^{\circ} 37'$  O. E é subdividido em três partes: a validação de pontos, espacialização e avaliação dos modelos do CMIP6.

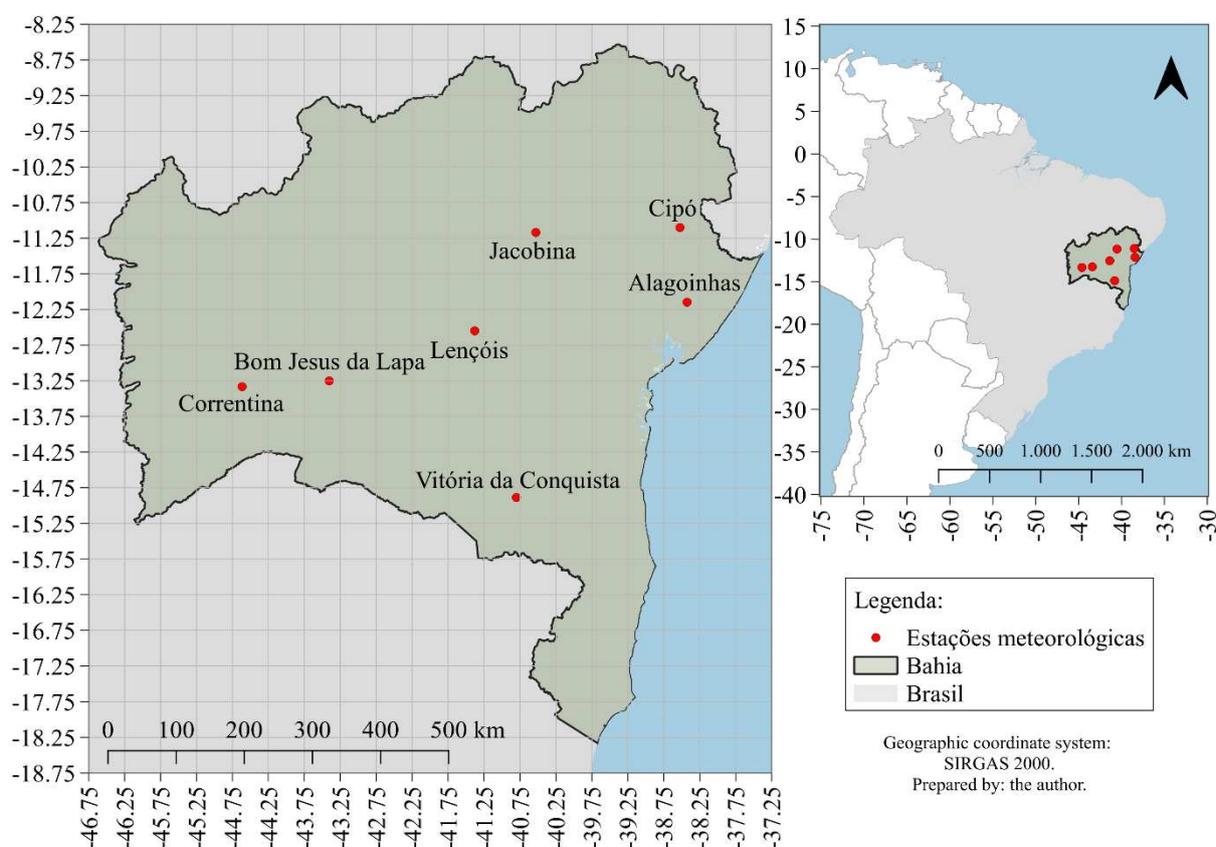


Figura 2. Mapa de localização do estado da Bahia e das estações meteorológicas.

Os dados diários utilizados nesta pesquisa foram baixados de estações meteorológicas convencionais no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), medidos através de instrumentos como: termômetros de bulbo seco, para as temperaturas máxima e mínima do ar, e de bulbo úmido para calcular a umidade relativa média; heliógrafo para a medição da insolação; anemômetro para a velocidade média do vento a 10 m, e o pluviômetro para a precipitação. Ao longo de

um período de 10 anos (de 1º de janeiro de 1993 a 31 de dezembro de 2002), para os municípios estudados.

Para validação dos dados de reanálise o primeiro passo foi à escolha das estações, considerando o período de 1981 a 2020, a estação a ser selecionada deve ter no máximo 20% de dados ausentes em um período de, pelo menos, dez anos consecutivos. O estado da Bahia tinha 27 estações, sendo que apenas 23 estavam em operação com dados diários. Contudo, ao utilizar o critério de no máximo 20% de dados ausentes verificou-se que apenas cinco estações e o período de 1993 a 2002 poderiam ser utilizados. Para outros períodos de dez anos, incluindo os mais recentes, em geral, o número de dados ausentes ultrapassava 30%. Ressalta-se que este critério de no máximo 20% de dados ausentes foi escolhido porque a WMO (2017) sugere que para realizar as normais climatológicas, as estações selecionadas devem ter no máximo 20% de dados ausentes.

Contudo, a WMO (2017) informa que na elaboração das normais climatológicas mensais para as variáveis não acumulativas, como, por exemplo, a temperatura, é aceitável até 30% de dados ausentes, desde que seja em períodos não consecutivos. Portanto, para a presente pesquisa estabeleceu-se como critério para selecionar as estações meteorológicas um período de dez anos consecutivos e como no máximo 20% de dados ausentes, para a precipitação, e 25% para as demais variáveis. Com isto das 23 estações, sete foram selecionadas, as quais se encontram nos municípios de Alagoinhas, Bom Jesus da Lapa, Cipó, Correntina, Jacobina, Lençóis e Vitória da Conquista. Com relação ao aspecto climatológico estes municípios são caracterizados da seguinte maneira:

- Alagoinhas (12,14° S e 38,42° O, com altitude de 129,78 m) está classificado com o clima As segundo Köppen, com os valores de 25,41°C e 1.147,96 mm na temperatura média do ar e precipitação anual, respectivamente. Localizada na mesorregião do Nordeste Baiano sendo parte do seu bioma formado pela Caatinga, mas predominantemente pela Mata Atlântica;

- Bom Jesus da Lapa (13,25° S e 43,4° O, com altitude de 447,75 m) apresenta o clima Aw', a temperatura média do ar encontra-se na faixa de 26,55°C e média anual de precipitação de 814,55mm, integra a mesorregião estadual do Vale do São Francisco e fica na zona de transição dentre o Cerrado e a Caatinga;

- Cipó (11,1° S e 38,52° O, com altitude de 143,43 m) tem o clima BSh, a temperatura fica em torno de 26,69°C e precipitação com 578,17mm, está compreendida na mesorregião do Nordeste Baiano e é composta pelo bioma da Caatinga;

- Correntina (13,33° S e 44,61° O, com altitude de 551,69 m) está classificado com o clima Aw', a temperatura média do ar é de 25,14°C e um acumulado médio anual de precipitação de 935,37 mm, localiza-se na mesorregião do Extremo Oeste Baiano e está dentro do bioma do Cerrado;

- Jacobina (11,1° S e 40,53° O, com altitude de 486,37 m), segundo a classificação de Köppen é do tipo Aw. As médias anuais de temperatura do ar e precipitação são 25,16° C e 857,45 mm, respectivamente; localizado no Centro-Norte Baiano e com bioma caatinga;

- Lençóis (12,55° S e 41,38° O, com altitude de 438,09 m) possui clima Aw, temperatura média de 24,40° C e precipitação de 1054,47 mm por ano. Situado no Centro-Sul Baiano e bioma Caatinga;

- Vitória da Conquista (14,88° S e 40,80° O, com altitude de 879,47 m) tem clima Cwb, temperatura do ar na média de 21,43° C e total anual médio de precipitação de 735,44 mm por ano. Localiza-se no Centro-Sul Baiano, com biomas da Mata Atlântica e Caatinga.

#### **4.1.1 Validação e espacialização dos modelos**

Foram criados três tipos de simulações do balanço hídrico de cultura (BHC): a primeira, executada usando apenas dados das estações meteorológicas do INMET, e a segunda, utilizados exclusivamente dados do ECMWF e Projeto de Precipitação CPC/NOAA. Além disso, foi realizada uma simulação com dados de precipitação das estações meteorológicas e temperatura do ar e evapotranspiração de referência derivados de dados de reanálise. Esta é uma abordagem “híbrida” e foi adotada porque o estado da Bahia tem uma boa distribuição espacial de medidores pluviométricos, com observações diárias e rotineiras apenas de precipitação, mas uma distribuição espacial escassa de estações meteorológicas. Além disso, com os três tipos de simulações, pôde-se inferir a precisão que os dados de reanálises possuem para prosseguir com a espacialização do BHC no estado da Bahia.

Os dados de reanálise ERA5-Land e Projeto de Precipitação CPC/NOAA foram validados e sua confiabilidade foi avaliada comparando temperatura (máxima e mínima), umidade relativa, velocidade do vento e estimativas de evapotranspiração de referência com dados das estações meteorológicas. Para tanto, foram utilizados os parâmetros estatísticos erro quadrático médio (RMSE), erro padrão da estimativa (SEE), erro percentual médio absoluto (MAPE) e erro absoluto médio (MAE) obtidos em as comparações de dados de reanálise ERA5-Land e dados de precipitação CPC/NOAA com dados observacionais foram usadas na análise. E são apresentadas a seguir:

O erro quadrado médio (RMSE) definido por Hsiao *et al.* (2009), na Equação 1:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_i^N (X'_i - X_i)^2}{N}}$$
(1)

Erro padrão da estimativa ( $\sigma_{\text{est}}$ ), na Equação. 2 abaixo:

$$\sigma_{\text{est}} = \sqrt{\frac{\sum (X'_i - X_i)^2}{N - 1}}$$
(2)

Erro absoluto médio percentual (MAPE), na Equação 3:

$$\text{MAPE} = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|X'_i - X_i|}{|X_i|}$$
(3)

E por fim, o erro médio absoluto (MAE) na Equação 4:

$$\text{MAE} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |X'_i - X_i|$$
(4)

em que:

$X$  e  $X'$  correspondem ao valor observado e ao valor estimado, respectivamente;  $\bar{X}$  ao valor médio observado e  $N$  a quantidade de dados analisados.

Os dados de reanálise ERA5-Land de temperatura do ar a 2 m de altura, temperatura do ponto de orvalho a 2 m de altura, radiação solar e térmica da superfície, componentes  $u$  e  $v$  do vento a 10 m de altura com frequência horária foram obtidos no site do ECMWF para o período entre 1º de janeiro de 1993 e 31 de dezembro de 2002, com resolução horizontal de  $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ .

Como os dados da reanálise ERA5 não fornecem boas estimativas de precipitação para os trópicos (GLEIXNER *et al.* 2020; LAVERS *et al.* 2022), os dados diários de precipitação para o período entre 1º de janeiro de 1993 e 31 de dezembro de 2002 foram recuperados do Projeto de Precipitação CPC/NOAA, com uma resolução espacial de  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$  (CHEN *et al.* 2008), porque este conjunto de dados tem sido uma referência útil para melhorar outras fontes de dados (CUI *et al.* 2017; SADEGHI *et al.* 2019).

Para cada estação, utilizaram-se dados do ECMWF na resolução de  $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ , considerando o ponto central equivalente a localização da estação meteorológica e seus quatro pontos periféricos à norte, sul, leste e oeste (Figura 3a); formando valores médios agrupados prontos para validação no intuito de reduzir possíveis erros. No caso da precipitação do CPC/NOAA utilizou-se a resolução nativa do projeto.

Após validar estatisticamente os dados da reanálise ERA5-Land e do Projeto de Precipitação CPC/NOAA, foi proposta uma espacialização do zoneamento agrícola para abranger todo o estado da Bahia. Para isso, os dados da reanálise do ERA5-Land foram organizados em médias agrupadas em intervalos de  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$  (Figura 3b), a fim de corresponder à resolução espacial do Projeto de Precipitação CPC/NOAA (Figura 3c) em todo o território da Bahia, entre as latitudes extremas de  $8,25^\circ$  S e  $18,75^\circ$  S e longitudes de  $37,25^\circ$  O e  $47,25^\circ$  O. Isso resultou em uma área com 232 pontos de grade, totalizando 232 simulações do BHC.

Os dados provenientes do CMIP6 de modelos globais dos centros de pesquisa que contribuem para confecção dos relatórios do IPCC. Para este estudo foi utilizado o modelo CNRM-CM6-1-HR (VOLDOIRE, 2019) do Centre National de Recherches Meteorologiques (CNRM) na grade de  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$  (Figura 3c); e o modelo EC-Earth3-Veg-LR (EC-EARTH, 2020) desenvolvido por European community Earth System Model (EC-Earth consortium) e possui resolução de  $1,12^\circ \times 1,12^\circ$  (Figura 3d). Ambos utilizaram o SSP2-4.5 para análise das projeções do ano de 2065, que preveem o cenário futuro com médio forçamento radiativo até o final do século.

As diferenças entre os pontos de grade dos modelos abordados neste estudo podem ser vistas na Figura 3e:

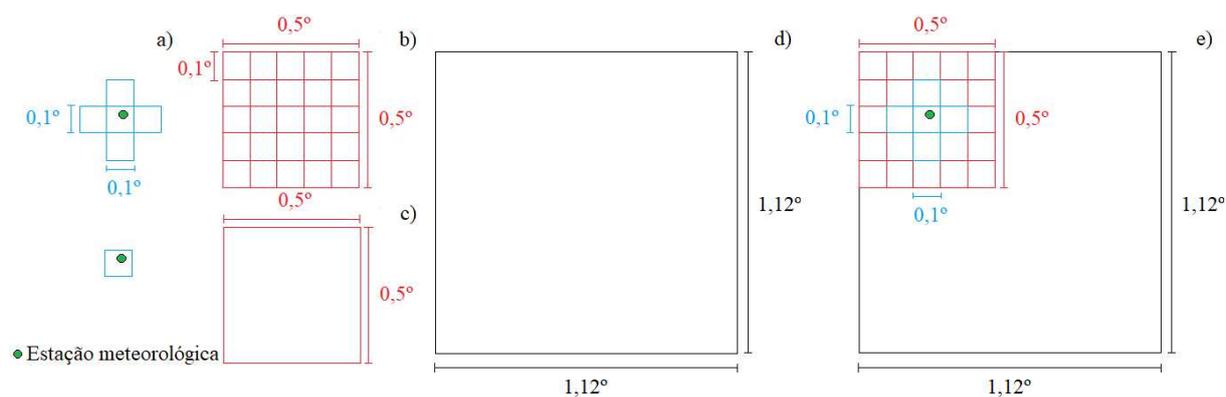


Figura 3. Ilustração das resoluções espaciais; a) ERA5-Land; b) ERA5-Land em grade de  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ ; c) Projeto de Precipitação CPC/NOAA e CNRM-CM6-1-HR; d) EC-Earth3-Veg-LR; e) Todas as resoluções.

Os dados baixados do CNRM-CM6-1-HR pertencem as seguintes variáveis: temperatura do ar diária, e variáveis mensais da velocidade do vento e umidade relativa próximos à superfície, pressão atmosférica de superfície e precipitação. Para o cálculo do balanço de radiação ( $R_n$ ), foram utilizadas: radiações de ondas longas e ondas curtas que chegam à superfície e radiações de onda longa e onda curta que ascendem a partir da superfície.

E do EC-Earth3-Veg-LR são: dados diários de precipitação, temperatura máxima e mínima do ar próximos a superfície; e variáveis mensais de velocidade do vento e umidade relativa próximos à superfície, pressão atmosférica de superfície, radiação de ondas curtas que chega à superfície e radiação de ondas curtas incidente no topo da atmosfera.

#### 4.2 DESCRIÇÃO DAS EQUAÇÕES

Na presente pesquisa foi utilizado o Python 3.9.17 (VAN ROSSUM & DRAKE, 1995) para a manipulação de dados e geração de mapas, com a instalação das bibliotecas Pandas (REBACK *et al.*, 2020), Xarray (HOYER & HAMMAN, 2017), NumPy (HARRIS *et al.*, 2020), GeoPandas (JORDAHL *et al.* 2020) e Matplotlib (HUNTER, 2007) através do editor Visual Studio Code para processar dados de reanálises na frequência horária, em formato NetCDF4 para calcular as seguintes variáveis meteorológicas: Umidade relativa do ar, velocidade do vento, balanço de radiação em superfície e evapotranspiração de referência.

Nos zoneamentos agrícolas de risco climático por meio do balanço hídrico, uma das variáveis chaves é a evapotranspiração potencial, a qual pode ser estimada por diversos existem métodos. No caso de cultura agrícola a FAO recomenda a utilização da ETo estimada

pelo método FAO-Penman–Monteith. Portanto, a descrição desta metodologia inicia-se pela apresentação da estimativa da  $ET_o$  (Equação 5) proposta por Allen *et al.*, (1998):

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (5)$$

em que:

Rn – Saldo de radiação em superfície ( $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$ );  
 G – Densidade de fluxo de calor no solo ( $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$ );  
 T – Temperatura diária do ar a 2 m de altura ( $^{\circ}C$ );  
 $u_2$  – Velocidade do vento a 2 m de altura ( $m\ s^{-1}$ );  
 $e_s$  – Pressão de vapor de saturação (kPa);  
 $e_a$  – Pressão parcial de vapor (kPa);  
 $e_s - e_a$  - Déficit de pressão de vapor de saturação (kPa);  
 $\Delta$  – Curva de pressão de vapor de saturação ( $kPa\ ^{\circ}C^{-1}$ );  
 $\gamma$  – Constante psicrométrica ( $kPa\ ^{\circ}C^{-1}$ ).

Do mesmo modo, calcularam-se as variáveis que pertencem ao cálculo de  $ET_o$ : pressão de vapor saturado (Equação 6), pressão parcial de vapor (Equação 7), curva de pressão de vapor de saturação (Equação 8) e a constante psicométrica (Equação 9). Levando em conta que o fluxo de calor no solo nulo.

A  $e_s$  pode ser determinada pela formula de Tétens (1930):

$$e_s = 0,6108 \exp \left[ \frac{17,27 T}{T + 237,3} \right] \quad (6)$$

E  $e_a$  utiliza:

$$e_a = 0,6108 \exp \left[ \frac{17,27 T_d}{T_d + 237,3} \right] \quad (7)$$

em que:

T – Temperatura do ar em graus celsius ( $^{\circ}C$ );  
 $T_d$  – Temperatura do bulbo úmido ( $^{\circ}C$ ).

A  $\Delta$ , obtida pela seguinte equação:

$$\Delta = \frac{4098 [0,6108 \exp (\frac{17,27 T}{T + 237,3})]}{(T + 237,3)^2} \quad (8)$$

E  $\gamma$  em  $kPa\ ^{\circ}C^{-1}$ :

$$\gamma = 0,665 \times 10^{-3}P \quad (9)$$

Para encontrar  $\gamma$  utilizou-se a pressão atmosférica (P) em kPa, descrita na Equação 10:

$$P = 101,3 \left( \frac{293 - 0,0065z^{526}}{293} \right) \quad (10)$$

em que:

z – elevação acima do nível do mar (m).

Para calcular a umidade relativa do ar (UR) é necessário conhecer  $e_a$  e  $e_s$ . Toda via, em casos na qual não houve disponibilidade de  $T_d$  a pressão parcial de vapor pôde ser determinada conhecendo a umidade relativa do ar (Equação 11):

$$UR = \frac{e_a}{e_s} \quad (11)$$

A magnitude do vento à dois metros de altura do solo é estimada a partir da magnitude do vento à 10 metros, que de acordo com Allen *et al.* (1998) é dado pela Equação 12:

$$u_2 = \overline{VV} \frac{4,87}{\ln(67,8z - 5,42)} \quad (12)$$

em que:

z – altura da magnitude do vento (10 m).

O  $R_n$  (Equação 13) é a diferença entre o saldo da radiação solar (ondas curtas) que chega a superfície ( $R_{ns}$ ) e o saldo de radiação termal (onda longa) ( $R_{nl}$ ):

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (13)$$

em que:

$R_{ns}$  – Saldo de radiação solar;

$R_{nl}$  – Saldo de radiação termal.

Como as variáveis meteorológicas baixadas diferem de acordo com cada fonte de dados foram criadas subseções da descrição das equações de acordo com a (s) formula (s) empregadas em cada situação.

#### 4.2.1 Saldo de radiação: INMET

Para estimar o  $R_n$  (Equação 14) das estações meteorológicas. O  $R_{ns}$  é dado por:

$$R_{ns} = (0,25 + 0,5 n/N)(1 - \alpha)Q_0 \quad (14)$$

$\alpha$  – Albedo da superfície em superfície de referência [0,23];

$Q_0$  – Radiação solar no topo da atmosfera ( $MJ m^{-2} d^{-1}$ );

$n$  – Insolação diária (h);

$N$  – Número máximo teórico de brilho solar (h).

Enquanto que  $R_{nl}$  (Equação 15) é estimada da seguinte maneira:

$$R_{nl} = \sigma \left[ \frac{T_{\max}^4 + T_{\min}^4}{2} \right] (0,34 - 0,14e_a^{1/2}) \left( 1,35 \left( \frac{0,25 - 0,5n/N}{0,75 + 2z/10^5} \right) - 0,35 \right) \quad (15)$$

em que:

$\sigma$  – Constante de Stefan-Boltzmann ( $\sigma = 4,903 MJ m^{-2} K^{-4}$ );

$T_{\max}$  – Temperatura máxima do ar (K);

$T_{\min}$  – Temperatura mínima do ar (K);

$e_a$  – Pressão de vapor atual (kPa);

$z$  - Altitude da estação meteorológica (m).

#### 4.2.2 Saldo de radiação e magnitude do vento: ERA5-Land

Para os cálculos da  $ET_o$  como os dados da reanálise ERA5-Land os saldos de radiação solar e termal estão disponíveis. Portanto, a Equação 8 foi calculada sem a necessidade de estimar  $R_{ns}$  e  $R_{nt}$ .

Em geral, os dados de ventos estão disponíveis na forma de componentes zonal (u) e meridional (v), em 10 metros de altura do solo. Portanto, fez-se necessário calcular a magnitude do vento  $\overline{VV}$  antes do ajuste de altura (Equação 16):

$$\overline{VV} = \sqrt{(u)^2 + (v)^2} \quad (16)$$

#### 4.2.3 Saldo de radiação: CNRM-CM6-1-HR

Para se obter  $R_n$  (Equação 8) é necessário calcular os saldos de radiação de ondas curtas (Equação 17) e radiação de ondas longas (Equação 18), disponíveis pelo modelo CNRM-CM6-1-HR:

$$R_{ns} = rs_{ds} - rs_{us} \quad (17)$$

$$R_{nl} = rl_{ds} - rl_{us} \quad (18)$$

em que:

$rs_{ds}$  – Radiação solar que chega à superfície;

$rs_{us}$  – Radiação solar ascendente;

$rl_{ds}$  – Radiação termal que chega à superfície;

$rl_{us}$  – Radiação termal ascendente.

#### 4.2.4 Saldo de radiação: EC-Earth3-Veg-LR

Diferentemente do demais, o modelo EC-Earth3-Veg-LR não disponibiliza  $rs_{us}$ ,  $rl_{ds}$ ,  $rl_{us}$  ou  $R_{ns}$  e  $R_{nl}$ ; portanto utilizou-se a radiação de ondas curtas incidente no topo da atmosfera (radiação extraterrestre) para estimar a radiação solar de céu claro ( $r_{so}$ ) na Equação 19.

$$r_{so} = (0,75 + 2 \times 10^{-5} z)rs_{dt} \quad (19)$$

em que:

$z$  – Elevação acima do nível do mar (m);

$rs_{dt}$  – Radiação de ondas curtas incidente no topo da atmosfera ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ ).

E a partir disto, encontrar os saldos de radiação de ondas curtas e ondas longas por meio das Equações 20 e 21, dispostas abaixo:

$$R_{ns} = (1 - \alpha)rs_{ds} \quad (20)$$

$\alpha$  – Albedo;

$rs_{ds}$  – Radiação solar que chega à superfície.

$$R_{nl} = \sigma \left[ \frac{T_{\max}^4 + T_{\min}^4}{2} \right] (0,34 - 0,14 \sqrt{e_a}) (1,35 \frac{rs_{ds}}{r_{so}} - 0,35) \quad (21)$$

$\sigma$  – Constante de Stefan-Boltzmann ( $\sigma = 4,903 \text{ MJ m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ );

$T_{\max}$  – Temperatura máxima do ar (K);

$T_{\min}$  – Temperatura mínima do ar (K);

$e_a$  – Pressão de vapor atual (kPa);

$rs_{ds}$  – Radiação solar que chega à superfície;

$r_{so}$  – Radiação solar de céu claro.

#### 4.2.5 Pressão atmosférica

Para a validação com os dados do INMET, a pressão atmosférica (Equação 6) foi calculada utilizando a elevação correspondente às estações que é fornecida junto com os dados baixados. Para os modelos ERA5-Land e CNRM-CM6-1-HR utilizou-se os dados de elevação em grades de  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$  disponibilizados pelo Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean (JISAO) que pertencem ao National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), em formato NetCDF.

Entretanto, para o EC-Earth3-Veg-LR, cuja a resolução é de 100 Km, foram selecionadas latitudes e longitudes mais próximas correspondentes à resolução dos dados de elevação para uni-los e calcular a pressão atmosférica.

#### 4.2.5 Tratamentos dos dados

Os dados ERA5-Land foram trabalhados de duas maneiras, a primeira foi a validação dos dados do modelo com o uso da biblioteca Xarray. Para se adequar a estrutura mostrada na Figura 3a os dados foram selecionados e concatenados para gerar os valores médios representativos a cada localização das estações meteorológicas. Ajustaram-se as longitudes de 0 a 360° para -180° a 180° usando a função `os dados de elevação`. Os dados horários agrupados foram redimensionados para média, mínima, máxima ou acumulado diário (*downsample*) e mesclados com os dados de precipitação correspondentes. Em seguida foi calculado  $ET_0$  para agrupar todos os dados em decêndios. A segunda etapa utilizou as mesmas funções, com o acréscimo da etapa de agrupar espacialmente os dados com 0,1° x 0,1° para 0,5° x 0,5° em toda área de estudo antes de agrupar os dados para diário e decendial.

Os modelos CNRM-CM6-1-HR e EC-Earth3-Veg-LR utilizaram as mesmas funções e etapas do ERA5-Land. Entretanto, os dados mensais foram redimensionados para a frequência diária (*upsample*) através de uma interpolação linear; e somente desta forma foi possível calcular  $ET_0$ . A partir disso, com todos os dados em frequência diária, os dados foram agrupados por decêndios.

Ressalta-se que para todos os cálculos das equações descritas no capítulo 4.1.3 foram utilizadas funções matemáticas da biblioteca NumPy em suas execuções. Assim como todas as saídas de dados foram exportadas em formato CSV com descrições de latitude, longitude e tempo, e posteriormente as variáveis meteorológicas foram aplicadas ao Balanço Hídrico de cultura (BHC).

### 4.3 BALANÇO HÍDRICO DE CULTURA

A planilha com BHC retorna com resultados expostos nas tabelas e em gráficos da  $ET_0$ ,  $ET_r$ , Armazenamento de água (ARM), capacidade de água disponível (AWC), coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) e o extrato do balanço hídrico com os períodos de excedente (EXC) e deficiência hídrica (DEF).

O programa desenvolvido por Rolim *et al.* (1998) foi implementado em ambiente Excel<sup>TM</sup>, com o método de estimativa de evapotranspiração de referência proposto por Allen *et al.* (1998), que possibilitaram a utilização das variáveis AWC (Figura 4) e  $K_c$ . Todos organizados em períodos de dez dias (decêndios).

Utilizou-se a base de dados e a síntese do método aplicado para solos brasileiros, realizado pela Agência Nacional de Águas (ANA) e pela Universidade Federal do Paraná (UFPR) para conhecer valores de AWC de cada município da Bahia disponíveis (ANA, 2021), em formato NETCDF, conforme é apresentado na Figura 4:

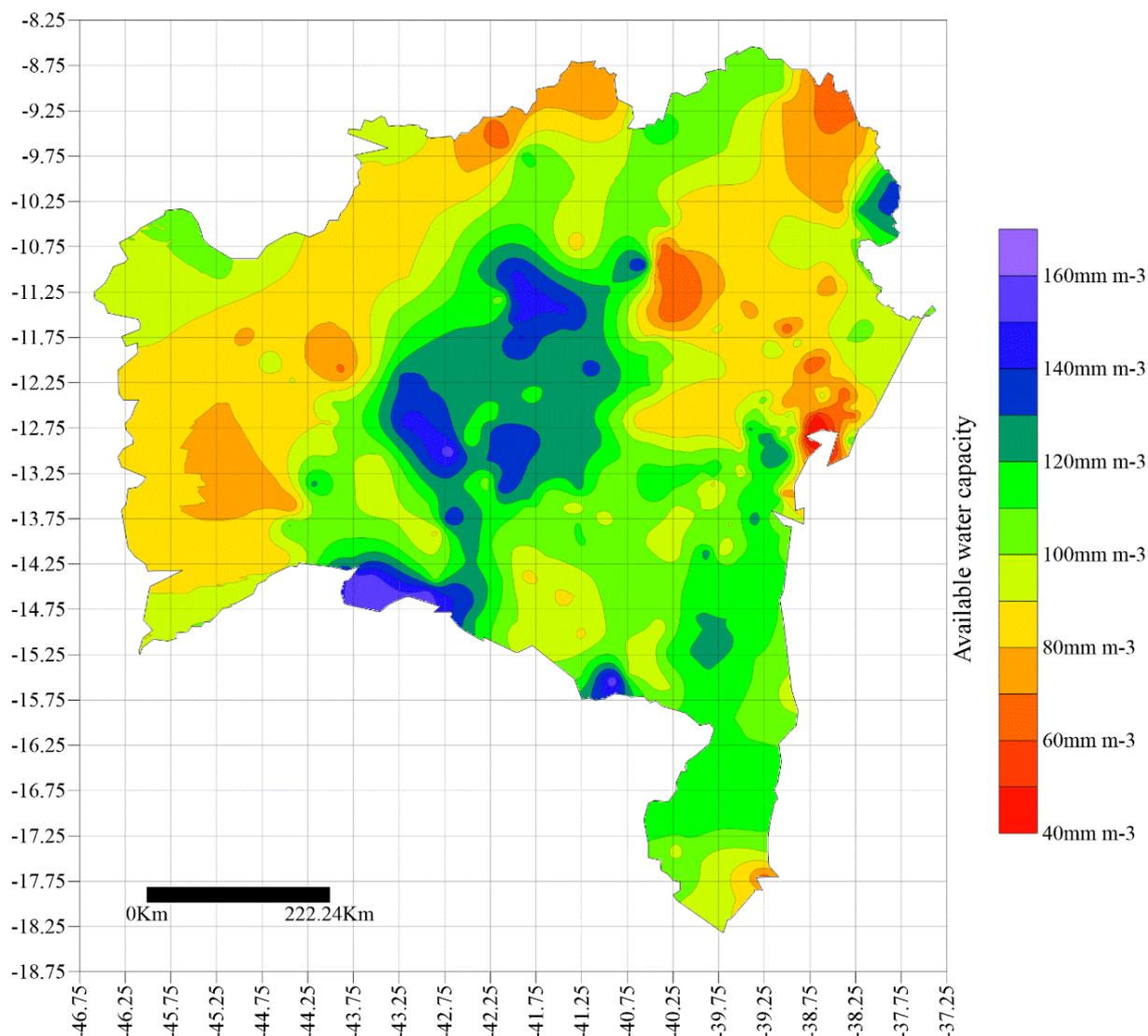


Figura 4. Capacidade de água disponível (AWC) para o estado da Bahia.

Foram calculados valores médios a em grades de  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$  e  $1,12^\circ \times 1,12^\circ$  para AWC com as bibliotecas GeoPandas e GeoCube, esta ferramenta converte dados vetoriais em dados com formato xarray rasterizados. Obtendo médias adequadas para cada ponto de grade de todos os modelos.

Tomando como base Doorenbos e Kassam (1979) e as características gerais do solo é possível obter uma equação para determinar a capacidade de água disponível de acordo com a profundidade específica do sistema radicular. Com os valores de AWC médios obtidos, foram

estimados novos AWC para adequarem-se a cada decêndio e fase da cultura, seguindo a Equação 22:

$$AWC = AWC_{MED} \times Z \quad (22)$$

em que:

$AWC_{med}$  – Capacidade de água disponível média ( $mm\ m^{-1}$ );

$Z$  – Profundidade do sistema radicular (cm).

O coeficiente de cultura inicial ( $Kc_{ini}$ ) foi estimado 0,4 para todos os ciclos. Já o coeficiente de cultura médio ( $Kc_{med}$ ) e final ( $Kc_{fim}$ ) levaram em consideração que climas mais áridos e condições de maior velocidade do vento têm valores mais elevados para o  $Kc$  e climas mais úmidos e menor velocidade do vento têm valores menores para o  $Kc$ . Para ajuste específico da localidade levou-se em consideração a umidade relativa do ar e a velocidade do vento a 2 m.

As Equações 23 e 24, utilizadas para os coeficientes de cultura médio ( $Kc_{med}$ ) e final ( $Kc_{fim}$ ) nas culturas do milho, em sistema de plantio exclusivo sob as condições de semiárido brasileiro é disponibilizada por Allen *et al.* (1998):

$$Kc_{med} = Kc_{med} (Tab) + [0,04(u_2 - 2) - 0,004(UR_{min} - 45)]\left(\frac{h}{3}\right)^{0,3} \quad (23)$$

em que:

$Kc_{med} (Tab)$  –  $Kc$  final tabelado;

$u_2$  – Valor médio da velocidade do vento diária a 2 m;

$UR_{min}$  – Valor médio da umidade relativa mínima diária;

$h$  – Altura média da planta durante o estágio.

$$Kc_{fim} = Kc_{fim} (Tab) + [0,04(u_2 - 2) - 0,004(UR_{min} - 45)]\left(\frac{h}{3}\right)^{0,3} \quad (24)$$

em que:

$Kc_{fim} (Tab)$  –  $Kc$  final tabelado;

$u_2$  – Valor médio da velocidade do vento diária a 2 m;

$UR_{min}$  – Valor médio da umidade relativa mínima diária;

h – Altura média da planta durante o estágio.

Com base nas Equações 13 e 14, foram criados valores médios decendiais para o Kc do milho no estado da Bahia. Os valores exibidos estão representados para três tipos de ciclos.

Tabela 1. Coeficiente de cultivo (Kc) para os ciclos precoce, médio e tardio com 100, 120 e 140 dias, respectivamente. Valores representam a média por decêndio ajustados para a Bahia.

| Ciclo   | Coeficiente de cultivo (decendial) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|         | 1                                  | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   |
| Precoce | 0,4                                | 0,42 | 0,63 | 0,90 | 1,12 | 1,15 | 1,15 | 1,14 | 0,95 | 0,67 | -    | -    | -    | -    |
| Médio   | 0,4                                | 0,4  | 0,50 | 0,73 | 0,96 | 1,14 | 1,15 | 1,15 | 1,15 | 1,09 | 0,87 | 0,65 | -    | -    |
| Tardio  | 0,4                                | 0,4  | 0,44 | 0,62 | 0,81 | 1,01 | 1,14 | 1,15 | 1,15 | 1,15 | 1,15 | 1,02 | 0,83 | 0,64 |

#### 4.4 DURAÇÃO DO CICLO E FASES FENOLÓGICAS

Neste trabalho, foram analisados ciclos para a cultura do milho classificados como precoce (Grupo I), médio (Grupo II) e tardio (Grupo III), conforme a Portaria nº 160, de maio de 2023 que aprova o Zoneamento Agrícola de Risco Climático para a 1ª safra da cultura do milho no Estado da Bahia. Entretanto, para os modelos do CMIP6 utilizou-se apenas o ciclo precoce.

Para realizar o balanço hídrico da cultura o ciclo do milho foi dividido em quatro fases, na qual a Fase I, Fase II, Fase III e Fase IV pertencem ao período de germinação/emergência, crescimento/desenvolvimento, florescimento/enchimento de grãos e a maturação fisiológica/colheita, respectivamente. A representação da duração de cada fase e o tamanho médio do ciclo está representada conforme a Quadro 1:

Quadro 1. Duração média dos ciclos e de suas respectivas fases fenológicas.

| Ciclo   | Fase I | Fase II | Fase III | Fase IV | Ciclo médio (dias) |
|---------|--------|---------|----------|---------|--------------------|
| Precoce | 15     | 35      | 30       | 20      | 100                |
| Médio   | 15     | 45      | 40       | 20      | 120                |
| Tardio  | 15     | 55      | 50       | 20      | 140                |

Fonte: Adaptado. MAPA, 2023.

#### 4.5 CONFIGURAÇÃO TEMPORAL DOS PERÍODOS DE SEMEADURA

As simulações do balanço hídrico da cultura foram realizadas em períodos decendiais, totalizando 36 decêndios por ano, conforme é detalhado na Quadro 2.

Quadro 2. Períodos de plantio, com as datas correspondentes para cada decêndio.

| Meses     | Janeiro  |         |         | Fevereiro |         |         |
|-----------|----------|---------|---------|-----------|---------|---------|
| Decêndios | 1        | 2       | 3       | 4         | 5       | 6       |
| Datas     | 01° a 10 | 11 a 20 | 21 a 31 | 01° a 10  | 11 a 20 | 21 a 28 |

| Meses     | Março    |         |         | Abril    |         |         |
|-----------|----------|---------|---------|----------|---------|---------|
| Decêndios | 7        | 8       | 9       | 10       | 11      | 12      |
| Datas     | 01° a 10 | 11 a 20 | 21 a 31 | 01° a 10 | 11 a 20 | 21 a 30 |

| Meses     | Maio     |         |         | Junho    |         |         |
|-----------|----------|---------|---------|----------|---------|---------|
| Decêndios | 13       | 14      | 15      | 16       | 17      | 18      |
| Datas     | 01° a 10 | 11 a 20 | 21 a 31 | 01° a 10 | 11 a 20 | 21 a 30 |

| Meses     | Julho    |         |         | Agosto   |         |         |
|-----------|----------|---------|---------|----------|---------|---------|
| Decêndios | 19       | 20      | 21      | 22       | 23      | 24      |
| Datas     | 01° a 10 | 11 a 20 | 21 a 31 | 01° a 10 | 11 a 20 | 21 a 31 |

| Meses     | Setembro |         |         | Outubro  |         |         |
|-----------|----------|---------|---------|----------|---------|---------|
| Decêndios | 25       | 26      | 27      | 28       | 29      | 30      |
| Datas     | 01° a 10 | 11 a 20 | 21 a 30 | 01° a 10 | 11 a 20 | 21 a 31 |

| Meses     | Novembro |         |         | Dezembro |         |         |
|-----------|----------|---------|---------|----------|---------|---------|
| Decêndios | 31       | 32      | 33      | 34       | 35      | 36      |
| Datas     | 01° a 10 | 11 a 20 | 21 a 30 | 01° a 10 | 11 a 20 | 21 a 31 |

O critério de seleção para o início do plantio em cada simulação do balanço hídrico da cultura foi a utilização do índice de satisfação da necessidade hídrica da cultura (WRSI) desenvolvido pela FAO (FRÈRE & POPOV, 1986). Este índice consiste na relação entre a evapotranspiração real e a máxima da cultura na frequência de 80 % estabelecida por Assad *et al.* (1998) e indica alta (WRSI > 0,55), intermediária (WRSI entre 0,45 e 0,55) ou baixa (WRSI < 0,45) adequação de um local para plantio de milho, considerando então que um local é adequado para plantio de milho quando  $WRSI \geq 0,45$  (SANTOS *et al.* 2012).

#### 4.6 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA

Utilizou-se as ferramentas de geoprocessamento Google Earth Engine (GEE) e o software Quantum GIS (QGIS) aplicadas as imagens de satélite no período de janeiro de 1993 a dezembro de 2002, sobre o estado da Bahia.

Foram gerados os mapas para análise da variação espacial média dos índices NDVI e EVI para o estado da Bahia, utilizando 454 imagens de satélite LANDSAT-5. Essas imagens possuíam uma cobertura de nuvem de até 10% e uma resolução de 30 metros. Os mapas foram gerados a partir das imagens adquiridas durante o período de 1993 a 2002. Essa análise permitiu avaliar o aspecto da vegetação no período estudado e identificar padrões quando comparado ao ZARC.

As imagens de satélite foram submetidas a um processo de pré-processamento utilizando a plataforma GEE. Esse processo envolveu a aplicação de correções atmosféricas e o recorte da área de estudo (estado da Bahia). Para calcular os índices NDVI (Equação 25), foram utilizadas equações específicas, descritas a seguir:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR}-\text{RED}}{\text{NIR}+\text{RED}} \quad (25)$$

em que:

NIR – reflectância na banda do infravermelho próximo;

RED – representa a reflectância na banda do vermelho.

O EVI (Equação 26) foi desenvolvido para otimizar o sinal da vegetação, melhorando a sensibilidade em regiões com maior densidade de biomassa e reduzindo assim as influências atmosféricas (Anderson *et al.*, 2005). É um índice similar ao NDVI, mas leva em consideração também o espectro de refletância do azul, corrigindo algumas limitações do NDVI em relação à atmosfera e ao solo. Como pode ser visto na equação abaixo:

$$\text{EVI} = 2,5 * \left( \frac{\text{NIR}-\text{RED}}{\text{NIR}+6*\text{RED}-7,5*\text{BLUE}+1} \right) \quad (26)$$

em que NIR, Red e Blue representam as reflectâncias nas respectivas bandas do infravermelho próximo, vermelho e azul.

Os índices de NDVI e EVI foram armazenados em arquivos raster GeoTIFF, mesclados e processados no QGIS 3.28.

#### 4.7 COUPLED MODEL INTERCOMPARISON PROJECT 6

O CMIP6 é a sexta fase do Coupled Model Intercomparison Project (CMIP), que pertence ao World Climate Research Programme (WCRP), e supervisionado pelo Grupo de

Trabalho sobre Modelagem Acoplada do WCRP (WGCM), que mantem em suas páginas informações básicas sobre o CMIP e suas fases, bem como uma visão geral introdutória do CMIP6. Ressalta-se que Eyring et al. (2016) descreveram sobre o projeto CMIP apresentando os antecedentes e a justificativa para a mais nova estrutura do Projeto, o CMIP6, fornecendo uma descrição detalhada dos experimentos de diagnóstico, avaliação e caracterização de clima. Neste contexto, artigos com uso de dados do CMIP6 têm sido publicados para a América do Sul, em particular para o Nordeste do Brasil, como, por exemplo, Dantas et al. (2022), que usaram 15 modelos, Firpo et al. (2022), utilizaram cinco modelos para a precipitação e cinco para a temperatura, Ortega et al. (2021), que usaram 33 modelos, e Almazroui et al. (2021), que compararam os resultados de 38 modelos.

Ressalta-se que os diferentes modelos apresentam desempenhos distintos em relação às observações, além disso, cada modelo tem suas características próprias, tanto na parte dos processos físicos como na estrutura de resolução como grades horizontais e níveis verticais diferentes. Portanto, na presente Tese foram escolhidos dois modelos, como já informando anteriormente, um com grade horizontal de  $1,12^\circ \times 1,12^\circ$  e outro com grade de  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ . Para a escolha dos modelos foram analisados os resultados disponibilizados por Almazroui et al. (2021), sendo escolhidos o CNRM-CM6-1-HR, com grade de  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$  (modelo 13 de Almazroui et al., 2021), e o EC-Earth3-Veg-LR, com grade de  $1,12^\circ \times 1,12^\circ$  (modelo 16 de Almazroui et al., 2021). Detalhes sobre o CNRM-CM6-1-HR podem ser obtidos em Voltaire et al. (2019), e do EC-Earth3-Veg-LR em Döscher et al. (2021).

Os modelos foram executados levando em consideração diversos cenários de emissões, como SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 e SSP5-8.5. No entanto, é importante destacar que nem todos os cenários foram utilizados, sendo os mais frequentemente empregados os SSP1-2.6, SSP2-4.5 e SSP5-8.5. Portanto, para este trabalho optou-se por utilizar o cenário SSP2-4.5.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 VALIDAÇÃO ESTATÍSTICA

Esta sessão apresenta os resultados da validação estatística para os dados do ERA5-land (ECMWF) com as variáveis de temperatura do ar máxima e mínima, velocidade média do vento, umidade relativa média do ar e a evapotranspiração de referência, bem como a variável da precipitação (CPC/NOAA) por meio da comparação com dados observados da estação de Cipó-BA. Ressalta-se que esta estação foi escolhida por apresentar a menor quantidade de lacunas nos dados observados. Ressalta-se que as comparações entre os dados observados nas estações e o da reanálise são apresentados nos Apêndices.

#### 5.1.1 Erro quadrático médio

A Tabela 2 mostra o erro quadrático médio ao longo dos 36 decêndios, na qual as estimativas de temperatura máxima e mínima correlacionaram positivamente com as observações de superfície, devido a temperatura máxima subestimar razoavelmente a série observada a mínima possui melhor correlação dentre as duas variáveis. É evidente que o ERA5-land superestima os decêndios com menor umidade relativa média ao longo do período, entretanto a discrepância diminui nas estações mais úmidas durante toda a série temporal estudada e a aproximação entre os valores estimados e reais é refletida também na redução de RMSE. Contudo, essa linha de raciocínio é diferente para a velocidade média do vento que apesar dos baixos valores do erro estatístico têm-se uma unidade amostral com valores menores quando comparados as demais variáveis, conseqüentemente o RMSE tende ser menor também, porém é importante destacar que a tendência seguida pelos dados estimados acompanha os da estação e a amplitude entre um decêndio e outro muda bastante não havendo tendência entre as estações em si para o município de Cipó.

A discrepância do aumento no RMSE da evapotranspiração de referência (Tabela 2) segue a tendência do modelo em subestimar brevemente os decêndios com maior evapotranspiração, principalmente durante o verão austral, ainda sim a estatística evidencia o ótimo desempenho com a variável. A precipitação dentre todas as variáveis é a mais complexa e difícil de se prever, portanto como a precipitação estimada do ERA5-land não foi coerente com a realidade. Gleixner *et al.* (2020) concluíram que tanto no ERA5 e no seu predecessor ERA-INTERIM os produtos de reanálise não capturaram as tendências de precipitação

observadas na maior parte da África. Isso não é surpreendente, já que as tendências de precipitação são incertas para a maioria das regiões do Globo.

Tabela 2. Valores do erro quadrado médio para temperatura do ar máxima e mínima, Umidade relativa média do ar, velocidade média do vento, evapotranspiração de referência e precipitação organizados por decêndios.

| DEC | RMSE - Cipó |       |        |        |       |       |
|-----|-------------|-------|--------|--------|-------|-------|
|     | T max       | T min | UR med | VV med | ETo   | PRP   |
| 1   | 2,09        | 0,66  | 8,08   | 0,60   | 8,62  | 18,48 |
| 2   | 2,16        | 0,62  | 7,90   | 0,71   | 9,00  | 13,46 |
| 3   | 2,02        | 0,57  | 6,90   | 0,58   | 10,96 | 7,30  |
| 4   | 2,07        | 0,50  | 6,96   | 0,70   | 6,63  | 14,42 |
| 5   | 1,97        | 0,66  | 6,76   | 0,61   | 6,24  | 10,71 |
| 6   | 2,18        | 0,41  | 7,01   | 0,69   | 6,04  | 3,56  |
| 7   | 2,28        | 0,73  | 8,52   | 0,60   | 6,77  | 12,89 |
| 8   | 2,37        | 0,72  | 8,21   | 0,60   | 6,72  | 24,97 |
| 9   | 1,91        | 0,61  | 6,16   | 0,66   | 7,41  | 11,16 |
| 10  | 1,62        | 0,41  | 6,82   | 0,26   | 4,85  | 15,93 |
| 11  | 1,76        | 0,48  | 5,80   | 0,67   | 5,48  | 17,82 |
| 12  | 1,91        | 0,47  | 5,91   | 0,64   | 5,21  | 14,35 |
| 13  | 1,73        | 0,47  | 5,02   | 0,52   | 3,63  | 10,53 |
| 14  | 1,68        | 0,89  | 4,39   | 0,52   | 3,18  | 7,77  |
| 15  | 1,74        | 0,43  | 4,34   | 0,53   | 3,68  | 9,97  |
| 16  | 1,61        | 0,76  | 4,54   | 0,51   | 3,86  | 11,67 |
| 17  | 1,59        | 0,43  | 3,15   | 0,58   | 2,24  | 12,20 |
| 18  | 1,49        | 0,71  | 4,20   | 0,42   | 2,29  | 8,84  |
| 19  | 1,69        | 1,09  | 4,35   | 0,55   | 3,04  | 6,82  |
| 20  | 1,37        | 0,83  | 4,72   | 0,58   | 3,45  | 9,02  |
| 21  | 1,38        | 0,96  | 2,28   | 0,47   | 2,27  | 5,71  |
| 22  | 1,58        | 0,76  | 2,80   | 0,47   | 2,61  | 9,54  |
| 23  | 1,87        | 0,84  | 4,16   | 0,60   | 3,26  | 5,08  |
| 24  | 1,92        | 0,52  | 6,06   | 0,51   | 3,96  | 3,61  |
| 25  | 1,50        | 0,92  | 3,57   | 0,63   | 2,87  | 5,27  |
| 26  | 1,59        | 0,54  | 4,91   | 0,58   | 3,99  | 6,10  |
| 27  | 1,69        | 0,54  | 4,13   | 0,51   | 3,78  | 8,34  |
| 28  | 1,40        | 0,61  | 4,55   | 0,46   | 6,05  | 2,25  |
| 29  | 1,42        | 0,28  | 4,78   | 0,56   | 6,26  | 11,67 |
| 30  | 1,48        | 0,46  | 5,58   | 0,65   | 7,30  | 7,13  |
| 31  | 1,41        | 0,51  | 5,73   | 0,50   | 6,23  | 12,86 |
| 32  | 1,83        | 0,51  | 6,93   | 0,67   | 4,88  | 40,09 |
| 33  | 2,15        | 0,37  | 6,84   | 0,75   | 8,55  | 13,68 |
| 34  | 1,66        | 0,42  | 7,18   | 0,43   | 5,44  | 21,30 |
| 35  | 1,46        | 0,65  | 5,81   | 0,60   | 3,33  | 11,61 |
| 36  | 1,92        | 0,60  | 7,68   | 0,60   | 7,88  | 10,74 |

Para contornar o problema foram utilizados dados provenientes do CPC/NOAA que apresentaram valores mais próximos do aos dados observados, mesmo assim, o RMSE está longe de classificar a precipitação com um ótimo desempenho, resultando em altos valores de erros nos decêndios 8, 32 e 34 da Tabela 2. E a desvantagem do RMSE é que ele usa a diferença entre os dados estimado e real e eleva ao quadrado antes de calcular a média. Consequentemente o valor com maior desvio padrão ou atípico possui o maior peso no cálculo. Dessa forma pesos desiguais são atribuídos à soma e conforme os valores de erros da precipitação aumenta o índice do RMSE aumenta significativamente.

### **5.1.2 Erro padrão da estimativa**

Os valores do erro padrão de estimativa decendiais exibidos na Tabela 3 permitem avaliar a confiabilidade dos dados da reanálise do ERA5-land, quando comparados com os dados observados na estação, assim como o erro quadrático médio, além disso, ambas as estatísticas resultam em valores aproximados com a diferença de que RMSE é amostral e EPE é universal. Ao comparar as Tabelas 2 e 2 verifica-se os valores são muito próximos, portanto, as análises feitas para o RMSE também são válidas para EPE.

Tabela 3. Valores do erro padrão de estimativa para temperatura do ar máxima e mínima, Umidade relativa média do ar, velocidade média do vento, evapotranspiração de referência e precipitação organizados por decêndios.

| DEC | EPE - Cipó |       |        |        |                 |       |
|-----|------------|-------|--------|--------|-----------------|-------|
|     | T max      | T min | UR med | VV med | ET <sub>o</sub> | PRP   |
| 1   | 2,20       | 0,70  | 8,52   | 0,63   | 9,09            | 19,48 |
| 2   | 2,27       | 0,66  | 8,33   | 0,75   | 9,49            | 14,19 |
| 3   | 2,13       | 0,60  | 7,27   | 0,61   | 11,63           | 7,69  |
| 4   | 2,18       | 0,53  | 7,33   | 0,73   | 7,03            | 15,20 |
| 5   | 2,08       | 0,70  | 7,13   | 0,64   | 6,58            | 11,29 |
| 6   | 2,29       | 0,43  | 7,39   | 0,72   | 6,37            | 3,75  |
| 7   | 2,40       | 0,77  | 8,98   | 0,63   | 7,13            | 13,59 |
| 8   | 2,50       | 0,76  | 8,66   | 0,64   | 7,08            | 26,33 |
| 9   | 2,01       | 0,64  | 6,49   | 0,70   | 7,81            | 11,77 |
| 10  | 1,71       | 0,43  | 7,19   | 0,28   | 5,12            | 16,80 |
| 11  | 1,86       | 0,51  | 6,11   | 0,71   | 5,78            | 18,78 |
| 12  | 2,01       | 0,50  | 6,23   | 0,67   | 5,49            | 15,12 |
| 13  | 1,83       | 0,50  | 5,29   | 0,55   | 3,82            | 11,10 |
| 14  | 1,77       | 0,94  | 4,62   | 0,55   | 3,35            | 8,19  |
| 15  | 1,84       | 0,45  | 4,57   | 0,56   | 3,87            | 10,51 |
| 16  | 1,69       | 0,81  | 4,79   | 0,53   | 4,07            | 12,30 |
| 17  | 1,68       | 0,45  | 3,32   | 0,61   | 2,36            | 12,86 |
| 18  | 1,57       | 0,74  | 4,43   | 0,44   | 2,43            | 9,31  |
| 19  | 1,78       | 1,15  | 4,59   | 0,58   | 3,21            | 7,18  |
| 20  | 1,45       | 0,88  | 4,98   | 0,61   | 3,64            | 9,51  |
| 21  | 1,46       | 1,02  | 2,40   | 0,50   | 2,39            | 6,02  |
| 22  | 1,66       | 0,80  | 2,95   | 0,49   | 2,75            | 10,06 |
| 23  | 1,97       | 0,89  | 4,39   | 0,63   | 3,44            | 5,35  |
| 24  | 2,03       | 0,55  | 6,39   | 0,54   | 4,17            | 3,80  |
| 25  | 1,58       | 0,97  | 3,76   | 0,67   | 3,02            | 5,56  |
| 26  | 1,68       | 0,56  | 5,18   | 0,61   | 4,20            | 6,43  |
| 27  | 1,78       | 0,57  | 4,36   | 0,54   | 3,98            | 8,79  |
| 28  | 1,48       | 0,64  | 4,79   | 0,49   | 6,42            | 2,37  |
| 29  | 1,49       | 0,29  | 5,03   | 0,59   | 6,60            | 12,30 |
| 30  | 1,56       | 0,48  | 5,88   | 0,68   | 7,70            | 7,52  |
| 31  | 1,49       | 0,54  | 6,04   | 0,53   | 6,56            | 13,55 |
| 32  | 1,93       | 0,53  | 7,30   | 0,71   | 5,15            | 42,26 |
| 33  | 2,26       | 0,39  | 7,21   | 0,79   | 9,01            | 14,42 |
| 34  | 1,75       | 0,44  | 7,56   | 0,45   | 5,73            | 22,45 |
| 35  | 1,54       | 0,68  | 6,12   | 0,63   | 3,51            | 12,24 |
| 36  | 2,03       | 0,63  | 8,09   | 0,63   | 8,31            | 11,32 |

### 5.1.3 Erro absoluto médio percentual

Ao analisar a Tabela 4 observa-se que para as temperaturas máximas e mínimas o erro percentual médio em todos os decêndios foi inferior a 1%, enquanto, para a umidade relativa do ar, velocidade do vento em 10 m de altura e a  $ET_0$  apresentaram erros inferiores a 2% em todos dos decêndios. Resultados semelhantes foram obtidos para as demais localidades (Apêndices), ou seja, os dados da reanálise representam fidedignamente os dados observados na estação.

Ressalta-se que Lompar *et al.*, (2019), compararam os dados de temperatura do ar da reanálise ERA5-land com dados de estações na Europa e concluíram que, na ausência de dados observados nas estações, os dados da reanálise podem ser utilizados, pois representam muito bem os dados observados. Com relação aos dados de precipitação o maior erro absoluto médio percentual foi de 14,05%, no decêndio 11, que não é um valor ótimo, mas não é um resultado ruim. Entretanto, para as demais localidades, Tabelas apresentadas no Apêndice, observam-se valores relativamente elevados, principalmente em Bom Jesus da Lapa, porém no caso de localidades com precipitação muito baixa, próximo de zero, MAPE elevado não necessariamente apresenta resultado desanimadores, pois se tem a diferença absoluta dividida pelo valor observado, sendo este próximo de zero, mesmo a diferença absoluta sendo pequena apresenta MAPE elevado, contudo, em outras situações um MAPE elevado pode realmente ser um sinal que os valores são realmente muito diferentes. Portanto, cada caso deve ser cautelosamente analisado.

Tabela 4. Valores do erro absoluto médio percentual para temperatura do ar máxima e mínima, Umidade relativa média do ar, velocidade média do vento, evapotranspiração de referência e precipitação organizados por decêndios.

| DEC | MAPE - Cipó |       |        |        |                 |       |
|-----|-------------|-------|--------|--------|-----------------|-------|
|     | T max       | T min | UR med | VV med | ET <sub>0</sub> | PRP   |
| 1   | 0,58        | 0,08  | 1,17   | 1,18   | 1,27            | 6,18  |
| 2   | 0,60        | 0,12  | 1,26   | 1,91   | 1,26            | 2,19  |
| 3   | 0,57        | 0,09  | 0,98   | 1,10   | 1,05            | 1,33  |
| 4   | 0,55        | 0,11  | 1,07   | 1,30   | 0,77            | 3,93  |
| 5   | 0,56        | 0,15  | 0,96   | 0,84   | 0,45            | 2,92  |
| 6   | 0,56        | 0,05  | 0,95   | 0,33   | 0,38            | 0,08  |
| 7   | 0,57        | 0,10  | 1,15   | 0,23   | 0,87            | 9,08  |
| 8   | 0,59        | 0,07  | 1,04   | 0,46   | 0,81            | 1,26  |
| 9   | 0,53        | 0,17  | 0,78   | 0,43   | 0,98            | 0,99  |
| 10  | 0,47        | 0,06  | 0,73   | 0,13   | 0,75            | 4,82  |
| 11  | 0,52        | 0,12  | 0,78   | 0,20   | 0,93            | 14,05 |
| 12  | 0,55        | 0,08  | 0,59   | 0,56   | 0,56            | 3,21  |
| 13  | 0,52        | 0,06  | 0,43   | 0,49   | 0,39            | 0,71  |
| 14  | 0,52        | 0,26  | 0,46   | 0,73   | 0,64            | 3,46  |
| 15  | 0,55        | 0,13  | 0,41   | 0,58   | 0,66            | 1,42  |
| 16  | 0,49        | 0,22  | 0,04   | 0,28   | 0,21            | 0,39  |
| 17  | 0,52        | 0,15  | 0,07   | 1,54   | 0,08            | 3,42  |
| 18  | 0,50        | 0,24  | 0,09   | 0,12   | 0,12            | 1,74  |
| 19  | 0,55        | 0,40  | 0,07   | 0,89   | 0,02            | 1,32  |
| 20  | 0,46        | 0,38  | 0,21   | 0,64   | 0,23            | 2,87  |
| 21  | 0,48        | 0,48  | 0,04   | 0,56   | 0,15            | 0,33  |
| 22  | 0,53        | 0,33  | 0,08   | 0,09   | 0,16            | 2,12  |
| 23  | 0,64        | 0,31  | 0,01   | 0,51   | 0,56            | 2,79  |
| 24  | 0,63        | 0,22  | 0,38   | 0,38   | 0,77            | 0,40  |
| 25  | 0,46        | 0,41  | 0,15   | 0,11   | 0,37            | 3,35  |
| 26  | 0,50        | 0,17  | 0,39   | 0,07   | 0,49            | 1,13  |
| 27  | 0,52        | 0,19  | 0,41   | 0,72   | 0,04            | 1,48  |
| 28  | 0,40        | 0,20  | 0,52   | 0,14   | 0,69            | 2,87  |
| 29  | 0,41        | 0,07  | 0,65   | 0,24   | 0,74            | 1,46  |
| 30  | 0,43        | 0,11  | 0,79   | 0,62   | 0,69            | 0,38  |
| 31  | 0,38        | 0,12  | 0,84   | 0,02   | 0,48            | 1,28  |
| 32  | 0,50        | 0,07  | 1,01   | 0,48   | 0,64            | 5,48  |
| 33  | 0,58        | 0,09  | 0,95   | 0,68   | 1,20            | 0,97  |
| 34  | 0,46        | 0,02  | 1,08   | 0,04   | 0,77            | 0,60  |
| 35  | 0,40        | 0,04  | 0,67   | 1,50   | 0,37            | 1,32  |
| 36  | 0,52        | 0,08  | 1,15   | 0,92   | 1,08            | 2,43  |

#### **5.1.4 Erro médio absoluto**

Os resultados obtidos para MAE, apresentado na Tabela 5, também mostram que na ausência de valores observados na estação os dados da reanálise do ERA5-land podem ser utilizados, principalmente, temperatura do ar máxima e mínima, umidade relativa e velocidade do vento em 10 m de altura.

Tabela 5. Valores do erro médio absoluto para temperatura do ar máxima e mínima, Umidade relativa média do ar, velocidade média do vento, evapotranspiração de referência e precipitação organizados por decêndios.

| DEC | MAE - Cipó |       |        |        |      |       |
|-----|------------|-------|--------|--------|------|-------|
|     | T max      | T min | UR med | VV med | ETo  | PRP   |
| 1   | 1,97       | 0,17  | 7,19   | 0,38   | 7,56 | 5,50  |
| 2   | 2,07       | 0,26  | 7,61   | 0,67   | 7,59 | 2,74  |
| 3   | 1,96       | 0,20  | 6,07   | 0,35   | 6,01 | 2,00  |
| 4   | 1,91       | 0,24  | 6,51   | 0,34   | 4,11 | 4,01  |
| 5   | 1,92       | 0,33  | 6,04   | 0,23   | 2,47 | 4,51  |
| 6   | 1,95       | 0,12  | 5,95   | 0,09   | 1,74 | 0,05  |
| 7   | 1,98       | 0,23  | 7,11   | 0,07   | 4,97 | 7,25  |
| 8   | 2,04       | 0,15  | 6,55   | 0,11   | 4,40 | 2,86  |
| 9   | 1,82       | 0,37  | 5,08   | 0,13   | 5,87 | 2,13  |
| 10  | 1,57       | 0,14  | 4,89   | 0,04   | 3,73 | 9,40  |
| 11  | 1,73       | 0,27  | 5,29   | 0,05   | 4,41 | 9,98  |
| 12  | 1,77       | 0,18  | 4,12   | 0,15   | 2,40 | 5,41  |
| 13  | 1,63       | 0,13  | 3,08   | 0,13   | 1,50 | 1,57  |
| 14  | 1,63       | 0,55  | 3,29   | 0,19   | 2,44 | 3,89  |
| 15  | 1,68       | 0,28  | 3,03   | 0,15   | 2,56 | 2,14  |
| 16  | 1,43       | 0,45  | 0,32   | 0,09   | 0,67 | 0,82  |
| 17  | 1,47       | 0,29  | 0,55   | 0,39   | 0,24 | 5,75  |
| 18  | 1,42       | 0,47  | 0,74   | 0,03   | 0,28 | 2,94  |
| 19  | 1,58       | 0,74  | 0,56   | 0,23   | 0,05 | 1,76  |
| 20  | 1,29       | 0,71  | 1,69   | 0,18   | 0,70 | 6,13  |
| 21  | 1,36       | 0,87  | 0,34   | 0,16   | 0,55 | 0,42  |
| 22  | 1,50       | 0,61  | 0,63   | 0,03   | 0,53 | 3,80  |
| 23  | 1,82       | 0,56  | 0,04   | 0,15   | 1,98 | 2,70  |
| 24  | 1,86       | 0,41  | 2,75   | 0,11   | 3,43 | 0,49  |
| 25  | 1,40       | 0,77  | 1,06   | 0,03   | 1,60 | 2,58  |
| 26  | 1,55       | 0,33  | 2,71   | 0,02   | 2,33 | 1,00  |
| 27  | 1,63       | 0,37  | 2,77   | 0,21   | 0,17 | 1,67  |
| 28  | 1,31       | 0,41  | 3,35   | 0,04   | 3,46 | 1,63  |
| 29  | 1,34       | 0,14  | 4,17   | 0,08   | 4,09 | 1,66  |
| 30  | 1,45       | 0,23  | 4,85   | 0,22   | 4,53 | 0,13  |
| 31  | 1,27       | 0,25  | 5,20   | 0,01   | 2,70 | 1,34  |
| 32  | 1,71       | 0,15  | 6,22   | 0,16   | 3,78 | 18,73 |
| 33  | 1,94       | 0,20  | 5,99   | 0,21   | 6,88 | 2,64  |
| 34  | 1,60       | 0,04  | 6,45   | 0,01   | 4,62 | 1,33  |
| 35  | 1,37       | 0,09  | 4,19   | 0,39   | 2,11 | 1,85  |
| 36  | 1,80       | 0,17  | 7,03   | 0,30   | 7,07 | 3,46  |

### 5.1.5 Estatística média geral

A estatística média geral dos erros é mostrada na Tabela 6, cujos resultados são decorrentes dos valores médios individuais apresentado nas Tabelas de 2 a 5. Como pode ser observado os resultados validam aceitação dos dados da reanálise na ausência de dados observados, principalmente, temperatura do ar máxima e mínima, umidade relativa e velocidade do vento a 10 m de altura.

Tabela 6. Valores do erro quadrado médio, erro padrão de estimativa, erro absoluto médio percentual e erro médio absoluto para temperatura do ar máxima e mínima, Umidade relativa média do ar, velocidade média do vento, evapotranspiração de referência e precipitação em uma média geral de todos os decêndios.

|      | T max | T min | UR med | VV med | Eto  | PRP   |
|------|-------|-------|--------|--------|------|-------|
| RMSE | 1,76  | 0,61  | 5,63   | 0,57   | 5,22 | 11,58 |
| EPE  | 1,86  | 0,64  | 5,94   | 0,60   | 5,51 | 12,21 |
| MAPE | 0,52  | 0,16  | 0,62   | 0,58   | 0,60 | 2,60  |
| MAE  | 1,66  | 0,33  | 3,98   | 0,17   | 3,15 | 3,51  |

Vale ressaltar que outros pesquisadores, como Araújo *et al.* (2022), compararam temperatura do ar de estações meteorológicas e reanálises de dados ERA5-Land, em Pernambuco; Siefert *et al.* (2021) e Fernandes *et al.* (2021) compararam dados de velocidade do vento 10m acima do solo de estações com dados de reanálise do ERA5-Land no Brasil, concluindo que este último é confiável e útil, e pode ser usado com segurança.

## 5.2 ZONEAMENTO AGRÍCOLA DE RISCO CLIMÁTICO

Foram feitas simulações do zoneamento agrícola de risco climático através do balanço hídrico da cultura do milho organizados em decêndios, com base na evapotranspiração de Penman-Monteith, Kc e AWC variáveis. Os dados meteorológicos da estação do INMET foram incorporados na simulação descrita como “Estação”, contou-se também com a utilização de dados de reanálise exposto na tabela como “Reanálise”, além disso, uma terceira simulação com dados de ambas as fontes nomeada de “Híbrida”, na qual foi utilizando dados de precipitação da estação meteorológica e de reanálise para as demais variáveis meteorológicas, uma vez que a precipitação é uma variável observada localmente em uma grande quantidade de municípios. Estes três tipos de simulações foram formulados para

mostrar o desempenho da reanálise e do projeto de precipitação CPC através do comportamento simulado pelo BHC, e são exibidos de forma detalhada na subseção abaixo.

### 5.2.1 Alagoinhas

As datas recomendadas para o plantio em Alagoinhas, conforme simulação do balanço hídrico da cultura, estão organizadas na Tabela 7. A data inicial foi o oitavo decêndio do ano nas três simulações (dados de estações meteorológicas, reanálise e dados do Projeto de Precipitação CPC/NOAA, e dados híbridos). O prazo para plantio também foi o mesmo em todas as simulações, mas variou de acordo com a duração do ciclo. Tanto as simulações com os dados de reanálise quanto com os dados híbridos descreveram o mesmo período da simulação baseada nos dados das estações meteorológicas, confirmando assim que os dados estimados podem ser utilizados no ZARC para o milho no município.

O ZARC publicado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento na Portaria nº 160, de 19 de maio de 2023, no Diário Oficial da União considera o plantio de milho com frequência de 80%, e organizados em decêndios. Para o ciclo precoce de 10 a 17, 10 a 18 e 10 a 19; para o ciclo de 10 a 16, 10 a 17 e 10 a 17; e para o ciclo tardio com períodos de dez dias 10 a 14, 10 a 15 e 10 a 16 para texturas de solo arenoso, médio e argiloso, respectivamente (MAPA, 2023). Há uma clara semelhança entre as datas recomendadas para plantio de milho encontradas no presente estudo e dos anos-safra 2022/2023 e 2023/2024 realizados MAPA (MAPA, 2022; MAPA, 2023). Além disso, a discrepância inicial de dois dias pode ser explicada pelas diferentes metodologias aplicadas, como a utilização de diferentes WRSI para início do plantio e AWC variável.

Tabela 7. Recomendações de plantio no município de Alagoinhas.

| Alagoinhas | Ciclo (decêndio) |        |        |
|------------|------------------|--------|--------|
|            | Precoce          | Médio  | Tardio |
| Estação    | 8 a 20           | 8 a 18 | 8 a 16 |
| Reanálise  | 8 a 20           | 8 a 18 | 8 a 16 |
| Híbrido    | 8 a 20           | 8 a 18 | 8 a 16 |

Para Albuquerque e Resende (2007) o período de máxima exigência de água na cultura do milho é na fase do embonecamento/florescimento ou um pouco depois dele, por isso déficits de água que ocorrem nesse período são os que provocam maiores reduções de produtividade. Dessa forma, na simulação da estação (Apêndice G) o período com excedente

hídrico compreende todo o período que o cultivo necessita de água para o seu desenvolvimento. O mesmo foi observado na simulação da reanálise (Apêndice H) e híbrido (Figura 5) cujo os gráficos apresentam o período com excedente hídrico e indicam as fases fenológicas da planta durante cada decêndio. Em paralelo, Casanovas *et al.* (2003) constataram que as secas durante o período de floração do milho afetaram negativamente a fisiologia foliar e a produtividade de grãos e, assim, os déficits hídricos nesse período causaram as maiores perdas de produtividade.

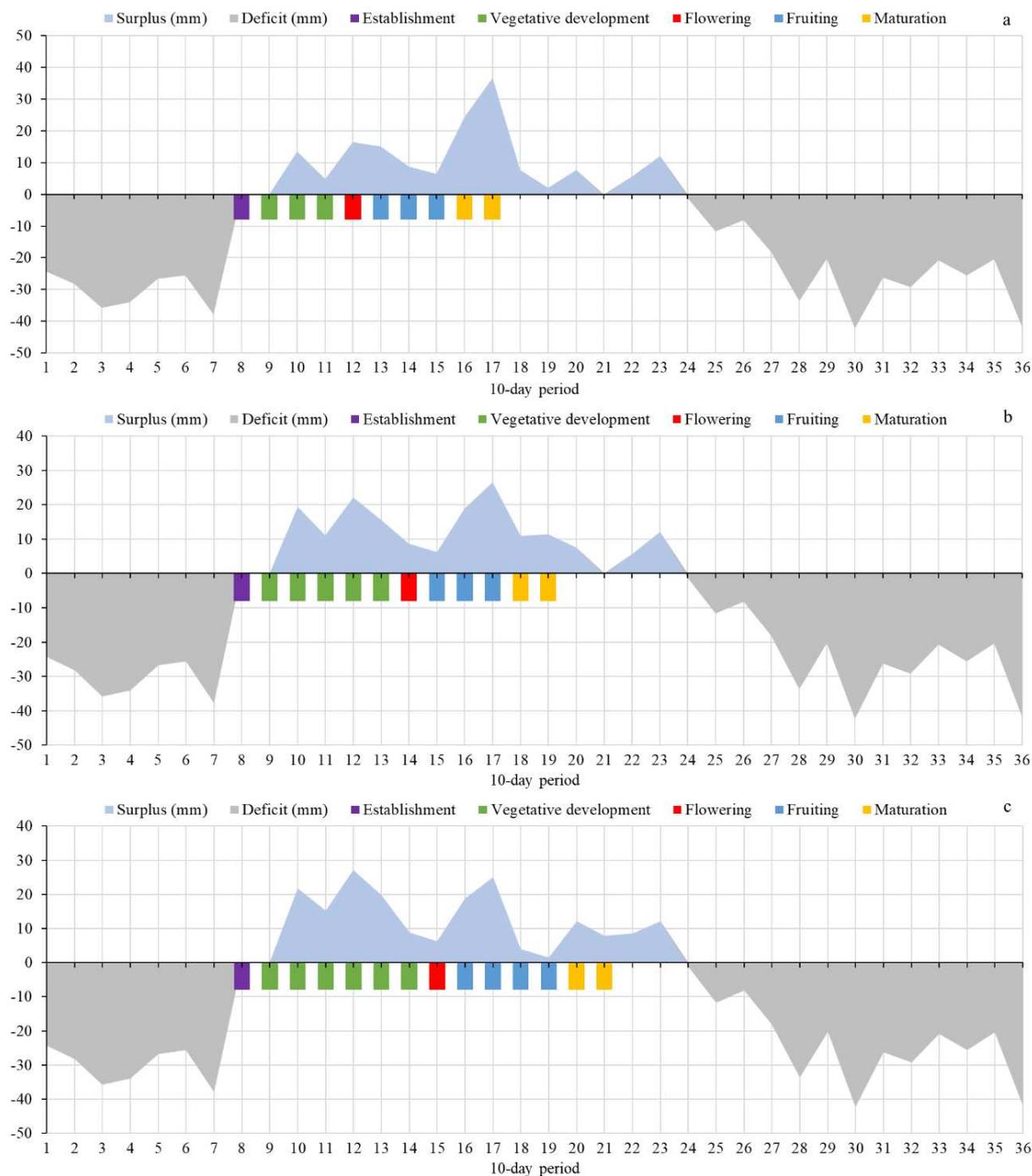


Figura 5. Balanço hídrico do milho para o município de Alagoins com as fases fenológicas da planta nos ciclos precoce (a), médio (b) e tardio (c). Simulações com os dados híbridos.

### 5.2.2 Bom Jesus da Lapa

As simulações do balanço hídrico para o milho em Bom Jesus da Lapa indicam períodos semelhantes com recomendações de plantio, com as diferentes bases de dados utilizadas (Tabela 8). A similaridade entre os resultados encontrados corrobora para reafirmar a precisão da utilização dos dados ERA5-Land e do Projeto de Precipitação CPC/NOAA.

Tabela 8. Recomendações de plantio no município de Bom Jesus da Lapa.

| Bom Jesus<br>da Lapa | Ciclo médio (decêndio) |         |         |
|----------------------|------------------------|---------|---------|
|                      | Precoce                | Médio   | Tardio  |
| Estação              | 31 a 3                 | 31 a 1  | 31 a 35 |
| Reanálise            | 31 a 2                 | 31 a 36 | 31 a 35 |
| Híbrido              | 31 a 3                 | 31 a 1  | 31 a 35 |

O extrato do BHC exposto nos gráficos da reanálise exibido (Apêndice J) e híbrido (Figura 6) provaram sua correlação com a estação (Apêndice I) mostrando comportamento similares a ela. Assim como em Alagoinhas, em Bom Jesus da Lapa também existe a maior proximidade entre a as simulações da estação e híbrido, dada ao fato de que a variável de precipitação utilizada nas duas simulações é proveniente da estação meteorológica do INMET em ambos os casos. Entretanto, é importante destacar novamente o bom desempenho da simulação do BHC de reanálise.

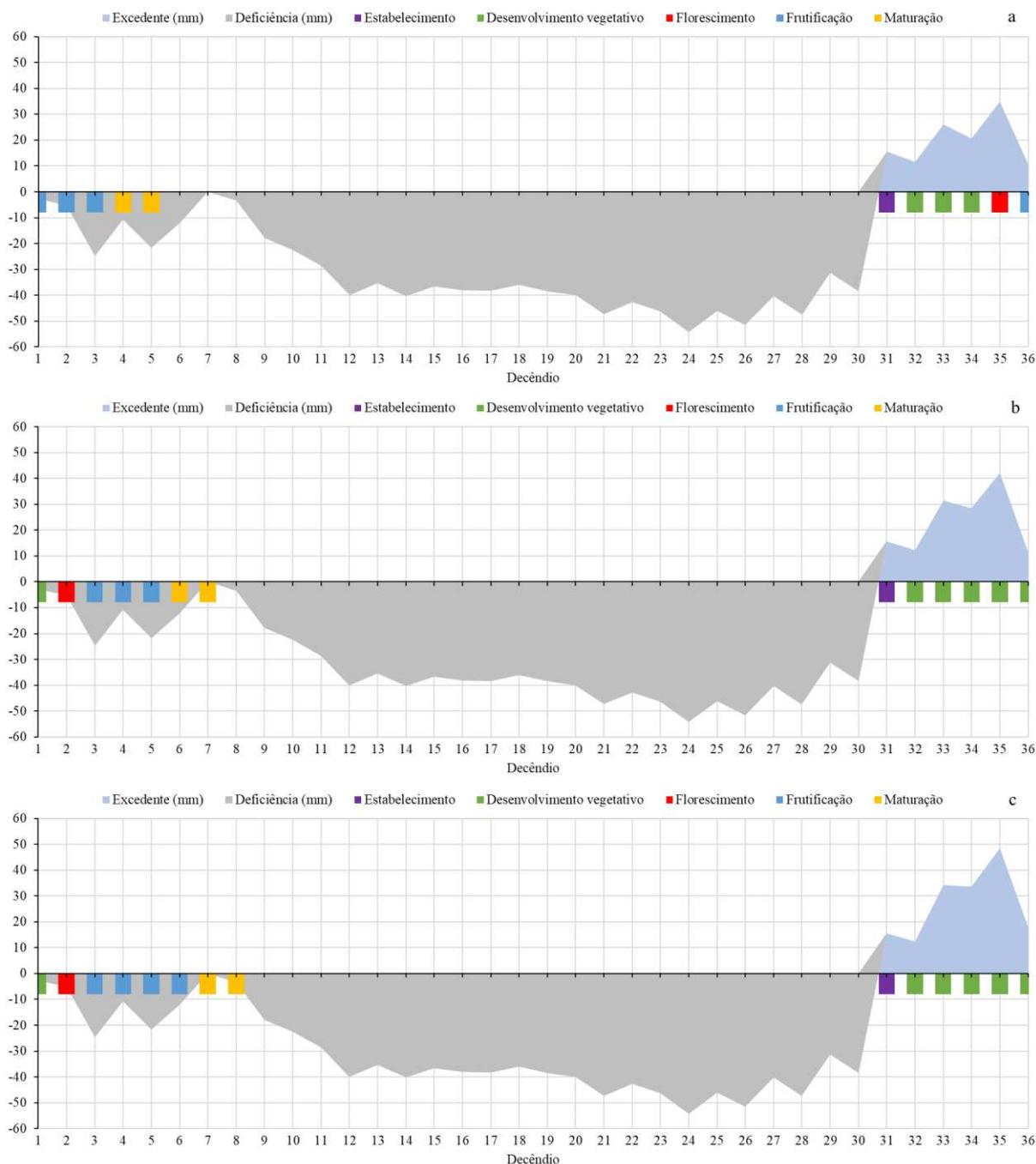


Figura 6. Balanço hídrico do milho para o município de Bom Jesus da Lapa com as fases fenológicas da planta nos ciclos precoce (a), médio (b) e tardio (c). Simulações com os dados híbridos.

### 5.2.3 Cipó

Cipó é o município com menor precipitação anual dentre os sete municípios com estações do INMET, sua precipitação é menor do que  $600 \text{ mm ano}^{-1}$  durante o período do estudo. Segundo as três simulações do BHC, a localidade não possui recomendação para

cultivar de maneira segura o milho de sequeiro com as variedades de ciclo tardio, restando poucos decêndios nos ciclos com menos tempo de cultivo (Tabela 9).

Tabela 9. Recomendações de plantio no município de Cipó.

| Cipó      | Ciclo médio (decêndio) |         |        |
|-----------|------------------------|---------|--------|
|           | Precoce                | Médio   | Tardio |
| Estação   | 13 a 15                | 13      | -      |
| Reanálise | 12 a 15                | 12 a 13 | -      |
| Híbrido   | 13 a 15                | 13      | -      |

Este município possui a peculiaridade do balanço hídrico do milho possuir deficiência hídrica durante todo o ano nas simulações da estação (Apêndice K), reanálise (Apêndice L) e híbrido (Figura 7), na qual a evapotranspiração de referência é sempre superior a precipitação. Por outro lado, as datas recomendadas não dependem somente do excedente hídrico do local, mas do WRSI, que utiliza a razão entre as evapotranspirações real e máxima. Desta forma, o WRSI alcançou o valor mínimo desejado a partir dos decêndios 12 e 13, e se manteve satisfeito até o final do período de enchimento dos grãos do milho nos ciclos precoce e médio.

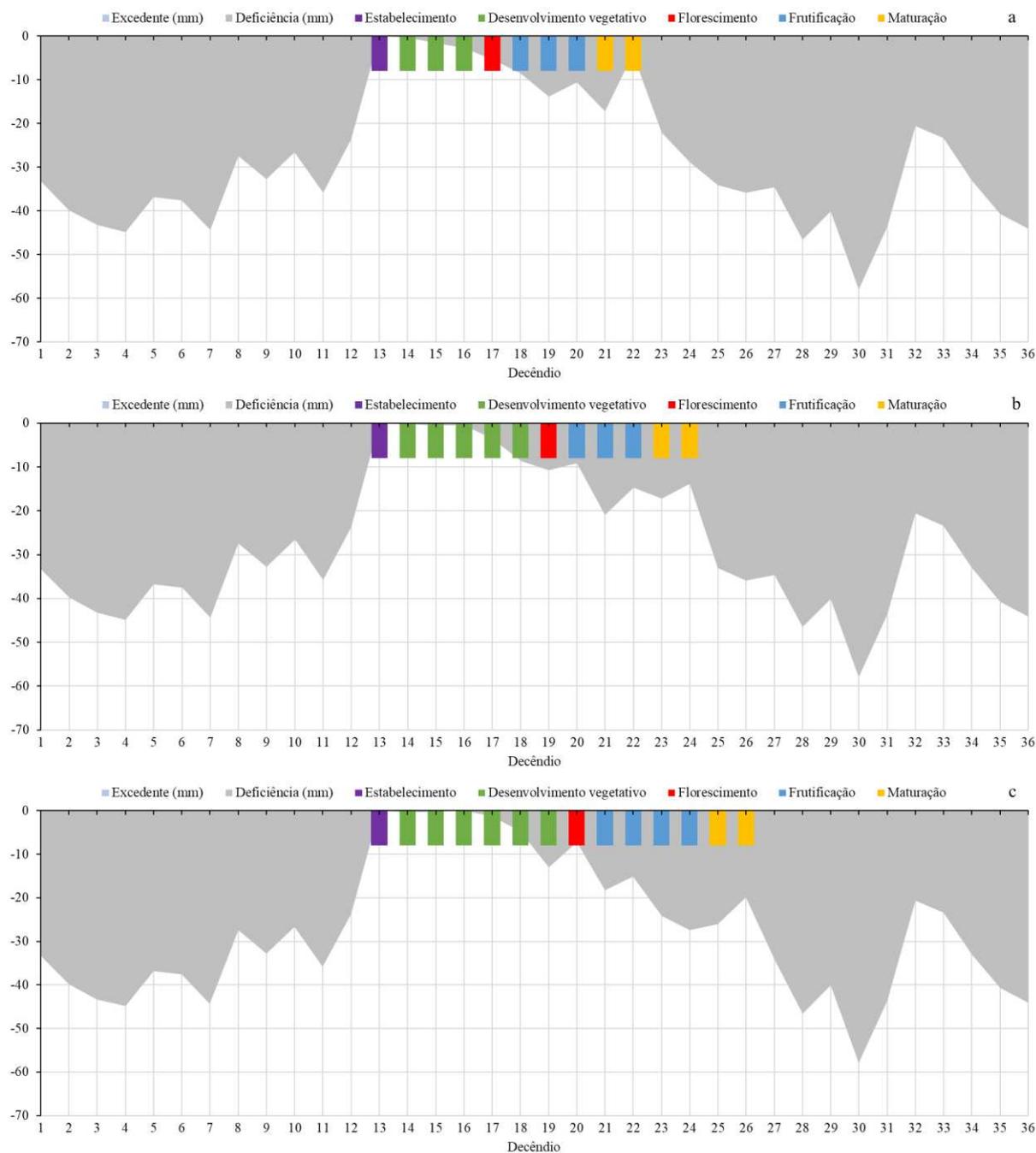


Figura 7. Balanço hídrico do milho para o município de Cipó com as fases fenológicas da planta nos ciclos precoce (a), médio (b) e tardio (c). Simulações com os dados híbridos.

### 5.2.4 Correntina

O município de Correntina possui uma das maiores produções de milho da Bahia e está localizada na região do oeste da Bahia, inserido em uma região denominada de MATOPIBA, uma área de expansão agrícola que abrange parte dos estados do Maranhão (MA), Tocantins (TO), Piauí (PI) e Bahia (BA). A agricultura em Correntina se desenvolveu

com o incentivo de créditos agrícolas provenientes do Governo Federal e Estadual. A inserção do agronegócio ocorreu principalmente nas áreas planas por ser mais apta a agricultura mecanizada e ao longo das estradas devido à facilidade do escoamento da produção. Além disso, a maior precipitação na parte oeste do município estimulou a ocupação inicial do município (PINHEIRO *et al.*, 2016).

Em Correntina o início das recomendações indicadas pelas simulações com os dados da estação, reanálise e híbrido convergem para o decêndio 30 (Tabela 10), com uma janela de plantio para todos os tamanhos de ciclos estudados, conforme todas as simulações realizadas (Figura 8; Apêndice M; Apêndice N). Existindo a discrepância de apenas um decêndio nas simulações com os dados de reanálises e do Projeto de Precipitação CPC/NOAA, este resultado está em concordância com os municípios anteriores analisados.

Tabela 10. Recomendações de plantio no município de Correntina.

| Correntina | Ciclo médio (decêndio) |         |         |
|------------|------------------------|---------|---------|
|            | Precoce                | Médio   | Tardio  |
| Estação    | 30 a 2                 | 30 a 36 | 30 a 34 |
| Reanálise  | 30 a 3                 | 30 a 1  | 30 a 35 |
| Híbrido    | 30 a 3                 | 30 a 1  | 30 a 35 |

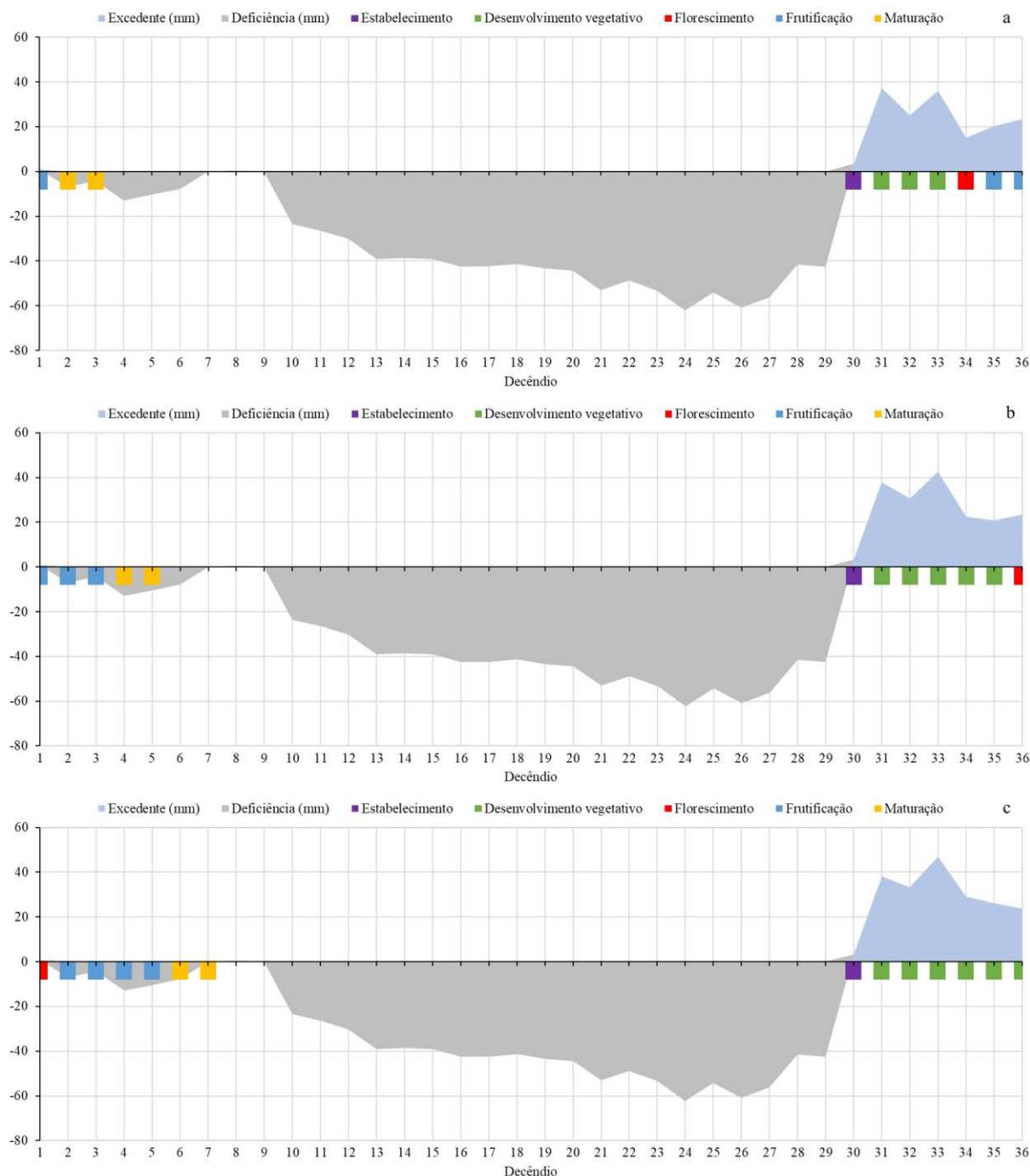


Figura 8. Balanço hídrico do milho para o município de Correntina com as fases fenológicas da planta nos ciclos precoce (a), médio (b) e tardio (c). Simulações com os dados híbridos.

### 5.2.5 Jacobina

As recomendações para os decêndios de plantio para o município de Jacobina indicadas pelas simulações com os dados da estação (Apêndice O), reanálise (Apêndice P) e híbrido (Figura 9) são mostradas na Tabela 11. Conforme a simulação com os dados da estação, Jacobina possui um pequeno período que torna possível o plantio para os ciclos

precoce e médio, dando uma margem de segurança mais restrita em relação às recomendações da reanálise. Além do mais, os resultados divergem da estação no ciclo tardio, em que na simulação com os dados da estação não é possível o cultivo do milho com 140 dias.

A reanálise, neste caso, antecipa as recomendações do início do plantio dois decênios e possui um maior excedente hídrico (Apêndice P), esta diferença entre as recomendações de plantio junto com a fase fenológica do milho que exige mais água do balanço hídrico pode ter gerado a discrepância, permitindo o plantio no ciclo tardio.

Tabela 11. Recomendações de plantio no município de Jacobina.

| Jacobina  | Ciclo médio (decênio) |         |         |
|-----------|-----------------------|---------|---------|
|           | Precoce               | Médio   | Tardio  |
| Estação   | 32 a 2                | 32 a 36 | -       |
| Reanálise | 29 a 2                | 29 a 36 | 29 a 34 |
| Híbrido   | 32 a 3                | 32 a 1  | -       |

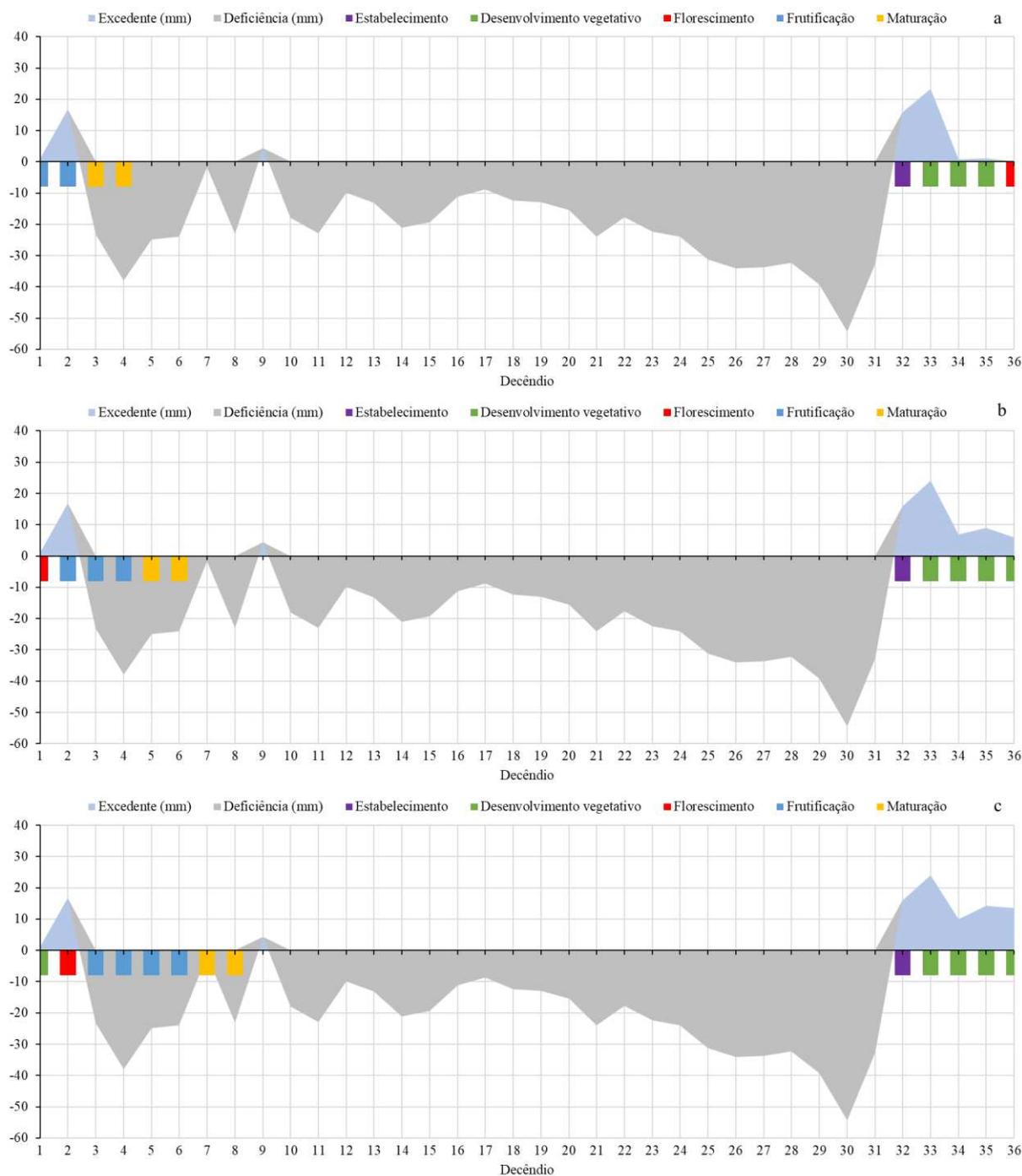


Figura 9. Balanço hídrico do milho para o município de Jacobina com as fases fenológicas da planta nos ciclos precoce (a), médio (b) e tardio (c). Simulações com os dados híbridos.

### 5.2.6 Lençóis

No caso específico do Município de Lençóis a precipitação da estação do INMET é superior à do Projeto de Precipitação CPC/NOAA, prolongando o período com excedente hídrico nas simulações do BHC com dados da estação (Apêndice Q) e híbrido (Figura 10) em

relação ao exibido na reanálise (Apêndice R), apresentando uma situação inversa ao observado em Jacobina.

Cabe ressaltar que as maiores discrepâncias entre as simulações do BHC são encontradas nos municípios de Jacobina e Lençóis, pois estas indicaram recomendações de plantio diferentes, aumentando ou diminuindo a janela de plantio em comparação a simulação com os dados observados das estações do INMET. As localidades apresentaram o maior número de falhas nas observações durante o período do estudo, com até 25% de ausência de dados. Além disso, estão situadas em regiões com a topografia acentuada, o que pode ter gerado a dificuldade para os modelos interpretarem as condições reais dessas regiões.

Tabela 12. Recomendações de plantio no município de Lençóis.

| Lençóis   | Ciclo médio (decêndio) |         |        |
|-----------|------------------------|---------|--------|
|           | Precoce                | Médio   | Tardio |
| Estação   | 30 a 12                | 30 a 10 | 30 a 8 |
| Reanálise | 31 a 3*                | 31      | -      |
| Híbrido   | 30 a 12                | 30 a 10 | 30 a 8 |

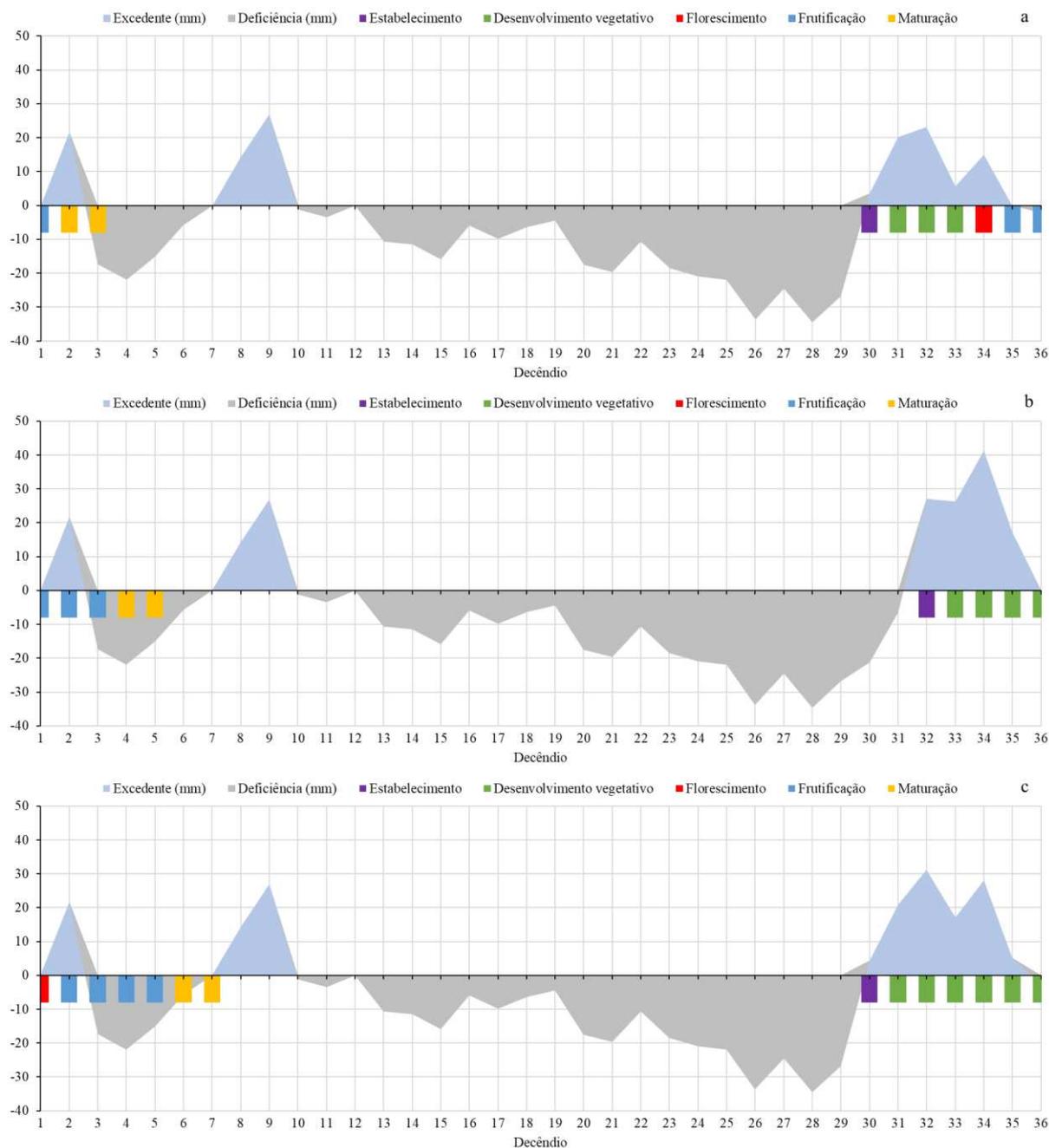


Figura 10. Balanço hídrico do milho para o município de Lençóis com as fases fenológicas da planta nos ciclos precoce (a), médio (b) e tardio (c). Simulações com os dados híbridos.

### 5.2.7 Vitória da Conquista

Assim como a maioria dos municípios analisados, Vitória da Conquista possui recomendações para plantio na primavera austral. Além disso, configura-se com grande deficiência hídrica na maior parte do ano, permitindo recomendações de plantio apenas para o ciclo precoce do milho (Tabela 13).

Tabela 13. Recomendações de plantio no município de Vitória da Conquista.

| Vitória da<br>Conquista | Ciclo médio (decêndio) |       |        |
|-------------------------|------------------------|-------|--------|
|                         | Precoce                | Médio | Tardio |
| Estação                 | 31 a 3                 | -     | -      |
| Reanálise               | 31 a 3                 | -     | -      |
| Híbrido                 | 31 a 3                 | -     | -      |

Ao comparar os três tipos de simulações, nota-se grande semelhança na configuração do BHC entre todos os tipos de conjunto de dados. As simulações da estação (Apêndice S) e reanálise (Apêndice R) apresentam concordância entre si, neste caso, a abordagem híbrida indicou o período coerente com as demais (Figura 11).

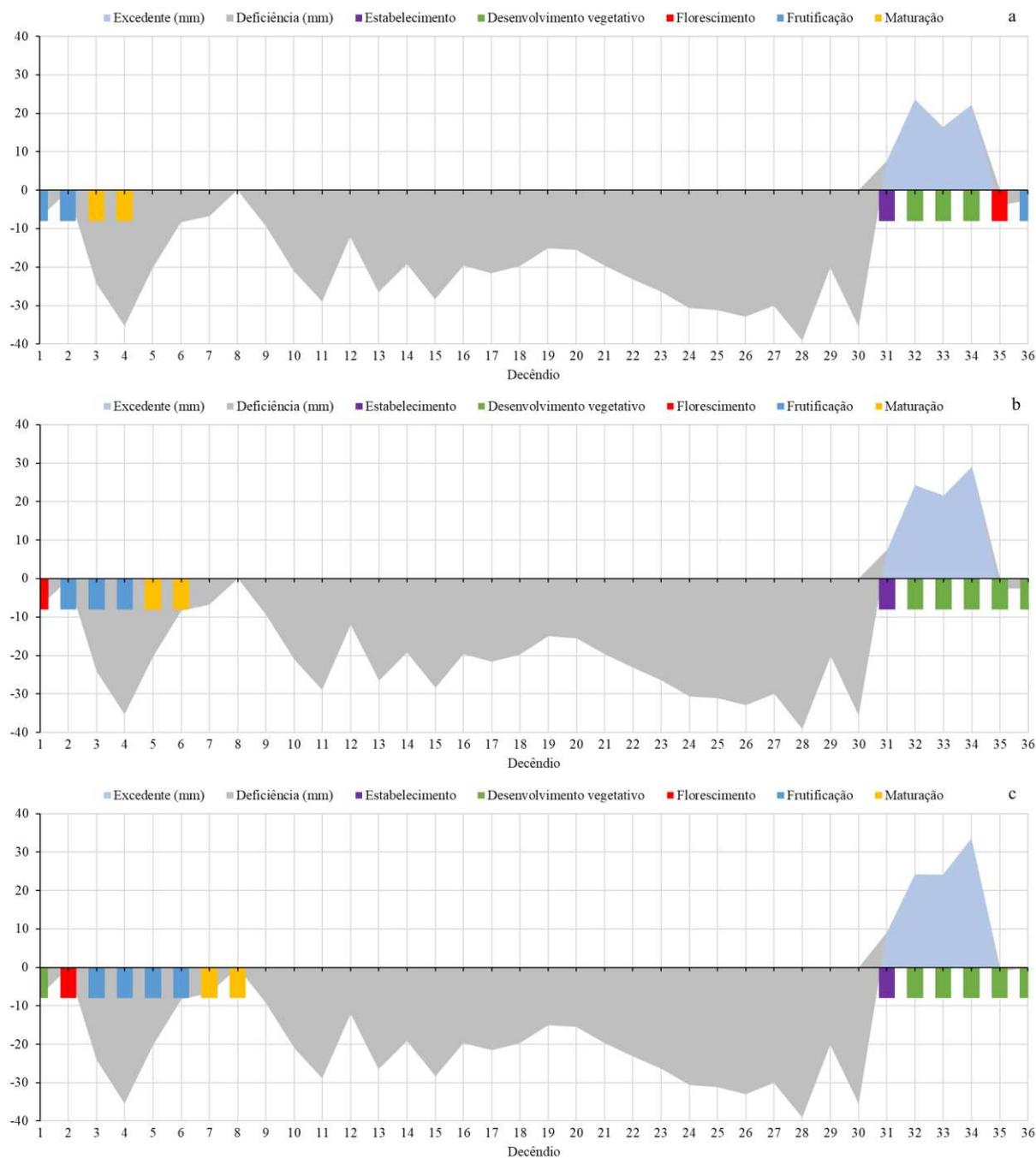


Figura 11. Balanço hídrico do milho para o município de Vitória da Conquista com as fases fenológicas da planta nos ciclos precoce (a), médio (b) e tardio (c). Simulações com os dados híbridos.

### 5.3. ZONEAMENTO AGRÍCOLA DE RISCO CLIMÁTICO PARA O ESTADO DA BAHIA

A Figura 12a mostra o número de decêndios, em cada área quadrilátera de  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ , ao longo do ano, em que é recomendável o plantio de milho de ciclo precoce de sequeiro no estado da Bahia, conforme ZARC realizado para o ciclo precoce. Observam-se áreas que não

possuem um único decêndio recomendado para o cultivo do milho, como o nordeste do estado, até a área sudeste do estado onde o plantio é recomendado o ano todo. Ressalta-se que estas observações são para as condições climáticas, não sendo analisadas outras variáveis, como por exemplo condições do solo.

As recomendações para o plantio de milho de ciclo precoce de sequeiro no estado da Bahia vão desde regiões que não possuem um decêndio recomendado para o cultivo do milho até a faixa litorânea do estado onde o plantio é recomendado durante todo o ano (Figura 12a). A maior região onde o plantio de milho de ciclo precoce não é recomendado é a mesoregião do extremo norte da Bahia (Figura 12a). Isso ocorre porque o estado da Bahia possui a maioria dos municípios (276) com condições secas no NEB (AVALA *et al.*, 2017). Na região semiárida, as maiores precipitações (900 mm) são observadas na região leste e oeste e as precipitações diminuem em direção ao centro, atingindo valores mínimos anuais inferiores a 600 mm no extremo norte da Bahia (LOPES *et al.*, 2019).

Além da mesoregião do extremo norte da Bahia observou-se também que a área centrada na quadricula 12,75° S e 39,75° O do estudo (Figura 12a), não possui recomendação para plantio do milho. Ressalta-se que a área desta quadricula compreende partes dos municípios de Iaçú e Milagres. Esta área isolada sem aptidão para plantio do milho pode ser justificada por ser uma área semiárida que se encontra entre os planaltos da Diamantina e da Conquista-Jequitinhonha conhecida como Depressão Sertaneja Meridional, além de apresentar características irregulares aos volumes pluviais durante a série histórica apresentando secas extremas (JELINEK *et al.*, 2014; SANTOS *et al.*, 2014; SANTOS NETO *et al.*, 2022). Um estudo de Sousa *et al.* (2016) com 73 postos na bacia hidrográfica rio Paraguaçu, a mais importante do estado da Bahia, observou que 5 municípios apresentaram secas extremas, dentre eles as maiores durações de secas foram verificadas em Iaçú, com 34 meses, no período de 1961 a 1963, resultado das mudanças na dinâmica da atmosfera de quando se altera o deslocamento dos sistemas precipitantes.

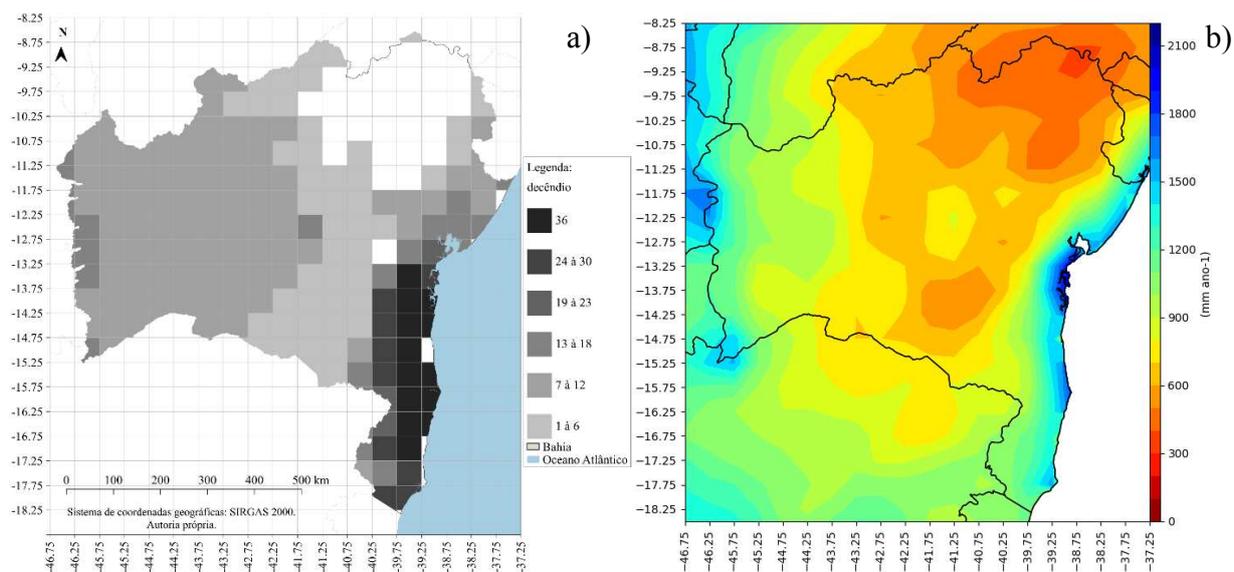


Figura 12. (a) Mapa de áreas com recomendação do plantio de milho no estado da Bahia. (b) Mapa da média anual de precipitação ( $\text{mm ano}^{-1}$ ).

Em contrapartida, o plantio na região litorânea sul é recomendado durante os 36 decêndios (Figura 12a), pois é uma área em que ocorre precipitação o ano inteiro e apresenta pequena variabilidade sazonal da temperatura. Um estudo de Silva *et al.* (2019) que utilizaram o grau de concentração de precipitação (PCD) para o NEB, encontraram valores variando de 0,16 a 0,36 para o litoral sul da Bahia, indicando que as chuvas anuais estão distribuídas uniformemente ao longo do ano, o que pode estar relacionado aos sistemas atmosféricos que operam nesta parte do estado em diferentes estações do ano, como a ZCAS (SIMÕES *et al.*, 2018), SF (KOUSKY, 1979) e DOL (GOMES *et al.*, 2019).

Todas as áreas ao oeste de  $41,75^{\circ}\text{O}$  apresentam pelos menos um decêndio em que o milho pode ser plantado com sucesso do ponto de vista climático, e à medida que se caminha para oeste a quantidade de decêndios com recomendações de plantio aumenta ao longo do ano, chegando a um valor de até 18 decêndios por ano (Figura 12a). Além disso, na mesorregião sul da Bahia, há menor precipitação no noroeste e sudoeste, e maior no nordeste (MENCIA *et al.*, 2021; APARECIDO *et al.*, 2022).

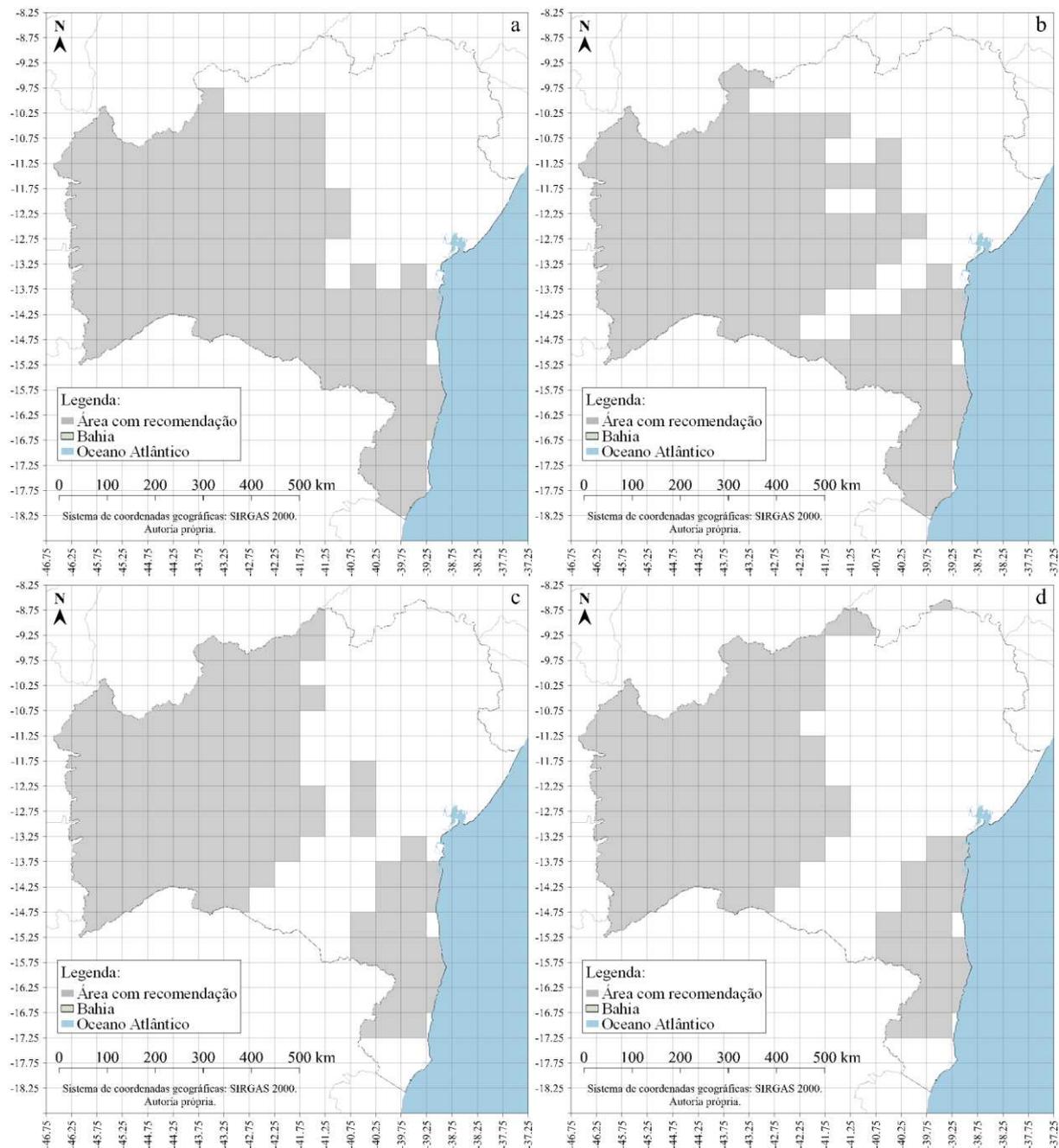
Assumindo que a precipitação é a única forma de entrada de água no sistema de balanço hídrico do milho, nota-se que as recomendações de plantio que coincidem com o período mais chuvoso de cada região e período ativo dos sistemas precipitantes. Adicionalmente, as áreas de maior (menor) precipitação média total anual são as que apresentam o maior (menor) números de decêndios aptos ao plantio de milho (Figura 12b). Isso porque as datas de semeadura de sequeiro estão fortemente correlacionadas com o início da estação chuvosa (FONSECA *et al.*, 2022).

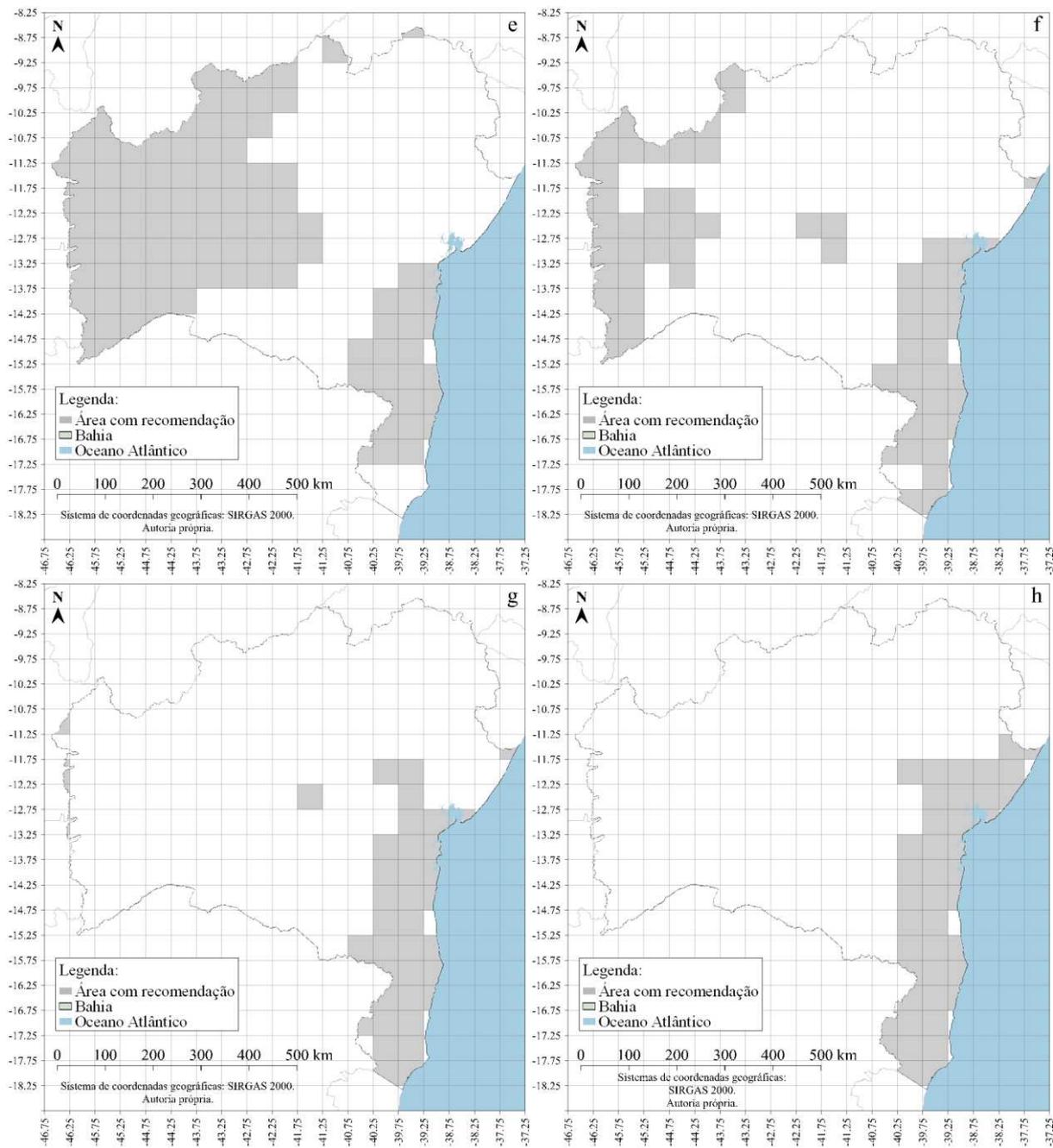
As análises das épocas adequadas para o cultivo do milho para as demais áreas geográficas do estado são apresentadas na subseção seguinte, totalizando 232 áreas para cada tipo de ciclo. Como dito anteriormente, a distribuição temporal das recomendações de plantio está de acordo com a influência direta da precipitação local e pode ser evidenciada através do volume de precipitação ao longo do ano, de janeiro à dezembro (Apêndice U).

### 5.3.1 Recomendações de plantio

A Figura 13 apresenta as recomendações para plantio de milho de sequeiro de ciclo precoce no estado da Bahia, com ocorrência de 80%, para os decêndios 30 e 31 (Figura 13a), 32 e 33 (Figura 13b), 34 e 35 (Figura 13c), 36 e 1 (Figura 13d), 2 e 3 (Figura 13e) que estão associados ao principal período chuvoso na maior parte do estado da Bahia, incluindo o semiárido, que ocorre a partir de novembro a março, com taxas máximas de precipitação em dezembro (KOUSKY & CHU, 1978; RAO & HADA, 1990; SOUZA & NASCIMENTO, 2020). As chuvas neste período estão associadas à penetração de SF ou seus vestígios (Kousky 1979), ZCAS (ROSA *et al.*, 2020; SIMÕES *et al.*, 2020; PEZZI *et al.*, 2022), ASAS (Chaves e Nobre 2004) e VCANS (KOUSKY & GAN, 1981; MORAIS *et al.* 2021; REIS *et al.*, 2021; ESCOBAR & REBOITA, 2022). Reis *et al.* (2021) estudaram a distribuição espacial dos VCANS por um período de 37 anos e constataram que o leste do estado da Bahia e quase toda sua região costeira estão entre as regiões do Nordeste com maior ocorrência de precipitação associada a este sistema.

No setor leste do estado, ou seja, em toda a faixa litorânea, as chuvas mais intensas ocorrem de abril a agosto, correspondendo aos decêndios 4 e 5 (Figura 13f), 6 e 7 (Figura 13g), 8 e 9 (Figura 13h), 10 e 11 (Figura 13i), 12 e 13 (Figura 13j), 14 e 15 (Figura 13k) e 16 e 17 (Figura 13l) que, de acordo com Yamazaki e Rao (1977) e Gomes *et al.* (2019), são chuvas resultantes de DOL. Contudo, Kousky (1980) constatou que na parte oriental do NEB, incluindo praticamente todo o litoral baiano, as chuvas mais intensas observadas nos meses de abril a junho são, em grande parte, explicadas pela interação entre a circulação da Brisa Terrestre e ventos alísios de leste e sudeste. Tal interação impõe um pico de precipitação noturna. As chuvas no litoral também são explicadas pela modulação dos ventos alísios e da ASAS e por vestígios de SF (KOUSKY, 1979; RAO *et al.*, 1993).





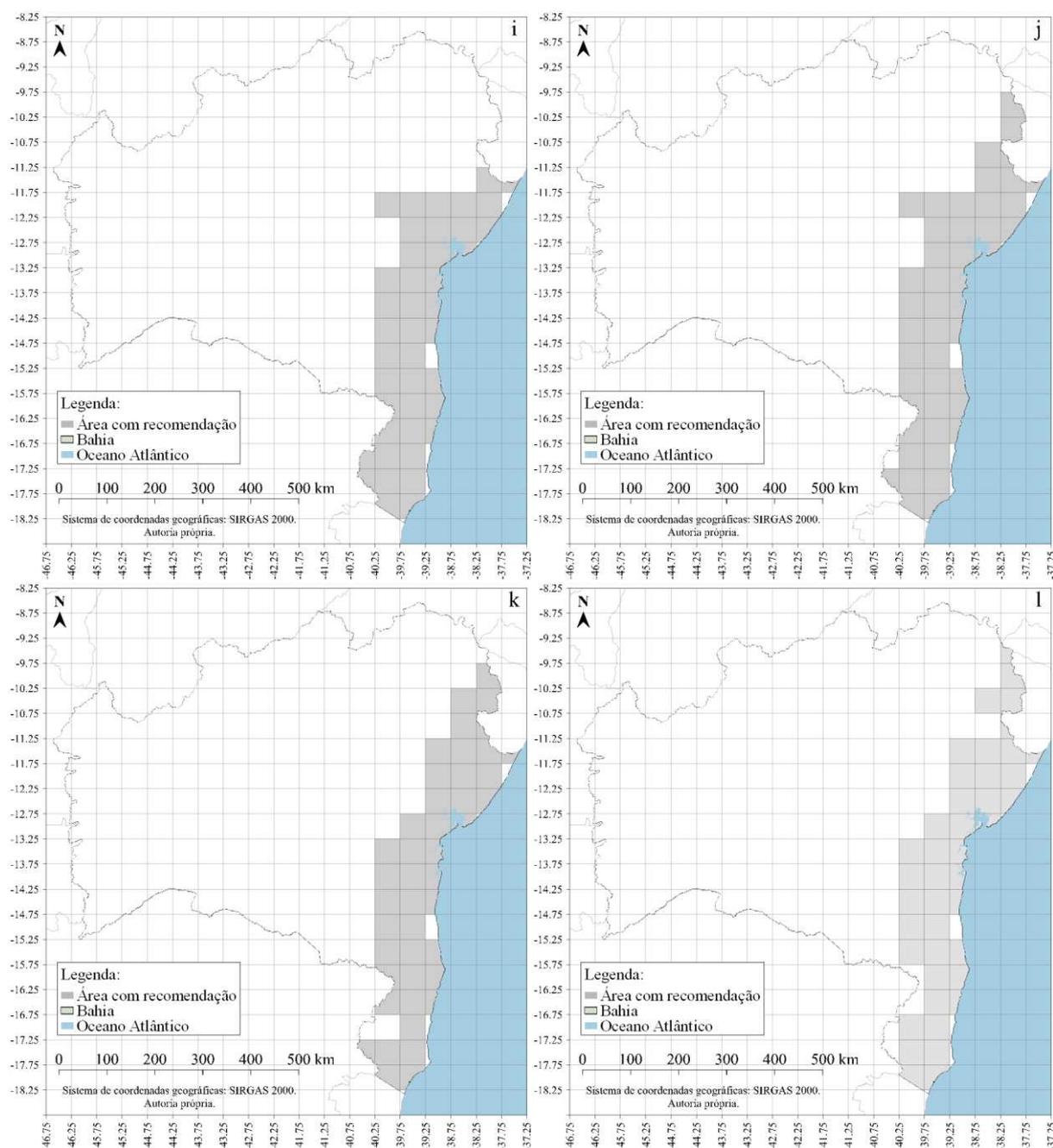


Figura 13. Recomendações de plantio de milho de ciclo precoce no estado da Bahia, utilizando o modelo ERA5-Land e o Projeto de Precipitação CPC. (a) Decêndios 30 e 31, de 21 de outubro a 10 de novembro. (b) Decêndios 32 e 33, de 11 de novembro a 30 de novembro. (c) Decêndios 34 e 35, de 1º de dezembro a 20 de dezembro. (d) Decêndios 36 e 1, de 21 de dezembro a 10 de janeiro. (e) Decêndios 2 e 3, de 11 a 31 de janeiro. (f) Decêndios 4 e 5, de 1º a 20 de fevereiro. (g) Decêndios 6 e 7, de 21 de fevereiro a 10 de março. (h) Decêndios 8 e 9, de 11 a 31 de março. (i) Decêndios 10 e 11, de 1º a 20 de abril. (j) Decêndios 12 e 13, de 21 de abril a 10 de maio. (k) Decêndios 14 e 15, de 11 a 31 de maio. (l) Decêndios 16 e 17, de 1º a 20 de junho.

O ZARC para os ciclos médio e tardio indicaram datas adequadas e inadequadas para o plantio de milho na Bahia. Devido ao seu tamanho, foram divididos em duas partes e

compreendem 232 áreas, começando da região oeste até a região central do estado (Tabela 14a) e da região central até a região leste (Tabela 14b).

Em relação ao ciclo inicial, as datas de plantio dos ciclos médio e tardio em cada área de estudo são mais restritas, com exceção da zona costeira sul onde é recomendado o plantio durante todo o ano para os ciclos precoce, médio e tardio. Naturalmente, áreas não recomendadas para plantio do ciclo inicial também não foram recomendadas para os demais ciclos. E áreas com indicação para poucos decêndios ao ano para plantio do ciclo precoce não foram recomendadas para o ciclo médio, acompanhando esta tendência à medida que aumentam o número de dias necessários para completar o ciclo.

Tabela 14. (a) Datas, em decêndios do ano, recomendadas para plantio do milho de ciclo médio e tardio no estado da Bahia, começando da região oeste até a região central.

| Longitude | Latitude | Ciclo médio | Ciclo tardio | Longitude | Latitude | Ciclo médio | Ciclo tardio | Longitude | Latitude | Ciclo médio | Ciclo tardio | Longitude | Latitude | Ciclo médio | Ciclo tardio |
|-----------|----------|-------------|--------------|-----------|----------|-------------|--------------|-----------|----------|-------------|--------------|-----------|----------|-------------|--------------|
| 46,25     | 13,75    | 30 a 3      | 30 a 1       | 44,75     | 10,75    | 30 a 2      | 30 a 36      | 43,25     | 9,75     | 31 a 2      | 31 a 36      | 42,25     | 12,25    | 31          | -            |
| 46,25     | 13,25    | 29 a 3      | 29 a 1       | 44,75     | 11,25    | 29 a 36     | 29 a 34      | 43,25     | 10,25    | 31 a 36     | 31 a 34      | 42,25     | 12,75    | 31 a 36     | 31 a 34      |
| 46,25     | 12,25    | 29 a 4      | 29 a 2       | 44,75     | 12,25    | 29 a 2      | 29 a 36      | 43,25     | 11,25    | 31 a 1      | 31 a 35      | 42,25     | 13,75    | 31 a 35     | 31 a 33      |
| 46,25     | 11,75    | 29 a 4      | 29 a 2       | 44,75     | 12,75    | 30 a 2      | 30 a 36      | 43,25     | 11,75    | 31 a 36     | 31 a 34      | 42,25     | 14,25    | -           | -            |
| 46,25     | 11,25    | 29 a 4      | 29 a 2       | 44,75     | 13,25    | 30 a 1      | 30 a 35      | 43,25     | 12,25    | 31 a 36     | 31 a 34      | 42,25     | 14,75    | 31          | -            |
| 46,25     | 10,75    | 29 a 4      | 29 a 2       | 44,75     | 13,75    | 30 a 36     | 30 a 34      | 43,25     | 12,75    | 31 a 1      | 31 a 35      | 41,75     | 8,75     | 35 a 1      | -            |
| 45,75     | 10,25    | 29 a 2      | 29 a 36      | 44,75     | 14,25    | 30 a 36     | 30 a 34      | 43,25     | 13,25    | 31 a 36     | 31 a 35      | 41,75     | 9,25     | 35 a 36     | -            |
| 45,75     | 10,75    | 29 a 2      | 29 a 36      | 44,25     | 10,25    | 30 a 2      | 30 a 36      | 43,25     | 13,75    | 31 a 35     | 31 a 33      | 41,75     | 9,75     | 35 a 2      | -            |
| 45,75     | 11,25    | 29 a 2      | 29 a 36      | 44,25     | 10,75    | 30 a 2      | 30 a 36      | 43,25     | 14,25    | 31 a 35     | 31 a 33      | 41,75     | 10,25    | 31 a 35     | 31 a 33      |
| 45,75     | 11,75    | 29 a 2      | 29 a 36      | 44,25     | 11,25    | 31 a 2      | 31 a 36      | 43,25     | 14,75    | 31 a 35     | 31 a 33      | 41,75     | 10,75    | 31 a 32     | -            |
| 45,75     | 12,25    | 29 a 3      | 29 a 1       | 44,25     | 11,75    | 29 a 2      | 29 a 36      | 42,75     | 9,25     | 32 a 36     | 32 a 34      | 41,75     | 11,25    | 31 a 36     | 31 a 34      |
| 45,75     | 12,75    | 29 a 3      | 29 a 1       | 44,25     | 12,25    | 30 a 2      | 30 a 36      | 42,75     | 9,75     | 35 a 1      | 35 a 1       | 41,75     | 11,75    | 31 a 36     | 31 a 29      |
| 45,75     | 13,25    | 29 a 3      | 29 a 1       | 44,25     | 12,75    | 30 a 2      | 30 a 36      | 42,75     | 10,25    | 31 a 36     | 31 a 34      | 41,75     | 12,25    | 31 a 3      | 31 a 29      |
| 45,75     | 13,75    | 30 a 2      | 30 a 36      | 44,25     | 13,25    | 30 a 2      | 30 a 36      | 42,75     | 10,75    | 31 a 36     | 31 a 34      | 41,75     | 12,75    | 31 a 1      | 31 a 35      |
| 45,75     | 14,25    | 29 a 2      | 29 a 36      | 44,25     | 13,75    | 31 a 36     | 31 a 34      | 42,75     | 11,25    | 31 a 36     | 31 a 34      | 41,75     | 13,25    | 31 a 1      | 31 a 35      |
| 45,75     | 14,75    | 28 a 3      | 28 a 1       | 44,25     | 14,25    | 31 a 36     | 31 a 34      | 42,75     | 11,75    | 31 a 36     | 31 a 34      | 41,75     | 13,75    | -           | -            |
| 45,75     | 15,25    | 28 a 2      | 28 a 36      | 43,75     | 9,25     | 32 a 3      | 32 a 1       | 42,75     | 12,25    | 31 a 36     | 31 a 34      | 41,75     | 14,25    | -           | -            |
| 45,25     | 9,75     | 30 a 3      | 30 a 1       | 43,75     | 9,75     | 31 a 2      | 31 a 36      | 42,75     | 12,75    | 31 a 36     | 31 a 34      | 41,75     | 14,75    | -           | -            |
| 45,25     | 10,25    | 30 a 2      | 30 a 36      | 43,75     | 10,25    | 31 a 2      | 31 a 36      | 42,75     | 13,25    | 31 a 36     | 31 a 34      | 41,25     | 8,25     | 35 a 1      | -            |
| 45,25     | 10,75    | 29 a 2      | 29 a 36      | 43,75     | 10,75    | 31 a 2      | 31 a 36      | 42,75     | 13,75    | 31 a 35     | 31 a 35      | 41,25     | 8,75     | -           | -            |
| 45,25     | 11,25    | 29 a 36     | 29 a 34      | 43,75     | 11,25    | 31 a 1      | 31 a 35      | 42,75     | 14,25    | 31 a 35     | 31 a 33      | 41,25     | 9,25     | -           | -            |
| 45,25     | 11,75    | 29 a 36     | 29 a 34      | 43,75     | 11,75    | 31 a 2      | 31 a 36      | 42,75     | 14,75    | 31 a 35     | 31 a 33      | 41,25     | 9,75     | -           | -            |
| 45,25     | 12,25    | 29 a 2      | 29 a 36      | 43,75     | 12,25    | 30 a 2      | 30 a 36      | 42,25     | 9,25     | 35 a 2      | -            | 41,25     | 10,25    | -           | -            |
| 45,25     | 12,75    | 29 a 2      | 29 a 36      | 43,75     | 12,75    | 30 a 1      | 30 a 35      | 42,25     | 9,75     | 35 a 2      | -            | 41,25     | 10,75    | -           | -            |
| 45,25     | 13,25    | 30 a 2      | 30 a 36      | 43,75     | 13,25    | 31 a 36     | 31 a 34      | 42,25     | 10,25    | 31 a 36     | 31 a 34      | 41,25     | 11,25    | -           | -            |
| 45,25     | 13,75    | 30 a 2      | 30 a 36      | 43,75     | 13,75    | 31 a 36     | 31 a 34      | 42,25     | 10,75    | 31 a 35     | 31 a 33      | 41,25     | 11,75    | -           | -            |
| 45,25     | 14,25    | 30 a 2      | 30 a 36      | 43,75     | 14,25    | 31 a 35     | 31 a 33      | 42,25     | 11,25    | 31 a 36     | 31 a 34      | 41,25     | 12,25    | 31 a 5      | 31 a 3       |
| 45,25     | 14,75    | 29 a 2      | 29 a 36      | 43,25     | 9,25     | 32 a 3      | 32 a 1       | 42,25     | 11,75    | 31 a 36     | 31 a 34      | 41,25     | 12,75    | 31 a 3      | 31 a 1       |

Tabela 14. (b) Datas, em decêndios do ano, recomendadas para plantio do milho de ciclo médio e tardio no estado da Bahia, começando da região central até a região leste.

| Longitude | Latitude | Ciclo médio | Ciclo tardio | Longitude | Latitude | Ciclo médio | Ciclo tardio | Longitude | Latitude | Ciclo médio | Ciclo tardio | Longitude | Latitude | Ciclo médio | Ciclo tardio |
|-----------|----------|-------------|--------------|-----------|----------|-------------|--------------|-----------|----------|-------------|--------------|-----------|----------|-------------|--------------|
| 41,25     | 13,25    | 31 a 1      | -            | 40,25     | 12,75    | -           | -            | 39,75     | 17,75    | 5 a 30      | 5 a 28       | 38,75     | 11,75    | 8 a 15      | 8 a 13       |
| 41,25     | 13,75    | -           | -            | 40,25     | 13,25    | -           | -            | 39,75     | 18,25    | 7 a 29      | 7 a 27       | 38,75     | 12,25    | 8 a 18      | 8 a 16       |
| 41,25     | 14,25    | -           | -            | 40,25     | 13,75    | -           | -            | 39,25     | 8,25     | 36 a 2      | 36 a 36      | 38,75     | 12,75    | 4 a 20      | 4 a 18       |
| 41,25     | 14,75    | -           | -            | 40,25     | 14,25    | 31 a 1      | 31 a 29      | 39,25     | 8,75     | -           | -            | 38,75     | 13,25    | 1 a 24      | 1 a 22       |
| 41,25     | 15,25    | -           | -            | 40,25     | 14,75    | 31 a 1      | 31 a 35      | 39,25     | 9,25     | -           | -            | 38,75     | 13,75    | 1 a 36      | 1 a 36       |
| 40,75     | 8,25     | 36 a 2      | -            | 40,25     | 15,25    | 31 a 3      | 31 a 3       | 39,25     | 9,75     | -           | -            | 38,75     | 14,25    | 1 a 36      | 1 a 36       |
| 40,75     | 8,75     | 36          | -            | 40,25     | 15,75    | 29 a 5      | 29 a 3       | 39,25     | 10,25    | -           | -            | 38,75     | 15,25    | 1 a 36      | 1 a 36       |
| 40,75     | 9,25     | -           | -            | 40,25     | 16,25    | 29 a 6      | 29 a 3       | 39,25     | 10,75    | -           | -            | 38,75     | 15,75    | 1 a 36      | 1 a 36       |
| 40,75     | 9,75     | -           | -            | 40,25     | 16,75    | 29 a 7      | 29 a 5       | 39,25     | 11,25    | -           | -            | 38,75     | 16,25    | 1 a 36      | 1 a 36       |
| 40,75     | 10,25    | -           | -            | 40,25     | 17,25    | 29 a 12     | 29 a 10      | 39,25     | 11,75    | 7 a 11      | 7 a 9        | 38,25     | 8,75     | -           | -            |
| 40,75     | 10,75    | -           | -            | 40,25     | 17,75    | 30 a 7      | 30 a 5       | 39,25     | 12,25    | 7 a 11      | 7 a 12       | 38,25     | 9,25     | -           | -            |
| 40,75     | 11,25    | -           | -            | 39,75     | 8,75     | -           | -            | 39,25     | 12,75    | 4 a 18      | 4 a 16       | 38,25     | 9,75     | -           | -            |
| 40,75     | 11,75    | -           | -            | 39,75     | 9,25     | -           | -            | 39,25     | 13,25    | 1 a 36      | 1 a 36       | 38,25     | 10,25    | 15          | -            |
| 40,75     | 12,25    | -           | -            | 39,75     | 9,75     | -           | -            | 39,25     | 13,75    | 1 a 36      | 1 a 36       | 38,25     | 10,75    | 12 a 14     | 12 a 13      |
| 40,75     | 12,75    | -           | -            | 39,75     | 10,25    | -           | -            | 39,25     | 14,25    | 1 a 36      | 1 a 36       | 38,25     | 11,25    | 10 a 15     | 10 a 13      |
| 40,75     | 13,25    | -           | -            | 39,75     | 10,75    | -           | -            | 39,25     | 14,75    | 1 a 36      | 1 a 36       | 38,25     | 11,75    | 8 a 18      | 8 a 16       |
| 40,75     | 13,75    | -           | -            | 39,75     | 11,25    | -           | -            | 39,25     | 15,25    | 1 a 36      | 1 a 36       | 38,25     | 12,25    | 8 a 18      | 8 a 16       |
| 40,75     | 14,25    | -           | -            | 39,75     | 11,75    | 7 a 13      | 7 a 9        | 39,25     | 15,75    | 1 a 36      | 1 a 36       | 38,25     | 12,75    | 5 a 18      | 5 a 16       |
| 40,75     | 14,75    | -           | -            | 39,75     | 12,25    | -           | -            | 39,25     | 16,25    | 1 a 36      | 1 a 36       | 37,75     | 9,25     | -           | -            |
| 40,75     | 15,25    | 31 a 36     | 31 a 35      | 39,75     | 12,75    | -           | -            | 39,25     | 16,75    | 1 a 36      | 1 a 36       | 37,75     | 9,75     | 13 a 15     | 13 a 13      |
| 40,75     | 15,75    | 29 a 5      | 29 a 3       | 39,75     | 13,25    | 4 a 15      | 4 a 13       | 39,25     | 17,25    | 5 a 30      | 5 a 28       | 37,75     | 10,25    | 11 a 15     | 11 a 14      |
| 40,25     | 8,75     | -           | -            | 39,75     | 13,75    | 31 a 16     | 31 a 14      | 39,25     | 17,75    | 5 a 30      | 5 a 28       | 37,75     | 10,75    | 10 a 17     | 10 a 15      |
| 40,25     | 9,25     | -           | -            | 39,75     | 14,25    | 31 a 18     | 31 a 16      | 38,75     | 8,25     | -           | -            | 37,75     | 11,25    | 9 a 18      | 9 a 16       |
| 40,25     | 9,75     | -           | -            | 39,75     | 14,75    | 29 a 18     | 29 a 16      | 38,75     | 8,75     | -           | -            | 37,75     | 11,75    | 9 a 18      | 9 a 16       |
| 40,25     | 10,25    | -           | -            | 39,75     | 15,25    | 29 a 15     | 29 a 13      | 38,75     | 9,25     | -           | -            | 37,75     | 12,25    | 8 a 18      | 8 a 16       |
| 40,25     | 10,75    | -           | -            | 39,75     | 15,75    | 29 a 13     | 29 a 11      | 38,75     | 9,75     | -           | -            | 37,25     | 9,75     | 12 a 15     | 12 a 13      |
| 40,25     | 11,25    | -           | -            | 39,75     | 16,25    | 29 a 13     | 29 a 11      | 38,75     | 10,25    | -           | -            | 37,25     | 10,25    | 10 a 15     | 10 a 13      |
| 40,25     | 11,75    | 32          | -            | 39,75     | 16,75    | 29 a 18     | 29 a 16      | 38,75     | 10,75    | -           | -            | 37,25     | 10,75    | 9 a 20      | 9 a 18       |
| 40,25     | 12,25    | -           | -            | 39,75     | 17,25    | 29 a 14     | 29 a 12      | 38,75     | 11,25    | -           | -            | 37,25     | 11,25    | 5 a 20      | 5 a 18       |

#### 5.4 ZONEAMENTO AGRÍCOLA DE RISCO CLIMÁTICO PARA O ESTADO DA BAHIA EM 2065

Foram realizadas simulações do BHC do milho de ciclo precoce, em regime de sequeiro, para criar ZARC com os dados do conjunto CMIP6. Utilizaram-se os modelos CNRM-CM6-1-HR e EC-Earth3-Veg-LR no cenário SSP2-4.5 para gerar mapas que informem os decêndios com recomendações para plantio do milho no ano de 2065, ambos na resolução nativa do respectivo modelo. Seguindo recomendações do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) para o seu sexto relatório (AR6).

A Figura 14 exibe o ZARC segundo CNRM-CM6-1-HR, as recomendações para o ano de 2065 indicam um padrão espacial diferente do observado no presente (Figura 12a). Anteriormente, a região litorânea sul apresentava recomendação para plantio durante o ano inteiro, entretanto, a expectativa para o futuro é a redução de decêndios recomendados para plantio do milho nesta área. Dantas et al. (2022) usando a média de 15 modelos no período de 1980 a 2014, verificaram que na costa leste do Nordeste do Brasil nos meses de dezembro a abril os modelos superestimavam a precipitação e de maio a novembro havia subestimativa. Também devem ser analisadas as observações de Teodoro et al. (2022), que verificaram a persistência de uma área de alta pressão sobre o leste do Brasil, associada com o padrão espacial de atuação da Alta Subtropical do Atlântico Sul nos meses do verão que atingirão o Brasil.

Na Figura 14 também é possível perceber que a maioria do território baiano, incluindo a região do extremo norte da Bahia, existem recomendações de plantio em pelo menos 1 a 6 decêndios. Além disso, o padrão para distribuição de decêndios exibidos na Figura 14 se fragmentará, haverá muitas áreas isoladas sem recomendação, ou com muitos decêndios recomendados por ano ao lado de áreas não indicadas.

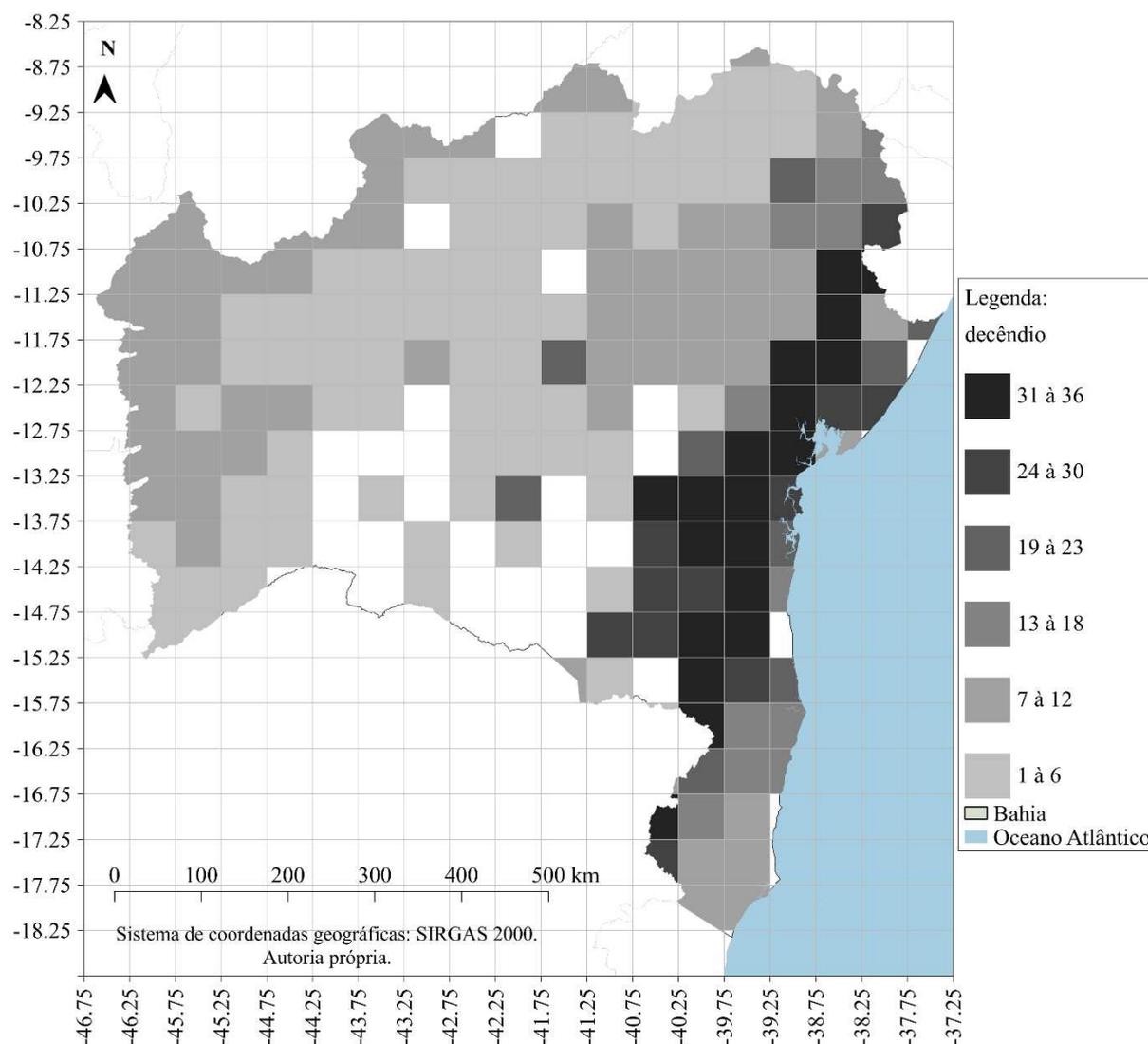


Figura 14. Mapa de áreas com recomendação do plantio de milho no estado da Bahia em 2065, projeção do CNRM-CM6-1-HR no cenário SSP2-4.5.

O cenário previsto para o estado da Bahia em 2065, de acordo com o ZARC e utilizando o modelo EC-Earth3-Veg-LR (Figura 15), apresenta diferenças significativas em relação à Figura 14. O EC-Earth3-Veg-LR recomenda o plantio em todo o estado da Bahia, ao passo que o CNRM-CM6-1-HR (Figura 14) sugere recomendações de plantio em algumas áreas durante os 36 decêndios. Por outro lado, o EC-Earth3-Veg-LR indica recomendações de plantio em no máximo dezoito decêndios. Marengo e Valverde (2007) indicam para o Nordeste uma tendência de redução de chuvas acompanhada de aumento de temperatura para final do século XXI. Isso sugere para este cenário; um aumento na frequência de chuvas extremas, concentradas em poucos decêndios do ano. Outro fator que pode ter contribuído para essas diferenças pode ser a diferença do tamanho das grades horizontais, de  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$  do CNRM-CM6-1-HR, e uma grade de  $1,12^\circ \times 1,12^\circ$  do EC-Earth3-Veg-LR.

Nóbrega *et al.* (2022) fizeram uso dos cenários SSP dos modelos do CMIP6 e indicaram o aumento espacial e de magnitude da aridez em todas as regiões da Bacia do São Francisco, principalmente na região Nordeste do Brasil. Os cenários RCP8.5 e SSP5-8.5, mesmo gerando cenários mais extremos, apresentaram resultados semelhantes aos cenários RCP4.5 e SSP2-4.5. Em paralelo, o indicativo de intensificação da aridez pode estar associado à estabilidade ou redução da precipitação, junto com o aumento da temperatura no cenário SSP 4.5 com projeção do aumento da temperatura do ar média em torno de 3°C, variação da precipitação em torno de 4,5 a 6,0% até o final do século e aumento de áreas com o clima semiárido no Nordeste (MORAES, 2021).

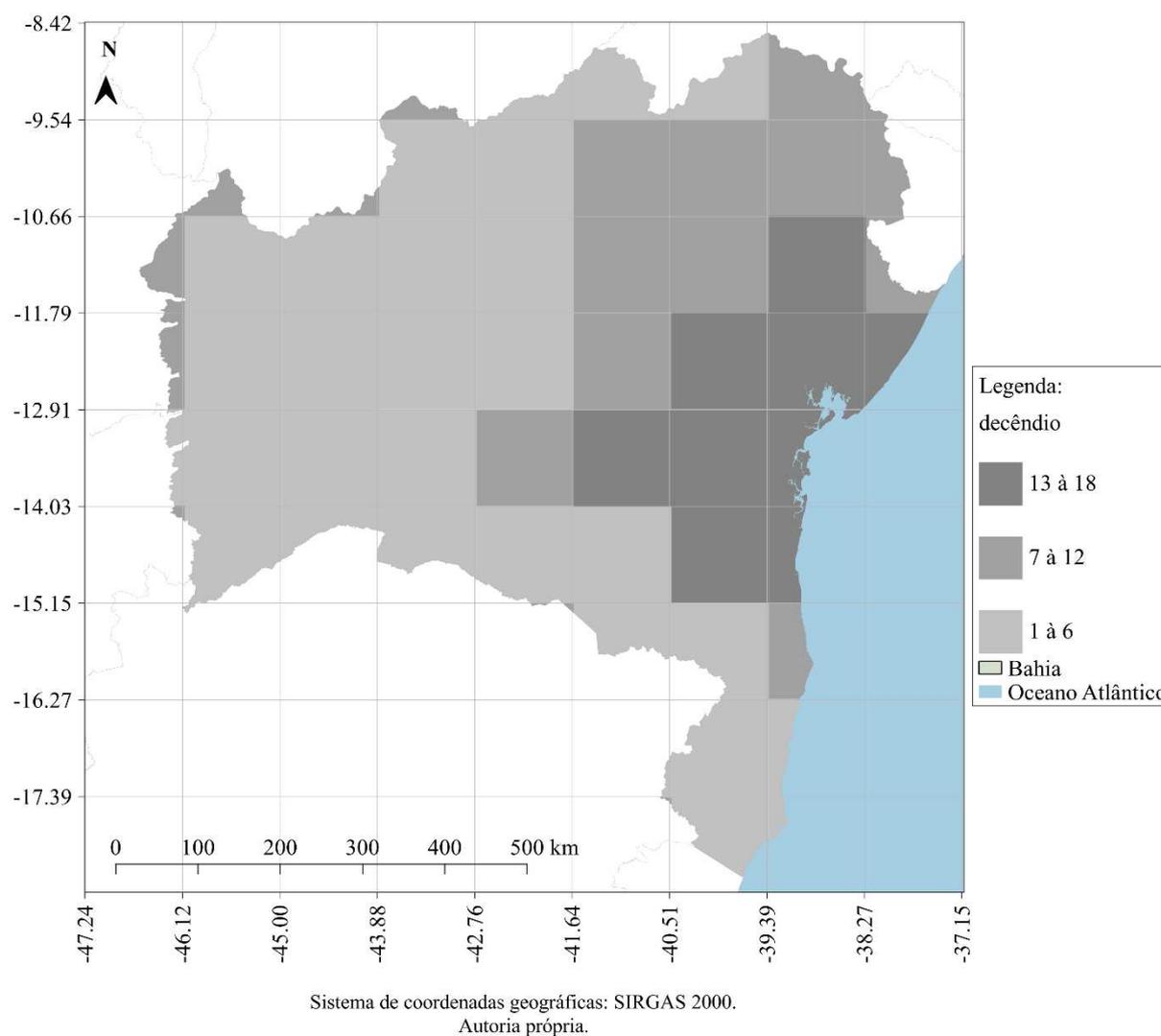


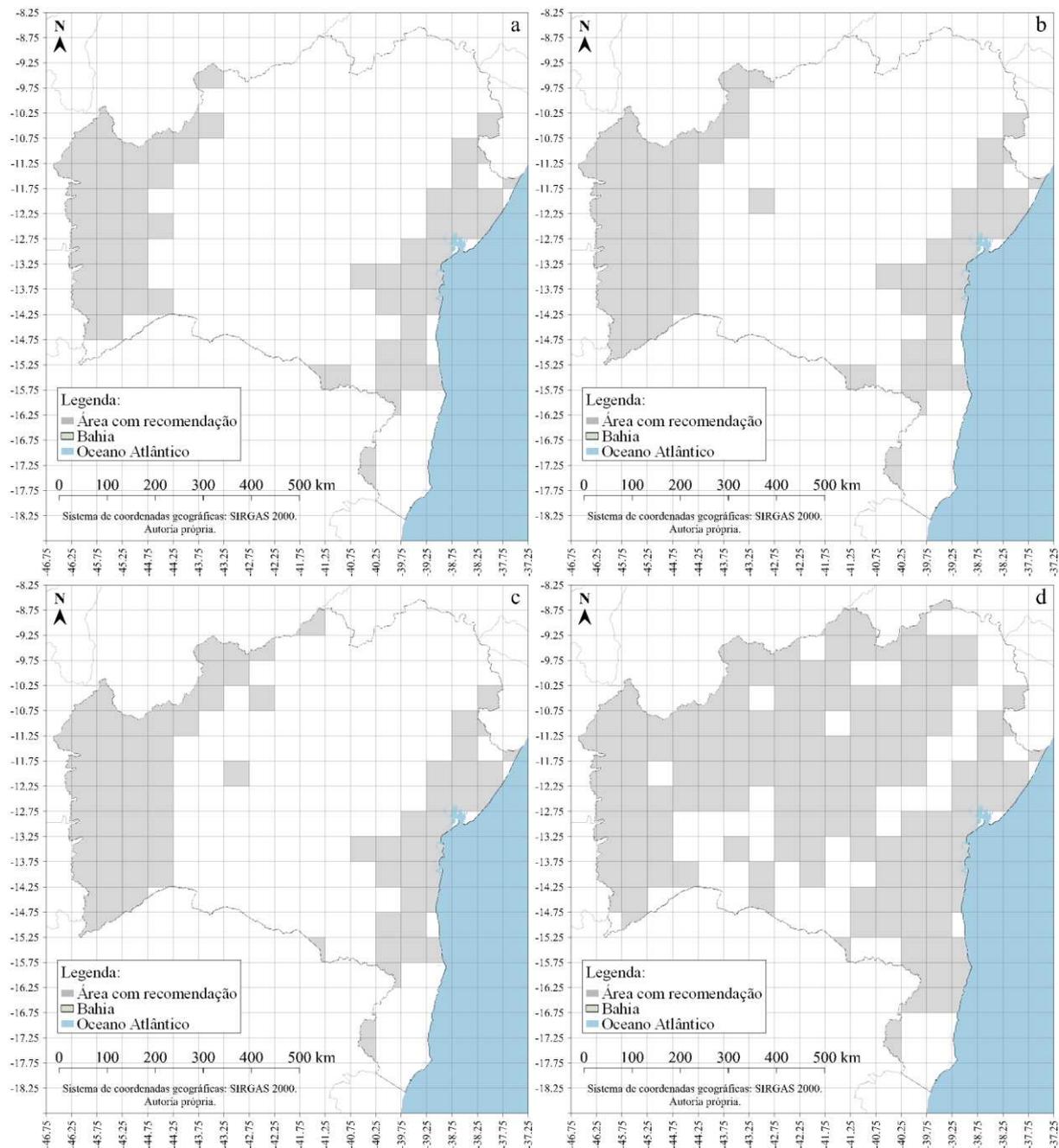
Figura 15. Mapa de áreas com recomendação do plantio de milho no estado da Bahia em 2065, projeção do EC-Earth3-Veg-LR no cenário SSP2-4.5.

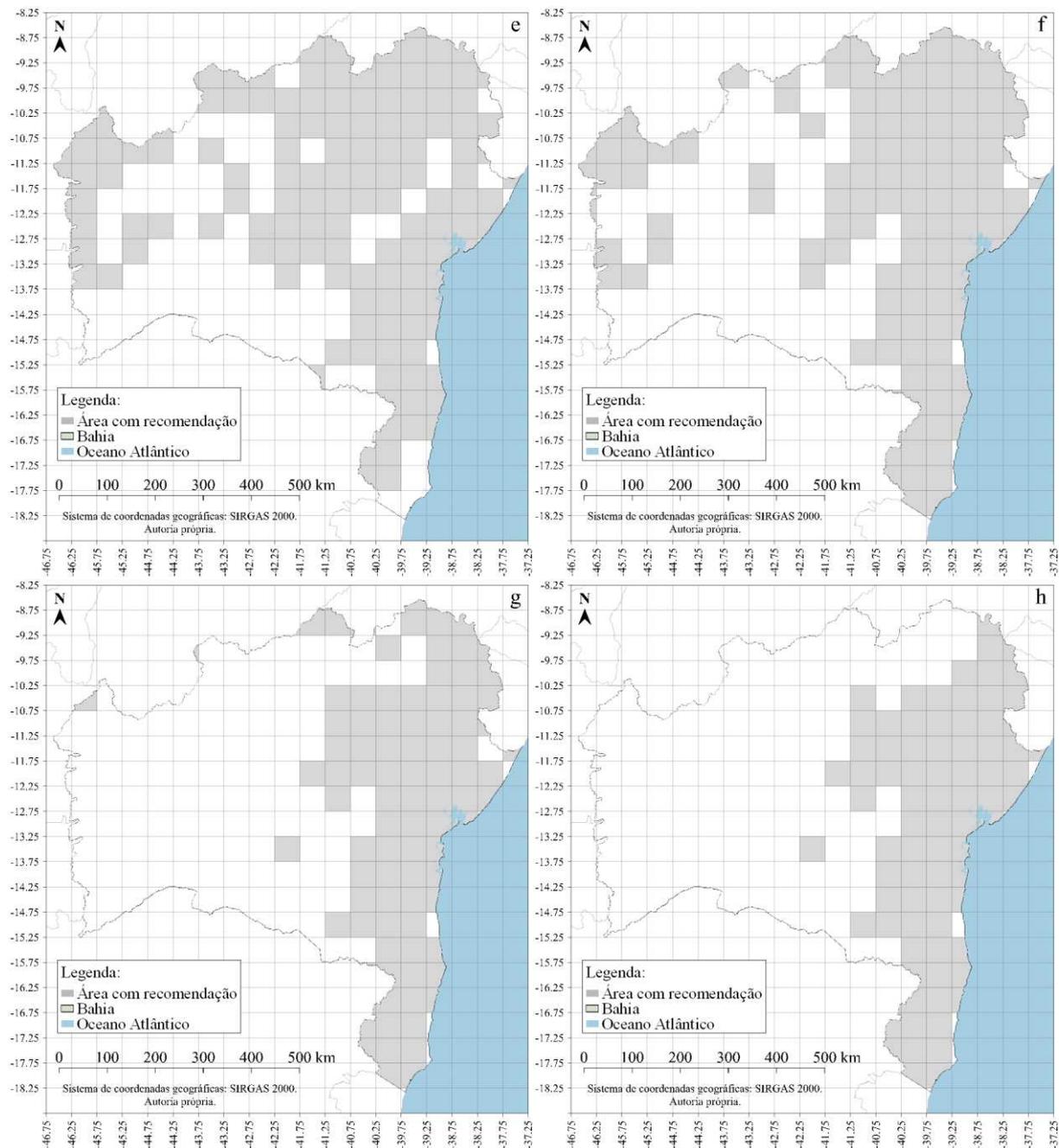
#### 5.4.1 Recomendações de plantio: CNRM-CM6-1-HR

Os decêndios 30 e 31 (Figura 16a), 32 e 33 (Figura 16b), 34 e 35 (Figura 16c) apresentam menos recomendações de plantio do milho em relação ao mesmo período do presente (Figura 13a; Figura 13b; Figura 13c). O atraso do período chuvoso no estado pode influenciar para que grande parte das indicações comecem nos decêndios 36 e 1 (Figura 16d), 2 e 3 (Figura 16e), 4 e 5 (Figura 16f), incluindo a região do extremo norte da Bahia, onde não havia decêndios recomendados para o plantio do milho.

Atualmente, de dezembro à fevereiro existe maior concentração de precipitação intensa associadas a ZCAS nos estados de Minas Gerais e Bahia (AMBRIZZI & FERRAZ, 2015). O que sugere que a atuação da ASAS no continente durante o verão (TEODORO *et al.*, 2022) irá contribuir para o atraso no regime de chuvas do estado, adiando assim as recomendações de plantio do ZARC.

Identifica-se no leste da Bahia, em toda a faixa litorânea, que as chuvas mais intensas se mantêm com o mesmo padrão observado no presente, entre os decêndios 6 e 7 (Figura 16g), 8 e 9 (Figura 16h), 10 e 11 (Figura 16i), 12 e 13 (Figura 16j), 14 e 15 (Figura 16k) e 16 e 17 (Figura 16l). Por outro lado, durante este período há o aparecimento de mais áreas aptas no litoral norte do estado e uma interrupção de indicações em parte da região litorânea sul antecipada para o final de abril.





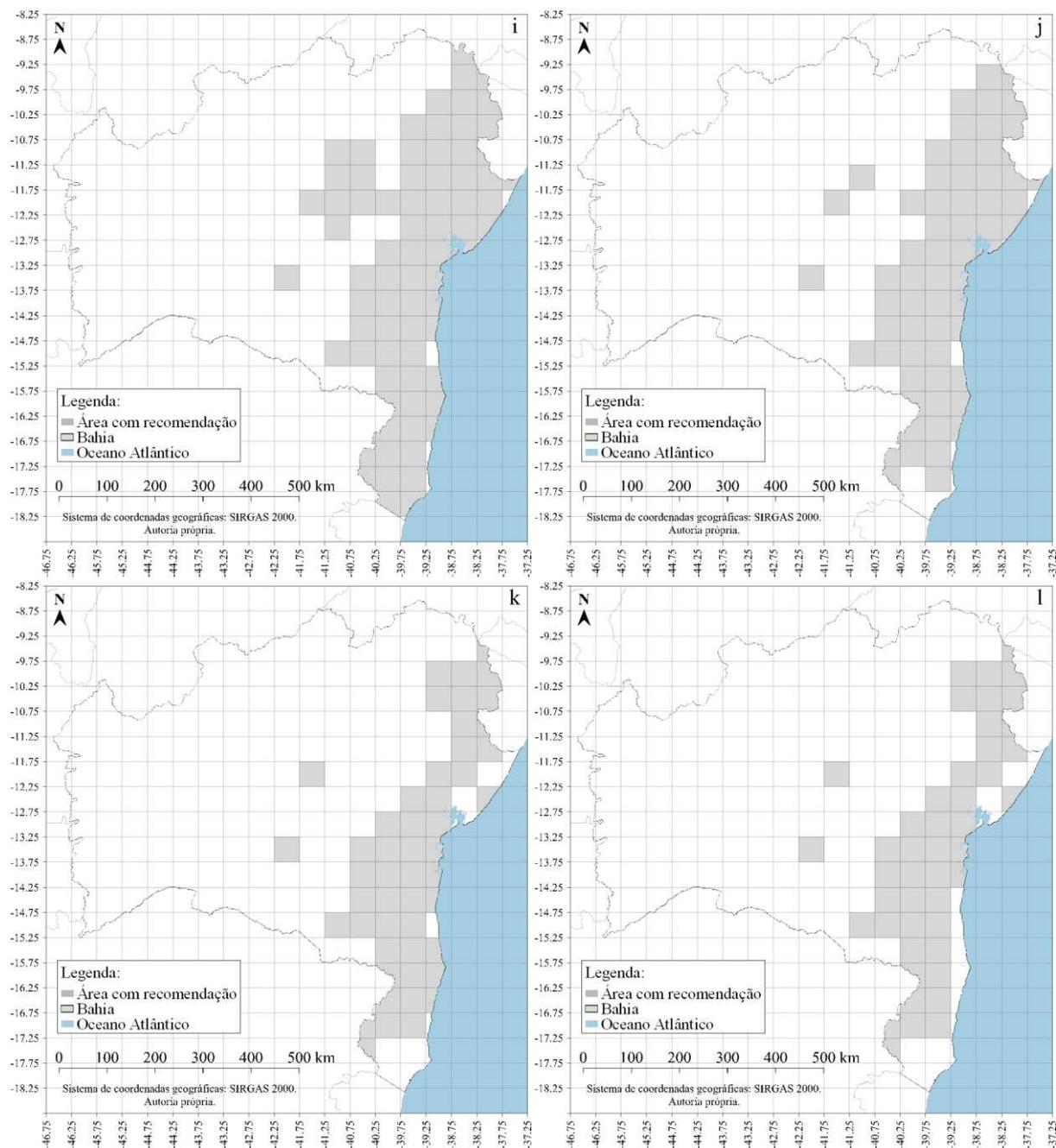
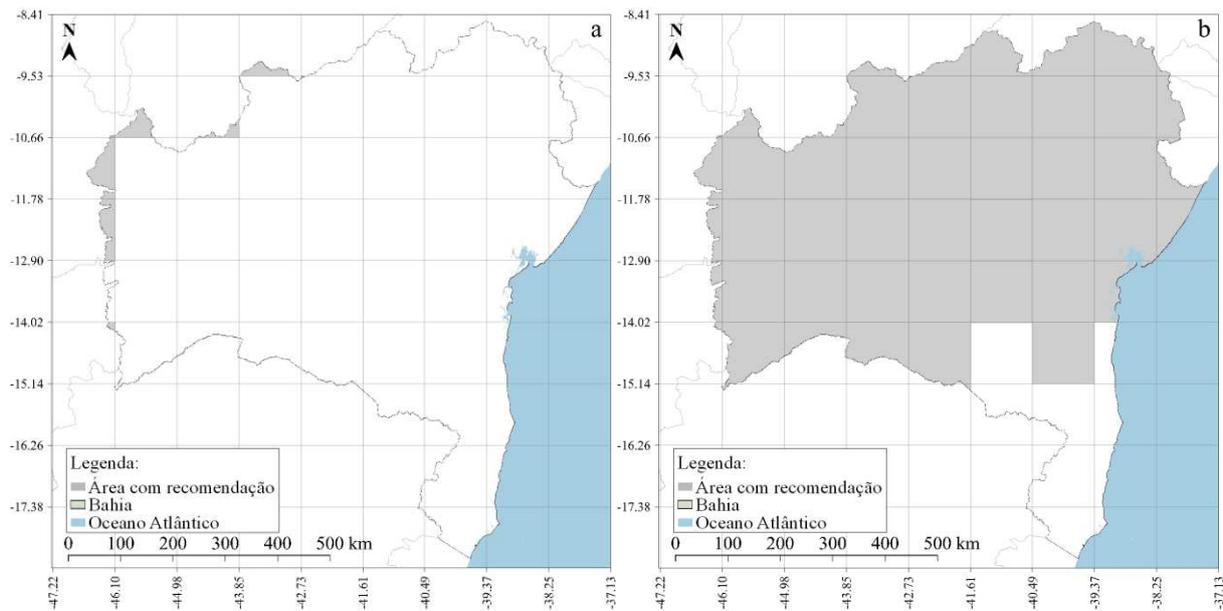


Figura 16. Recomendações de plantio de milho de ciclo precoce no estado da Bahia, utilizando o modelo CNRM-CM6-1-HR. (a) Decêndios 30 e 31, de 21 de outubro a 10 de novembro. (b) Decêndios 32 e 33, de 11 de novembro a 30 de novembro. (c) Decêndios 34 e 35, de 1º de dezembro a 20 de dezembro. (d) Decêndios 36 e 1, de 21 de dezembro a 10 de janeiro. (e) Decêndios 2 e 3, de 11 a 31 de janeiro. (f) Decêndios 4 e 5, de 1º a 20 de fevereiro. (g) Decêndios 6 e 7, de 21 de fevereiro a 10 de março. (h) Decêndios 8 e 9, de 11 a 31 de março. (i) Decêndios 10 e 11, de 1º a 20 de abril. (j) Decêndios 12 e 13, de 21 de abril a 10 de maio. (k) Decêndios 14 e 15, de 11 a 31 de maio. (l) Decêndios 16 e 17, de 1º a 20 de junho.

#### **5.4.2 Recomendações de plantio: EC-Earth3-Veg-LR**

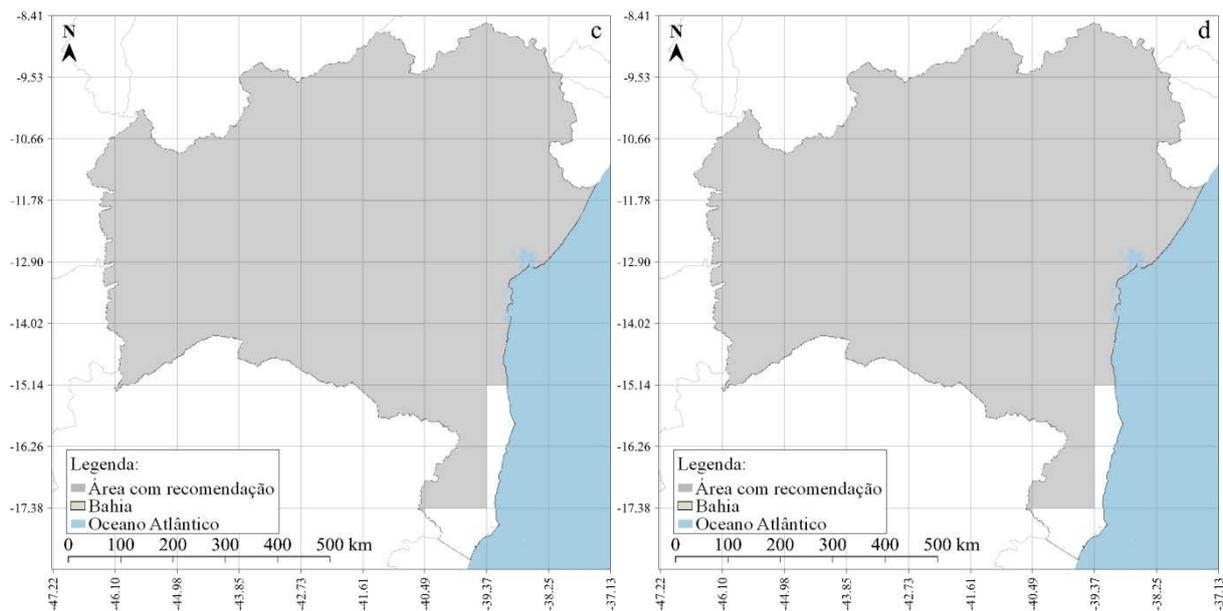
Como pode ser observado na Figura 17a, o ZARC realizado com os dados do modelo EC-Earth3-Veg-LR indica o mesmo atraso das chuvas que é perceptível com o CNRM-CM6-1-HR. As recomendações de datas para o plantio se concentrarão em sua maioria no primeiro semestre do ano, nos decêndios 36 a 1 (Figura 17b), 2 e 3 (Figura 17c), 4 e 5 (Figura 17d), 6 e 7 (Figura 17e), 8 e 9 (Figura 17f), 10 e 11 (Figura 17g), e 12 e 13 (Figura 17h).

Mesmo com a possibilidade de redução no número formação de ZCAS, isto não estaria diretamente relacionado à quantidade de precipitação, porque a média acumulada dos meses de eventos revela um aumento de 55% na precipitação para o clima futuro, o que sugere menos, mas maiores frequências de eventos intensos (AMBRIZZI & FERRAZ, 2015). Também é previsto o enfraquecimento da circulação da Alta da Bolívia e um deslocamento para leste do cavado do Atlântico no verão. As projeções também indicam um aumento dos Distúrbio Ondulatórios de Leste nas regiões subtropicais nas quatro estações (CAVALCANTI & SHIMIZU, 2012).



Sistema de coordenadas geográficas: SIRGAS 2000.  
Autoria própria.

Sistema de coordenadas geográficas: SIRGAS 2000.  
Autoria própria.



Sistema de coordenadas geográficas: SIRGAS 2000.  
Autoria própria.

Sistema de coordenadas geográficas: SIRGAS 2000.  
Autoria própria.

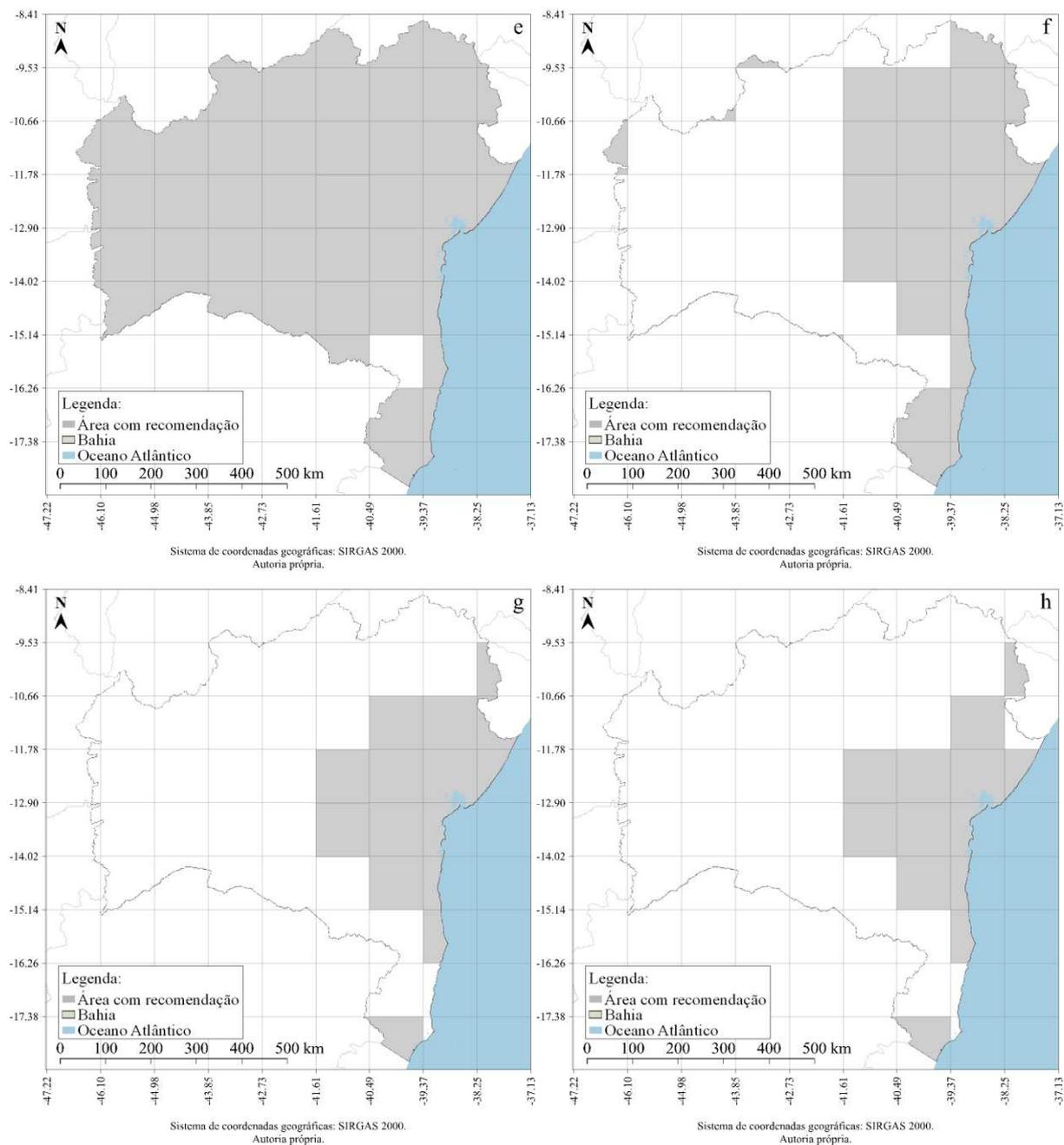


Figura 17. Recomendações de plantio de milho de ciclo precoce no estado da Bahia. (a) Decêndios 34 e 35, de 1º de dezembro a 20 de dezembro. (b) Decêndios 36 e 1, de 21 de dezembro a 10 de janeiro. (c) Decêndios 2 e 3, de 11 a 31 de janeiro. (d) Decêndios 4 e 5, de 1º a 20 de fevereiro. (e) Decêndios 6 e 7, de 21 de fevereiro a 10 de março. (f) Decêndios 8 e 9, de 11 a 31 de março. (g) Decêndios 10 e 11, de 1º a 20 de abril. (h) Decêndios 12 e 13, de 21 de abril a 10 de maio.

## 5.5 APLICAÇÃO DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NDVI E EVI PARA ANÁLISE DO ZONEAMENTO AGRÍCOLA DE RISCO CLIMÁTICO DO MILHO NA BAHIA

As configurações espaciais dos valores médios de 1993 a 2002 de NDVI (Figura 18) e EVI (Figura 19) são mostradas sobre o estado da Bahia. Observam-se semelhanças entre ambas às configurações com valores máximos e mínimos em áreas geográficas coincidentes. Além disso, esses mapas também destacam a hidrografia do estado, com tons de azul representando o rio São Francisco e partes dos rios Paraguaçu, Contas, Pardo e Jequitinhonha e fornecem informações sobre os comportamentos médios dos índices de vegetação ao longo de um período de 10 anos.

A partir da análise das Figuras 18 e 19 é possível identificar áreas com valores mais altos de NDVI e EVI durante o período de 1992 a 2002, com vegetação mais saudável ou densa, na parte leste da Bahia. Esta região está sujeita a atuação de fenômenos meteorológicos de escala sinótica tais como sistemas frontais e de microescala tais como brisas e ainda a resultante da interação desses dois sistemas (LIMA *et al.*, 2011). Por sua vez, Reis *et al.* (2021) constataram que o leste do estado da Bahia e quase todo o seu litoral estão entre as regiões do Nordeste com maior ocorrência de precipitação associada a este sistema.

Enquanto áreas com valores mais baixos estão concentrados na região extremo norte do Estado e podem indicar estresse hídrico, degradação ambiental ou ausência de vegetação, Lopes *et al.* (2019) identificaram essa região com os menores valores de precipitação de todo o semiárido atinge valores mínimos anuais inferiores a 500 mm.

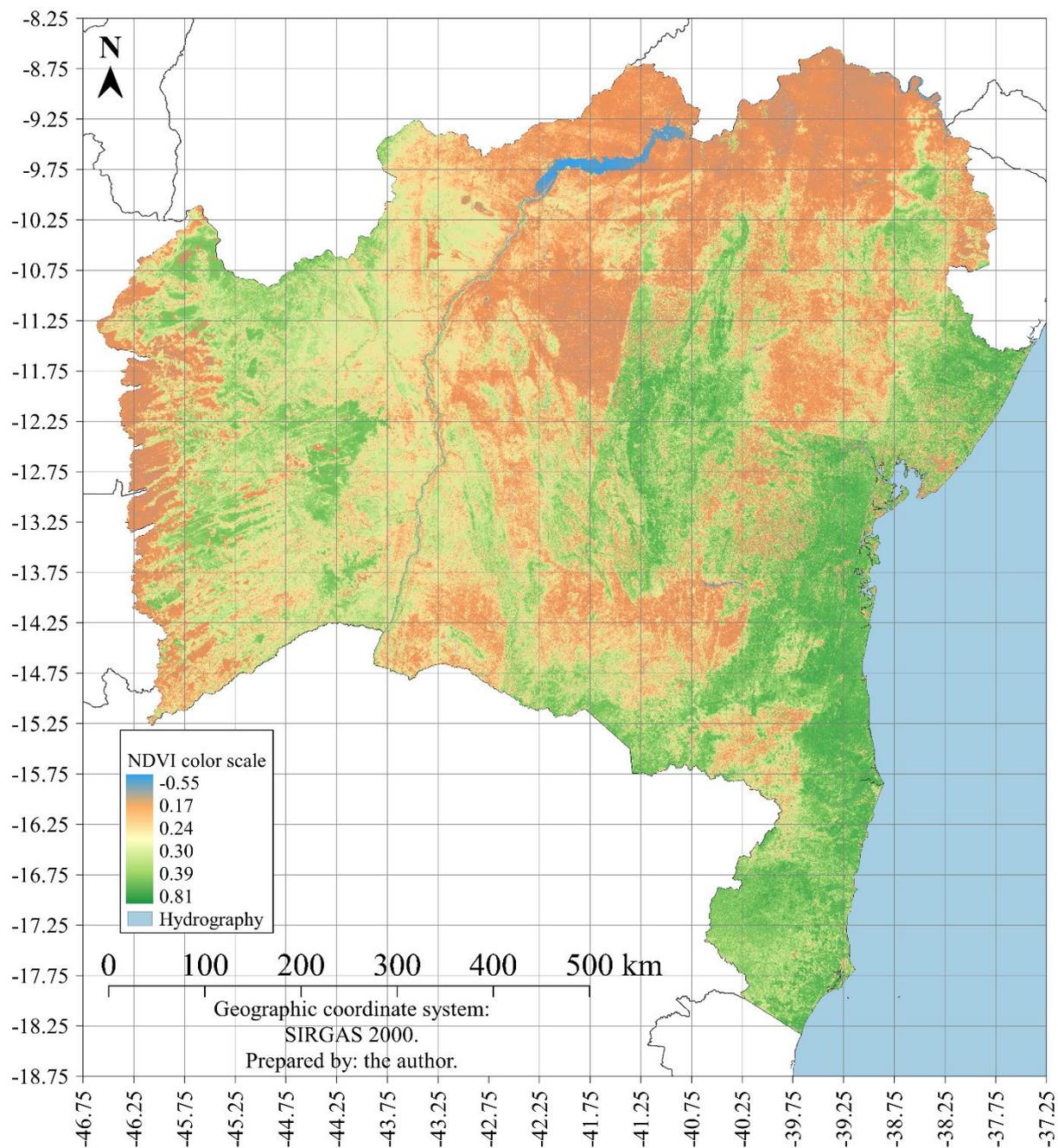


Figura 18. Mapa do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para o estado da Bahia.

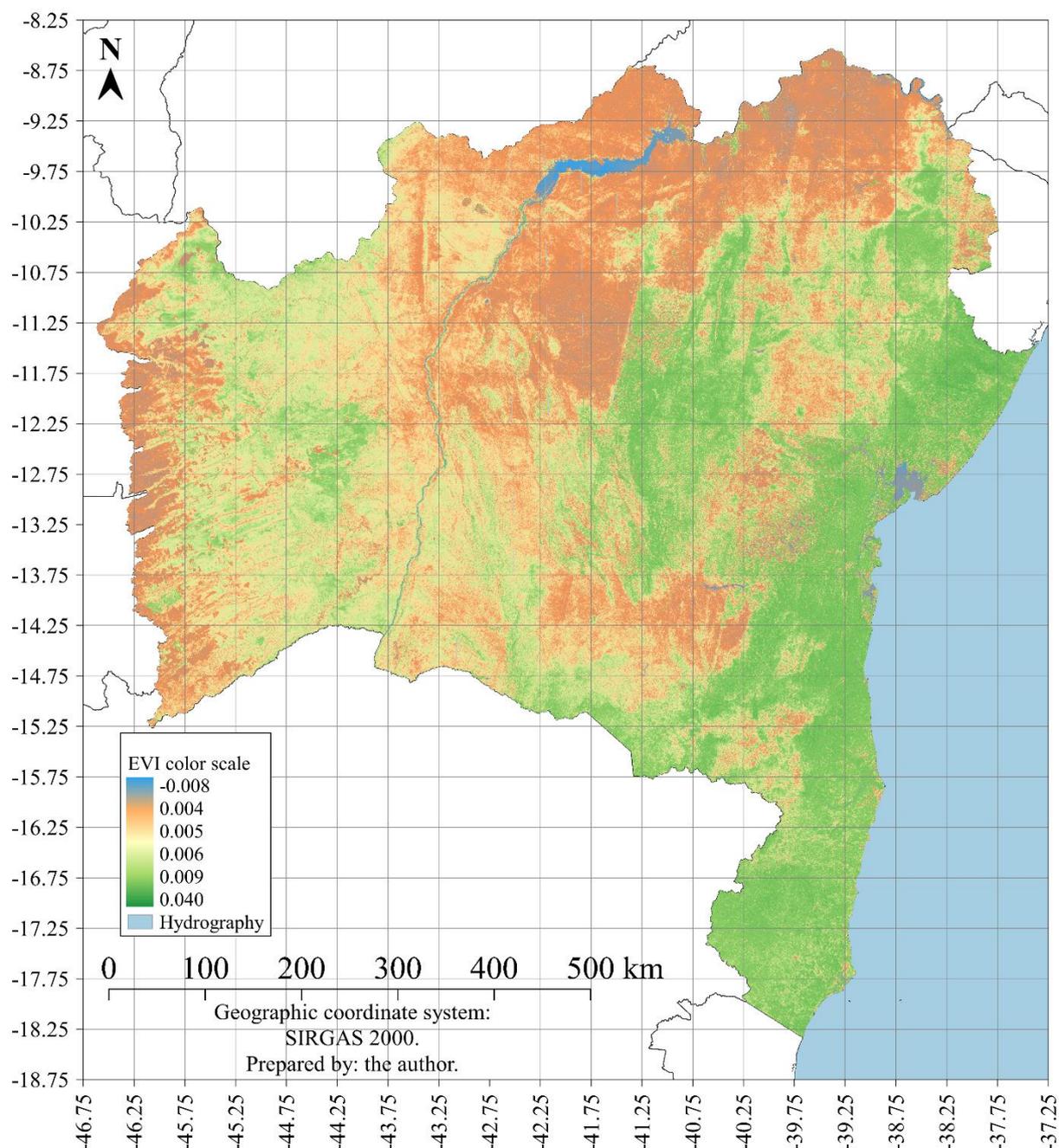


Figura 19. Mapa do Índice de Vegetação Ajustado por Emissão (EVI) para o estado da Bahia.

Na região central do estado encontra-se a Chapada Diamantina que tem aproximadamente 31.381 km<sup>2</sup> (RIBEIRO *et al.*, 2021) e altitudes que podem chegar até 1900m (Figura 20). E por constituir-se de um relevo com altitude influência nas variáveis climatológicas locais e na vegetação, com valores mais altos de NDVI e EVI na porção leste quando comparada com porção oeste. Para Santos Neto *et al.* (2022) esta circunstância explica ainda a incompatibilidade dos parâmetros de umidade e vegetação em sua abrangência na região da Chapada, onde na porção oriental a tendência é a retenção de umidade e a vertente ocidental apresentando as características comuns do semiárido. Nestas áreas isoladas

do semiárido encontram-se valores de precipitação anual acima de 1000 mm associados com a formação rochosa (TANAJURA *et al.*, 2010).

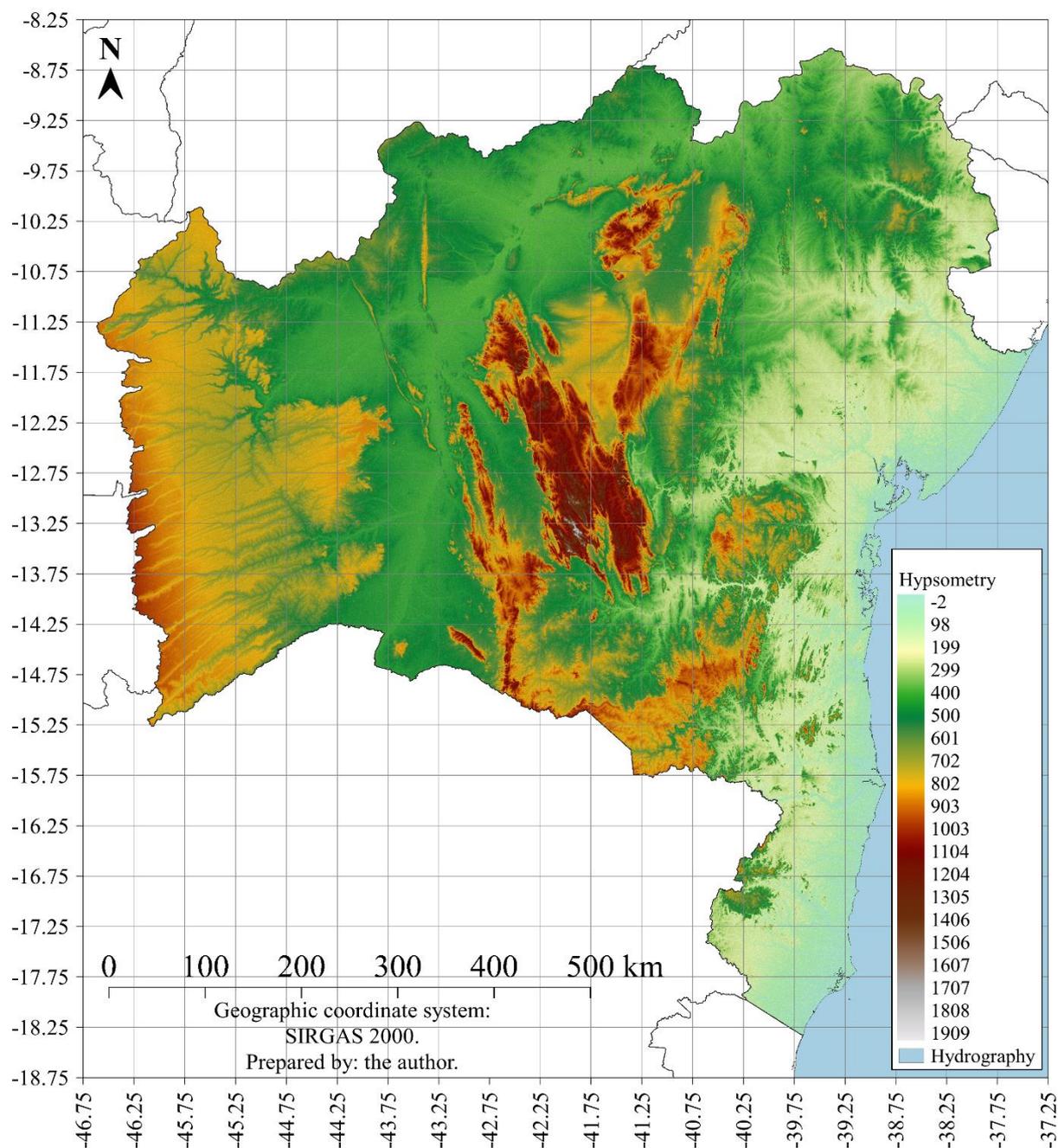


Figura 20. Mapa da hipsometria para o estado da Bahia.

A região oeste do estado da Bahia possui aptidão para agricultura de grande escala e, por esta razão, faz parte do MATOPIBA. Cabe ressaltar ainda que a territorialização do agronegócio não ocorre de modo homogêneo em diferentes regiões do MATOPIBA, no caso do Oeste da Bahia, por exemplo, a expansão é mais antiga, o que justifica em parte o agronegócio já ter se consolidado (SILVA *et al.*, 2019). Em um estudo de Teles *et al.* (2022),

em que foram analisadas a dinâmica espacial e temporal da vegetação da Bacia do Rio Branco – BA ao longo de 26 anos e quantificar o índice vegetativo da bacia nos anos de 1994, 2007 e 2020. Os resultados apontam que houve uma diminuição de vegetação nativa e aumento de área de cultivo e de pastagem, observados pela redução das classes Moderadamente Alta e Alta e o crescimento das classes Muito Baixa, Baixa e Moderadamente Baixa. Portanto, com a perda da vegetação nativa o solo tem ficado mais exposto e suscetível a degradação.

Outro motivo para que esta região seja ocupada desta forma é o seu relevo uniforme (Figura 20). Oliveira & Cruz (2022) afirmam que a agricultura é uma das atividades que mais se destaca no Oeste da Bahia, sendo responsável também pela alta concentração de terras. E ocorre principalmente nas áreas conhecidas como os Chapadões, a maioria dos campos está distribuída na cota de 800 m. Sendo assim, uma área propícia as atividades agrícolas mecanizadas.

Buscou-se analisar se os índices de vegetação conseguem captar o período recomendado para o plantio da cultura do milho, conforme o ZARC para essa cultura no estado da Bahia. As recomendações para o plantio de milho de ciclo precoce de sequeiro na Bahia vão desde regiões que não possuem nenhum decêndio recomendado para o cultivo do milho até a faixa litorânea do estado onde o plantio é recomendado o ano todo (Figura 12). A região do extremo norte é a maior área onde não há recomendações para o plantio do milho em nenhum decêndio do ano (Figura 12) e é justamente nesta região que se observa os menores valores do NDVI e EVI (Figuras 18 e 19).

O plantio na faixa litorânea sul é recomendado nos 36 decêndios (Figura 12) e quando comparado as Figuras 18 e 19 percebe-se a concordância com os altos valores de NDVI e EVI. Ainda dentro da mesorregião sul da Bahia, há menor quantidade de chuvas no noroeste e sudoeste, com valores mínimos de  $878,8 \text{ mm ano}^{-1}$ , e maior no Nordeste, com valores máximos de  $1.619 \text{ mm ano}^{-1}$  (Aparecido *et al.*, 2022). O comportamento da precipitação nessa região, pode estar associado ao alto valores encontrados do NDVI e EVI, e das indicações dadas pelo ZARC.

Na região oeste da Bahia, à medida que se adentra ao extremo oeste do estado, possui recomendações de plantio do milho que variam de 7 a 18 decêndios por ano. Apesar disso, existem valores muito baixos do NDVI e EVI, que provavelmente estão atribuídos à utilização das terras pela agricultura irrigada. Para Bittencourt *et al.* (2018) o cultivo de sequeiro do algodão e soja é predominante na região oeste da Bahia principalmente nos municípios São Desidério e Correntina, que ficam na fronteira do estado. Desse modo, a

intensa degradação do oeste da Bahia observada através dos índices de vegetação se relaciona com o fato das atividades agrícolas favorecerem-se dos Chapadões e condições favoráveis para plantio de sequeiro.

Adicionalmente, Ferreira *et al.* (2020) esclarecem sobre a Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco (CODEVASF) que foi a responsável pela execução do primeiro projeto de colonização e irrigação na Mesoregião Oeste da Bahia, em 1976, recebendo o nome de “Perímetro Irrigado Barreiras –São Desiderio”, afirmando que a sua instalação e o desenvolvimento dos projetos de irrigação foram peças-chave para a expansão agrícola no oeste baiano. Foi possível perceber que o oeste da Bahia, reúne características ambientais capazes de facilitar a expansão das atividades agrícolas, assim como também permite intensificar processos de degradação ambiental, como as perdas de vegetação nativa e esgotamento hídrico. Dentre as características ambientais, as quais são consideradas “chaves” para expansão dos empreendimentos agropecuários (OLIVEIRA & PACHECO, 2020).

O plantio na faixa litorânea sul é recomendado nos 36 decêndios (Figura 12) e quando comparado as Figuras 18 e 19 percebe-se a concordância com os altos valores de NDVI e EVI. Ainda dentro da mesorregião do extremo norte da Bahia, o plantio de milho também não é recomendado, do ponto de vista climatológico, na área encontrada na malha 12,75 a 13,25° S e 39,75 a 40,25° W (Figura 12).

Outrossim, os dados de NDVI e EVI (Figuras 21a e 21b) revelam que essa região possui os menores valores desses índices de vegetação em comparação com as regiões circundantes. Essa constatação reforça ainda mais a inviabilidade do plantio de milho nessa área, uma vez que indica condições desfavoráveis para o desenvolvimento saudável e produtivo das plantas.

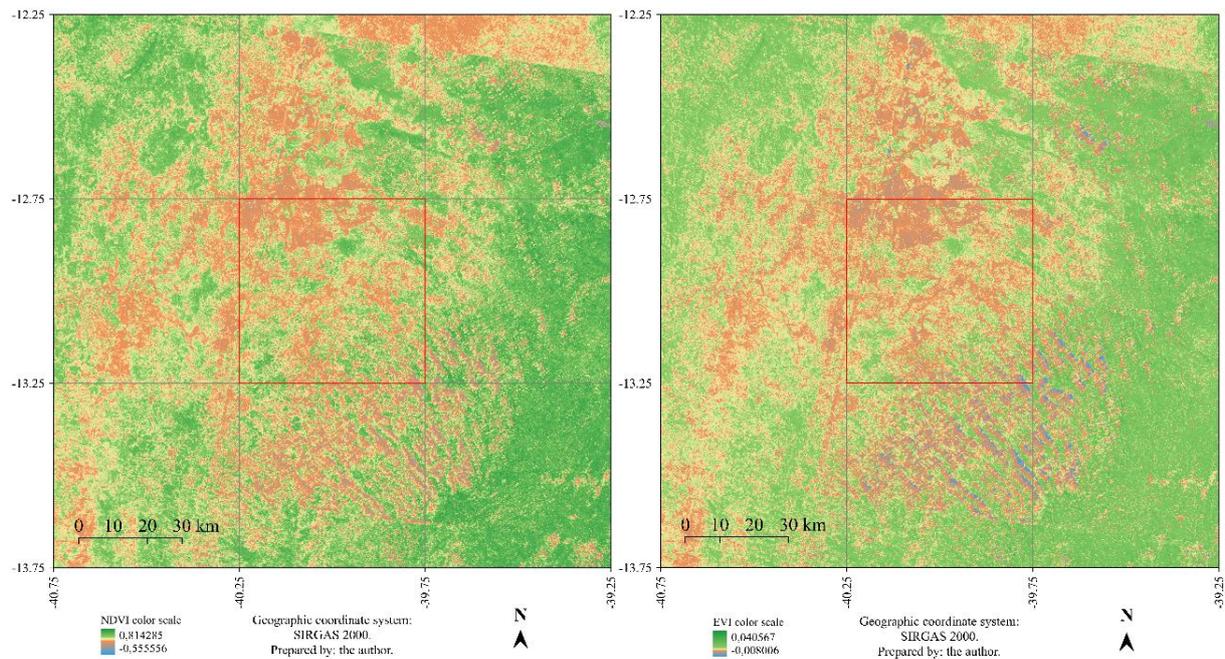


Figura 21. Mapas do (a) Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e (b) Índice de Vegetação Ajustado por Emissão (EVI) malha 12,75 a 13,25° S e 39,75 a 40,25° W.

## 6 CONCLUSÕES

Neste estudo, a validação das temperaturas máximas e mínimas, umidade relativa, velocidade do vento e dados de evapotranspiração de referência da reanálise ERA5-Land, combinados com dados de precipitação do Projeto de Precipitação CPC/NOAA, apresentaram bom desempenho estatístico. A validação mostrou-se crucial para a utilização dos dados em estudos como o ZARC, na ausência de dados observados em uma área ampla, como no estado da Bahia.

O ZARC, realizado exclusivamente com dados de reanálise e dados híbridos (com precipitação observada, temperatura e evapotranspiração de referência estimadas), apresentou resultados semelhantes para o milho ao realizado com os dados observados. Isso justifica o uso de dados de reanálise como fonte segura e robusta. Além disso, a maior similaridade pôde ser encontrada com a simulação híbrida, resultado da utilização da precipitação registrada pela estação do INMET. Isso porque a variável do Projeto de Precipitação CPC/NOAA, que tem maiores erros estatísticos no período do estudo, foi simultaneamente suprida por dados com boa densidade de observações e falhas espaçadas ao longo tempo.

Outra forma de entender a utilização dos dados de reanálise como ferramenta de recomendação de datas para o cultivo do milho sem auxílio de irrigação é que ela depende da entrada de água no sistema, exclusivamente por meio da precipitação. No caso do estado da Bahia, houve forte correspondência com o tempo de operação dos sistemas precipitantes de cada região, indicando consistência nas recomendações das datas.

A metodologia do ZARC foi aprimorada, aumentando o refinamento da rede espacial desta ferramenta de tomada de decisão tão importante no estado da Bahia para mitigar riscos nas lavouras de milho de sequeiro. Os resultados satisfatórios na validação dos dados de reanálise mostraram que eles são eficientes e robustos para o desenvolvimento de estudos futuros que exijam dados meteorológicos de alta resolução e forneçam conhecimento aprofundado sobre a climatologia de qualquer local. Ressalta-se que, as estações meteorológicas que fornecem dados precisos e confiáveis são essenciais para bom funcionamento do ZARC, assim como sua manutenção e expansão devem ser incentivadas. Desta forma, a disponibilidade de dados aumentará, agregado com a reanálise de forma complementar, trabalhos como este serão mais precisos e confiáveis.

Em relação às perspectivas futuras apresentadas, o modelo CNRM-CM6-1-HR apresentou melhor desempenho para análise de recomendações criadas pelo ZARC por ter melhor resolução do que o EC-Earth3-Veg-LR. Visto que, este modelo com definição de

1,12° x 1,12° possui menor resolução espacial, os resultados apresentados para o estado da Bahia tornam-se mais “homogêneos”, e conseqüentemente não capturam tendências em menor escala espacial. Porém, é importante destacar que ambos os modelos preveem o atraso do início das recomendações de plantio durante o verão para o ano de 2065, período mais chuvoso em grande parte do estado. Além de menos recomendações de plantio no litoral sul do estado, assim como recomendações de plantio na região do extremo norte baiano, diferentemente do que é observado atualmente.

O cenário SSP2-4.5, de médio forçamento radiativo, mostra claramente mudanças nos padrões de atuação dos sistemas precipitantes, e isto foi perceptível na elaboração do ZARC. Incluindo a tendência do aumento de eventos extremos de precipitação e aumento da temperatura, que afetam diretamente o plantio e desenvolvimento fenológico do milho de sequeiro. Quanto as limitações das projeções climáticas, espera-se que futuramente os modelos climáticos globais possam oferecer uma representação mais precisa, refinando a resolução espacial e temporal. Com isso, a expectativa é de que essas melhorias contribuam significativamente para aumentar a confiabilidade das análises dos diferentes cenários climáticos possíveis, fornecendo uma base mais confiável para avaliações e tomadas de decisão.

Em geral, para avaliar o desempenho do ZARC para a cultura do milho em regime de sequeiro em relação aos índices de vegetação, não se obteve uma associação coerente quando há alteração da vegetação original. Indicando que o uso de índices de vegetação para informações de início de período de plantio em substituição ao ZARC não é recomendável. Ao analisar as variações dos índices de vegetação, obtiveram-se informações de que a região leste da Bahia possui uma vegetação mais saudável e densa. Por outro lado, a região do extremo norte da Bahia apresentou valores baixos de NDVI e EVI, sugerindo estresse hídrico ou ausência de vegetação na maior parte do tempo, já que esta região é caracterizada por ter baixos índices de precipitação anual. E a região central da Bahia, possui um relevo acentuado o que influencia na distribuição da vegetação.

O ZARC é utilizado para orientar produtores para diminuir riscos e reduzir perdas, com base nas informações do clima, cultura e solo, com informações do período de plantio até a colheita. Enquanto, o NDVI e o EVI são indicadores do vigor e saúde da vegetação, ou seja, só conseguem detectar a robustez de uma cultura agrícola após o seu desenvolvimento e não durante o plantio. Portanto, para um monitoramento eficiente e eficaz de culturas agrícolas é salutar e recomendável agregar o uso do ZARC e com os índices de vegetação.

Apesar da quantidade de imagens de satélite disponíveis, encontrou-se como limitação deste trabalho a incompletude de imagens que abrangessem todo o estado da Bahia mensalmente e/ou sazonalmente para um estudo que detalhasse o NDVI e EVI nos anos estudados.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, P. E. P. DE; RESENDE, M. Irrigação: manejo de irrigação. In: **CRUZ, J. C. (Ed.). Cultivo do milho**. 3. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56**. FAO, Rome, v. 300, n. 9, p. D05109, 1998.

ALMAZROUI, M.; ASHFAQ, M.; ISLAM, M. N.; RASHID, I. U.; KAMIL, S.; ABID, M. A.; ... SYLLA, M. B. Assessment of CMIP6 performance and projected temperature and precipitation changes over South America. **Earth Systems and Environment**, v. 5, n. 2, p. 155-183, 2021. <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00233-6>

ALVALA, R.; CUNHA, A. P.; BRITO, S. S.; SELUCHI, M. E.; MARENGO, J. A.; MORAES, O. L.; CARVALHO, M. A. Drought monitoring in the Brazilian Semiarid region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 91, 2017. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170209>

AMBRIZZI, T; FERRAZ, S. E. An objective criterion for determining the South Atlantic Convergence Zone. **Frontiers in Environmental Science**, v. 3, p. 23, 2015. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2015.00023>

ANA. **Capacidade de água disponível - CAD ou AWC dos solos no Brasil**, 2021. <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/28fe4baa-66f3-4f6b-b0d2-890abf5910c4>. Acessado em: 1 de fevereiro de 2022.

ANDERSON, L. O.; ARAGÃO, L. E. O.; LIMA, A. D.; SHIMABUKURO, Y. E. Detecção de cicatrizes de áreas queimadas baseada no modelo linear de mistura espectral e imagens índice de vegetação utilizando dados multitemporais do sensor MODIS/TERRA no estado do Mato Grosso, Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, v. 35, p. 445-456, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672005000400009>

APARECIDO, L. Z. O.; LORENÇONE, P. A.; LORENÇONE, J.A.; DE MENESES, K.C.; DE MORAES J.R.S.C.; DE FARIAS, M.F. Soil water seasonal and spatial variability in Northeast Brazil. **Environment, Development and Sustainability**, v. 24, n. 5, p. 6136-6152, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01695-4>

ARAÚJO, C. S. P. D.; SILVA, I. A. C. E.; IPPOLITO, M.; ALMEIDA, C. D. G. C. D. Evaluation of air temperature estimated by ERA5-Land reanalysis using surface data in Pernambuco, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 194, n. 5, p. 381, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10047-2>

ASSAD E.D.; SANO, E.E.; BEZERRA, H.S.; SILVA, S. C.; LOBATO, E. J. E. Uso de modelos numéricos de terreno na espacialização de épocas de plantio. In: **Assad ED, Sano EE (ed) Sistemas de informações geográficas: Aplicações na agricultura**. Embrapa Cerrados, Brasília, p. 231-248, 1998.

BABA, R. K.; VAZ, M. S. M. G.; COSTA, J. D. Correção de dados agrometeorológicos utilizando métodos estatísticos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, p. 515-526, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620130611>

BANNARI, A.; MORIN, D.; BONN, F.; HUETE, A. A review of vegetation indices. **Remote sensing reviews**, v. 13, n. 1-2, p. 95-120, 1995. <https://doi.org/10.1080/02757259509532298>

BARBANO, M. T., DUARTE, A. P., BRUNINI, O., RECO, P. C., PATERNIANI, M. E. A. G. Z., & KANTHACK, R. A. D. Temperatura-base e acúmulo térmico no subperíodo semeadura-florescimento masculino em cultivares de milho no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 2, p. 261-268, 2001.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; BERGONCI, J. I.; BIANCHI, C. A. M.; MÜLLER, A. G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 831-839, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000900001>

BITTENCOURT, F.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; SANTOS, N. T. Determinação de funções de produtividade de algodão e soja em cultivo sequeiro no extremo oeste da Bahia. **Revista Agrogeoambiental**, v. 10, n. 1, mar. 2018. <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v10n120181089>

BOSILOVICH, M. G.; CHEN, J.; ROBERTSON, F. R.; ADLER, R. F. Evaluation of global precipitation in reanalyses. **Journal of applied meteorology and climatology**, v. 47, n. 9, p. 2279-2299, 2008. <https://doi.org/10.1175/2008JAMC1921.1>

BRASIL. Presidência da República. Secretaria Geral. **Decreto nº 9.667, de 02 de janeiro de 2019**. Brasília, 2019.

BUONTEMPO, C., THÉPAUT, J. N., BERGERON, C. (Copernicus climate change service. **In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, IOP Publishing. v. 509, n. 1, p. 012005, 2020. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/509/1/012005>

CARVALHO, A. A. D.; MONTENEGRO, A. A. D. A.; ASSIS, F., TABOSA, J. N.; CAVALCANTI, R. Q.; ALMEIDA, T. A. Spatial dependence of attributes of rainfed maize under distinct soil cover conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, p. 33-39, 2019. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n1p33-39>

CASANOVAS, E. M.; BARASSI, C. A.; ANDRADE, F. H.; SUELDO, R. J. Azospillum-Inoculated maize plant responses to irrigation restraints imposed during flowering. **Cereal research communications**, v. 31, n. 3-4, p. 395-402, 2003. <https://doi.org/10.1007/BF03543370>

CAVALCANTI, I. F. A.; SHIMIZU, M. H. Climate fields over South America and variability of SACZ and PSA in HadGEM2-ES. **Scientific Research**, v. 1, n.3, p. 4, 2012. <http://dx.doi.org/10.4236/ajcc.2012.13011>

CHAVES, R. R.; NOBRE, P. Interactions between the sea surface temperature over the South Atlantic Ocean and the South Atlantic Convergence Zone. **Geophysical Research Letters**, v. 31, L03204, 2004. <https://doi.org/10.1029/2003GL018647>

CHEN, M.; SHI, W.; XIE, P.; SILVA, V. B.; KOUSKY, V. E.; WAYNE HIGGINS, R.; JANOWIAK, J. E. (2008). Assessing objective techniques for gauge-based analyses of global daily precipitation. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 113, n. D4, 2008. <https://doi.org/10.1029/2007JD009132>

- CONAB. **Boletim Da Safra de Grãos: 9º Levantamento - Safra 2022/2023**, 2022. <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/gaos/boletim-da-safra-de-graos>. Acessado em 24 de junho de 2023
- CRUZ, C. J.; MAGALHÃES, C. P.; PEREIRA FILHO, I. A.; MOREIRA, J. A. A. **Milho: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011, 338 p.
- CUI, W.; DONG, X.; XI, B.; KENNEDY, A. Evaluation of reanalyzed precipitation variability and trends using the gridded gauge-based analysis over the CONUS. **Journal of Hydrometeorology**, v. 18, n. 8, p. 2227-2248, 2017. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-17-0029.1>
- DANTAS, Leydson G. et al. Future Changes in Temperature and Precipitation over Northeastern Brazil by CMIP6 Model. **Water**, v. 14, n. 24, p. 4118, 2022. <https://doi.org/10.3390/w14244118>
- DAVY, H. NDVI from A to Z. *In*: Oxford University, Nathalie Pettorelli. (org.). **The Normalized Difference Vegetation Index**. New York: Oxford University Press, 2013. p. 30-43.
- DINIZ, A. F. **Variabilidade Climática e a sua Influência na Produtividade da Cultura do Milho na Microrregião de Feira de Santana (Bahia)**. 2016. 111 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade de São Paulo, Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, 2016.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Yield response to water. **Irrigation and drainage paper**, v. 33, p. 257, 1979.
- DÖSCHER, R. et al. The EC-Earth3 Earth System Model for the Climate Model Intercomparison Project 6. **Geoscientific Model Development**, v. 15, p. 2973–3020, 2022. <https://doi.org/10.5194/gmd-15-2973-2022>
- EC-EARTH. EC-Earth-Consortium EC-Earth3-Veg-LR model output prepared for CMIP6 CMIP. Versão 1.5.0. **Earth System Grid Federation**, 2020. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.643>
- EHLERINGER, J. R.; CERLING, E.T.; HELLIKER, B. R. C4 photosynthesis, atmospheric CO<sub>2</sub>, and climate. **Oecologia**, v. 12, p. 285-299, 1997. <https://doi.org/10.1007/s004420050311>
- EMBRAPA. **Indicações técnicas para o cultivo de milho e de sorgo no Rio Grande do Sul: safras 2017/2018 e 2018/2019**, ed. 1. Brasília: Embrapa, p. 101, 2017.
- ESCOBAR, G. C. J.; REBOITA, M. S. Relationship between daily atmospheric circulation patterns and South Atlantic Convergence Zone (SACZ) events. **Atmosfera**, v. 35, n. 1, p. 1-25, 2022. <https://doi.org/10.20937/atm.52936>
- EYRING, V.; BONY, S.; MEEHL, G. A.; SENIOR, C. A.; STEVENS, B.; STOUFFER, R. J.; TAYLOR, K. E. Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. **Geoscientific Model Development**, v. 9, n. 5, p. 1937-1958, 2016. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016>

- FERNANDES, I. G.; PIMENTA, F. M.; SAAVEDRA, O. R.; SILVA, A. R. Offshore validation of ERA5 reanalysis with hub height wind observations of Brazil. In: 2021 **IEEE PES innovative smart grid technologies conference-Latin America (ISGT Latin America)**. IEEE, p. 1-5, 2021.  
<https://doi.org/10.1109/ISGTLatinAmerica52371.2021.9542993>
- FERREIRA, A. B. R.; PEREIRA, G.; FONSECA, B. M.; DA SILVA CARDOZO, F. As mudanças no uso e cobertura da terra na região oeste da Bahia a partir da expansão agrícola. **Formação (Online)**, v. 28, n. 53, p. 389-412, 2021.
- FIRPO, M. Â. F.; GUIMARÃES, B. D. S.; DANTAS, L. G.; SILVA, M. G. B. D.; ALVES, L. M.; CHADWICK, R.; LLOPART, M. P.; OLIVEIRA, G. S. D. Assessment of CMIP6 models' performance in simulating present-day climate in Brazil. **Frontiers in Climate**, v. 4, p. 948499, 2022. <https://doi.org/10.3389/fclim.2022.948499>
- FONSECA, H. P.; PIRES, G. F.; BRUMATTI, L. M. Spatial and Temporal Evolution of Sowing and the Onset of the Rainy Season in a Region of Large Agricultural Expansion in Brazil. **Agronomy**, v. 12, n. 7, p. 1679, 2022. <https://doi.org/10.3390/agronomy12071679>
- FRÈRE, M.; POPOV, G. Early agrometeorological crop yield assessment. **Food and Agricultural Organization of the United Nations**, Rome, Italy. 1986. 150 p.
- GLEIXNER, S.; DEMISSIE, T.; DIRO, G. T. Did ERA5 improve temperature and precipitation reanalysis over East Africa?. **Atmosphere**, v. 11, n. 9, p. 996, 2020.  
<https://doi.org/10.3390/atmos11090996>
- GOMES, H. B., AMBRIZZI, T., PONTES DA SILVA, B. F., HODGES, K., SILVA DIAS, P. L., HERDIES, D. L.; SILVA, M. C. L.; GOMES, H. B. Climatology of easterly wave disturbances over the tropical South Atlantic. **Climate Dynamics**, v. 53, p. 1393-1411, 2019.  
<https://doi.org/10.1007/s00382-019-04667-7>
- GUIMARÃES, D. P.; LANDAU, E. C.; MENEZES, C. B. DE; TARDIN, F. D. **Zoneamento agrícola de risco climático (Zarc) para o sorgo granífero no Brasil**. 1.ed. p.18, 2020.
- HANWAY, J. J. Growth stages of corn (Zea mays). **Agronomy Journal**, v. 55, n. 5, p. 487-492, 1963. <https://doi.org/10.2134/agronj1963.00021962005500050024x>
- HARRIS, C.R., MILLMAN, K.J., VAN DER WALT, S.J. Gommers, R., Virtanen, P., Cournapeau, D., ... & Oliphant, T. E.. Array programming with NumPy. **Nature**, v. 585, n. 7825, p. 357–362, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2>
- HOYER, S.; HAMMAN, J. xarray: N-D labeled Arrays and Datasets in Python. **Journal of Open Research Software**, v. 5, n. 1, p. 10, 2017. <https://doi.org/10.5334/jors.148>
- HSIAO, T. C. The soil-plant-atmosphere continuum in relation to drought and crop production. **Drought resistance in crops with emphasis on rice**, p. 39–52, 1982.
- HUANG, S.; TANG, L.; HUPY, J. P.; WANG, Y.; SHAO, G. A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. **Journal of Forestry Research**, v. 32, n. 1, p. 1-6, 2021.  
<https://doi.org/10.1007/s11676-020-01155-1>

HUETE, A. R.; LIU, H. Q.; BATCHILY, K. V.; VAN LEEUWEN, W. J. D. A. (A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote sensing of environment**, v. 59, n. 3, p. 440-451, 1997. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00112-5)

HUNTER, J. D. Matplotlib: A 2D graphics environment. **Computing in science & engineering**, v. 9, n. 03, p. 90-95, 2007. <https://doi.org/10.5281/zenodo.592536>

IBGE. **Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA: Produção Agrícola Municipal**. Rio de Janeiro, 2021.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Scenario Process for AR5. Representative Concentration Pathways (RCPs)**, 2019. Disponível em [https://sedac.ciesin.columbia.edu/ddc/ar5\\_scenario\\_process/RCPs.html](https://sedac.ciesin.columbia.edu/ddc/ar5_scenario_process/RCPs.html). Acessado em 4 de setembro de 2023.

JELINEK, A. R.; CHEMALE JR, F.; VAN DER BEEK, P. A.; GUADAGNIN, F.; CUPERTINO, J. A.; VIANA, A. Denudation history and landscape evolution of the northern East-Brazilian continental margin from apatite fission-track thermochronology. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 54, p. 158-181, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2014.06.001>

JESUS, E. F. R. Algumas reflexões teórico-conceituais na climatologia geográfica em mesoescala: uma proposta de investigação. **GeoTextos**, v. 4, n. 1 e 2, p.165-187, 2008. <https://doi.org/10.9771/1984-5537geo.v4i0.3301>

JIANG, H.; YANG, Y.; BAI, Y.; & WANG, H. Evaluation of the total, direct, and diffuse solar radiations from the ERA5 reanalysis data in China. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 17, n. 1, p. 47-51, 2019. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2019.2916410>

JORDAHL, K.; VAN DEN BOSSCHE, J.; WASSERMAN, J.; MCBRIDE, J.; GERARD, J.; FLEISCHMANN, M.; TRATNER, J.; PERRY, M.; FARMER, C.; HJELLE, G.; GILLIES, S.; COCHRAN, M.; BARTOS, M.; CULBERTSON, L.; EUBANK, N.; MAXALBERT; REY, S.; BILOGUR, A.; ARRIBAS-BEL, D.; REN, C.; WILSON, J.; JOURNOIS, M.; WOLF, L. J. ; WASSER, L.; ÖZAK, Ö.; YUICHI, N. ; LEBLANC, F.; FILIPE ; HOLDGRAF, C.; GREENHALL, A. **Geopandas/Geopandas: v.0.8.1**. Zenodo, 2020. <http://doi.org/10.5281/zenodo.3946761>

JUCKES, M., TAYLOR, K. E., DURACK, P. J., LAWRENCE, B., MIZIELINSKI, M. S., PAMMENT, A., PETERSCHMITT, J.-Y., RIXEN, M., AND SÉNÉSI, S. The CMIP6 data request (DREQ, version 01.00. 31). **Geoscientific Model Development**, v. 13, n. 1, p. 201-224, 2020. <https://doi.org/10.5194/gmd-13-201-2020>

KOUSKY, V. E. CHU, P. S. Fluctuations in annual rainfall for Northeast Brazil. **Journal Meteorological Society of Japan**, v. 56, p. 457- 465, 1978. [https://doi.org/10.2151/jmsj1965.56.5\\_457](https://doi.org/10.2151/jmsj1965.56.5_457)

KOUSKY, V. E. Diurnal rainfall variation in northeastern Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 108, n. 4, p. 488-498, 1980. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1980\)108%3C0488:DRVINB%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1980)108%3C0488:DRVINB%3E2.0.CO;2)

KOUSKY, V. E. Frontal influences on Northeast Brazil. **Monthly Weather on Review**, v. 107, p. 1140-1153, 1979. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1979\)107%3C1140:FIONB%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1979)107%3C1140:FIONB%3E2.0.CO;2)

KOUSKY, V. E.; GAN, M. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. **Tellus**, v. 36, n. 6, p. 538–551, 1981. <https://doi.org/10.3402/tellusa.v33i6.10775>

LAVERS, D. A.; SIMMONS, A.; VAMBORG, F.; RODWELL, M. J. An evaluation of ERA5 precipitation for climate monitoring. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 148, n. 748, p. 3152-3165, 2022. <https://doi.org/10.1002/qj.4351>

LENTERS, J. D.; KRATZ, T. K.; BOWSER, C. J. Effects of climate variability on lake evaporation: Results from a long-term energy budget study of Sparkling Lake, northern Wisconsin (USA). **Journal of Hydrology**, v. 308, n. 1-4, p. 168-195, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.10.028>

LIMA, J. R. A.; NEVES, D. J. D.; DE ARAÚJO, L. E.; DE AZEVEDO, P. V. Identificação de tendências climáticas no Estado da Bahia. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 28, n. 3, p. 172-187, 2011.

LOMPAR, M.; LALIĆ, B.; DEKIĆ, L.; & PETRIĆ, M. Filling gaps in hourly air temperature data using debiased ERA5 data. **Atmosphere**, v. 10, n. 1, p. 13, 2019. <https://doi.org/10.3390/atmos10010013>

LOPES, J. R. F.; DANTAS, M. P.; FERREIRA, F. E. P. Variabilidade da precipitação pluvial e produtividade do milho no semiárido brasileiro através da análise multivariada. **Nativa**, v. 7, n. 1, p. 77-83, 2019. <https://doi.org/10.31413/nativa.v7i1.6243>

MALDANER, L. J.; HORING, K.; SCHNEIDER, J. F.; FRIGO, J. P.; AZEVEDO, K. D.; GRZESIUCK, A. E. Exigências agroclimáticas da cultura do milho (*Zea mays*). **Revista Brasileira de Energia Renováveis**, v. 3, p. 13-23, 2014. <http://dx.doi.org/10.5380/rber.v3i1.36915>

MAPA. **Programa Nacional de Zoneamento Agrícola de Risco Climático**, 2023. <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/programa-nacional-de-zoneamento-agricola-de-risco-climatico/zoneamento-agricola>. Acessado em 22 de junho de 2023.

MAPA. Zoneamento Agrícola de Risco Climático para a cultura do milho 1ª safra no Estado da Bahia, ano-safra 2022/2022. Portaria nº 175, de 23 de maio de 2022, 2022.

MAPA. Zoneamento Agrícola de Risco Climático para a cultura do milho 1ª safra no Estado da Bahia, ano-safra 2023/2024. Portaria nº 160, de 19 de maio de 2023, 2023.

MARENGO, J. A.; GALDOS, M. V.; CHALLINOR, A.; CUNHA, A. P.; MARIN, F. R.; VIANNA, M. D. S.; AVALA, R. C. S.; ALVES, L. M.; MORAES, L. M.; BENDER, F. Drought in Northeast Brazil: A review of agricultural and policy adaptation options for food security. **Climate Resilience and Sustainability**, v. 1, n. 1, p. e17, 2022. <https://doi.org/10.1002/cli2.17>

MARENGO, J. A.; VALVERDE, M. C. Caracterização do clima no Século XX e Cenário de Mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos do IPCC-AR4. **Revista Multiciência**, v. 8, n. 1, p. 5-28, 2007.

MARTINS, M. A.; TOMASELLA, J.; DIAS, C. G. Maize yield under a changing climate in the Brazilian Northeast: Impacts and adaptation. **Agricultural water management**, v. 216, p. 339-350, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.02.011>

MATSUSHITA, B.; YANG, W.; CHEN, J.; ONDA, Y.; QIU, G. (2007). Sensitivity of the enhanced vegetation index (EVI) and normalized difference vegetation index (NDVI) to topographic effects: a case study in high-density cypress forest. **Sensors**, v. 7, n. 11, p. 2636-2651, 2007. <https://doi.org/10.3390/s7112636>

MEINSHAUSEN, M.; NICHOLLS, Z. R.; LEWIS, J.; GIDDEN, M. J.; VOGEL, E.; FREUND, M.; ... & WANG, R. H. The shared socio-economic pathway (SSP) greenhouse gas concentrations and their extensions to 2500. **Geoscientific Model Development**, v. 13, n. 8, p. 3571-3605, 2020. <https://doi.org/10.5194/gmd-13-3571-2020>

MENCIA, F. P. H.; ZANCHI, F. B.; DO NASCIMENTO LOPES, E. R. Climatic characteristics and their implications among the pedological and topographical aspects of southern Bahia, Brazil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 29, p. 24-48, 2021. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v29i0.71108>

MINITTI, A. F. **Relatório de avaliação dos impactos de tecnologias geradas pela Embrapa Informática Agropecuária**. 1 ed., Campinas: Embrapa, p. 52, 2020.

MOORE, T. NDVI and environmental monitorins. *In*: Oxford University, Nathalie Pettorelli. (org.). **The Normalized Difference Vegetation Index**. New York: Oxford University Press, 2013. p. 57- 69.

MORAES, J. B. D. **Áreas suscetíveis a desertificação no Brasil e projeções para cenários de mudanças climáticas**. 2021. 36 f. Dissertação (Mestrado em Práticas em Desenvolvimento Sustentável) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Práticas em Desenvolvimento Sustentável, 2021.

MORAIS, M. D. C.; GAN, M. A.; YOSHIDA, M. C. Features of the upper tropospheric cyclonic vortices of Northeast Brazil in life cycle stages. **International Journal of Climatology**, v. 41, p. E39-E58, 2021. <https://doi.org/10.1002/joc.6839>

MUÑOZ-SABATER, J. ERA5-Land hourly data from 1981 to present. **Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS)**. Reading: ECMWF, 2019. <https://doi.org/10.24381/cds.c866074c>

MUÑOZ-SABATER, J.; DUTRA, E.; AGUSTÍ-PANAREDA, A.; ALBERGEL, C.; ARDUINI, G.; BALSAMO, G.; ... THÉPAUT, J. N. ERA5-Land: A state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. **Earth system science data**, v.13, n. 9, p. 4349-4383, 2021. <https://doi.org/10.5194/essd-13-4349-2021>

NIKAM, B. R.; KUMAR, P.; GARG, V.; THAKUR, P. K.; S. P. AGGARWAL, S. P. Comparative evaluation of different potential evapotranspiration estimation approaches. **International Journal of Research in Engineering and Technology**, v. 3, n. 6, p. 544-552, 2014.

NÓBREGA, M. R. R.; SILVA, M. V. M. D.; LIMA, C. E. S.; SILVA, G. K. D.; GONÇALVES, S. T. N.; SILVEIRA, C. D. S. Impacto das Mudanças Climáticas na Aridez da Bacia Estendida do rio São Francisco, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 37, p. 185-197, 2022. <https://doi.org/10.1590/0102-77863710032>

OLIVEIRA, L. P.; DA CRUZ, U. R. X. Análise da relação do índice de GINI e da configuração ambiental nos municípios do oeste baiano a partir de dados do sensor orbital modis para o ano de 2019. **Revista Verde Grande: Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 4, n. 2, p. 256-274, 2022. <https://doi.org/10.46551/rvg2675239520222256274>

OLIVEIRA, L. P.; PACHECO, M. G. Análise geográfica: relações do uso e cobertura com a morfologia das terras a partir do sensor moderate resolution imaging spectroradiometer (modis) e shuttle radar topography mission (SRTM) para o oeste baiano, Bahia, Brasil. **Diálogo andino**, n. 63, p. 285-297, 2020. <http://dx.doi.org/10.4067/S0719-26812020000300285>

O'NEILL, B. C.; TEBALDI, C.; VAN VUUREN, D. P.; EYRING, V.; FRIEDLINGSTEIN, P.; HURTT, G.; HURTT, G.; KNUTTI, R.; KRIEGLER, E.; LAMARQUE, J.-F.; LOWE, J.; MEEHL, G. A.; MOSS, R.; RIAHI, R.; SANDERSON, B. M. The scenario model intercomparison project (ScenarioMIP) for CMIP6. **Geoscientific Model Development**, v. 9, n. 9, p. 3461-3482, 2016. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-3461-2016>

ORTEGA, G.; ARIAS, P. A.; VILLEGAS, J. C.; MARQUET, P. A.; NOBRE, P. Present-day and future climate over central and South America according to CMIP5/CMIP6 models. **International Journal of Climatology**, v. 41, n. 15, p. 6713-6735, 2021. <https://doi.org/10.1002/joc.7221>

PACHECO, A. D. P. P.; SILVA, J. A. D. S. J.; MORAIS, L. M. B.; MOREIRA, E. B. M. (2023). Avaliação de índices de vegetação NDVI e EVI na bacia hidrográfica DO RIO Pajeú/Pernambuco/Brasil a partir de séries temporais MODIS MOD13A1. **Caderno de Geografia**, v. 33, n. 74, p. 860-879, 2023. <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2023v33n74p860>

PETRIE, R.; DENVIL, S.; AMES, S.; LEVAVASSEUR, G.; FIORE, S.; ALLEN, C.; ANTONIO, F.; BERGER, K.; BRETONNIÈRE, P.-A.; CINQUINI, L.; DART, E.; DWARAKANATH, P.; DRUKEN, K.; EVANS, B.; FRANCHISTÉGUY, L.; GARDOLL, S.; GERBIER, E.; GREENSLADE, M.; HASSELL, D.; IWI, A.; JUCKES, M.; KINDERMANN, S.; LACINSKI, L.; MIRTO, M.; NASSER, A. B.; NASSISI, P.; NIENHOUSE, E.; NIKONOV, S.; NUZZO, A.; RICHARDS, C.; RIDZWAN, S.; RIXEN, M.; SERRADELL, K.; SNOW, K.; STEPHENS, A.; STOCKHAUSE, M.; VAHLENKAMP, H.; WAGNER, R. Coordinating an operational data distribution network for CMIP6 data. **Geoscientific Model Development**, v. 14, n. 1, p. 629-644, 2021. <https://doi.org/10.5194/gmd-14-629-2021>

PEZZI, L. P.; QUADRO, M. F.; LORENZZETTI, J. A.; MILLER, A. J.; ROSA, E. B.; LIMA, L. N.; SUTIL, U. A. The effect of Oceanic South Atlantic Convergence Zone episodes on regional SST anomalies: the roles of heat fluxes and upper-ocean dynamics. **Climate Dynamics**, v. 59, n. 7-8, p. 2041-2065, 2022. <https://doi.org/10.1007/s00382-022-06195-3>

PINHEIRO, L. C. D. S. J., GOMES, R. A. T., DE CARVALHO JÚNIOR, O. A., GUIMARÃES, R. F., DE OLIVEIRA, S. N. Mudanças do uso da terra e fragmentação da

paisagem no município de Correntina (BA) durante 1988-2008. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 35, p. 169-198, 2016. <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v35i0>

RAO, V. B.; HADA, K. Characteristics of rainfall over Brazil: annual variations and connections with the southern oscillation. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 42, p. 81- 91, 1990. <https://doi.org/10.1007/BF00868215>

RAO, V. B.; LIMA, M. C.; FRANCHITO, S. H. Seasonal and interannual variations of rainfall over eastern Northeast Brazil. **Journal of Climate**, v. 6, p. 1754-1763, 1993. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1993\)006%3C1754:SAIVOR%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1993)006%3C1754:SAIVOR%3E2.0.CO;2)

REBACK, J.; MCKINNEY, W.; VAN DEN BOSSCHE, J.; AUGSPURGER, T.; CLOUD, P.; KLEIN, A., ... & SEABOLD, S. pandas-dev/pandas: Pandas 1.0.5 (v1.0.5). **Zenodo**, 2020. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3898987>

REIS, J. S.; GONÇALVES, W. A.; MENDES, D. Climatology of the dynamic and thermodynamic features of upper tropospheric cyclonic vortices in Northeast Brazil. **Climate Dynamics**, v. 57, n. 11-12, p. 3413-3431, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00382-021-05873-y>

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. Howacorn plant develops. **Ames: Iowa State University of Science and Technology**, University Extension. Special Bulletin, v. 48, p. 21, 1993.

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente Excel<sup>TM</sup> para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 6, n. 1, p. 133-137, 1998.

ROSA, E. B.; PEZZI, L. P.; QUADRO, M. F. L. D.; BRUNSELL, N. Automated detection algorithm for SACZ, oceanic SACZ, and their climatological features. **Frontiers in Environmental Science**, v. 8, p. 18, 2020. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00018>

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: Third earth resources technology satellite - symposium. **NASA Spec. Publ**, v. 2, n. 1, p. 309, 1973.

SADEGHI, M.; AKBARI ASANJAN, A.; FARIDZAD, M.; AFZALI GOROOH, V.; NGUYEN, P.; HSU, K.; SOROOSHIAN, S.; BRAITHWAITE, D. Evaluation of PERSIANN-CDR constructed using GPCP V2. 2 and V2. 3 and a comparison with TRMM 3B42 V7 and CPC unified gauge-based analysis in global scale. **Remote Sensing**, v. 11, n. 23, p. 2755, 2019. <https://doi.org/10.3390/rs11232755>

SANTOS NETO, J. C. D.; GAMA, D. C.; SILVA, L.F.; JESUS, J. B. Caracterização da precipitação e da vazão no trecho sudoeste da Bacia Hidrográfica do rio Paraguaçu, Bahia, Brasil. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 9, p. e32911931659-e32911931659, 2022. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i9.31659>

SANTOS, G. M.; DATTILO, W.; PRESLEY, S. J. The seasonal dynamic of ant-flower networks in a semi-arid tropical environment. **Ecological entomology**, v. 39, n. 6, p. 674-683, 2014. <https://doi.org/10.1111/een.12138>

SANTOS, P. M.; PEZZOPANE, J. R. M.; MENDONÇA, F. C.; BETTIOL, G. M.; EVANGELISTA, B. A.; SILVA, F. A. M. D. Climatic risk zoning for corn and palisade grass

(*Brachiaria brizantha* cv: Marandu) cultivated in integrated crop-livestock systems in São Paulo state, Brazil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, p. 36-40, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982012000100006>

SENTELHAS, P. C.; GILLESPIE, T. J.; SANTOS, E. A. Evaluation of FAO Penman–Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario, Canada. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 5, p. 635-644, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.12.001>

SHEFFIELD, J.; GOTETI, G.; WOOD, E. F. Development of a 50-year high-resolution global dataset of meteorological forcings for land surface modeling. **Journal of climate**, v. 19, n. 13, p. 3088-3111; 2006. <https://doi.org/10.1175/JCLI3790.1>

SIEFERT, C. A. C.; DOMBROWSKI NETTO, N.; MARANGON, F. H. S.; SCHULTZ, G. B.; SILVA, L. M. D. R.; FONTENELLE, T. H.; SANTOS, I. D. Avaliação de Séries de Velocidade do Vento de Produtos de Reanálises Climáticas para o Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, p. 689-701, 2022. <https://doi.org/10.1590/0102-7786360026>

SIEGA, P. C. **Efeito da época de semeadura na produção de grãos híbrido de milho**. UNICENTRO: Dissertação de mestrado, p. 11, 2015.

SILVA, B. K. N.; AMORIM, A. C. B.; SILVA, C. M.; LUCIO, P. S.; BARBOSA, L. M. Rainfall-related natural disasters in the Northeast of Brazil as a response to ocean-atmosphere interaction. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 138, n. 3, p. 1821-1829, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02930-9>

SIMÕES, Y. D. S.; ARAÚJO, H. A. D.; SILVA, E. H. B. C. Trend analysis of rain indicators for the state of Bahia, Brazil. **International Journal Hydrology**, v. 4, n. 2, p. 67-74, 2020. <https://doi.org/10.15406/ijh.2020.04.00228>

SIMÕES, Y. D. S.; SILVA, E. H. B. C.; ARAÚJO, H. A. D. Rainfall zoning of Bahia State, Brazil: an update proposal. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 13, n. 1, p. 2171, 2018. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2171>

SOUSA, F. D. A. S. D.; MACEDO, M. J. H.; GUEDES, R. V. S.; SILVA, V. P. R. O Índice de Precipitação Padronizada (IPP) na identificação de extremos de chuvas e secas na bacia do rio Paraguaçu-BA. **Ambiência Guarapuava**, v. 12, n. 2, p. 707-719, 2016. <https://doi.org/10.5935/ambiencia.2016.02.14>

SOUZA, T. S. NASCIMENTO, P. S. Análise da variabilidade espacial e temporal da precipitação pluviométrica na região hidrográfica do recôncavo sul (BA). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, p. 1-18, 2020. <https://doi.org/10.5380/abclima.v27i0.68353>

STEWART, D. W., COSTA, C., DWYER, L. M., SMITH, D. L., HAMILTON, R. I., & MA, B. L. Canopy structure, light interception, and photosynthesis in maize. **Agronomy Journal**, v. 95, n. 6, p. 1465-1474, 2003. <https://doi.org/10.2134/agronj2003.1465>

SUN, Q.; MIAO, C.; DUAN, Q.; ASHOURI, H.; SOROOSHIAN, S.; HSU, K. L. A review of global precipitation data sets: Data sources, estimation, and inter-comparisons. **Reviews of Geophysics**, v. 56, n. 1, p. 79-107, 2018. <https://doi.org/10.1002/2017RG000574>

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre, Artmed. 2009, 719p.

TELES, J. D. de A.; SOUZA, K. S.; FARIAS, R. G. Análise temporal do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na Bacia Hidrográfica do Rio Branco—BA. **Geociências**, v. 41, n. 2, p. 497-502, 2022. <https://doi.org/10.5016/geociencias.v41i02.15796>

TEODORO, T. A.; REBOITA, M. S.; ESCOBAR, G. C. J. Principais Padrões de Verão da Pressão ao Nível do Mar sobre a Região da América do Sul no Clima Presente e em Projeções Futuras. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 45, p. 1-12, 2022. [https://doi.org/10.11137/1982-3908\\_2022\\_45\\_40597](https://doi.org/10.11137/1982-3908_2022_45_40597)

TÉTENS, O. Über einige meteorologische begriffe. Z. **Geophys.** n. 6, p. 297-309. 1930.

TETZNER, D.; THOMAS, E.; ALLEN, C. A validation of ERA5 reanalysis data in the Southern Antarctic Peninsula—Ellsworth land region, and its implications for ice core studies. **Geosciences**, v. 9, n. 7, p. 289, 2019. <https://doi.org/10.3390/geosciences9070289>

THOMSON, A. M.; CALVIN, K. V.; SMITH, S. J.; KYLE, G. P.; VOLKE, A.; PATEL, P., ... & EDMONDS, J. A. RCP4. 5: a pathway for stabilization of radiative forcing by 2100. **Climatic change**, v. 109, p. 77-94, 2011. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0151-4>

TILLMANN, M. A. A.; PIANA, Z.; CAVARIANI, C.; MINAMI, K. Efeito da profundidade de semeadura na emergência de plântulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Scientia Agricola**, v. 51, p. 260-263, 1994. <https://doi.org/10.1590/S0103-90161994000200010>

TOMASELLA, J; ROSSATO, L. Balanço hídrico. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. São Paulo, 2005.

TORRES, F.; KUKI, C.; FERREIRA, G.; VASCONCELLOS, B.; FREITAS, A.; SILVA, P.; SOUZA, C. A.; REBOITA, M. S. Validação de diferentes bases de dados de precipitação nas bacias hidrográficas do Sapucaí e São Francisco. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, 2020. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v27i0.73634>

VALERIANO, M. de M. Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais. **São José dos Campos: INPE**, v. 72, 2008. <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>. Acesso em: 31 de maio de 2023.

VAN ROSSUM, G.; DRAKE J. F. L. Python reference manual. **Centrum voor Wiskunde en Informatica Amsterdam**, Amsterdam, 1995, 150 p.

VOLDOIRE, A. CNRM-CERFACS CNRM-CM6-1-HR model output prepared for CMIP6 ScenarioMIP ssp245. Versão 01.00.21. **Earth System Grid Federation**, 2019. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.4190>

WANG, Y. R.; HESSEN, D. O.; SAMSET, B. H.; STORDAL, F. Evaluating global and regional land warming trends in the past decades with both MODIS and ERA5-Land land surface temperature data. **Remote Sensing of Environment**, v. 280, p. 113181, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113181>

WILLMOTT, C. J.; ACKELSON, S. G.; DAVIS, R. E. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, v. 90, n. C5, 1982. WILLMOTT, C. J.; ACKELSON, S. G.; DAVIS, R. E. Statistics for the evaluation and comparison of

models. *Journal of Geophysical Research*, v. 90, n. C5, 1982.  
<https://doi.org/10.1029/JC090iC05p08995>

WMO. **Guide to Hydrological Practice**. Geneva, Switzerland, 1981.

WMO. **Guide to Hydrological Practice: Hydrology**. Geneva, Switzerland, 2008.

WMO. **Guidelines on the Calculation of Climate Normals**. Geneva, Switzerland, 2017.

WU, Z.; FENG, H.; HE, H.; ZHOU, J.; ZHANG, Y. Evaluation of soil moisture climatology and anomaly components derived from ERA5-land and GLDAS-2.1 in China. *Water Resources Management*, v. 35, p. 629-643, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02743-w>

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). *International Journal of Climatology*, v. 36, n. 6, p. 2644-2659, 2016. <https://doi.org/10.1002/joc.4518>

XAVIER, A. C.; SCANLON, B. R.; KING, C. W.; ALVES, A. I. New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020). *International Journal of Climatology*, v. 2, n. 16, p. 8390-8404, 2022. <https://doi.org/10.1002/joc.7731>

YAMAZAKI, Y.; RAO, V. B. Tropical cloudiness over South Atlantic Ocean. *Journal Meteorological Society of Japan*, v. 55, p. 205-207, 1977.

YILMAZ, M. Accuracy assessment of temperature trends from ERA5 and ERA5-Land. *Science of The Total Environment*, v. 856, p. 159182, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159182>

ZULUAGA, C. F.; JUSTINO, F. B.; FERREIRA, A. V.; GLERIAN, J. M. Radiation Balance Estimates Over Southeastern Brazil: Ground Observations, Satellite and Reanalysis. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 38, e38230082, 2023. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-77863810082>.

**APÊNDICE A – Validação estatística para Alagoinhas com o erro quadrático médio, erro padrão de estimativa, erro absoluto médio percentual, erro médio absoluto organizados por decêndios e média geral, respectivamente, contendo temperatura do ar máxima (Tmax) e mínima (Tmin), umidade relativa média do ar (UR), velocidade média do vento (VV), evapotranspiração de referência (ETo) e precipitação (PRP).**

| Decêndio | Erro quadrático médio - Alagoinhas |      |      |      |      |       |
|----------|------------------------------------|------|------|------|------|-------|
|          | Tmax                               | Tmin | UR   | VV   | ETo  | PRP   |
| 1        | 1,78                               | 1,45 | 2,59 | 0,33 | 4,02 | 15,28 |
| 2        | 1,68                               | 1,48 | 3,14 | 0,24 | 3,15 | 11,03 |
| 3        | 1,77                               | 1,56 | 4,37 | 0,21 | 5,96 | 8,50  |
| 4        | 1,57                               | 1,71 | 5,28 | 0,41 | 2,47 | 12,40 |
| 5        | 1,72                               | 1,86 | 5,50 | 0,51 | 4,37 | 18,44 |
| 6        | 1,67                               | 1,52 | 6,17 | 0,41 | 4,23 | 8,70  |
| 7        | 2,33                               | 1,65 | 6,37 | 0,40 | 5,57 | 7,85  |
| 8        | 2,14                               | 1,41 | 5,48 | 0,37 | 6,15 | 15,89 |
| 9        | 2,06                               | 1,28 | 2,84 | 0,35 | 2,45 | 10,97 |
| 10       | 1,91                               | 1,03 | 3,32 | 0,48 | 2,40 | 27,71 |
| 11       | 1,64                               | 1,04 | 3,67 | 0,51 | 2,64 | 20,74 |
| 12       | 1,73                               | 1,18 | 3,19 | 0,48 | 3,23 | 35,25 |
| 13       | 1,60                               | 1,27 | 3,74 | 0,59 | 3,49 | 15,91 |
| 14       | 1,38                               | 1,16 | 4,58 | 0,60 | 2,69 | 19,67 |
| 15       | 1,64                               | 1,03 | 4,58 | 0,56 | 2,54 | 21,96 |
| 16       | 1,53                               | 1,18 | 4,69 | 0,80 | 2,81 | 17,40 |
| 17       | 1,80                               | 0,97 | 3,42 | 0,66 | 2,58 | 26,58 |
| 18       | 1,74                               | 0,83 | 4,62 | 0,51 | 1,55 | 12,46 |
| 19       | 1,76                               | 1,14 | 3,86 | 0,64 | 3,24 | 20,85 |
| 20       | 1,70                               | 1,38 | 4,01 | 0,59 | 2,04 | 20,02 |
| 21       | 1,70                               | 1,23 | 4,56 | 0,58 | 3,41 | 5,89  |
| 22       | 1,70                               | 1,04 | 5,09 | 0,64 | 3,67 | 15,31 |
| 23       | 1,58                               | 1,05 | 5,49 | 0,59 | 2,70 | 8,95  |
| 24       | 1,75                               | 1,15 | 4,63 | 0,50 | 2,07 | 10,35 |
| 25       | 1,44                               | 1,18 | 4,47 | 0,38 | 1,98 | 11,00 |
| 26       | 1,36                               | 1,29 | 4,65 | 0,35 | 2,99 | 19,50 |
| 27       | 1,04                               | 1,30 | 6,31 | 0,38 | 4,34 | 10,09 |
| 28       | 0,91                               | 1,56 | 5,67 | 0,43 | 3,87 | 7,74  |
| 29       | 1,11                               | 1,70 | 5,45 | 0,47 | 2,98 | 12,90 |
| 30       | 1,18                               | 1,67 | 3,28 | 0,35 | 5,45 | 5,63  |
| 31       | 1,14                               | 1,47 | 4,55 | 0,33 | 2,68 | 15,56 |
| 32       | 1,19                               | 1,54 | 3,93 | 0,39 | 3,97 | 14,32 |
| 33       | 1,50                               | 1,83 | 3,57 | 0,50 | 1,88 | 15,03 |
| 34       | 1,68                               | 1,37 | 2,50 | 0,30 | 3,89 | 22,80 |
| 35       | 1,31                               | 1,07 | 1,94 | 0,44 | 2,72 | 31,41 |
| 36       | 1,68                               | 1,19 | 3,47 | 0,34 | 2,97 | 12,52 |

| Decêndio | Erro padrão de estimativa - Alagoinhas |      |      |      |      |       |
|----------|--|------|------|------|------|-------|
|          | Tmax                                   | Tmin | UR   | VV   | ETo  | PRP   |
| 1        | 1,87                                   | 1,53 | 2,73 | 0,35 | 4,26 | 16,11 |
| 2        | 1,77                                   | 1,56 | 3,31 | 0,26 | 3,34 | 11,62 |
| 3        | 1,87                                   | 1,64 | 4,60 | 0,22 | 6,33 | 8,96  |
| 4        | 1,66                                   | 1,81 | 5,57 | 0,44 | 2,62 | 13,08 |
| 5        | 1,82                                   | 1,96 | 5,79 | 0,53 | 4,64 | 19,43 |
| 6        | 1,76                                   | 1,60 | 6,51 | 0,43 | 4,49 | 9,17  |
| 7        | 2,46                                   | 1,74 | 6,71 | 0,42 | 5,90 | 8,27  |
| 8        | 2,25                                   | 1,49 | 5,78 | 0,39 | 6,52 | 16,75 |
| 9        | 2,17                                   | 1,35 | 3,00 | 0,36 | 2,60 | 11,57 |
| 10       | 2,01                                   | 1,09 | 3,50 | 0,50 | 2,55 | 29,20 |
| 11       | 1,73                                   | 1,09 | 3,86 | 0,54 | 2,80 | 21,86 |
| 12       | 1,82                                   | 1,24 | 3,37 | 0,51 | 3,45 | 37,15 |
| 13       | 1,69                                   | 1,34 | 3,94 | 0,62 | 3,73 | 16,77 |
| 14       | 1,45                                   | 1,22 | 4,83 | 0,64 | 2,87 | 20,73 |
| 15       | 1,73                                   | 1,09 | 4,83 | 0,59 | 2,72 | 23,15 |
| 16       | 1,61                                   | 1,24 | 4,94 | 0,84 | 3,00 | 18,34 |
| 17       | 1,89                                   | 1,03 | 3,60 | 0,70 | 2,76 | 28,02 |
| 18       | 1,84                                   | 0,87 | 4,87 | 0,54 | 1,66 | 13,13 |
| 19       | 1,85                                   | 1,21 | 4,07 | 0,67 | 3,42 | 21,98 |
| 20       | 1,79                                   | 1,46 | 4,23 | 0,62 | 2,15 | 21,10 |
| 21       | 1,80                                   | 1,29 | 4,80 | 0,61 | 3,59 | 6,21  |
| 22       | 1,79                                   | 1,10 | 5,37 | 0,68 | 3,86 | 16,14 |
| 23       | 1,67                                   | 1,10 | 5,78 | 0,62 | 2,84 | 9,43  |
| 24       | 1,85                                   | 1,22 | 4,88 | 0,53 | 2,19 | 10,90 |
| 25       | 1,52                                   | 1,24 | 4,71 | 0,40 | 2,09 | 11,59 |
| 26       | 1,43                                   | 1,36 | 4,90 | 0,36 | 3,16 | 20,55 |
| 27       | 1,10                                   | 1,37 | 6,65 | 0,40 | 4,58 | 10,63 |
| 28       | 0,96                                   | 1,65 | 5,97 | 0,45 | 4,08 | 8,15  |
| 29       | 1,17                                   | 1,79 | 5,75 | 0,50 | 3,15 | 13,60 |
| 30       | 1,25                                   | 1,76 | 3,46 | 0,37 | 5,74 | 5,94  |
| 31       | 1,20                                   | 1,55 | 4,80 | 0,35 | 2,83 | 16,40 |
| 32       | 1,25                                   | 1,62 | 4,14 | 0,41 | 4,19 | 15,09 |
| 33       | 1,58                                   | 1,93 | 3,76 | 0,53 | 1,98 | 15,85 |
| 34       | 1,77                                   | 1,45 | 2,64 | 0,31 | 4,10 | 24,03 |
| 35       | 1,38                                   | 1,12 | 2,04 | 0,46 | 2,87 | 33,11 |
| 36       | 1,77                                   | 1,26 | 3,66 | 0,36 | 3,13 | 13,19 |

| Decêndio | Erro absoluto médio percentual - Alagoinhas |      |      |      |      |      |
|----------|---|------|------|------|------|------|
|          | Tmax  | Tmin | UR   | VV   | ETo  | PRP  |
| 1        | 0,52  | 0,52 | 0,17 | 0,66 | 0,25 | 4,81 |
| 2        | 0,48  | 0,59 | 0,29 | 0,11 | 0,24 | 1,54 |
| 3        | 0,52  | 0,66 | 0,25 | 0,67 | 0,21 | 0,51 |
| 4        | 0,45  | 0,66 | 0,33 | 1,58 | 0,24 | 2,34 |
| 5        | 0,48  | 0,75 | 0,33 | 1,57 | 0,18 | 0,22 |
| 6        | 0,43  | 0,61 | 0,38 | 1,53 | 0,10 | 3,04 |
| 7        | 0,60  | 0,59 | 0,16 | 0,75 | 0,22 | 5,05 |
| 8        | 0,58  | 0,59 | 0,20 | 0,77 | 0,31 | 0,88 |
| 9        | 0,58  | 0,51 | 0,01 | 1,31 | 0,21 | 2,62 |
| 10       | 0,52  | 0,38 | 0,24 | 2,51 | 0,15 | 2,35 |
| 11       | 0,48  | 0,42 | 0,29 | 2,88 | 0,24 | 2,33 |
| 12       | 0,54  | 0,35 | 0,26 | 2,33 | 0,04 | 0,51 |
| 13       | 0,49  | 0,38 | 0,28 | 3,68 | 4,01 | 0,79 |
| 14       | 0,41  | 0,39 | 0,43 | 2,98 | 0,46 | 1,72 |
| 15       | 0,53  | 0,40 | 0,35 | 3,42 | 0,16 | 3,17 |
| 16       | 0,54  | 0,43 | 0,40 | 3,93 | 0,95 | 2,00 |
| 17       | 0,62  | 0,39 | 0,26 | 4,17 | 0,27 | 3,37 |
| 18       | 0,59  | 0,38 | 0,31 | 3,42 | 0,17 | 1,92 |
| 19       | 0,61  | 0,55 | 0,33 | 3,96 | 0,14 | 5,08 |
| 20       | 0,59  | 0,64 | 0,35 | 3,24 | 0,54 | 4,68 |
| 21       | 0,59  | 0,61 | 0,43 | 3,52 | 0,28 | 1,60 |
| 22       | 0,59  | 0,40 | 0,46 | 3,91 | 0,51 | 2,22 |
| 23       | 0,55  | 0,53 | 0,57 | 3,09 | 0,02 | 1,42 |
| 24       | 0,60  | 0,60 | 0,45 | 2,70 | 0,18 | 2,06 |
| 25       | 0,46  | 0,60 | 0,45 | 1,80 | 0,17 | 1,78 |
| 26       | 0,42  | 0,59 | 0,45 | 1,53 | 0,04 | 3,67 |
| 27       | 0,34  | 0,66 | 0,63 | 1,38 | 0,63 | 3,79 |
| 28       | 0,28  | 0,73 | 0,63 | 1,21 | 0,61 | 0,19 |
| 29       | 0,33  | 0,79 | 0,56 | 2,13 | 0,30 | 3,25 |
| 30       | 0,30  | 0,69 | 0,40 | 0,93 | 0,47 | 2,81 |
| 31       | 0,29  | 0,66 | 0,40 | 0,95 | 0,08 | 2,49 |
| 32       | 0,32  | 0,64 | 0,38 | 1,16 | 0,49 | 0,16 |
| 33       | 0,41  | 0,73 | 0,30 | 0,54 | 0,04 | 2,30 |
| 34       | 0,49  | 0,57 | 0,11 | 0,78 | 0,24 | 1,98 |
| 35       | 0,36  | 0,41 | 0,10 | 1,53 | 0,27 | 2,53 |
| 36       | 0,49  | 0,51 | 0,13 | 1,51 | 0,10 | 7,10 |

| Decêndio | Erro médio absoluto - Alagoinhas |      |      |      |      |       |
|----------|----------------------------------|------|------|------|------|-------|
|          | Tmax                             | Tmin | UR   | VV   | ETo  | PRP   |
| 1        | 1,71                             | 1,11 | 1,27 | 0,14 | 1,13 | 7,42  |
| 2        | 1,58                             | 1,24 | 2,18 | 0,02 | 1,07 | 3,14  |
| 3        | 1,71                             | 1,39 | 1,84 | 0,14 | 1,09 | 0,95  |
| 4        | 1,52                             | 1,41 | 2,46 | 0,32 | 1,14 | 4,12  |
| 5        | 1,60                             | 1,58 | 2,53 | 0,31 | 0,77 | 0,47  |
| 6        | 1,41                             | 1,29 | 2,91 | 0,30 | 0,38 | 4,33  |
| 7        | 2,00                             | 1,26 | 1,19 | 0,15 | 0,97 | 4,76  |
| 8        | 1,94                             | 1,27 | 1,52 | 0,14 | 1,27 | 2,02  |
| 9        | 1,92                             | 1,10 | 0,05 | 0,24 | 0,93 | 5,74  |
| 10       | 1,66                             | 0,82 | 1,96 | 0,43 | 0,56 | 10,07 |
| 11       | 1,50                             | 0,89 | 2,41 | 0,44 | 0,80 | 9,07  |
| 12       | 1,64                             | 0,73 | 2,19 | 0,38 | 0,11 | 2,78  |
| 13       | 1,46                             | 0,80 | 2,39 | 0,55 | 9,85 | 4,14  |
| 14       | 1,21                             | 0,80 | 3,70 | 0,44 | 1,09 | 7,70  |
| 15       | 1,53                             | 0,80 | 3,03 | 0,49 | 0,39 | 13,43 |
| 16       | 1,49                             | 0,85 | 3,55 | 0,64 | 1,86 | 9,90  |
| 17       | 1,70                             | 0,75 | 2,25 | 0,63 | 0,54 | 17,96 |
| 18       | 1,63                             | 0,72 | 2,70 | 0,48 | 0,34 | 6,34  |
| 19       | 1,67                             | 1,01 | 2,86 | 0,58 | 0,34 | 14,65 |
| 20       | 1,61                             | 1,17 | 3,00 | 0,52 | 1,25 | 16,17 |
| 21       | 1,61                             | 1,08 | 3,70 | 0,56 | 0,76 | 4,44  |
| 22       | 1,59                             | 0,73 | 3,99 | 0,60 | 1,34 | 8,04  |
| 23       | 1,48                             | 0,94 | 4,86 | 0,54 | 0,07 | 5,88  |
| 24       | 1,66                             | 1,07 | 3,77 | 0,48 | 0,64 | 6,30  |
| 25       | 1,31                             | 1,11 | 3,74 | 0,33 | 0,59 | 3,36  |
| 26       | 1,20                             | 1,09 | 3,68 | 0,30 | 0,16 | 10,74 |
| 27       | 0,99                             | 1,24 | 5,12 | 0,27 | 2,39 | 8,21  |
| 28       | 0,85                             | 1,39 | 4,91 | 0,25 | 2,64 | 0,22  |
| 29       | 1,01                             | 1,53 | 4,39 | 0,45 | 1,20 | 8,30  |
| 30       | 0,94                             | 1,39 | 2,97 | 0,22 | 2,18 | 3,36  |
| 31       | 0,91                             | 1,34 | 3,04 | 0,21 | 0,35 | 5,43  |
| 32       | 1,02                             | 1,33 | 2,92 | 0,26 | 2,09 | 0,35  |
| 33       | 1,30                             | 1,52 | 2,27 | 0,12 | 0,18 | 6,26  |
| 34       | 1,61                             | 1,22 | 0,78 | 0,18 | 1,07 | 4,86  |
| 35       | 1,19                             | 0,89 | 0,74 | 0,34 | 1,20 | 7,69  |
| 36       | 1,61                             | 1,10 | 0,95 | 0,31 | 0,48 | 8,27  |

| Média | T max | Tmin | UR   | VV   | ETo  | PRP   |
|-------|-------|------|------|------|------|-------|
| RMSE  | 1,60  | 1,33 | 4,30 | 0,46 | 3,31 | 15,74 |
| EPE   | 1,68  | 1,40 | 4,54 | 0,49 | 3,50 | 16,59 |
| MAPE  | 0,48  | 0,55 | 0,34 | 2,06 | 0,38 | 2,45  |
| MAE   | 1,47  | 1,11 | 2,72 | 0,35 | 1,20 | 6,58  |

**APÊNDICE B – Validação estatística para Bom Jesus da Lapa com o erro quadrático médio, erro padrão de estimativa, erro absoluto médio percentual, erro médio absoluto organizados por decêndios e média geral, respectivamente, contendo temperatura do ar máxima (Tmax) e mínima (Tmin), umidade relativa média do ar (UR), velocidade média do vento (VV), evapotranspiração de referência (ETo) e precipitação (PRP).**

| Decêndio | Erro quadrático médio - Bom Jesus da Lapa |      |       |      |       |       |
|----------|---|------|-------|------|-------|-------|
|          | Tmax                                      | Tmin | UR    | VV   | ETo   | PRP   |
| 1        | 0,84                                      | 1,52 | 9,21  | 0,47 | 4,59  | 17,54 |
| 2        | 1,29                                      | 1,50 | 10,44 | 0,52 | 5,89  | 21,78 |
| 3        | 1,00                                      | 1,59 | 8,99  | 0,41 | 3,07  | 7,47  |
| 4        | 0,90                                      | 1,78 | 9,46  | 0,44 | 3,53  | 13,96 |
| 5        | 1,13                                      | 2,05 | 11,02 | 0,37 | 6,72  | 18,45 |
| 6        | 0,99                                      | 1,97 | 11,94 | 0,54 | 3,79  | 34,08 |
| 7        | 0,87                                      | 1,89 | 12,67 | 0,47 | 5,94  | 20,98 |
| 8        | 1,26                                      | 1,90 | 11,59 | 0,52 | 4,62  | 8,88  |
| 9        | 1,16                                      | 1,98 | 11,33 | 0,44 | 4,74  | 7,46  |
| 10       | 1,13                                      | 2,11 | 10,90 | 0,44 | 5,07  | 9,26  |
| 11       | 0,82                                      | 1,71 | 9,42  | 0,41 | 4,25  | 7,33  |
| 12       | 1,41                                      | 2,47 | 8,32  | 0,65 | 4,04  | 13,26 |
| 13       | 1,15                                      | 2,19 | 8,44  | 0,45 | 3,82  | 7,10  |
| 14       | 1,21                                      | 2,48 | 9,20  | 0,37 | 3,54  | 1,44  |
| 15       | 1,09                                      | 2,42 | 8,37  | 0,37 | 5,51  | 4,62  |
| 16       | 1,08                                      | 2,77 | 8,12  | 0,73 | 4,97  | 0,45  |
| 17       | 1,29                                      | 2,62 | 6,80  | 0,50 | 4,43  | 3,59  |
| 18       | 1,19                                      | 2,46 | 8,10  | 0,62 | 4,11  | 2,34  |
| 19       | 1,15                                      | 2,65 | 6,87  | 0,55 | 4,53  | 5,26  |
| 20       | 1,28                                      | 2,54 | 7,89  | 0,72 | 3,73  | 4,13  |
| 21       | 1,27                                      | 2,33 | 7,06  | 0,63 | 7,15  | 1,82  |
| 22       | 1,28                                      | 2,37 | 6,62  | 0,45 | 2,48  | 0,32  |
| 23       | 1,08                                      | 2,32 | 6,97  | 0,60 | 3,58  | 2,58  |
| 24       | 1,19                                      | 1,92 | 6,51  | 0,53 | 7,88  | 2,58  |
| 25       | 1,02                                      | 1,80 | 8,08  | 0,51 | 5,65  | 2,56  |
| 26       | 0,84                                      | 1,97 | 7,29  | 0,59 | 5,74  | 0,68  |
| 27       | 0,79                                      | 2,02 | 5,84  | 0,59 | 10,07 | 9,62  |
| 28       | 0,93                                      | 1,73 | 8,57  | 0,34 | 4,89  | 4,55  |
| 29       | 1,24                                      | 1,78 | 5,62  | 0,45 | 5,10  | 13,53 |
| 30       | 1,07                                      | 1,70 | 7,58  | 0,34 | 6,78  | 6,46  |
| 31       | 1,24                                      | 1,68 | 7,92  | 0,53 | 4,67  | 9,06  |
| 32       | 0,90                                      | 1,59 | 8,10  | 0,53 | 7,17  | 19,34 |
| 33       | 0,90                                      | 1,55 | 8,72  | 0,63 | 2,62  | 15,32 |
| 34       | 0,75                                      | 1,66 | 6,66  | 0,63 | 4,35  | 22,18 |
| 35       | 0,84                                      | 1,91 | 9,69  | 0,71 | 5,71  | 24,04 |
| 36       | 0,85                                      | 1,60 | 9,14  | 0,49 | 6,50  | 22,47 |

| Decêndio | Erro padrão de estimativa - Bom Jesus da Lapa |      |      |      |       |       |
|----------|---|------|------|------|-------|-------|
|          | Tmax  | Tmin | UR   | VV   | ETo   | PRP   |
| 1        | 0,89  | 1,60 | 8,52 | 0,50 | 4,83  | 4,83  |
| 2        | 1,36  | 1,58 | 8,33 | 0,55 | 6,21  | 6,21  |
| 3        | 1,05  | 1,67 | 7,27 | 0,43 | 3,24  | 3,24  |
| 4        | 0,94  | 1,87 | 7,33 | 0,46 | 3,72  | 3,72  |
| 5        | 1,20  | 2,16 | 7,13 | 0,39 | 7,08  | 7,08  |
| 6        | 1,04  | 2,07 | 7,39 | 0,56 | 4,02  | 4,02  |
| 7        | 0,92  | 1,99 | 8,98 | 0,49 | 6,30  | 6,30  |
| 8        | 1,33  | 2,00 | 8,66 | 0,55 | 4,90  | 4,90  |
| 9        | 1,22  | 2,09 | 6,49 | 0,46 | 5,03  | 5,03  |
| 10       | 1,19  | 2,22 | 7,19 | 0,46 | 5,35  | 5,35  |
| 11       | 0,86  | 1,80 | 6,11 | 0,44 | 4,47  | 4,47  |
| 12       | 1,49  | 2,60 | 6,23 | 0,68 | 4,26  | 4,26  |
| 13       | 1,21  | 2,31 | 5,29 | 0,47 | 4,03  | 4,03  |
| 14       | 1,27  | 2,61 | 4,62 | 0,39 | 3,73  | 3,73  |
| 15       | 1,15  | 2,55 | 4,57 | 0,39 | 5,81  | 5,81  |
| 16       | 1,14  | 2,92 | 4,79 | 0,77 | 5,24  | 5,24  |
| 17       | 1,36  | 2,76 | 3,32 | 0,53 | 4,67  | 4,67  |
| 18       | 1,26  | 2,59 | 4,43 | 0,66 | 4,33  | 4,33  |
| 19       | 1,21  | 2,80 | 4,59 | 0,58 | 4,78  | 4,78  |
| 20       | 1,35  | 2,67 | 4,98 | 0,76 | 3,93  | 3,93  |
| 21       | 1,34  | 2,45 | 2,40 | 0,66 | 7,54  | 7,54  |
| 22       | 1,35  | 2,50 | 2,95 | 0,48 | 2,63  | 2,63  |
| 23       | 1,14  | 2,45 | 4,39 | 0,63 | 3,80  | 3,80  |
| 24       | 1,25  | 2,03 | 6,39 | 0,56 | 8,31  | 8,31  |
| 25       | 1,07  | 1,90 | 3,76 | 0,53 | 5,99  | 5,99  |
| 26       | 0,89  | 2,07 | 5,18 | 0,62 | 6,09  | 6,09  |
| 27       | 0,83  | 2,13 | 4,36 | 0,62 | 10,68 | 10,68 |
| 28       | 0,98  | 1,83 | 4,79 | 0,36 | 5,19  | 5,19  |
| 29       | 1,30  | 1,88 | 5,03 | 0,47 | 5,38  | 5,38  |
| 30       | 1,13  | 1,79 | 5,88 | 0,36 | 7,15  | 7,15  |
| 31       | 1,31  | 1,77 | 6,04 | 0,55 | 4,92  | 4,92  |
| 32       | 0,95  | 1,68 | 7,30 | 0,56 | 7,56  | 7,56  |
| 33       | 0,95  | 1,63 | 7,21 | 0,67 | 2,76  | 2,76  |
| 34       | 0,79  | 1,75 | 7,56 | 0,66 | 4,58  | 4,58  |
| 35       | 0,88  | 2,01 | 6,12 | 0,75 | 6,02  | 6,02  |
| 36       | 0,90  | 1,69 | 8,09 | 0,51 | 6,85  | 6,85  |

| Decêndio | Erro absoluto médio percentual - Bom Jesus da Lapa |      |      |      |                 |        |
|----------|--|------|------|------|-----------------|--------|
|          | Tmax   | Tmin | UR   | VV   | ET <sub>o</sub> | PRP    |
| 1        | 0,11   | 0,68 | 1,03 | 3,76 | 0,70            | 0,14   |
| 2        | 0,23   | 0,65 | 1,05 | 3,66 | 0,49            | 0,55   |
| 3        | 0,26   | 0,69 | 0,99 | 3,11 | 0,03            | 1,05   |
| 4        | 0,22   | 0,75 | 1,23 | 2,98 | 0,26            | 1,86   |
| 5        | 0,20   | 0,91 | 1,31 | 2,45 | 0,99            | 2,07   |
| 6        | 0,15   | 0,90 | 1,39 | 4,36 | 0,89            | 3,31   |
| 7        | 0,18   | 0,80 | 1,33 | 2,14 | 1,07            | 1,50   |
| 8        | 0,35   | 0,72 | 1,10 | 4,68 | 0,15            | 0,04   |
| 9        | 0,26   | 0,82 | 1,24 | 2,72 | 0,62            | 1,25   |
| 10       | 0,26   | 0,94 | 1,34 | 0,80 | 0,81            | 1,35   |
| 11       | 0,20   | 0,74 | 1,28 | 0,35 | 0,63            | 0,19   |
| 12       | 0,37   | 1,11 | 1,04 | 2,61 | 0,57            | 18,02  |
| 13       | 0,25   | 1,04 | 1,25 | 1,41 | 0,44            | 0,98   |
| 14       | 0,15   | 1,26 | 1,41 | 1,70 | 0,81            | 25,27  |
| 15       | 0,27   | 1,24 | 1,23 | 3,28 | 1,24            | 1,24   |
| 16       | 0,31   | 1,52 | 1,21 | 4,29 | 1,31            | 1,60   |
| 17       | 0,37   | 1,46 | 1,12 | 3,75 | 1,01            | 105,60 |
| 18       | 0,35   | 1,37 | 1,27 | 4,54 | 0,93            | 4,38   |
| 19       | 0,35   | 1,51 | 1,09 | 3,77 | 1,16            | 29,70  |
| 20       | 0,37   | 1,42 | 1,08 | 5,19 | 0,87            | 54,43  |
| 21       | 0,37   | 1,30 | 1,22 | 4,72 | 1,34            | 119,64 |
| 22       | 0,36   | 1,34 | 1,18 | 2,89 | 0,29            | -      |
| 23       | 0,28   | 1,32 | 1,13 | 3,73 | 0,73            | 8,31   |
| 24       | 0,33   | 1,00 | 1,24 | 3,42 | 1,36            | 5,35   |
| 25       | 0,28   | 0,88 | 1,53 | 3,37 | 1,02            | 0,59   |
| 26       | 0,22   | 0,93 | 1,42 | 3,64 | 1,18            | 0,42   |
| 27       | 0,19   | 0,91 | 1,12 | 2,46 | 1,93            | 1,99   |
| 28       | 0,21   | 0,77 | 1,48 | 0,31 | 0,71            | 0,61   |
| 29       | 0,27   | 0,74 | 0,76 | 1,58 | 0,76            | 2,04   |
| 30       | 0,23   | 0,50 | 1,10 | 0,51 | 0,81            | 0,18   |
| 31       | 0,28   | 0,62 | 0,94 | 1,79 | 0,52            | 0,16   |
| 32       | 0,24   | 0,58 | 1,03 | 3,18 | 1,10            | 1,93   |
| 33       | 0,20   | 0,59 | 0,91 | 3,77 | 0,06            | 0,38   |
| 34       | 0,18   | 0,74 | 0,83 | 3,42 | 0,45            | 1,37   |
| 35       | 0,17   | 0,82 | 1,14 | 4,97 | 0,32            | 1,27   |
| 36       | 0,07   | 0,71 | 1,01 | 3,55 | 0,63            | 0,36   |

| Decêndio | Erro médio absoluto - Bom Jesus da Lapa |      |       |      |      |       |
|----------|---|------|-------|------|------|-------|
|          | Tmax                                    | Tmin | UR    | VV   | ETo  | PRP   |
| 1        | 0,34                                    | 1,42 | 7,66  | 0,39 | 3,11 | 0,54  |
| 2        | 0,74                                    | 1,36 | 7,75  | 0,39 | 2,26 | 2,26  |
| 3        | 0,85                                    | 1,46 | 7,04  | 0,30 | 0,17 | 2,97  |
| 4        | 0,71                                    | 1,60 | 8,79  | 0,32 | 1,25 | 7,53  |
| 5        | 0,67                                    | 1,92 | 9,33  | 0,25 | 4,58 | 6,01  |
| 6        | 0,48                                    | 1,88 | 10,15 | 0,45 | 2,93 | 12,72 |
| 7        | 0,57                                    | 1,68 | 9,74  | 0,22 | 4,11 | 8,35  |
| 8        | 1,15                                    | 1,53 | 8,18  | 0,50 | 0,60 | 0,13  |
| 9        | 0,86                                    | 1,74 | 8,71  | 0,28 | 2,74 | 3,70  |
| 10       | 0,85                                    | 1,98 | 9,10  | 0,09 | 3,48 | 3,20  |
| 11       | 0,66                                    | 1,57 | 8,69  | 0,04 | 2,61 | 0,29  |
| 12       | 1,21                                    | 2,26 | 6,64  | 0,32 | 2,38 | 7,04  |
| 13       | 0,80                                    | 2,12 | 7,75  | 0,17 | 1,70 | 0,53  |
| 14       | 0,48                                    | 2,45 | 8,29  | 0,20 | 3,04 | 0,66  |
| 15       | 0,88                                    | 2,34 | 7,18  | 0,36 | 4,67 | 0,72  |
| 16       | 0,98                                    | 2,73 | 6,94  | 0,54 | 4,56 | 0,21  |
| 17       | 1,17                                    | 2,58 | 6,15  | 0,47 | 3,54 | 1,27  |
| 18       | 1,13                                    | 2,41 | 6,87  | 0,48 | 3,18 | 0,55  |
| 19       | 1,11                                    | 2,61 | 5,78  | 0,51 | 4,05 | 1,69  |
| 20       | 1,19                                    | 2,44 | 5,66  | 0,64 | 3,23 | 1,52  |
| 21       | 1,19                                    | 2,27 | 6,16  | 0,61 | 5,59 | 0,72  |
| 22       | 1,16                                    | 2,34 | 5,80  | 0,39 | 1,10 | 0,13  |
| 23       | 0,91                                    | 2,30 | 5,42  | 0,54 | 2,88 | 0,78  |
| 24       | 1,10                                    | 1,85 | 5,67  | 0,48 | 6,58 | 0,43  |
| 25       | 0,97                                    | 1,73 | 7,15  | 0,42 | 4,28 | 0,26  |
| 26       | 0,76                                    | 1,87 | 6,29  | 0,48 | 5,29 | 0,15  |
| 27       | 0,66                                    | 1,86 | 5,20  | 0,33 | 8,18 | 3,01  |
| 28       | 0,74                                    | 1,65 | 7,01  | 0,04 | 3,24 | 0,43  |
| 29       | 0,94                                    | 1,57 | 3,62  | 0,20 | 3,01 | 4,87  |
| 30       | 0,80                                    | 1,12 | 5,94  | 0,06 | 4,30 | 0,35  |
| 31       | 0,93                                    | 1,34 | 5,75  | 0,23 | 2,38 | 0,72  |
| 32       | 0,78                                    | 1,27 | 6,75  | 0,38 | 4,70 | 6,07  |
| 33       | 0,63                                    | 1,27 | 6,46  | 0,47 | 0,25 | 2,00  |
| 34       | 0,58                                    | 1,57 | 5,72  | 0,38 | 2,03 | 8,60  |
| 35       | 0,55                                    | 1,75 | 8,28  | 0,58 | 1,40 | 10,76 |
| 36       | 0,24                                    | 1,51 | 7,39  | 0,40 | 2,99 | 2,43  |

| Média | T max | Tmin | UR   | VV   | ETo  | PRP   |
|-------|-------|------|------|------|------|-------|
| RMSE  | 1,07  | 2,01 | 8,60 | 0,51 | 5,03 | 10,18 |
| EPE   | 1,12  | 2,12 | 5,94 | 0,54 | 5,32 | 5,32  |
| MAPE  | 0,25  | 0,95 | 1,17 | 3,02 | 0,78 | 11,40 |
| MAE   | 0,83  | 1,87 | 7,08 | 0,36 | 3,23 | 2,88  |

**APÊNDICE C – Validação estatística para Correntina com o erro quadrático médio, erro padrão de estimativa, erro absoluto médio percentual, erro médio absoluto organizados por decêndios e média geral, respectivamente, contendo temperatura do ar máxima (Tmax) e mínima (Tmin), umidade relativa média do ar (UR), velocidade média do vento (VV), evapotranspiração de referência (ETo) e precipitação (PRP).**

| Decêndio | Erro quadrático médio - Correntina |      |       |      |       |       |
|----------|------------------------------------|------|-------|------|-------|-------|
|          | Tmax                               | Tmin | UR    | VV   | ETo   | PRP   |
| 1        | 1,59                               | 0,89 | 6,28  | 1,10 | 2,79  | 15,25 |
| 2        | 1,82                               | 1,21 | 6,52  | 1,03 | 4,32  | 10,09 |
| 3        | 2,05                               | 1,14 | 6,86  | 0,89 | 5,03  | 23,61 |
| 4        | 2,17                               | 0,95 | 6,06  | 0,91 | 4,65  | 10,25 |
| 5        | 2,06                               | 1,36 | 7,95  | 0,88 | 3,34  | 11,11 |
| 6        | 1,97                               | 1,24 | 5,63  | 1,24 | 2,76  | 15,77 |
| 7        | 1,72                               | 1,45 | 5,98  | 1,01 | 2,64  | 18,20 |
| 8        | 2,23                               | 1,20 | 6,61  | 1,07 | 4,28  | 16,98 |
| 9        | 10,35                              | 1,57 | 7,83  | 1,01 | 4,05  | 11,99 |
| 10       | 2,03                               | 1,81 | 4,28  | 0,70 | 5,90  | 5,40  |
| 11       | 2,14                               | 1,41 | 6,08  | 0,69 | 2,55  | 9,45  |
| 12       | 2,36                               | 1,98 | 6,08  | 0,41 | 2,86  | 7,52  |
| 13       | 2,27                               | 2,26 | 6,86  | 0,60 | 3,93  | 2,81  |
| 14       | 1,85                               | 2,68 | 8,99  | 0,47 | 2,79  | 4,74  |
| 15       | 2,05                               | 3,21 | 9,16  | 0,32 | 6,06  | 1,63  |
| 16       | 1,79                               | 3,24 | 8,59  | 0,81 | 4,10  | 0,37  |
| 17       | 2,03                               | 3,94 | 9,44  | 0,14 | 4,41  | 0,16  |
| 18       | 1,72                               | 3,90 | 11,55 | 0,39 | 3,94  | 2,06  |
| 19       | 1,67                               | 3,88 | 12,10 | 0,24 | 5,48  | 0,19  |
| 20       | 1,97                               | 3,64 | 12,97 | 0,17 | 4,53  | 1,22  |
| 21       | 1,64                               | 3,65 | 12,50 | 0,29 | 5,85  | 0,01  |
| 22       | 1,85                               | 3,99 | 15,01 | 0,28 | 7,22  | 0,00  |
| 23       | 1,52                               | 3,87 | 13,51 | 0,27 | 10,92 | 0,28  |
| 24       | 1,71                               | 3,25 | 13,49 | 0,27 | 7,85  | 0,32  |
| 25       | 1,52                               | 3,37 | 12,71 | 0,42 | 3,00  | 2,57  |
| 26       | 1,35                               | 2,73 | 13,80 | 0,74 | 6,22  | 1,99  |
| 27       | 1,33                               | 1,84 | 11,02 | 0,76 | 5,58  | 7,65  |
| 28       | 1,68                               | 1,71 | 12,70 | 0,97 | 4,96  | 9,07  |
| 29       | 1,91                               | 1,87 | 13,13 | 1,12 | 6,37  | 14,76 |
| 30       | 1,99                               | 1,56 | 11,92 | 1,01 | 5,57  | 13,73 |
| 31       | 9,56                               | 0,97 | 9,71  | 0,80 | 5,77  | 23,44 |
| 32       | 1,71                               | 1,23 | 10,31 | 1,08 | 3,98  | 8,87  |
| 33       | 1,82                               | 1,10 | 9,62  | 1,22 | 4,06  | 31,63 |
| 34       | 1,59                               | 1,83 | 11,05 | 0,98 | 3,35  | 16,46 |
| 35       | 1,71                               | 1,22 | 8,43  | 1,10 | 3,91  | 14,12 |
| 36       | 1,28                               | 0,80 | 7,72  | 0,97 | 3,66  | 33,04 |

| Decêndio | Erro padrão de estimativa - Correntina |      |       |      |       |       |
|----------|--|------|-------|------|-------|-------|
|          | Tmax                                   | Tmin | UR    | VV   | ETo   | PRP   |
| 1        | 1,69                                   | 0,94 | 6,62  | 1,17 | 2,98  | 16,08 |
| 2        | 1,93                                   | 1,27 | 6,88  | 1,09 | 4,62  | 10,64 |
| 3        | 2,17                                   | 1,20 | 7,23  | 0,95 | 5,37  | 24,88 |
| 4        | 2,32                                   | 1,00 | 6,43  | 0,97 | 4,97  | 10,87 |
| 5        | 2,20                                   | 1,44 | 8,43  | 0,94 | 3,57  | 11,78 |
| 6        | 2,10                                   | 1,31 | 5,97  | 1,32 | 2,95  | 16,72 |
| 7        | 1,82                                   | 1,53 | 6,30  | 1,07 | 2,83  | 19,18 |
| 8        | 2,36                                   | 1,26 | 6,97  | 1,14 | 4,58  | 17,90 |
| 9        | 10,98                                  | 1,65 | 8,25  | 1,08 | 4,33  | 12,64 |
| 10       | 2,15                                   | 1,91 | 4,51  | 0,74 | 6,31  | 5,69  |
| 11       | 2,27                                   | 1,48 | 6,41  | 0,73 | 2,75  | 9,96  |
| 12       | 2,50                                   | 2,08 | 6,41  | 0,43 | 3,09  | 7,93  |
| 13       | 2,41                                   | 2,39 | 7,23  | 0,64 | 4,20  | 2,96  |
| 14       | 1,96                                   | 2,82 | 9,47  | 0,50 | 2,98  | 4,99  |
| 15       | 2,17                                   | 3,40 | 9,66  | 0,34 | 6,48  | 1,72  |
| 16       | 1,91                                   | 3,46 | 9,05  | 0,86 | 4,42  | 0,39  |
| 17       | 2,17                                   | 4,21 | 9,95  | 0,15 | 4,76  | 0,17  |
| 18       | 1,84                                   | 4,17 | 12,18 | 0,41 | 4,25  | 2,17  |
| 19       | 1,77                                   | 4,12 | 12,76 | 0,25 | 5,92  | 0,21  |
| 20       | 2,09                                   | 3,86 | 13,67 | 0,18 | 4,84  | 1,29  |
| 21       | 1,73                                   | 3,85 | 13,18 | 0,31 | 6,21  | 0,01  |
| 22       | 1,96                                   | 4,23 | 15,92 | 0,30 | 7,72  | 0,00  |
| 23       | 1,62                                   | 4,10 | 14,33 | 0,29 | 11,67 | 0,30  |
| 24       | 1,81                                   | 3,45 | 14,31 | 0,29 | 8,78  | 0,34  |
| 25       | 1,60                                   | 3,55 | 13,40 | 0,44 | 3,28  | 2,71  |
| 26       | 1,43                                   | 2,88 | 14,55 | 0,79 | 6,81  | 2,09  |
| 27       | 1,42                                   | 1,94 | 11,61 | 0,82 | 6,24  | 8,06  |
| 28       | 1,79                                   | 1,80 | 13,39 | 1,05 | 5,54  | 9,56  |
| 29       | 2,03                                   | 1,97 | 13,84 | 1,19 | 7,12  | 15,55 |
| 30       | 2,11                                   | 1,64 | 12,56 | 1,08 | 6,02  | 14,47 |
| 31       | 10,14                                  | 1,02 | 10,24 | 0,86 | 6,23  | 24,71 |
| 32       | 1,81                                   | 1,30 | 10,86 | 1,16 | 4,30  | 9,35  |
| 33       | 1,93                                   | 1,16 | 10,14 | 1,30 | 4,34  | 33,34 |
| 34       | 1,69                                   | 1,93 | 11,65 | 1,04 | 3,58  | 17,35 |
| 35       | 1,82                                   | 1,29 | 8,88  | 1,16 | 4,18  | 14,88 |
| 36       | 1,36                                   | 0,85 | 8,13  | 1,03 | 4,38  | 34,83 |

| Decêndio | Erro absoluto médio percentual - Correntina |      |      |      |      |       |
|----------|---|------|------|------|------|-------|
|          | Tmax  | Tmin | UR   | VV   | ETo  | PRP   |
| 1        | 0,52  | 0,20 | 0,52 | 6,94 | 0,44 | 0,06  |
| 2        | 0,61  | 0,41 | 0,53 | 6,16 | 0,38 | 2,26  |
| 3        | 0,67  | 0,37 | 0,61 | 5,87 | 0,52 | 0,80  |
| 4        | 0,81  | 0,40 | 0,49 | 5,30 | 0,67 | 2,10  |
| 5        | 0,75  | 0,55 | 0,54 | 5,46 | 0,62 | 0,38  |
| 6        | 0,73  | 0,54 | 0,52 | 7,59 | 0,15 | 2,09  |
| 7        | 0,58  | 0,45 | 0,54 | 5,64 | 0,22 | 0,55  |
| 8        | 0,76  | 0,21 | 0,35 | 6,78 | 0,82 | 0,64  |
| 9        | 0,59  | 0,55 | 0,63 | 6,10 | 0,34 | 0,91  |
| 10       | 0,67  | 0,75 | 0,52 | 3,53 | 0,03 | 2,08  |
| 11       | 0,75  | 0,50 | 0,66 | 4,04 | 0,56 | 1,40  |
| 12       | 0,81  | 0,81 | 0,65 | 1,43 | 0,13 | 0,67  |
| 13       | 0,75  | 1,14 | 0,77 | 2,54 | 0,04 | 3,08  |
| 14       | 0,63  | 1,38 | 1,20 | 1,89 | 0,57 | 4,52  |
| 15       | 0,70  | 2,02 | 1,17 | 1,16 | 1,41 | 0,72  |
| 16       | 0,72  | 2,38 | 1,05 | 0,07 | 1,36 | 4,59  |
| 17       | 0,81  | 3,13 | 1,27 | 0,03 | 1,52 | -     |
| 18       | 0,70  | 3,21 | 1,70 | 1,78 | 1,14 | 76,85 |
| 19       | 0,61  | 2,87 | 1,67 | 0,52 | 1,74 | 0,72  |
| 20       | 0,70  | 2,59 | 1,68 | 0,13 | 1,24 | 7,52  |
| 21       | 0,52  | 2,37 | 1,86 | 0,64 | 1,28 | -     |
| 22       | 0,64  | 2,94 | 2,34 | 0,23 | 1,59 | -     |
| 23       | 0,53  | 2,75 | 2,25 | 0,50 | 2,67 | 21,73 |
| 24       | 0,57  | 2,17 | 2,26 | 0,63 | 2,67 | 8,91  |
| 25       | 0,43  | 1,83 | 1,95 | 1,10 | 0,55 | 5,14  |
| 26       | 0,38  | 1,38 | 1,87 | 2,98 | 0,41 | 22,34 |
| 27       | 0,43  | 0,79 | 1,41 | 2,26 | 1,40 | 8,69  |
| 28       | 0,50  | 0,68 | 1,70 | 5,34 | 0,37 | 2,25  |
| 29       | 0,57  | 0,61 | 1,12 | 1,94 | 0,06 | 0,27  |
| 30       | 0,60  | 0,48 | 0,94 | 5,34 | 0,09 | 0,81  |
| 31       | 0,55  | 0,30 | 0,87 | 4,89 | 0,02 | 0,65  |
| 32       | 0,58  | 0,33 | 0,86 | 6,22 | 0,20 | 0,31  |
| 33       | 0,62  | 0,19 | 0,65 | 6,76 | 0,25 | 0,98  |
| 34       | 0,54  | 0,65 | 0,82 | 6,12 | 0,03 | 0,66  |
| 35       | 0,52  | 0,35 | 0,66 | 6,61 | 0,15 | 0,97  |
| 36       | 0,42  | 0,27 | 0,76 | 5,08 | 0,09 | 1,18  |

| Decêndio | Erro médio absoluto - Correntina |      |       |      |      |      |
|----------|----------------------------------|------|-------|------|------|------|
|          | Tmax                             | Tmin | UR    | VV   | ETo  | PRP  |
| 1        | 1,43                             | 0,40 | 4,08  | 1,08 | 1,59 | 0,25 |
| 2        | 1,68                             | 0,82 | 4,05  | 0,98 | 1,39 | 6,66 |
| 3        | 1,91                             | 0,73 | 4,60  | 0,85 | 2,20 | 3,67 |
| 4        | 2,04                             | 0,74 | 3,23  | 0,76 | 2,48 | 6,47 |
| 5        | 1,88                             | 0,99 | 3,52  | 0,84 | 2,39 | 1,37 |
| 6        | 1,88                             | 0,98 | 3,48  | 1,21 | 0,45 | 5,43 |
| 7        | 1,64                             | 0,89 | 4,02  | 0,94 | 0,82 | 2,82 |
| 8        | 2,15                             | 0,42 | 2,67  | 1,04 | 2,95 | 2,79 |
| 9        | 1,67                             | 1,11 | 4,67  | 0,96 | 1,30 | 4,27 |
| 10       | 1,89                             | 1,48 | 3,60  | 0,60 | 0,09 | 2,86 |
| 11       | 2,12                             | 1,00 | 4,76  | 0,57 | 1,64 | 2,10 |
| 12       | 2,32                             | 1,56 | 4,40  | 0,27 | 0,39 | 0,95 |
| 13       | 2,12                             | 2,11 | 5,14  | 0,45 | 0,14 | 0,67 |
| 14       | 1,78                             | 2,43 | 7,77  | 0,32 | 1,84 | 1,51 |
| 15       | 1,96                             | 3,01 | 7,43  | 0,19 | 4,56 | 0,39 |
| 16       | 1,76                             | 3,03 | 6,39  | 0,01 | 3,70 | 0,16 |
| 17       | 1,97                             | 3,72 | 7,61  | 0,00 | 4,07 | 0,06 |
| 18       | 1,70                             | 3,72 | 10,21 | 0,29 | 3,04 | 0,69 |
| 19       | 1,66                             | 3,75 | 9,89  | 0,11 | 4,70 | 0,01 |
| 20       | 1,92                             | 3,49 | 9,91  | 0,03 | 4,08 | 0,35 |
| 21       | 1,60                             | 3,52 | 10,58 | 0,14 | 5,51 | 0,00 |
| 22       | 1,84                             | 3,88 | 11,78 | 0,04 | 5,55 | 0,00 |
| 23       | 1,50                             | 3,71 | 11,04 | 0,10 | 9,41 | 0,09 |
| 24       | 1,66                             | 3,15 | 10,37 | 0,12 | 7,44 | 0,11 |
| 25       | 1,45                             | 3,14 | 9,92  | 0,20 | 1,82 | 1,02 |
| 26       | 1,29                             | 2,54 | 8,96  | 0,51 | 1,47 | 0,94 |
| 27       | 1,29                             | 1,57 | 7,17  | 0,35 | 4,06 | 3,37 |
| 28       | 1,55                             | 1,39 | 9,09  | 0,79 | 1,00 | 3,52 |
| 29       | 1,76                             | 1,25 | 6,03  | 0,29 | 0,16 | 0,41 |
| 30       | 1,81                             | 1,02 | 5,66  | 0,89 | 0,39 | 2,92 |
| 31       | 1,60                             | 0,63 | 5,98  | 0,76 | 0,06 | 3,72 |
| 32       | 1,66                             | 0,70 | 6,20  | 1,03 | 0,66 | 1,62 |
| 33       | 1,72                             | 0,40 | 5,02  | 1,15 | 0,87 | 7,01 |
| 34       | 1,54                             | 1,32 | 6,14  | 1,00 | 0,11 | 4,35 |
| 35       | 1,46                             | 0,73 | 5,03  | 0,98 | 0,50 | 6,53 |
| 36       | 1,15                             | 0,54 | 5,96  | 0,77 | 0,34 | 9,03 |

| Média | T max | Tmin | UR    | VV   | ETo  | PRP   |
|-------|-------|------|-------|------|------|-------|
| RMSE  | 2,28  | 2,16 | 9,51  | 0,73 | 4,69 | 9,63  |
| EPE   | 2,42  | 2,29 | 10,04 | 0,78 | 5,07 | 10,16 |
| MAPE  | 0,62  | 1,18 | 1,09  | 3,60 | 0,71 | 5,66  |
| MAE   | 1,73  | 1,83 | 6,57  | 0,57 | 2,31 | 2,45  |

**APÊNDICE D – Validação estatística para Jacobina com o erro quadrático médio, erro padrão de estimativa, erro absoluto médio percentual, erro médio absoluto organizados por decêndios e média geral, respectivamente, contendo temperatura do ar máxima (Tmax) e mínima (Tmin), umidade relativa média do ar (UR), velocidade média do vento (VV), evapotranspiração de referência (ETo) e precipitação (PRP).**

| Decêndio | Erro quadrático médio - Jacobina |      |       |      |       |       |
|----------|----------------------------------|------|-------|------|-------|-------|
|          | Tmax                             | Tmin | UR    | VV   | ETo   | PRP   |
| 1        | 3,19                             | 1,48 | 5,26  | 0,82 | 6,16  | 48,92 |
| 2        | 3,38                             | 1,51 | 8,19  | 1,00 | 5,88  | 64,25 |
| 3        | 3,35                             | 1,42 | 8,67  | 1,12 | 24,10 | 33,61 |
| 4        | 3,43                             | 1,44 | 6,83  | 0,82 | 20,90 | 31,63 |
| 5        | 3,56                             | 1,57 | 6,63  | 1,40 | 21,26 | 42,42 |
| 6        | 3,78                             | 1,59 | 20,40 | 6,73 | 23,35 | 41,94 |
| 7        | 3,27                             | 1,47 | 6,18  | 1,13 | 5,61  | 62,46 |
| 8        | 3,12                             | 1,59 | 5,34  | 0,79 | 41,57 | 50,76 |
| 9        | 3,37                             | 1,57 | 6,19  | 0,93 | 42,40 | 88,69 |
| 10       | 3,32                             | 1,66 | 6,12  | 1,11 | 27,38 | 17,89 |
| 11       | 3,46                             | 1,62 | 7,56  | 0,96 | 9,06  | 21,54 |
| 12       | 3,45                             | 1,49 | 6,51  | 1,05 | 7,80  | 41,44 |
| 13       | 3,02                             | 1,53 | 5,98  | 0,87 | 7,58  | 29,05 |
| 14       | 3,29                             | 1,62 | 5,81  | 1,08 | 6,93  | 20,15 |
| 15       | 3,10                             | 1,42 | 7,35  | 0,99 | 6,54  | 17,18 |
| 16       | 3,25                             | 1,45 | 5,88  | 1,10 | 7,56  | 19,67 |
| 17       | 2,97                             | 1,39 | 4,20  | 0,83 | 4,77  | 26,43 |
| 18       | 3,03                             | 1,30 | 6,33  | 0,92 | 6,55  | 19,48 |
| 19       | 3,05                             | 1,37 | 4,79  | 1,05 | 4,86  | 20,03 |
| 20       | 3,15                             | 1,39 | 4,84  | 1,03 | 4,74  | 14,41 |
| 21       | 3,59                             | 1,95 | 5,71  | 1,20 | 8,05  | 10,94 |
| 22       | 3,50                             | 2,07 | 7,38  | 1,18 | 7,74  | 16,01 |
| 23       | 3,81                             | 2,04 | 6,23  | 1,30 | 8,47  | 14,61 |
| 24       | 4,01                             | 1,93 | 6,79  | 1,45 | 22,39 | 18,48 |
| 25       | 3,74                             | 2,25 | 6,85  | 1,56 | 9,58  | 14,95 |
| 26       | 3,81                             | 2,22 | 7,20  | 1,46 | 12,50 | 12,65 |
| 27       | 3,40                             | 2,23 | 5,50  | 1,51 | 9,64  | 15,01 |
| 28       | 3,34                             | 2,26 | 7,54  | 1,60 | 12,05 | 31,30 |
| 29       | 3,06                             | 2,02 | 5,13  | 1,58 | 10,09 | 33,34 |
| 30       | 3,17                             | 2,03 | 5,33  | 1,58 | 12,47 | 46,17 |
| 31       | 3,09                             | 1,67 | 4,76  | 1,42 | 8,65  | 37,45 |
| 32       | 3,36                             | 1,78 | 6,61  | 1,05 | 8,16  | 66,10 |
| 33       | 3,19                             | 1,68 | 4,78  | 1,14 | 7,60  | 65,22 |
| 34       | 3,31                             | 1,58 | 5,15  | 1,20 | 25,37 | 42,56 |
| 35       | 3,23                             | 1,68 | 6,01  | 0,94 | 27,16 | 49,34 |
| 36       | 3,24                             | 1,49 | 5,07  | 1,09 | 7,43  | 47,05 |

| Decêndio | Erro padrão de estimativa - Jacobina |      |       |      |       |       |
|----------|--------------------------------------|------|-------|------|-------|-------|
|          | Tmax                                 | Tmin | UR    | VV   | ETo   | PRP   |
| 1        | 3,36                                 | 1,57 | 5,54  | 0,87 | 6,66  | 51,56 |
| 2        | 3,56                                 | 1,60 | 8,63  | 1,06 | 6,36  | 67,72 |
| 3        | 3,53                                 | 1,49 | 9,14  | 1,20 | 26,03 | 35,42 |
| 4        | 3,62                                 | 1,53 | 7,19  | 0,87 | 22,57 | 33,34 |
| 5        | 3,76                                 | 1,66 | 6,98  | 1,50 | 23,77 | 44,71 |
| 6        | 3,98                                 | 1,69 | 21,51 | 7,19 | 25,58 | 44,21 |
| 7        | 3,44                                 | 1,56 | 6,51  | 1,22 | 6,05  | 65,84 |
| 8        | 3,29                                 | 1,68 | 5,63  | 0,85 | 45,53 | 53,50 |
| 9        | 3,55                                 | 1,66 | 6,53  | 1,01 | 46,44 | 93,49 |
| 10       | 3,50                                 | 1,76 | 6,45  | 1,20 | 29,27 | 18,86 |
| 11       | 3,65                                 | 1,71 | 7,97  | 1,04 | 9,79  | 22,70 |
| 12       | 3,63                                 | 1,58 | 6,86  | 1,14 | 8,42  | 43,68 |
| 13       | 3,18                                 | 1,62 | 6,31  | 0,93 | 8,18  | 30,62 |
| 14       | 3,47                                 | 1,72 | 6,12  | 1,15 | 7,40  | 21,24 |
| 15       | 3,27                                 | 1,51 | 7,75  | 1,04 | 6,99  | 18,11 |
| 16       | 3,43                                 | 1,54 | 6,20  | 1,17 | 8,09  | 20,73 |
| 17       | 3,13                                 | 1,47 | 4,43  | 0,88 | 5,10  | 27,86 |
| 18       | 3,20                                 | 1,38 | 6,68  | 0,98 | 7,01  | 20,53 |
| 19       | 3,22                                 | 1,46 | 5,05  | 1,12 | 5,19  | 21,11 |
| 20       | 3,32                                 | 1,47 | 5,10  | 1,09 | 5,07  | 15,19 |
| 21       | 3,78                                 | 2,07 | 6,02  | 1,28 | 8,61  | 11,53 |
| 22       | 3,69                                 | 2,18 | 7,78  | 1,25 | 8,20  | 16,88 |
| 23       | 4,02                                 | 2,15 | 6,56  | 1,38 | 8,99  | 15,40 |
| 24       | 4,22                                 | 2,04 | 7,16  | 1,53 | 23,94 | 19,47 |
| 25       | 3,94                                 | 2,37 | 7,22  | 1,66 | 10,34 | 15,76 |
| 26       | 4,02                                 | 2,34 | 7,59  | 1,55 | 13,36 | 13,34 |
| 27       | 3,59                                 | 2,35 | 5,80  | 1,60 | 10,31 | 15,83 |
| 28       | 3,52                                 | 2,38 | 7,95  | 1,70 | 12,88 | 32,99 |
| 29       | 3,22                                 | 2,13 | 5,41  | 1,67 | 10,78 | 35,14 |
| 30       | 3,34                                 | 2,14 | 5,62  | 1,68 | 13,23 | 48,67 |
| 31       | 3,26                                 | 1,76 | 5,02  | 1,51 | 9,17  | 39,48 |
| 32       | 3,54                                 | 1,88 | 6,96  | 1,11 | 8,65  | 69,68 |
| 33       | 3,36                                 | 1,77 | 5,04  | 1,21 | 8,06  | 68,75 |
| 34       | 3,49                                 | 1,67 | 5,42  | 1,28 | 27,12 | 44,87 |
| 35       | 3,40                                 | 1,78 | 6,34  | 1,00 | 29,04 | 52,01 |
| 36       | 3,41                                 | 1,57 | 5,34  | 1,16 | 7,89  | 49,59 |

| Decêndio | Erro absoluto médio percentual - Jacobina |      |      |       |      |        |
|----------|---|------|------|-------|------|--------|
|          | Tmax                                      | Tmin | UR   | VV    | ETo  | PRP    |
| 1        | 1,01                                      | 0,72 | 0,18 | 2,94  | 1,21 | 1,91   |
| 2        | 1,07                                      | 0,67 | 0,29 | 2,60  | 0,70 | 4,52   |
| 3        | 1,02                                      | 0,68 | 0,33 | 3,55  | 3,50 | 9,92   |
| 4        | 1,04                                      | 0,69 | 0,58 | 3,03  | 0,14 | 22,73  |
| 5        | 1,07                                      | 0,79 | 0,46 | 4,22  | 0,87 | 9,59   |
| 6        | 0,80                                      | 0,78 | 1,68 | 7,13  | 0,39 | 22,58  |
| 7        | 0,99                                      | 0,71 | 0,38 | 3,94  | 1,53 | 0,46   |
| 8        | 0,95                                      | 0,75 | 0,19 | 3,69  | 1,54 | 11,64  |
| 9        | 1,04                                      | 0,77 | 0,38 | 2,03  | 2,18 | 3,65   |
| 10       | 1,04                                      | 0,82 | 0,35 | 3,92  | 1,40 | 2,39   |
| 11       | 1,09                                      | 0,82 | 0,63 | 2,96  | 1,89 | 1,68   |
| 12       | 1,12                                      | 0,43 | 0,48 | 3,29  | 1,61 | 6,82   |
| 13       | 1,00                                      | 0,77 | 0,36 | 2,45  | 1,25 | 5,85   |
| 14       | 1,11                                      | 0,86 | 0,42 | 2,87  | 0,93 | 5,40   |
| 15       | 1,06                                      | 0,75 | 0,45 | 2,14  | 1,40 | 3,60   |
| 16       | 1,17                                      | 0,76 | 0,39 | 55,76 | 1,99 | 9,66   |
| 17       | 1,10                                      | 0,77 | 0,22 | 2,09  | 1,41 | 9,97   |
| 18       | 1,09                                      | 0,69 | 0,37 | 2,44  | 1,54 | 9,37   |
| 19       | 1,13                                      | 0,79 | 0,27 | 2,37  | 1,32 | 9,99   |
| 20       | 1,17                                      | 0,78 | 0,14 | 2,35  | 1,47 | 9,95   |
| 21       | 1,33                                      | 1,15 | 0,26 | 3,05  | 2,38 | 9,29   |
| 22       | 1,29                                      | 1,06 | 0,33 | 3,04  | 1,78 | 10,00  |
| 23       | 1,38                                      | 1,10 | 0,44 | 3,12  | 2,18 | 9,68   |
| 24       | 1,41                                      | 1,02 | 0,53 | 3,33  | 2,45 | 9,91   |
| 25       | 1,26                                      | 1,15 | 0,63 | 2,53  | 2,58 | 5,93   |
| 26       | 1,26                                      | 1,12 | 0,87 | 3,53  | 2,71 | 7,76   |
| 27       | 1,11                                      | 1,10 | 0,53 | 3,50  | 2,06 | 3,80   |
| 28       | 1,04                                      | 1,09 | 0,59 | 3,87  | 1,76 | 4,68   |
| 29       | 0,96                                      | 0,98 | 0,37 | 3,39  | 1,83 | 13,70  |
| 30       | 0,97                                      | 0,95 | 0,38 | 3,65  | 1,42 | 105,73 |
| 31       | 0,94                                      | 0,75 | 0,33 | 3,53  | 1,42 | 12,65  |
| 32       | 1,04                                      | 0,80 | 0,23 | 3,02  | 1,33 | 0,84   |
| 33       | 1,01                                      | 0,77 | 0,15 | 3,00  | 1,31 | 5,99   |
| 34       | 1,04                                      | 0,72 | 0,22 | 3,46  | 1,02 | 8,07   |
| 35       | 0,99                                      | 0,75 | 0,14 | 2,86  | 1,31 | 5,85   |
| 36       | 1,01                                      | 0,66 | 0,31 | 3,06  | 0,64 | 3,49   |

| Decêndio | Erro médio absoluto - Jacobina |      |      |       |       |       |
|----------|--------------------------------|------|------|-------|-------|-------|
|          | Tmax                           | Tmin | UR   | VV    | ETo   | PRP   |
| 1        | 3,16                           | 1,40 | 1,27 | 0,70  | 4,26  | 9,26  |
| 2        | 3,35                           | 1,29 | 2,05 | 0,75  | 2,77  | 28,80 |
| 3        | 3,26                           | 1,32 | 2,17 | 0,96  | 12,89 | 23,01 |
| 4        | 3,38                           | 1,35 | 3,70 | 0,77  | 0,50  | 28,10 |
| 5        | 3,46                           | 1,54 | 3,02 | 1,29  | 1,99  | 24,12 |
| 6        | 2,54                           | 1,52 | 9,91 | 3,46  | 0,95  | 32,16 |
| 7        | 3,17                           | 1,39 | 2,59 | 0,97  | 4,89  | 2,16  |
| 8        | 3,03                           | 1,47 | 1,32 | 0,74  | 4,50  | 27,04 |
| 9        | 3,34                           | 1,52 | 2,57 | 0,50  | 7,84  | 23,77 |
| 10       | 3,24                           | 1,59 | 2,49 | 1,07  | 4,65  | 3,60  |
| 11       | 3,38                           | 1,57 | 4,41 | 0,69  | 6,33  | 2,94  |
| 12       | 3,38                           | 0,81 | 3,55 | 0,87  | 4,98  | 18,89 |
| 13       | 2,91                           | 1,43 | 2,69 | 0,67  | 3,40  | 12,35 |
| 14       | 3,25                           | 1,57 | 3,04 | 0,94  | 2,67  | 6,82  |
| 15       | 2,99                           | 1,32 | 3,35 | 0,64  | 4,31  | 5,37  |
| 16       | 3,18                           | 1,32 | 3,02 | 20,03 | 5,33  | 16,23 |
| 17       | 2,89                           | 1,31 | 1,77 | 0,68  | 3,50  | 18,20 |
| 18       | 2,91                           | 1,14 | 2,83 | 0,77  | 3,79  | 14,07 |
| 19       | 2,98                           | 1,29 | 2,13 | 0,79  | 3,22  | 15,42 |
| 20       | 3,09                           | 1,28 | 1,10 | 0,83  | 3,76  | 12,99 |
| 21       | 3,58                           | 1,89 | 1,94 | 1,15  | 7,69  | 8,14  |
| 22       | 3,44                           | 1,96 | 2,53 | 1,11  | 5,88  | 12,86 |
| 23       | 3,75                           | 2,00 | 3,24 | 1,23  | 7,90  | 9,44  |
| 24       | 3,98                           | 1,86 | 3,85 | 1,31  | 9,58  | 15,16 |
| 25       | 3,69                           | 2,20 | 4,30 | 0,86  | 8,70  | 5,17  |
| 26       | 3,78                           | 2,18 | 5,65 | 1,42  | 11,84 | 6,33  |
| 27       | 3,36                           | 2,16 | 3,44 | 1,41  | 9,05  | 4,25  |
| 28       | 3,29                           | 2,20 | 3,60 | 1,54  | 8,23  | 8,28  |
| 29       | 3,00                           | 1,99 | 2,35 | 1,38  | 8,72  | 16,21 |
| 30       | 3,11                           | 1,99 | 2,31 | 1,44  | 8,36  | 29,81 |
| 31       | 3,02                           | 1,58 | 2,07 | 1,30  | 7,61  | 24,16 |
| 32       | 3,31                           | 1,70 | 1,57 | 0,96  | 6,55  | 3,62  |
| 33       | 3,15                           | 1,64 | 1,07 | 0,94  | 6,24  | 25,38 |
| 34       | 3,28                           | 1,52 | 1,51 | 1,08  | 4,33  | 25,26 |
| 35       | 3,15                           | 1,62 | 0,96 | 0,78  | 5,47  | 25,69 |
| 36       | 3,19                           | 1,42 | 2,12 | 0,92  | 3,29  | 19,87 |
| Média    | T max                          | Tmin | UR   | VV    | ETo   | PRP   |
| RMSE     | 3,34                           | 1,69 | 6,53 | 1,31  | 13,40 | 34,25 |
| EPE      | 3,53                           | 1,78 | 6,88 | 1,39  | 14,45 | 36,11 |
| MAPE     | 1,09                           | 0,83 | 0,41 | 4,66  | 1,57  | 10,53 |
| MAE      | 3,25                           | 1,59 | 2,82 | 1,58  | 5,72  | 15,69 |

**APÊNDICE E – Validação estatística para Lençóis com o erro quadrático médio, erro padrão de estimativa, erro absoluto médio percentual, erro médio absoluto organizados por decêndios e média geral, respectivamente, contendo temperatura do ar máxima (Tmax) e mínima (Tmin), umidade relativa média do ar (UR), velocidade média do vento (VV), evapotranspiração de referência (ETo) e precipitação (PRP).**

| Decêndio | Erro quadrático médio - Lençóis |      |       |      |       |       |
|----------|---------------------------------|------|-------|------|-------|-------|
|          | Tmax                            | Tmin | UR    | VV   | ETo   | PRP   |
| 1        | 2,32                            | 0,99 | 3,01  | 0,45 | 3,74  | 20,61 |
| 2        | 2,43                            | 1,36 | 1,68  | 0,43 | 1,89  | 61,34 |
| 3        | 3,28                            | 1,47 | 5,19  | 0,58 | 3,87  | 37,11 |
| 4        | 2,95                            | 1,16 | 4,64  | 0,52 | 4,46  | 15,61 |
| 5        | 3,29                            | 1,20 | 6,55  | 0,54 | 5,39  | 40,68 |
| 6        | 3,61                            | 1,23 | 18,45 | 6,14 | 18,37 | 41,50 |
| 7        | 2,87                            | 1,09 | 3,27  | 0,53 | 2,42  | 23,48 |
| 8        | 3,11                            | 1,17 | 3,16  | 0,45 | 2,99  | 44,53 |
| 9        | 2,73                            | 1,09 | 2,44  | 0,48 | 2,24  | 92,45 |
| 10       | 2,64                            | 1,20 | 4,10  | 0,51 | 4,21  | 29,26 |
| 11       | 2,83                            | 1,24 | 2,94  | 0,60 | 1,13  | 33,75 |
| 12       | 2,69                            | 1,11 | 3,46  | 0,60 | 3,61  | 18,91 |
| 13       | 2,38                            | 1,25 | 4,55  | 0,74 | 2,03  | 15,56 |
| 14       | 2,80                            | 1,25 | 3,54  | 0,48 | 1,61  | 18,99 |
| 15       | 2,35                            | 0,67 | 3,51  | 0,45 | 2,98  | 13,00 |
| 16       | 2,29                            | 5,73 | 4,69  | 0,70 | 2,92  | 16,40 |
| 17       | 2,70                            | 5,60 | 2,78  | 0,50 | 2,41  | 15,73 |
| 18       | 2,81                            | 0,87 | 2,90  | 0,42 | 2,74  | 17,43 |
| 19       | 2,97                            | 0,89 | 3,60  | 0,58 | 3,82  | 15,27 |
| 20       | 2,91                            | 1,05 | 5,08  | 0,58 | 6,94  | 11,40 |
| 21       | 2,67                            | 1,03 | 4,23  | 0,68 | 3,48  | 6,88  |
| 22       | 3,25                            | 1,14 | 3,64  | 0,62 | 2,82  | 17,56 |
| 23       | 3,54                            | 1,21 | 3,41  | 0,55 | 4,80  | 8,96  |
| 24       | 3,12                            | 5,26 | 4,06  | 0,71 | 4,45  | 18,99 |
| 25       | 2,73                            | 0,98 | 2,14  | 0,58 | 3,64  | 21,65 |
| 26       | 2,87                            | 1,22 | 4,41  | 0,74 | 4,64  | 9,62  |
| 27       | 2,81                            | 8,34 | 5,68  | 0,78 | 3,65  | 8,66  |
| 28       | 2,30                            | 1,22 | 4,06  | 0,85 | 3,37  | 26,99 |
| 29       | 2,39                            | 0,94 | 6,26  | 0,90 | 6,69  | 17,44 |
| 30       | 2,49                            | 0,88 | 7,16  | 0,83 | 7,26  | 35,69 |
| 31       | 2,76                            | 0,77 | 4,79  | 0,80 | 6,26  | 43,33 |
| 32       | 2,09                            | 0,91 | 4,85  | 0,61 | 3,90  | 20,63 |
| 33       | 2,79                            | 0,91 | 4,95  | 0,76 | 6,00  | 23,22 |
| 34       | 2,75                            | 0,67 | 2,74  | 0,62 | 2,80  | 47,81 |
| 35       | 2,76                            | 0,96 | 2,36  | 0,67 | 3,73  | 34,62 |
| 36       | 2,72                            | 0,91 | 1,72  | 0,50 | 4,27  | 72,54 |

| Decêndio | Erro padrão de estimativa - Lençóis |      |       |      |       |       |
|----------|-------------------------------------|------|-------|------|-------|-------|
|          | Tmax                                | Tmin | UR    | VV   | ETo   | PRP   |
| 1        | 2,45                                | 1,04 | 3,22  | 0,48 | 4,04  | 22,03 |
| 2        | 2,56                                | 1,43 | 1,79  | 0,46 | 2,02  | 65,57 |
| 3        | 3,45                                | 1,55 | 5,54  | 0,61 | 4,14  | 39,12 |
| 4        | 3,11                                | 1,22 | 4,96  | 0,55 | 4,77  | 16,55 |
| 5        | 3,47                                | 1,27 | 7,00  | 0,57 | 5,76  | 42,88 |
| 6        | 3,80                                | 1,30 | 19,45 | 6,47 | 19,63 | 43,74 |
| 7        | 3,02                                | 1,15 | 3,44  | 0,56 | 2,58  | 24,75 |
| 8        | 3,27                                | 1,24 | 3,33  | 0,47 | 3,23  | 46,94 |
| 9        | 2,88                                | 1,15 | 2,57  | 0,51 | 2,42  | 98,06 |
| 10       | 2,78                                | 1,26 | 4,32  | 0,54 | 4,55  | 30,84 |
| 11       | 2,98                                | 1,31 | 3,10  | 0,63 | 1,22  | 35,58 |
| 12       | 2,84                                | 1,17 | 3,65  | 0,63 | 3,86  | 20,06 |
| 13       | 2,51                                | 1,31 | 4,86  | 0,78 | 2,19  | 16,40 |
| 14       | 2,95                                | 1,32 | 3,79  | 0,50 | 1,74  | 20,02 |
| 15       | 2,48                                | 0,70 | 3,75  | 0,47 | 3,19  | 13,79 |
| 16       | 2,41                                | 6,04 | 5,02  | 0,75 | 3,16  | 17,39 |
| 17       | 2,85                                | 5,90 | 2,97  | 0,53 | 2,60  | 16,59 |
| 18       | 2,96                                | 0,92 | 3,10  | 0,44 | 2,93  | 18,38 |
| 19       | 3,14                                | 0,94 | 3,89  | 0,61 | 4,13  | 16,10 |
| 20       | 3,07                                | 1,11 | 5,43  | 0,61 | 7,42  | 12,02 |
| 21       | 2,82                                | 1,09 | 4,53  | 0,72 | 3,72  | 7,30  |
| 22       | 3,43                                | 1,20 | 3,89  | 0,66 | 3,01  | 18,51 |
| 23       | 3,74                                | 1,28 | 3,64  | 0,59 | 5,13  | 9,44  |
| 24       | 3,29                                | 5,54 | 4,39  | 0,75 | 4,81  | 20,02 |
| 25       | 2,88                                | 1,03 | 2,29  | 0,62 | 3,89  | 22,96 |
| 26       | 3,02                                | 1,28 | 4,71  | 0,79 | 4,96  | 10,20 |
| 27       | 2,96                                | 8,79 | 6,07  | 0,83 | 3,90  | 9,19  |
| 28       | 2,42                                | 1,28 | 4,34  | 0,91 | 3,60  | 28,63 |
| 29       | 2,52                                | 0,99 | 6,69  | 0,96 | 7,15  | 18,50 |
| 30       | 2,62                                | 0,93 | 7,65  | 0,88 | 7,76  | 37,62 |
| 31       | 2,91                                | 0,81 | 5,08  | 0,85 | 6,70  | 45,68 |
| 32       | 2,20                                | 0,96 | 5,15  | 0,65 | 4,17  | 21,88 |
| 33       | 2,94                                | 0,96 | 5,25  | 0,80 | 6,41  | 24,47 |
| 34       | 2,90                                | 0,71 | 2,90  | 0,66 | 2,99  | 50,39 |
| 35       | 2,91                                | 1,01 | 2,50  | 0,71 | 3,99  | 36,50 |
| 36       | 2,87                                | 0,96 | 1,83  | 0,53 | 4,61  | 76,46 |

| Decêndio | Erro absoluto médio percentual - Lençóis |      |      |      |      |      |
|----------|--|------|------|------|------|------|
|          | Tmax                                     | Tmin | UR   | VV   | ETo  | PRP  |
| 1        | 0,83                                     | 0,54 | 0,35 | 3,27 | 0,59 | 2,24 |
| 2        | 0,86                                     | 0,47 | 0,11 | 3,25 | 0,33 | 6,17 |
| 3        | 0,41                                     | 0,41 | 0,11 | 3,68 | 0,10 | 0,23 |
| 4        | 0,57                                     | 0,32 | 0,11 | 3,13 | 0,07 | 3,70 |
| 5        | 0,33                                     | 0,32 | 0,25 | 2,91 | 0,26 | 4,17 |
| 6        | 0,07                                     | 0,34 | 0,96 | 4,44 | 0,81 | 4,21 |
| 7        | 0,43                                     | 0,32 | 0,11 | 3,20 | 0,04 | 2,13 |
| 8        | 0,35                                     | 0,30 | 0,10 | 2,50 | 0,12 | 2,69 |
| 9        | 0,51                                     | 0,27 | 0,21 | 3,39 | 0,12 | 5,97 |
| 10       | 0,46                                     | 0,34 | 0,47 | 3,67 | 0,34 | 3,34 |
| 11       | 0,37                                     | 0,22 | 0,21 | 4,74 | 0,05 | 7,25 |
| 12       | 0,58                                     | 0,21 | 0,25 | 4,13 | 0,68 | 3,27 |
| 13       | 0,24                                     | 0,31 | 0,51 | 5,66 | 0,16 | 4,77 |
| 14       | 0,22                                     | 0,22 | 0,39 | 3,03 | 0,76 | 2,76 |
| 15       | 0,53                                     | 0,23 | 0,34 | 3,75 | 0,20 | 6,89 |
| 16       | 0,70                                     | 0,99 | 0,59 | 4,87 | 1,01 | 7,33 |
| 17       | 0,55                                     | 0,82 | 0,19 | 3,45 | 0,92 | 5,26 |
| 18       | 0,44                                     | 0,51 | 0,32 | 3,03 | 1,02 | 6,07 |
| 19       | 0,42                                     | 0,51 | 0,15 | 3,72 | 1,41 | 4,10 |
| 20       | 0,56                                     | 0,49 | 0,00 | 3,65 | 0,60 | 3,96 |
| 21       | 0,81                                     | 0,57 | 0,20 | 4,90 | 1,02 | 0,96 |
| 22       | 0,61                                     | 0,49 | 0,06 | 4,01 | 0,93 | 5,64 |
| 23       | 0,72                                     | 1,81 | 0,15 | 3,54 | 1,32 | 5,43 |
| 24       | 0,50                                     | 0,55 | 0,31 | 4,65 | 1,18 | 5,14 |
| 25       | 0,69                                     | 0,56 | 0,01 | 4,23 | 0,83 | 6,64 |
| 26       | 0,67                                     | 0,60 | 0,33 | 5,37 | 0,28 | 0,77 |
| 27       | 0,60                                     | 0,49 | 0,00 | 5,30 | 0,00 | 2,45 |
| 28       | 0,81                                     | 0,60 | 0,36 | 7,42 | 0,55 | 3,93 |
| 29       | 0,38                                     | 0,48 | 0,45 | 6,37 | 1,09 | 0,91 |
| 30       | 0,16                                     | 0,46 | 0,63 | 5,71 | 1,72 | 5,26 |
| 31       | 0,42                                     | 0,34 | 0,43 | 4,81 | 1,49 | 0,32 |
| 32       | 0,57                                     | 0,47 | 0,24 | 4,03 | 0,59 | 1,17 |
| 33       | 0,40                                     | 0,45 | 0,36 | 4,81 | 1,64 | 0,98 |
| 34       | 0,54                                     | 0,29 | 0,11 | 3,44 | 0,53 | 1,54 |
| 35       | 0,45                                     | 0,47 | 0,22 | 3,46 | 0,72 | 3,58 |
| 36       | 0,54                                     | 0,40 | 0,10 | 2,63 | 1,04 | 1,98 |

| Decêndio | Erro médio absoluto - Lençóis |      |      |      |      |       |
|----------|-------------------------------|------|------|------|------|-------|
|          | Tmax                          | Tmin | UR   | VV   | ETo  | PRP   |
| 1        | 2,04                          | 0,81 | 2,12 | 0,35 | 1,68 | 7,51  |
| 2        | 2,14                          | 0,78 | 0,62 | 0,35 | 1,10 | 33,01 |
| 3        | 1,23                          | 0,69 | 0,61 | 0,48 | 0,40 | 0,58  |
| 4        | 1,60                          | 0,54 | 0,58 | 0,40 | 0,26 | 8,24  |
| 5        | 0,99                          | 0,55 | 1,42 | 0,43 | 0,91 | 13,10 |
| 6        | 0,22                          | 0,57 | 4,89 | 1,45 | 2,30 | 13,33 |
| 7        | 1,31                          | 0,55 | 0,62 | 0,43 | 0,13 | 9,37  |
| 8        | 1,05                          | 0,50 | 0,56 | 0,32 | 0,36 | 17,12 |
| 9        | 1,39                          | 0,45 | 1,27 | 0,42 | 0,39 | 38,88 |
| 10       | 1,22                          | 0,57 | 2,90 | 0,48 | 0,88 | 9,68  |
| 11       | 1,09                          | 0,38 | 1,25 | 0,57 | 0,13 | 21,55 |
| 12       | 1,50                          | 0,34 | 1,52 | 0,52 | 1,84 | 9,69  |
| 13       | 0,65                          | 0,51 | 2,75 | 0,67 | 0,33 | 8,50  |
| 14       | 0,60                          | 0,33 | 2,06 | 0,40 | 1,64 | 4,68  |
| 15       | 1,30                          | 0,35 | 2,11 | 0,42 | 0,47 | 8,37  |
| 16       | 1,68                          | 1,30 | 3,74 | 0,59 | 1,87 | 12,23 |
| 17       | 1,43                          | 1,07 | 1,15 | 0,46 | 1,67 | 7,13  |
| 18       | 1,14                          | 0,72 | 1,98 | 0,35 | 2,10 | 10,53 |
| 19       | 1,06                          | 0,72 | 0,82 | 0,51 | 2,52 | 7,99  |
| 20       | 1,44                          | 0,70 | 0,00 | 0,46 | 1,29 | 2,89  |
| 21       | 1,92                          | 0,81 | 1,14 | 0,60 | 2,59 | 0,80  |
| 22       | 1,59                          | 0,70 | 0,34 | 0,55 | 2,21 | 9,65  |
| 23       | 1,90                          | 2,58 | 0,87 | 0,51 | 3,35 | 5,25  |
| 24       | 1,20                          | 0,68 | 1,52 | 0,63 | 3,33 | 7,95  |
| 25       | 1,77                          | 0,84 | 0,06 | 0,54 | 2,50 | 8,15  |
| 26       | 1,76                          | 0,92 | 1,71 | 0,71 | 0,90 | 0,41  |
| 27       | 1,58                          | 0,75 | 0,02 | 0,74 | 0,02 | 3,47  |
| 28       | 2,04                          | 0,97 | 1,78 | 0,84 | 1,93 | 3,73  |
| 29       | 1,02                          | 0,77 | 2,41 | 0,86 | 3,66 | 1,52  |
| 30       | 0,47                          | 0,76 | 3,43 | 0,81 | 6,16 | 15,71 |
| 31       | 1,28                          | 0,56 | 2,73 | 0,69 | 4,64 | 1,24  |
| 32       | 1,56                          | 0,78 | 1,55 | 0,50 | 1,95 | 5,29  |
| 33       | 1,19                          | 0,76 | 2,41 | 0,62 | 4,76 | 4,21  |
| 34       | 1,64                          | 0,49 | 0,73 | 0,45 | 1,70 | 9,68  |
| 35       | 1,36                          | 0,80 | 1,46 | 0,45 | 2,34 | 17,65 |
| 36       | 1,64                          | 0,68 | 0,68 | 0,37 | 3,23 | 8,64  |
| Média    | T max                         | Tmin | UR   | VV   | ETo  | PRP   |
| RMSE     | 2,78                          | 1,64 | 4,33 | 0,76 | 4,21 | 27,71 |
| EPE      | 2,93                          | 1,73 | 4,61 | 0,81 | 4,51 | 29,29 |
| MAPE     | 0,51                          | 0,48 | 0,27 | 4,12 | 0,68 | 3,70  |
| MAE      | 1,36                          | 0,73 | 1,55 | 0,55 | 1,88 | 9,66  |

**APÊNDICE F – Validação estatística para Vitória da Conquista com o erro quadrático médio, erro padrão de estimativa, erro absoluto médio percentual, erro médio absoluto organizados por decêndios e média geral, respectivamente, contendo temperatura do ar máxima (Tmax) e mínima (Tmin), umidade relativa média do ar (UR), velocidade média do vento (VV), evapotranspiração de referência (ETo) e precipitação (PRP).**

| Decêndio | Erro quadrático médio - Vitória da Conquista |      |      |      |      |       |
|----------|--|------|------|------|------|-------|
|          | Tmax   | Tmin | UR   | VV   | ETo  | PRP   |
| 1        | 0,60   | 0,39 | 4,00 | 0,47 | 4,54 | 5,56  |
| 2        | 0,91   | 0,55 | 4,03 | 0,60 | 4,81 | 32,59 |
| 3        | 0,81   | 0,84 | 1,95 | 0,62 | 3,29 | 11,61 |
| 4        | 1,23   | 0,84 | 2,62 | 0,60 | 2,73 | 4,15  |
| 5        | 0,92   | 0,73 | 3,93 | 0,55 | 4,03 | 18,22 |
| 6        | 0,69   | 0,60 | 3,76 | 0,55 | 3,26 | 24,23 |
| 7        | 0,75   | 0,90 | 3,69 | 0,61 | 4,07 | 18,74 |
| 8        | 0,97   | 0,65 | 3,60 | 0,50 | 0,78 | 13,50 |
| 9        | 0,49   | 0,64 | 3,25 | 0,34 | 1,65 | 11,63 |
| 10       | 0,45   | 0,89 | 4,87 | 0,37 | 3,64 | 7,17  |
| 11       | 0,70   | 0,82 | 4,05 | 0,34 | 2,65 | 4,63  |
| 12       | 0,61   | 0,59 | 5,53 | 0,46 | 2,63 | 9,69  |
| 13       | 0,75   | 0,86 | 5,51 | 0,45 | 3,12 | 4,36  |
| 14       | 0,48   | 0,85 | 6,79 | 0,35 | 2,41 | 5,48  |
| 15       | 0,77   | 1,09 | 6,04 | 0,20 | 3,36 | 3,05  |
| 16       | 0,44   | 0,92 | 5,33 | 0,64 | 2,86 | 2,75  |
| 17       | 0,43   | 1,03 | 5,36 | 0,47 | 2,40 | 2,87  |
| 18       | 0,73   | 0,84 | 5,85 | 0,55 | 3,48 | 3,44  |
| 19       | 0,53   | 0,80 | 5,28 | 0,52 | 2,45 | 4,25  |
| 20       | 0,56   | 0,76 | 4,72 | 0,51 | 3,19 | 8,75  |
| 21       | 0,57   | 0,89 | 6,16 | 0,47 | 3,08 | 7,35  |
| 22       | 0,61   | 1,11 | 5,99 | 0,61 | 2,61 | 5,91  |
| 23       | 0,75   | 1,15 | 5,76 | 0,53 | 3,28 | 2,53  |
| 24       | 0,54   | 1,18 | 4,66 | 0,50 | 5,01 | 2,94  |
| 25       | 0,77   | 1,26 | 6,01 | 0,64 | 2,77 | 5,63  |
| 26       | 0,58   | 1,07 | 4,90 | 0,54 | 4,53 | 2,34  |
| 27       | 0,64   | 0,24 | 3,93 | 0,48 | 3,07 | 4,39  |
| 28       | 0,91   | 0,71 | 3,16 | 0,60 | 3,05 | 3,13  |
| 29       | 0,71   | 0,63 | 3,30 | 0,51 | 2,84 | 21,43 |
| 30       | 0,71   | 0,98 | 4,44 | 0,54 | 3,28 | 13,28 |
| 31       | 0,72   | 0,69 | 3,93 | 0,53 | 3,61 | 15,14 |
| 32       | 0,80   | 0,67 | 3,89 | 0,51 | 4,03 | 14,73 |
| 33       | 0,73   | 0,92 | 2,45 | 0,54 | 2,80 | 19,46 |
| 34       | 1,06   | 0,65 | 3,05 | 0,52 | 3,81 | 16,75 |
| 35       | 1,11   | 0,70 | 3,10 | 0,55 | 4,35 | 7,67  |
| 36       | 1,08   | 1,02 | 2,76 | 0,52 | 4,77 | 20,90 |

| Decêndio | Erro padrão de estimativa - Vitória da Conquista |      |      |      |      |       |
|----------|--|------|------|------|------|-------|
|          | Tmax   | Tmin | UR   | VV   | ETo  | PRP   |
| 1        | 0,63   | 0,41 | 4,22 | 0,49 | 4,82 | 5,86  |
| 2        | 0,96   | 0,59 | 4,25 | 0,63 | 5,11 | 34,36 |
| 3        | 0,86   | 0,89 | 2,06 | 0,65 | 3,49 | 12,24 |
| 4        | 1,30   | 0,89 | 2,76 | 0,64 | 2,89 | 4,38  |
| 5        | 0,97   | 0,77 | 4,14 | 0,58 | 4,27 | 19,20 |
| 6        | 0,73   | 0,63 | 3,97 | 0,57 | 3,46 | 25,54 |
| 7        | 0,79   | 0,95 | 3,89 | 0,64 | 4,32 | 19,75 |
| 8        | 1,02   | 0,69 | 3,79 | 0,53 | 0,83 | 14,23 |
| 9        | 0,52   | 0,67 | 3,42 | 0,36 | 1,75 | 12,26 |
| 10       | 0,48   | 0,94 | 5,13 | 0,39 | 3,86 | 7,56  |
| 11       | 0,74   | 0,86 | 4,27 | 0,36 | 2,81 | 4,88  |
| 12       | 0,65   | 0,63 | 5,83 | 0,49 | 2,78 | 10,21 |
| 13       | 0,79   | 0,91 | 5,81 | 0,48 | 3,31 | 4,60  |
| 14       | 0,51   | 0,90 | 7,16 | 0,37 | 2,55 | 5,78  |
| 15       | 0,82   | 1,17 | 6,41 | 0,21 | 3,59 | 3,24  |
| 16       | 0,46   | 0,98 | 5,61 | 0,67 | 3,04 | 2,90  |
| 17       | 0,46   | 1,09 | 5,64 | 0,49 | 2,55 | 3,03  |
| 18       | 0,76   | 0,88 | 6,17 | 0,58 | 3,67 | 3,62  |
| 19       | 0,55   | 0,84 | 5,57 | 0,54 | 2,58 | 4,48  |
| 20       | 0,59   | 0,80 | 4,98 | 0,54 | 3,36 | 9,22  |
| 21       | 0,60   | 0,94 | 6,49 | 0,50 | 3,26 | 7,75  |
| 22       | 0,64   | 1,17 | 6,31 | 0,64 | 2,77 | 6,22  |
| 23       | 0,79   | 1,22 | 6,08 | 0,56 | 3,48 | 2,67  |
| 24       | 0,57   | 1,25 | 4,91 | 0,52 | 5,31 | 3,10  |
| 25       | 0,81   | 1,33 | 6,34 | 0,68 | 2,92 | 5,94  |
| 26       | 0,61   | 1,12 | 5,16 | 0,57 | 4,78 | 2,46  |
| 27       | 0,68   | 0,25 | 4,14 | 0,50 | 3,24 | 4,63  |
| 28       | 0,96   | 0,75 | 3,33 | 0,63 | 3,21 | 3,30  |
| 29       | 0,74   | 0,67 | 3,48 | 0,54 | 2,99 | 22,59 |
| 30       | 0,75   | 1,03 | 4,68 | 0,57 | 3,46 | 14,00 |
| 31       | 0,76   | 0,72 | 4,14 | 0,56 | 3,80 | 15,96 |
| 32       | 0,84   | 0,71 | 4,10 | 0,54 | 4,25 | 15,53 |
| 33       | 0,77   | 0,97 | 2,58 | 0,57 | 2,95 | 20,51 |
| 34       | 1,12   | 0,69 | 3,22 | 0,54 | 4,02 | 17,66 |
| 35       | 1,17   | 0,74 | 3,26 | 0,58 | 4,58 | 8,09  |
| 36       | 1,14   | 1,08 | 2,91 | 0,55 | 5,03 | 22,03 |

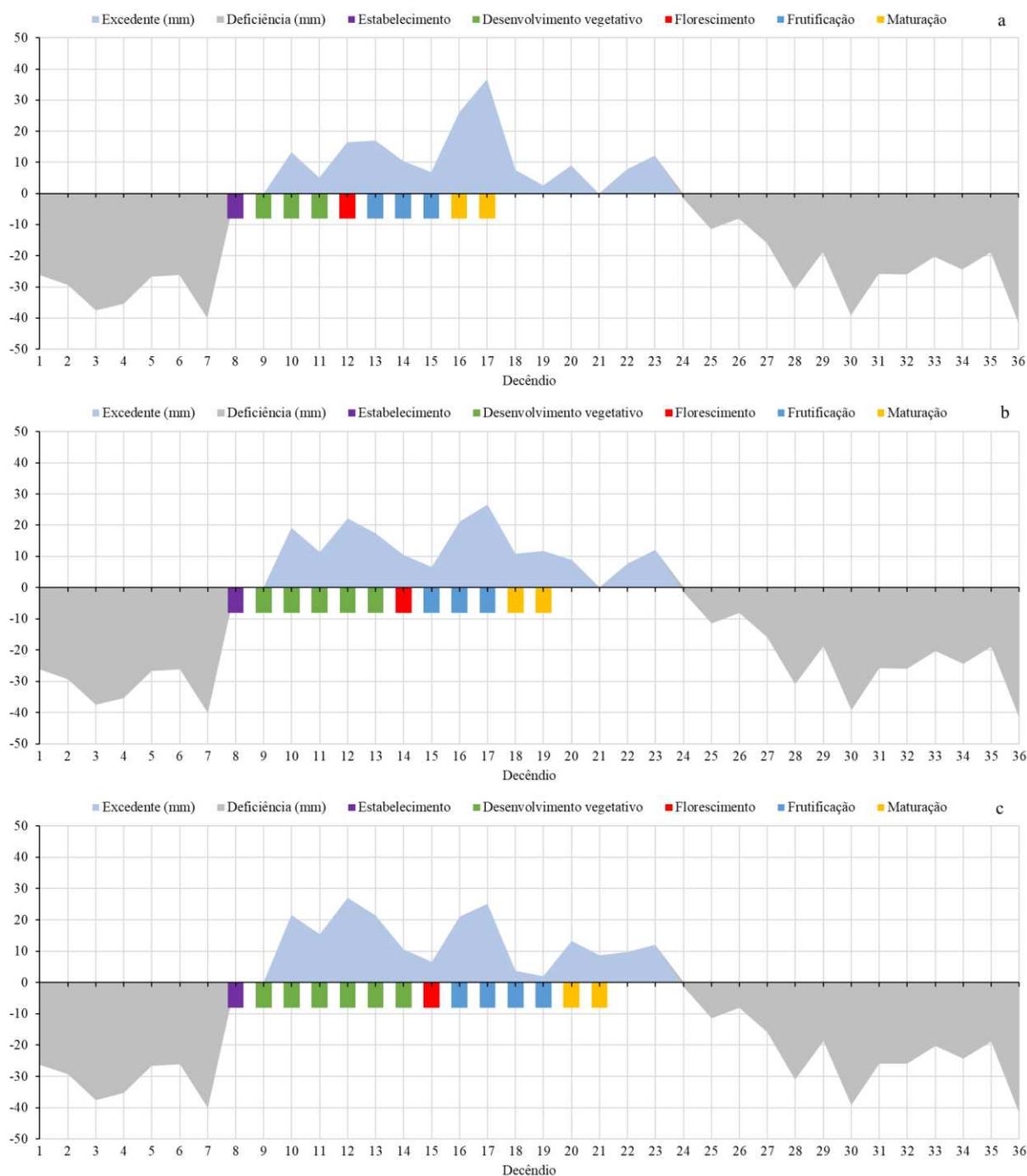
| Decêndio | Erro absoluto médio percentual - Vitória da Conquista |      |      |      |      |       |
|----------|---|------|------|------|------|-------|
|          | Tmax  | Tmin | UR   | VV   | ETo  | PRP   |
| 1        | 0,11  | 0,08 | 0,23 | 1,53 | 0,78 | 0,59  |
| 2        | 0,23  | 0,06 | 0,19 | 1,91 | 0,21 | 2,93  |
| 3        | 0,25  | 0,02 | 0,09 | 2,10 | 0,40 | 0,07  |
| 4        | 0,35  | 0,32 | 0,02 | 1,88 | 0,09 | 1,88  |
| 5        | 0,21  | 0,30 | 0,32 | 1,29 | 0,04 | 3,20  |
| 6        | 0,19  | 0,31 | 0,40 | 1,44 | 0,39 | 3,81  |
| 7        | 0,23  | 0,41 | 0,23 | 1,78 | 0,43 | 0,31  |
| 8        | 0,28  | 0,18 | 0,19 | 1,79 | 0,06 | 0,60  |
| 9        | 0,13  | 0,26 | 0,32 | 1,05 | 0,22 | 0,47  |
| 10       | 0,09  | 0,35 | 0,53 | 0,11 | 0,83 | 2,30  |
| 11       | 0,16  | 0,34 | 0,36 | 0,96 | 0,30 | 0,77  |
| 12       | 0,12  | 0,27 | 0,55 | 0,56 | 0,60 | 1,01  |
| 13       | 0,16  | 0,40 | 0,55 | 0,07 | 0,67 | 5,53  |
| 14       | 0,11  | 0,21 | 0,69 | 0,21 | 0,54 | 1,79  |
| 15       | 0,17  | 0,43 | 0,68 | 0,15 | 0,57 | 10,00 |
| 16       | 0,01  | 0,45 | 0,61 | 1,37 | 1,07 | 0,54  |
| 17       | 0,10  | 0,27 | 0,55 | 0,59 | 0,77 | 4,10  |
| 18       | 0,07  | 0,10 | 0,63 | 0,09 | 0,71 | 0,16  |
| 19       | 0,13  | 0,38 | 0,58 | 0,30 | 0,23 | 0,91  |
| 20       | 0,14  | 0,46 | 0,53 | 0,70 | 0,79 | 0,65  |
| 21       | 0,11  | 0,45 | 0,67 | 0,46 | 0,60 | 0,49  |
| 22       | 0,08  | 0,27 | 0,68 | 0,36 | 0,68 | 0,57  |
| 23       | 0,13  | 0,45 | 0,65 | 0,25 | 0,52 | 3,02  |
| 24       | 0,10  | 0,25 | 0,51 | 1,18 | 1,06 | 0,87  |
| 25       | 0,23  | 0,39 | 0,46 | 1,58 | 0,22 | 0,76  |
| 26       | 0,10  | 0,39 | 0,56 | 1,26 | 0,32 | 0,34  |
| 27       | 0,01  | 0,10 | 0,41 | 1,14 | 0,36 | 0,32  |
| 28       | 0,12  | 0,30 | 0,25 | 1,33 | 0,02 | 1,10  |
| 29       | 0,10  | 0,27 | 0,17 | 1,44 | 0,10 | 1,97  |
| 30       | 0,09  | 0,38 | 0,35 | 1,32 | 0,19 | 0,17  |
| 31       | 0,14  | 0,26 | 0,19 | 1,57 | 0,15 | 1,99  |
| 32       | 0,19  | 0,20 | 0,24 | 1,59 | 0,33 | 0,23  |
| 33       | 0,22  | 0,31 | 0,03 | 1,65 | 0,29 | 0,79  |
| 34       | 0,33  | 0,27 | 0,01 | 1,71 | 0,08 | 1,07  |
| 35       | 0,28  | 0,18 | 0,02 | 1,95 | 0,57 | 1,53  |
| 36       | 0,33  | 0,33 | 0,00 | 1,84 | 0,25 | 0,78  |

| Decêndio | Erro médio absoluto - Vitória da Conquista |      |      |      |      |       |
|----------|--|------|------|------|------|-------|
|          | Tmax                                       | Tmin | UR   | VV   | ETo  | PRP   |
| 1        | 0,32                                       | 0,14 | 1,68 | 0,40 | 3,10 | 1,91  |
| 2        | 0,64                                       | 0,10 | 1,45 | 0,53 | 0,84 | 13,29 |
| 3        | 0,71                                       | 0,03 | 0,67 | 0,57 | 1,92 | 0,19  |
| 4        | 1,03                                       | 0,52 | 0,15 | 0,52 | 0,38 | 2,43  |
| 5        | 0,59                                       | 0,49 | 2,42 | 0,35 | 0,16 | 8,62  |
| 6        | 0,54                                       | 0,51 | 3,06 | 0,37 | 1,29 | 11,26 |
| 7        | 0,64                                       | 0,67 | 1,77 | 0,48 | 1,57 | 1,11  |
| 8        | 0,77                                       | 0,30 | 1,49 | 0,45 | 0,21 | 2,95  |
| 9        | 0,37                                       | 0,43 | 2,50 | 0,26 | 0,85 | 1,36  |
| 10       | 0,24                                       | 0,56 | 4,30 | 0,03 | 2,62 | 3,61  |
| 11       | 0,42                                       | 0,54 | 2,86 | 0,25 | 0,95 | 0,58  |
| 12       | 0,31                                       | 0,43 | 4,55 | 0,13 | 1,69 | 2,12  |
| 13       | 0,40                                       | 0,61 | 4,49 | 0,02 | 1,85 | 3,32  |
| 14       | 0,28                                       | 0,30 | 5,66 | 0,04 | 1,38 | 1,86  |
| 15       | 0,38                                       | 0,54 | 5,03 | 0,03 | 1,34 | 2,46  |
| 16       | 0,02                                       | 0,61 | 5,12 | 0,33 | 2,30 | 0,35  |
| 17       | 0,24                                       | 0,37 | 4,55 | 0,14 | 1,69 | 1,87  |
| 18       | 0,17                                       | 0,14 | 5,12 | 0,02 | 1,76 | 0,11  |
| 19       | 0,31                                       | 0,55 | 4,81 | 0,08 | 0,57 | 0,96  |
| 20       | 0,32                                       | 0,66 | 4,35 | 0,18 | 1,93 | 0,71  |
| 21       | 0,25                                       | 0,64 | 5,51 | 0,12 | 1,52 | 0,49  |
| 22       | 0,20                                       | 0,38 | 5,46 | 0,09 | 1,74 | 0,40  |
| 23       | 0,31                                       | 0,63 | 5,23 | 0,07 | 1,35 | 1,03  |
| 24       | 0,26                                       | 0,36 | 3,97 | 0,36 | 3,26 | 0,60  |
| 25       | 0,60                                       | 0,58 | 3,48 | 0,49 | 0,84 | 0,42  |
| 26       | 0,25                                       | 0,59 | 4,21 | 0,40 | 1,21 | 0,22  |
| 27       | 0,02                                       | 0,16 | 3,04 | 0,35 | 1,43 | 0,34  |
| 28       | 0,34                                       | 0,49 | 1,79 | 0,40 | 0,10 | 0,64  |
| 29       | 0,28                                       | 0,44 | 1,21 | 0,45 | 0,42 | 4,54  |
| 30       | 0,26                                       | 0,64 | 2,56 | 0,39 | 0,92 | 0,24  |
| 31       | 0,38                                       | 0,45 | 1,45 | 0,45 | 0,63 | 6,69  |
| 32       | 0,51                                       | 0,36 | 1,84 | 0,45 | 1,39 | 0,95  |
| 33       | 0,59                                       | 0,54 | 0,26 | 0,47 | 1,16 | 3,31  |
| 34       | 0,91                                       | 0,49 | 0,06 | 0,45 | 0,35 | 6,35  |
| 35       | 0,80                                       | 0,33 | 0,14 | 0,51 | 2,43 | 4,20  |
| 36       | 0,92                                       | 0,59 | 0,02 | 0,49 | 1,20 | 3,79  |

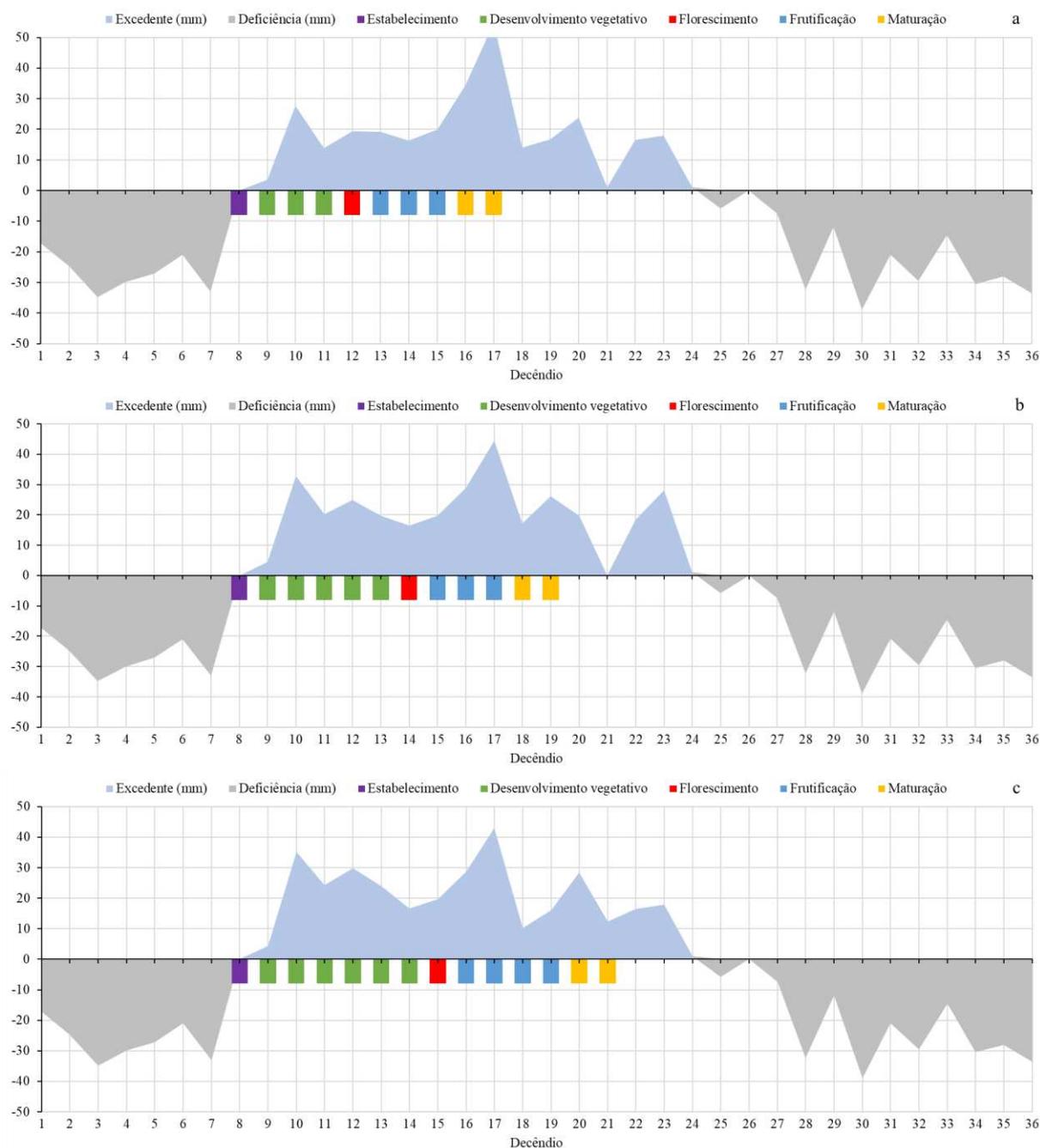
  

| Média | T max | Tmin | UR   | VV   | ETo  | PRP   |
|-------|-------|------|------|------|------|-------|
| RMSE  | 0,73  | 0,47 | 4,38 | 0,51 | 3,28 | 10,01 |
| EPE   | 0,77  | 0,87 | 4,62 | 0,53 | 3,48 | 10,55 |
| MAPE  | 0,16  | 0,29 | 0,37 | 1,13 | 0,43 | 1,60  |
| MAE   | 0,43  | 0,45 | 2,95 | 0,31 | 1,34 | 2,65  |

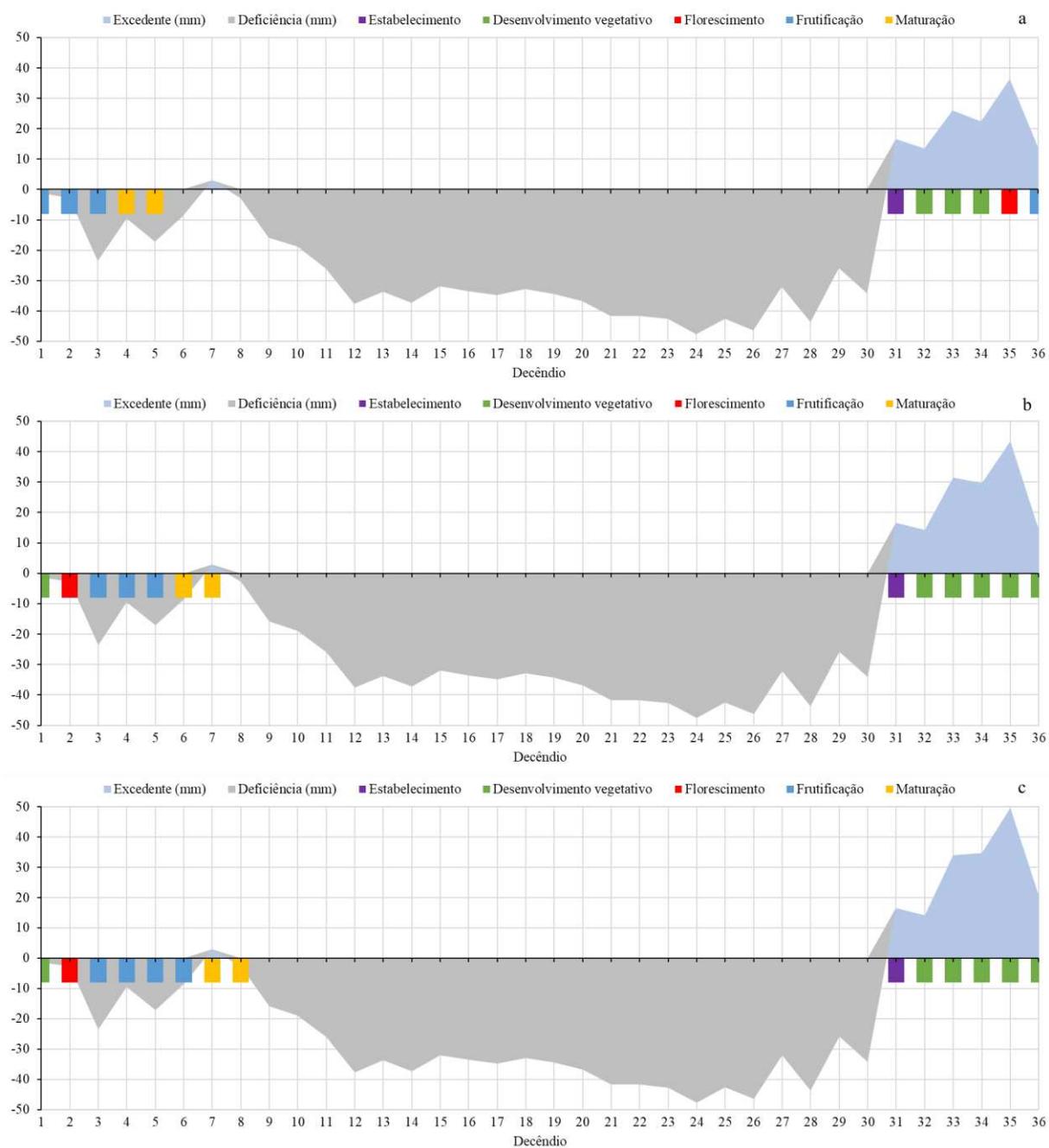
**APÊNDICE G – Balanço hídrico do milho para o município de Alagoinhas com as fases fenológicas da planta nos ciclos precoce (a), médio (b) e tardio (c). Simulações com os dados da estação.**



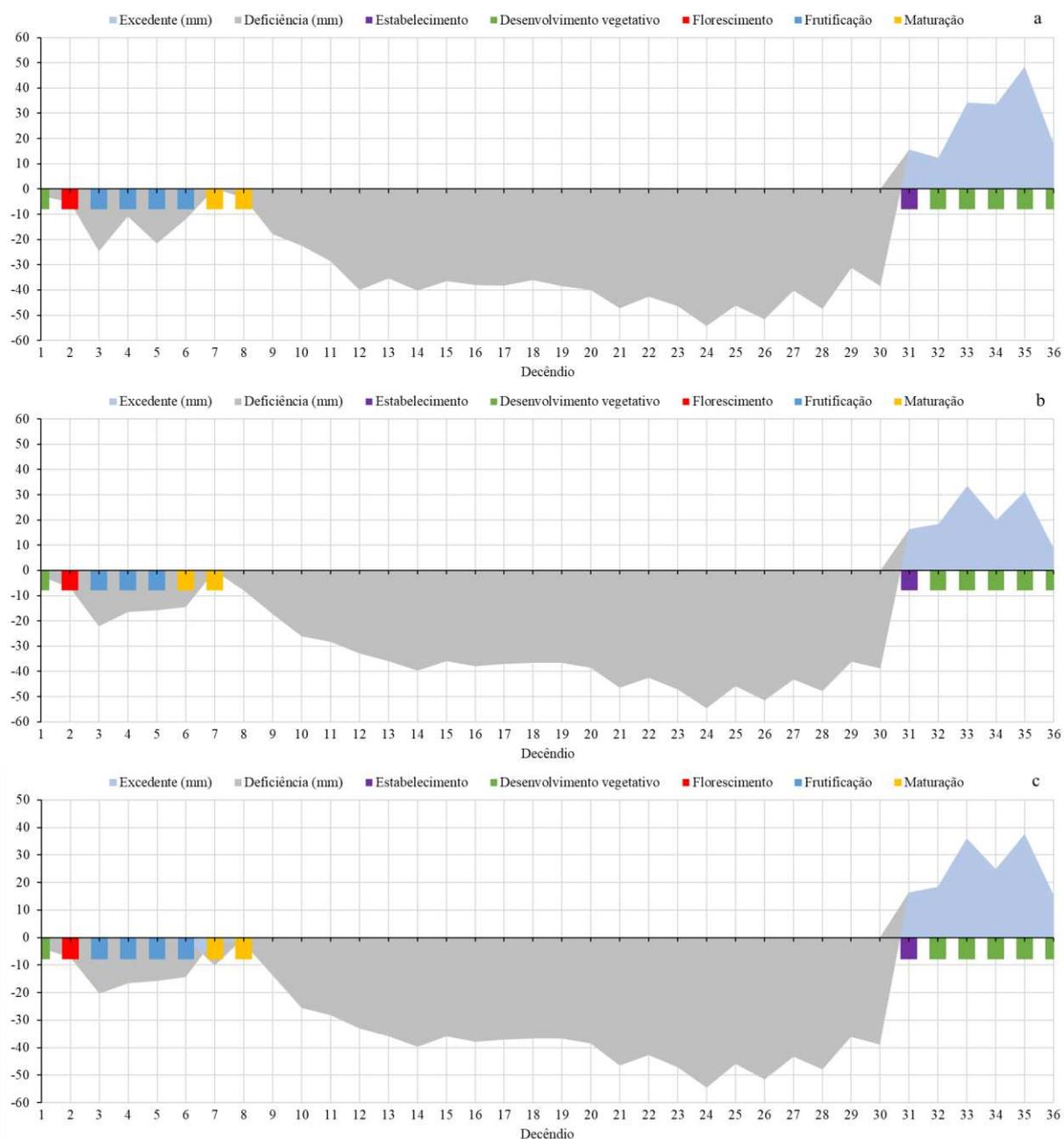
**APÊNDICE H – Balanço hídrico do milho para o município de Alagoinhas com as fases fenológicas da planta nos ciclos precoce (a), médio (b) e tardio (c). Simulações com os dados da reanálise.**



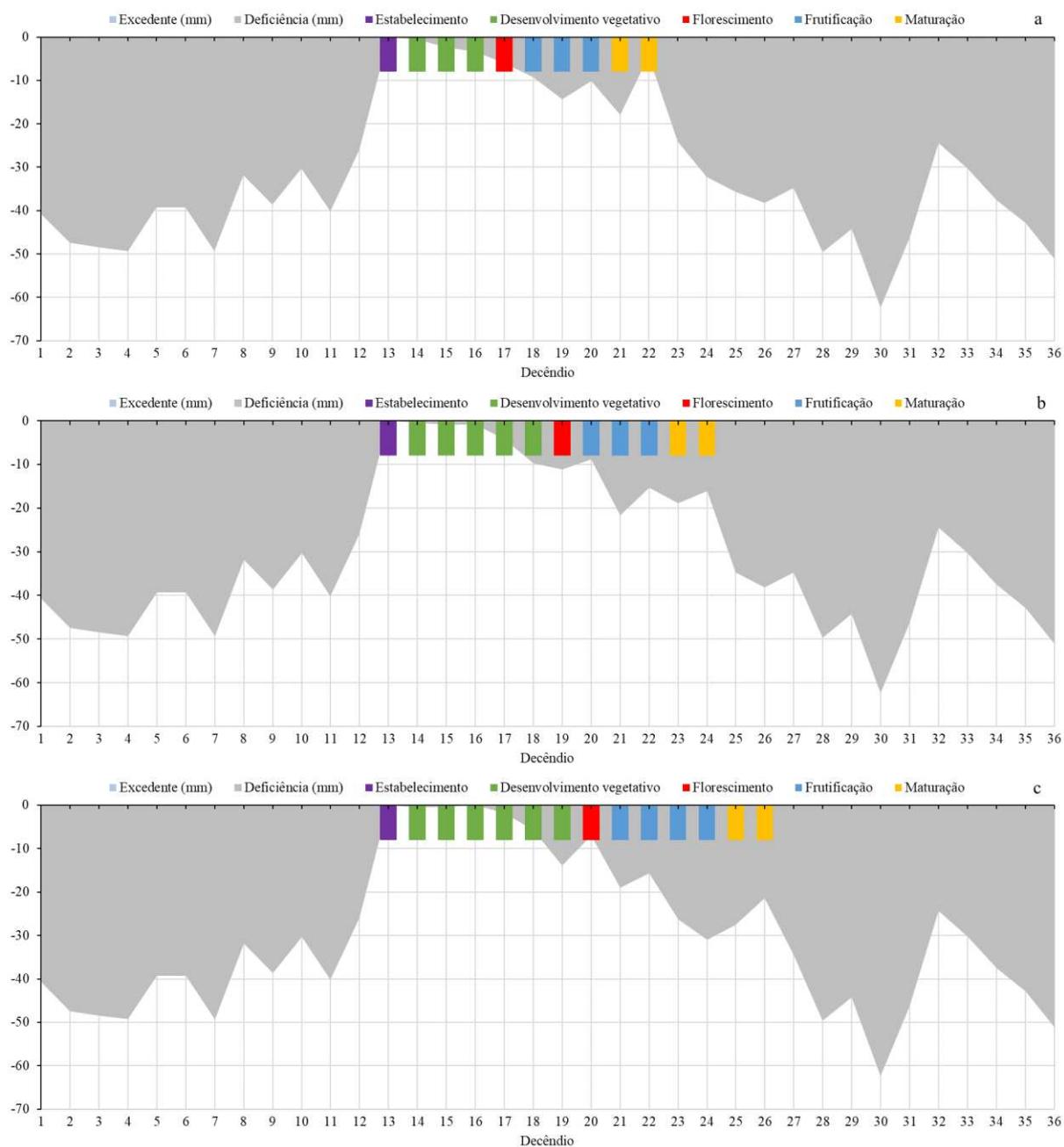
**APÊNDICE I – Balanço hídrico do milho para o município de Bom Jesus da Lapa com as fases fenológicas da planta nos ciclos precoce (a), médio (b) e tardio (c). Simulações com os dados da estação.**



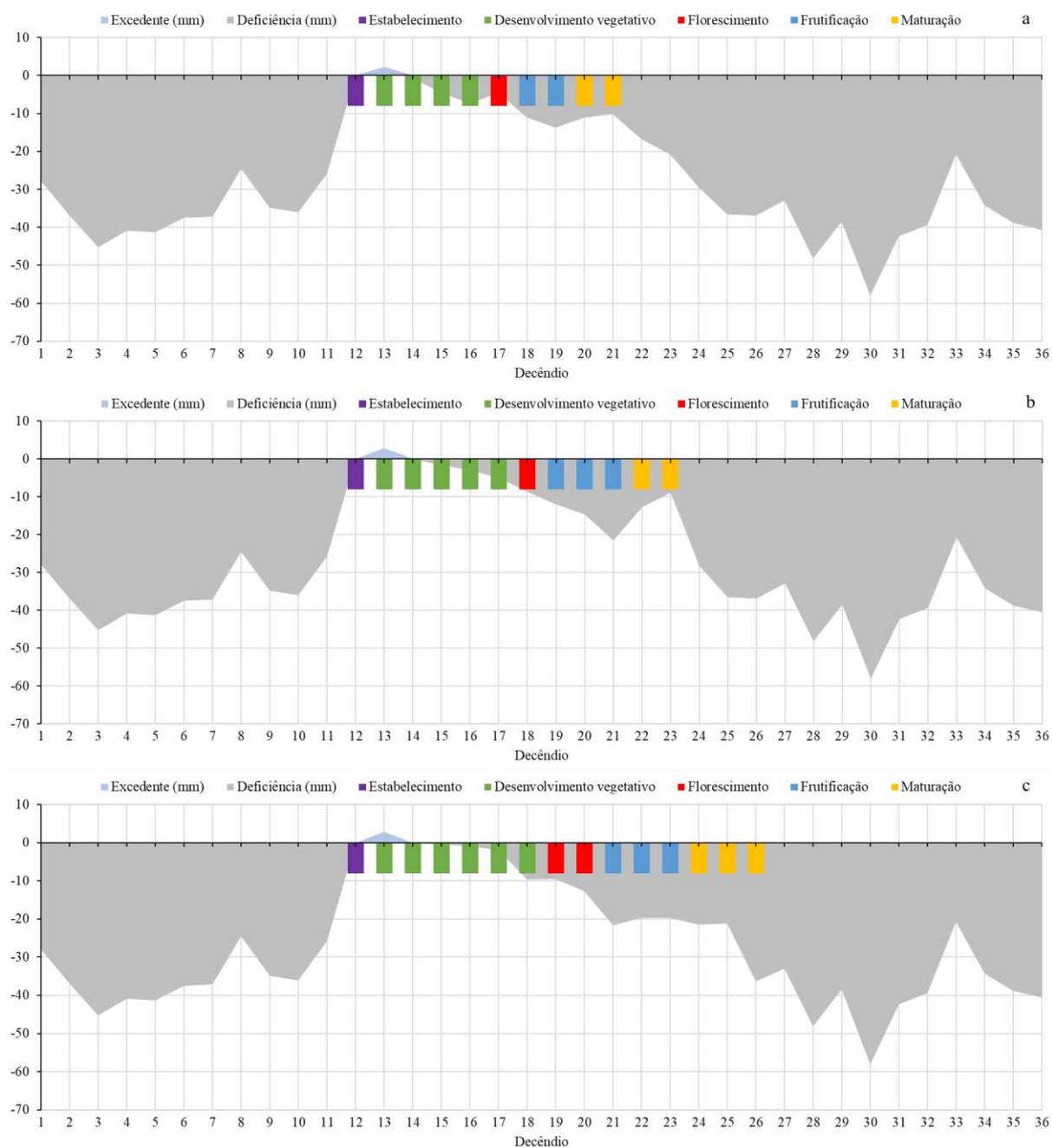
**APÊNDICE J – Balanço hídrico do milho para o município de Bom Jesus da Lapa com as fases fenológicas da planta nos ciclos precoce (a), médio (b) e tardio (c). Simulações com os dados híbridos.**



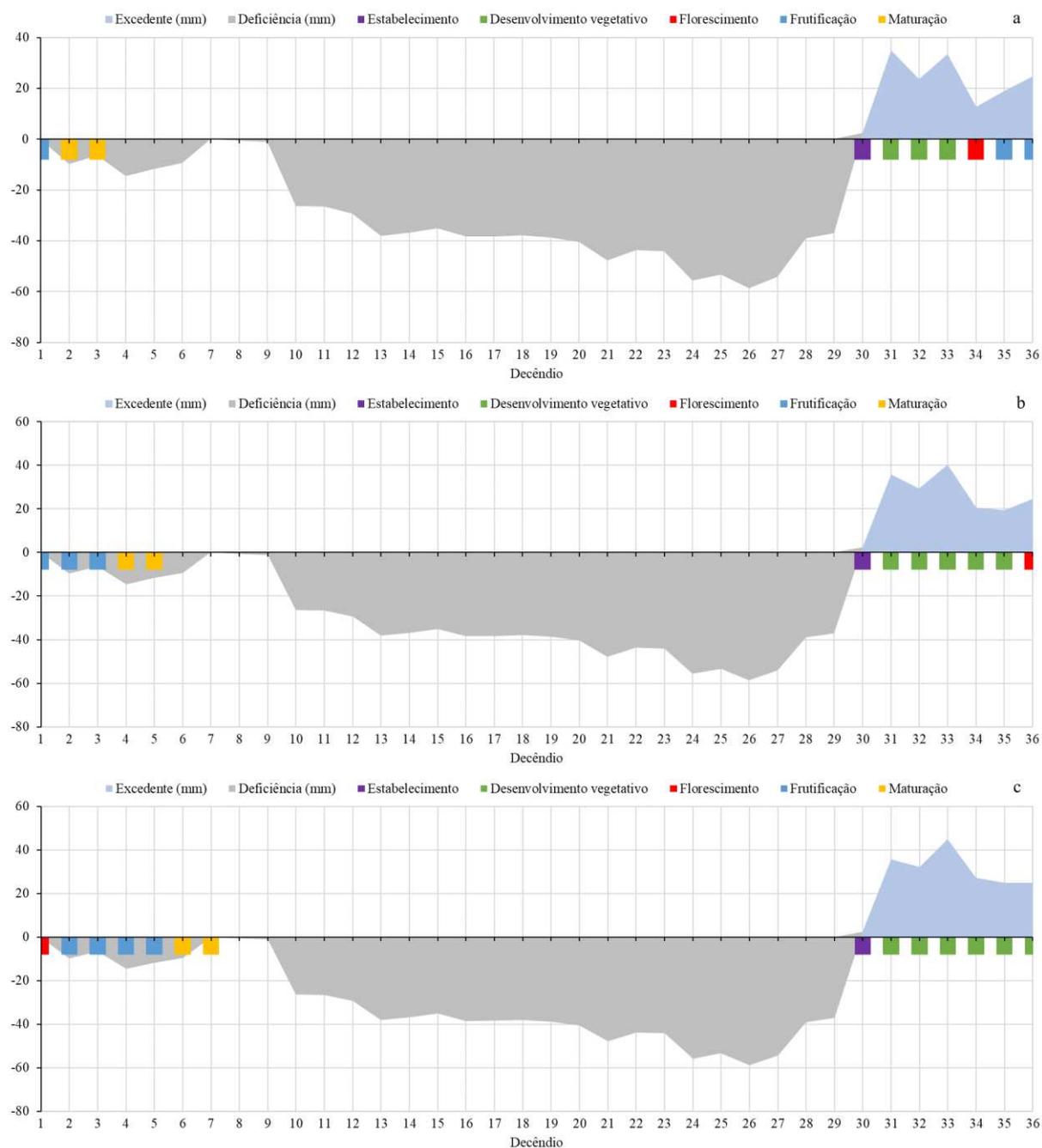
**ANEXO K – Balanço hídrico do milho para o município de Cipó com as fases fenológicas da planta nos ciclos precoce (a), médio (b) e tardio (c). Simulações com os dados da estação.**



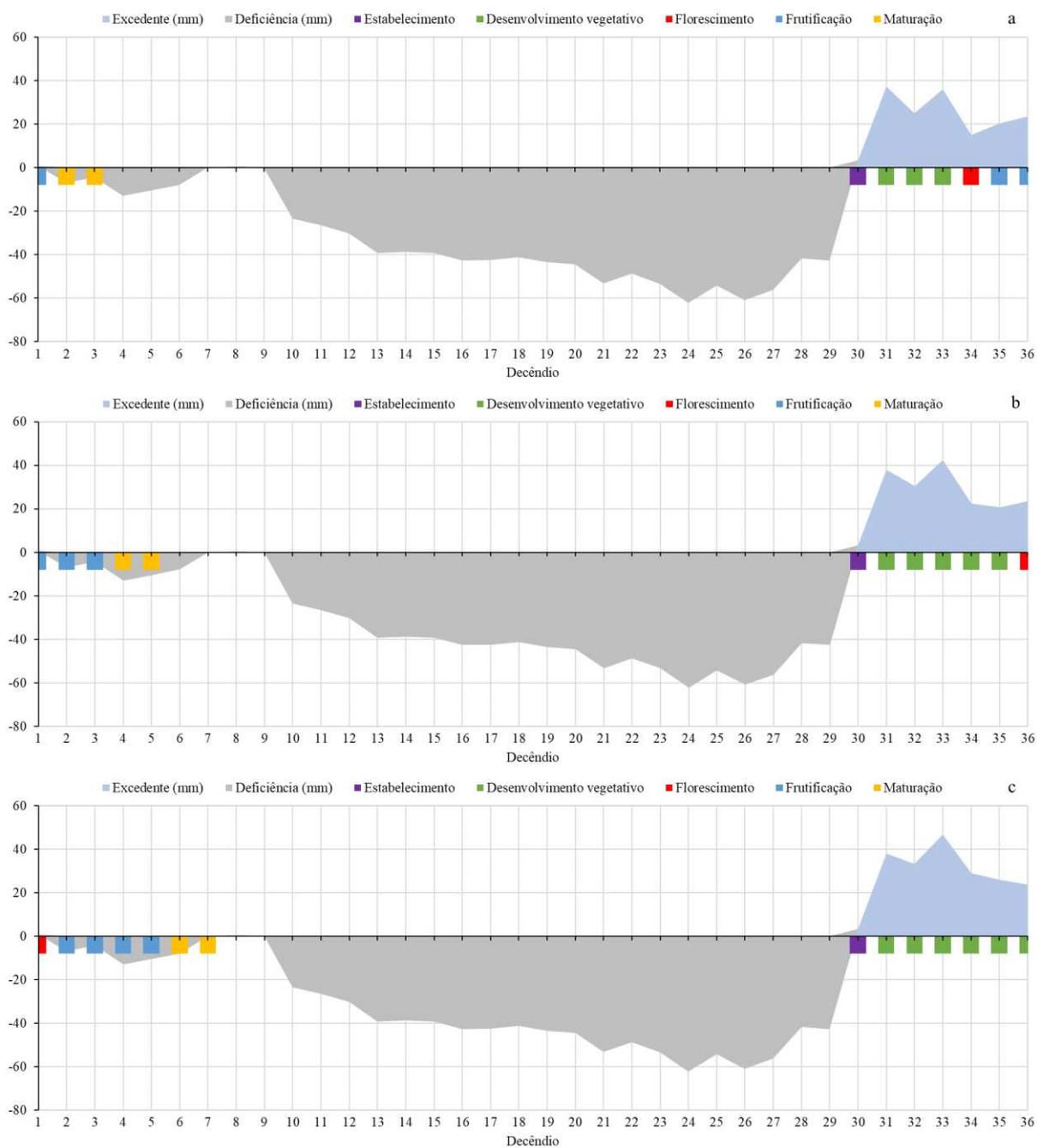
**APÊNDICE L – Balanço hídrico do milho para o município de Cipó com as fases fenológicas da planta nos ciclos precoce (a), médio (b) e tardio (c). Simulações com os dados da reanálise.**



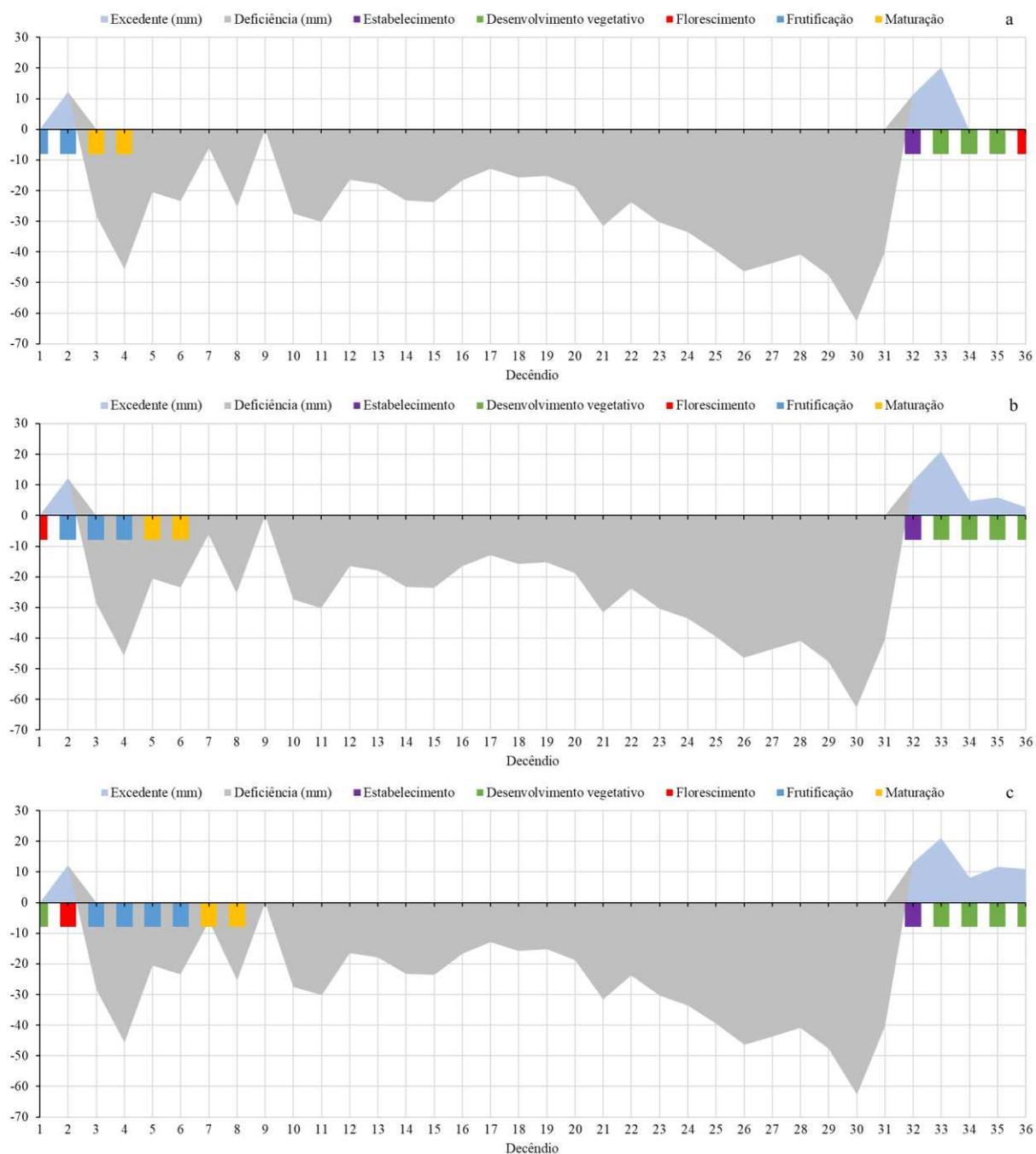
**APÊNDICE M – Balanço hídrico do milho para o município de Correntina com as fases fenológicas da planta nos ciclos precoce (a), médio (b) e tardio (c). Simulações com os dados da estação.**



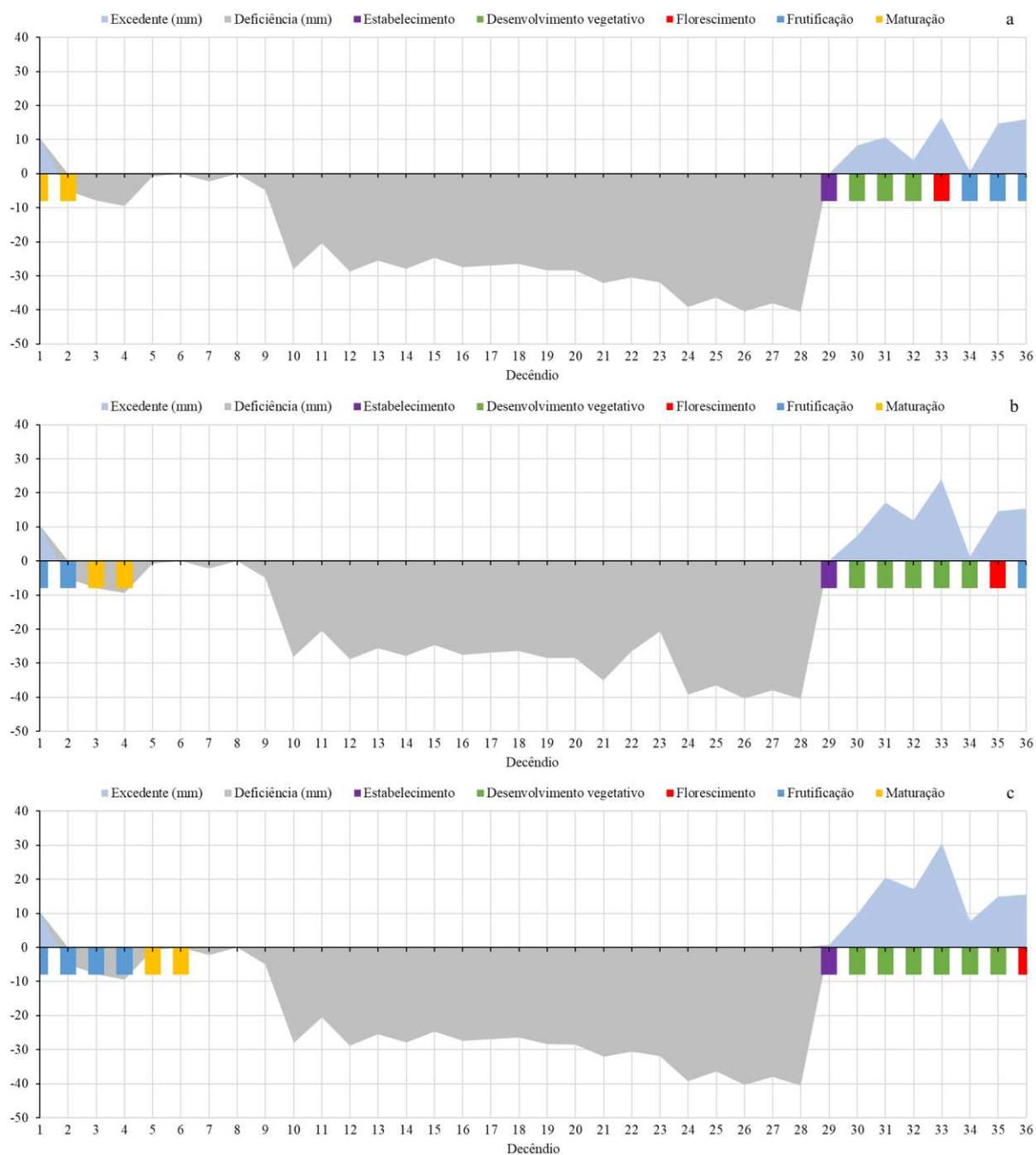
**APÊNDICE N – Balanço hídrico do milho para o município de Correntina com as fases fenológicas da planta nos ciclos precoce (a), médio (b) e tardio (c). Simulações com os dados da reanálise.**



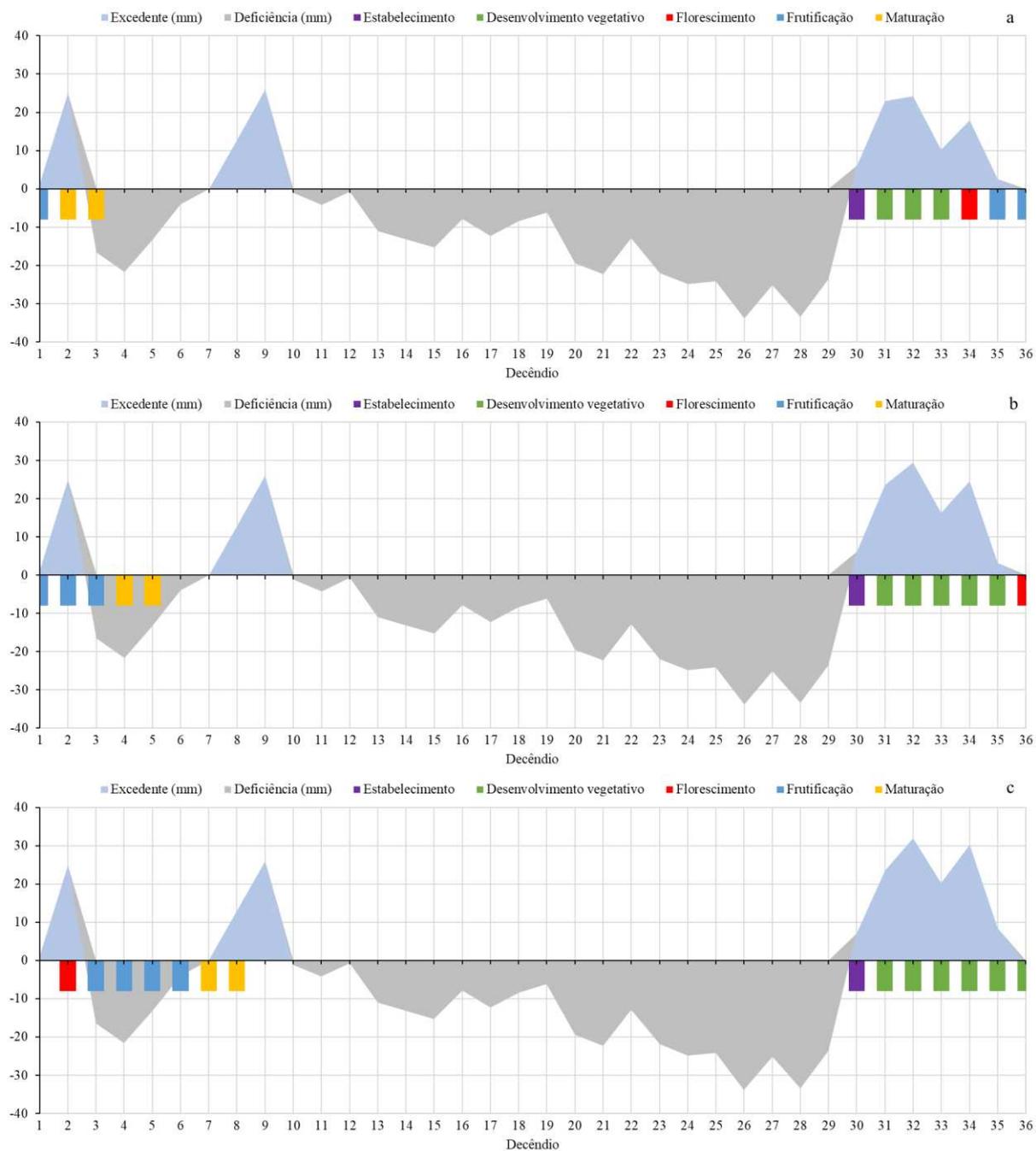
**APÊNDICE O – Balanço hídrico do milho para o município de Jacobina com as fases fenológicas da planta nos ciclos precoce (a), médio (b) e tardio (c). Simulações com os dados da estação.**



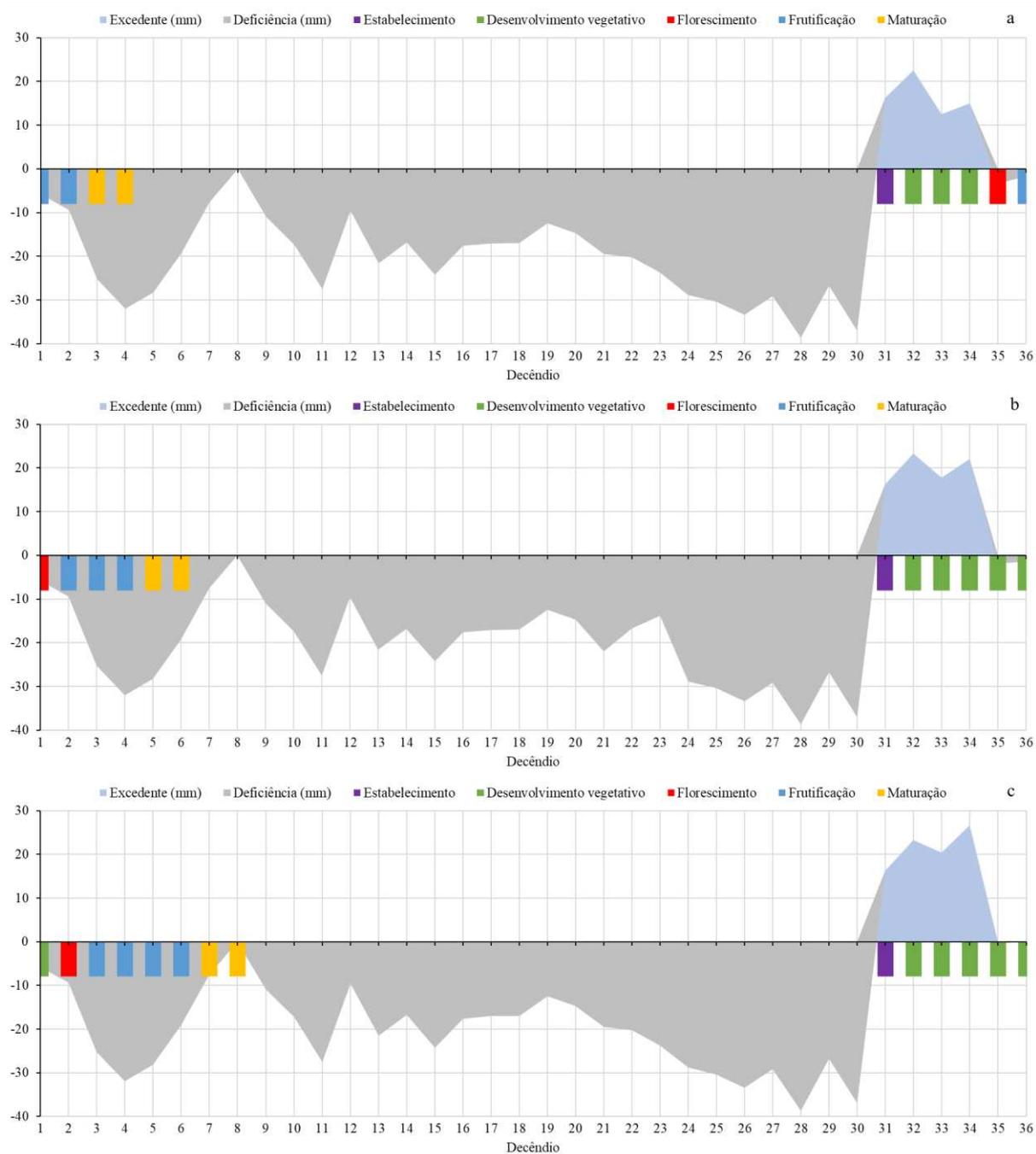
**APÊNDICE P – Balanço hídrico do milho para o município de Jacobina com as fases fenológicas da planta nos ciclos precoce (a), médio (b) e tardio (c). Simulações com os dados da reanálise.**



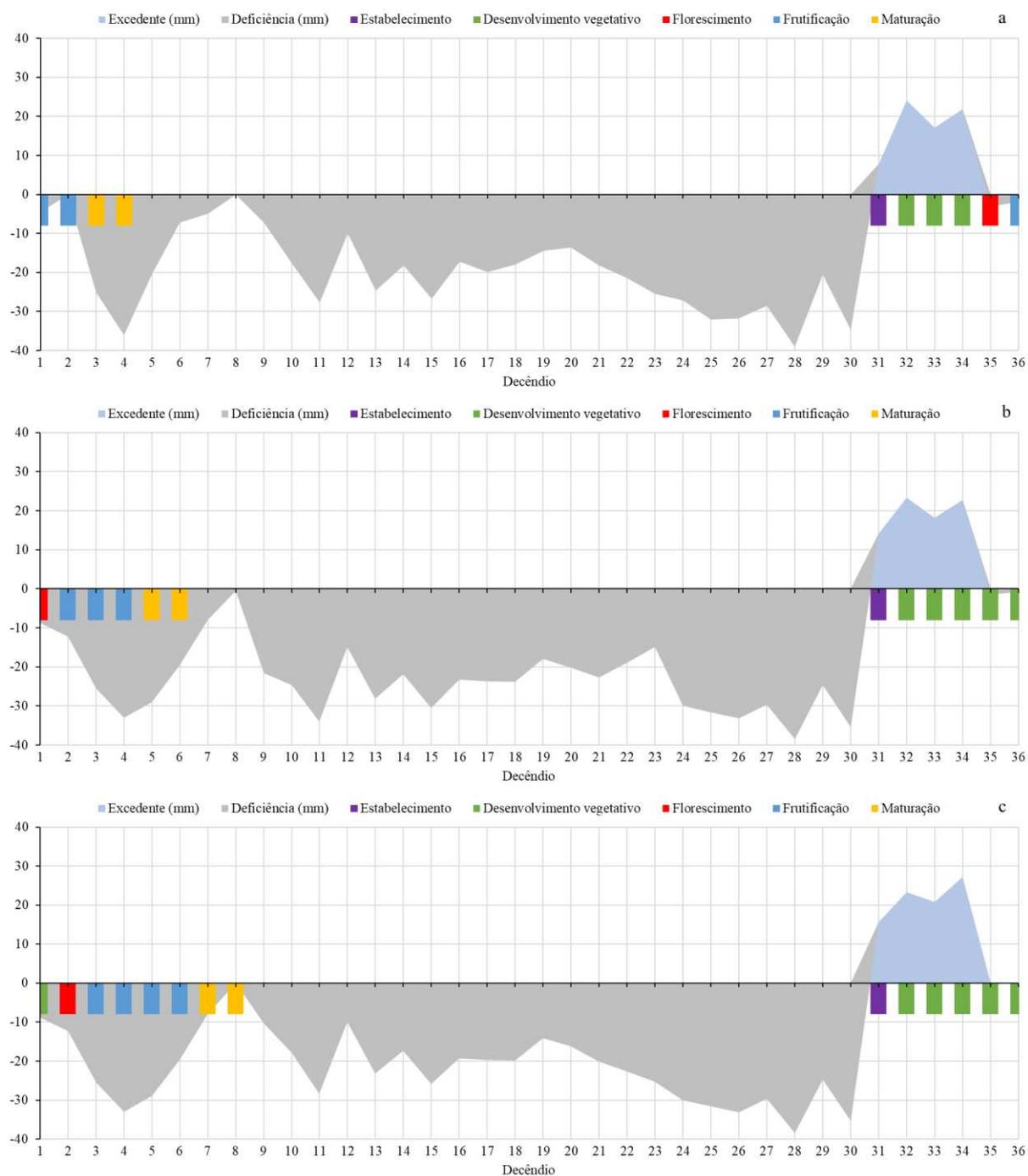
**APÊNDICE Q – Balanço hídrico do milho para o município de Lençóis com as fases fenológicas da planta nos ciclos precoce (a), médio (b) e tardio (c). Simulações com os dados da estação.**



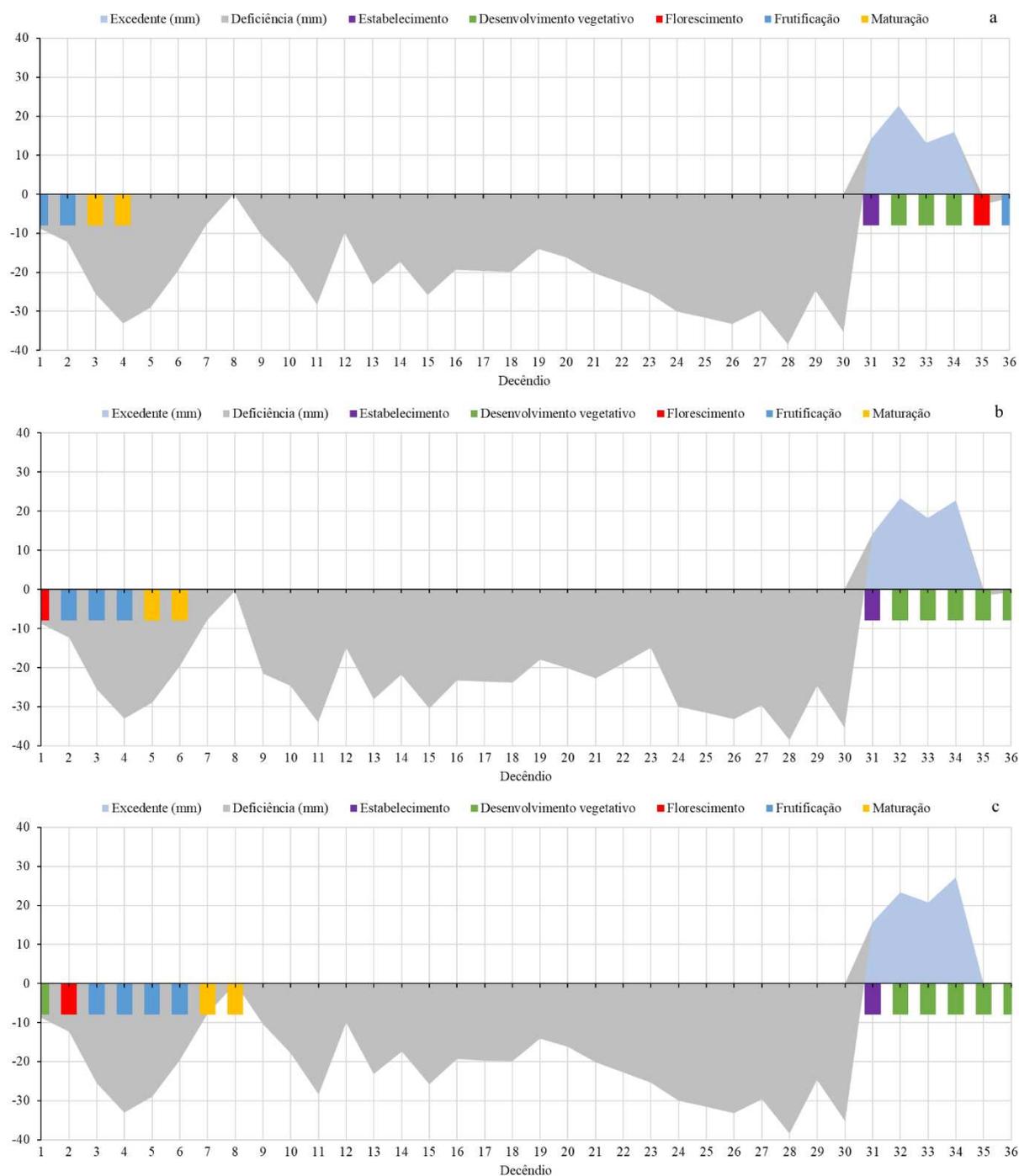
**APÊNDICE R – Balanço hídrico do milho para o município de Lençóis com as fases fenológicas da planta nos ciclos precoce (a), médio (b) e tardio (c). Simulações com os dados da reanálise.**



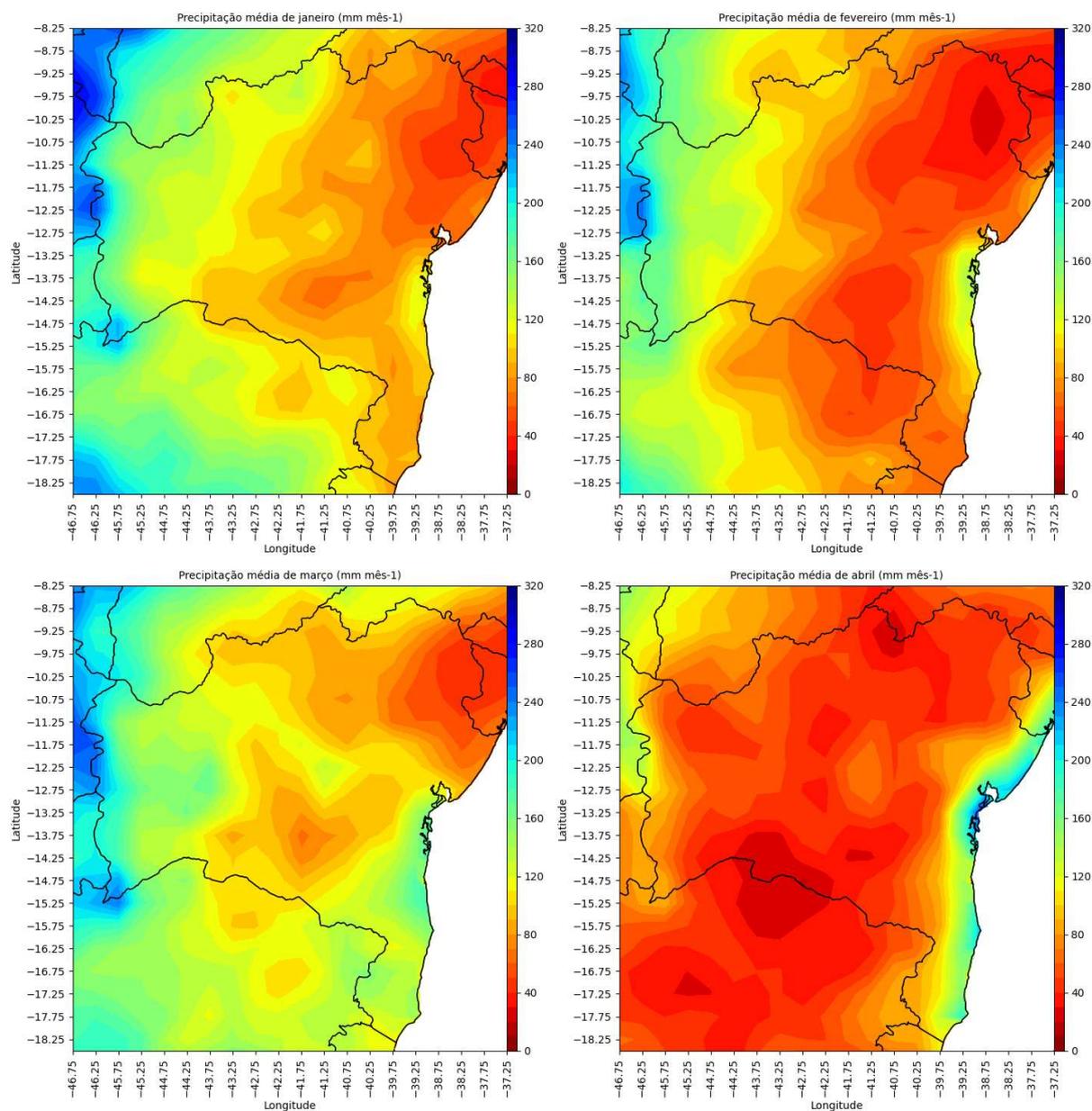
**APÊNDICE S – Balanço hídrico do milho para o município de Vitória da Conquista com as fases fenológicas da planta nos ciclos precoce (a), médio (b) e tardio (c). Simulações com os dados da estação.**

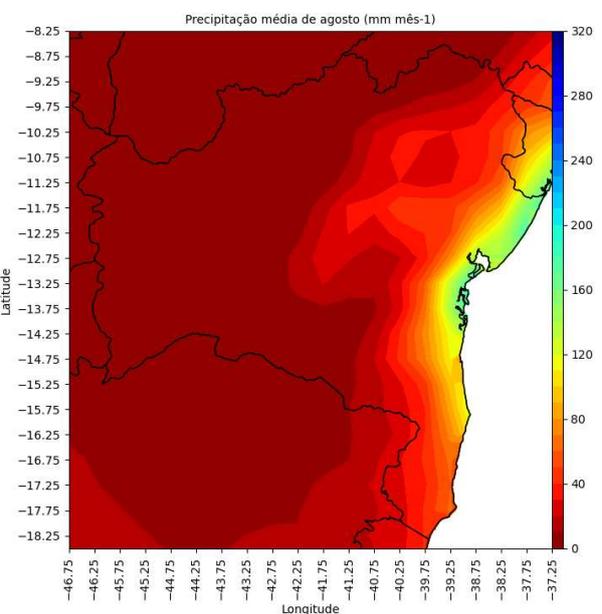
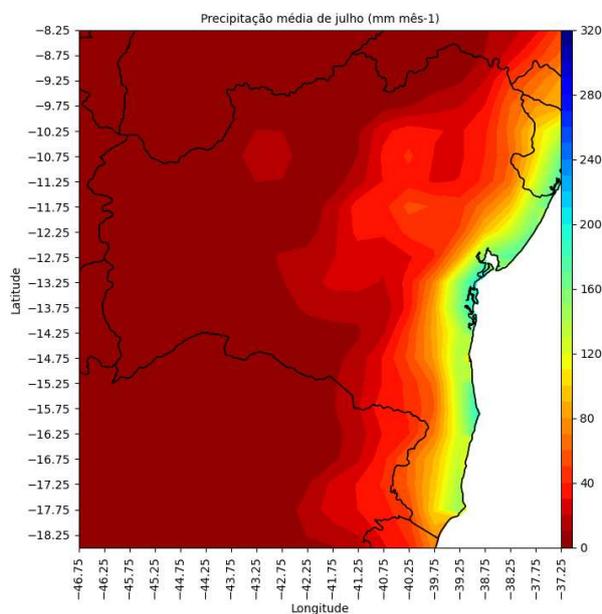
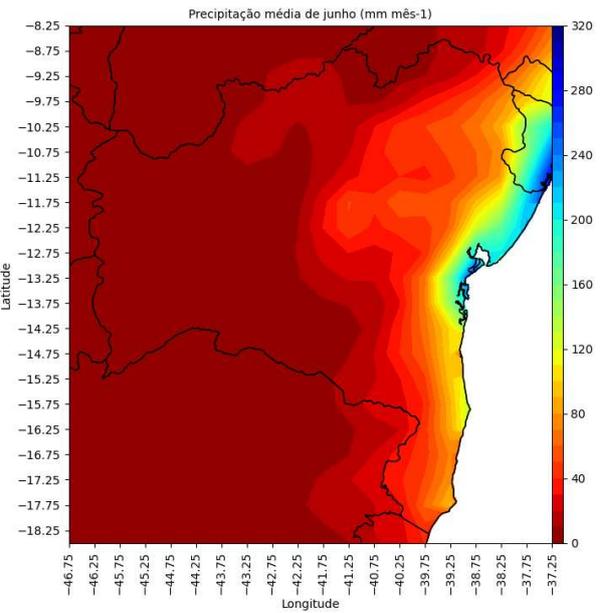
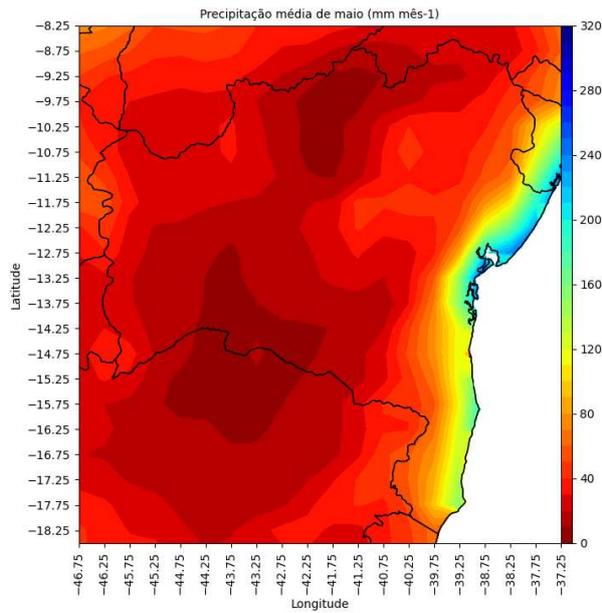


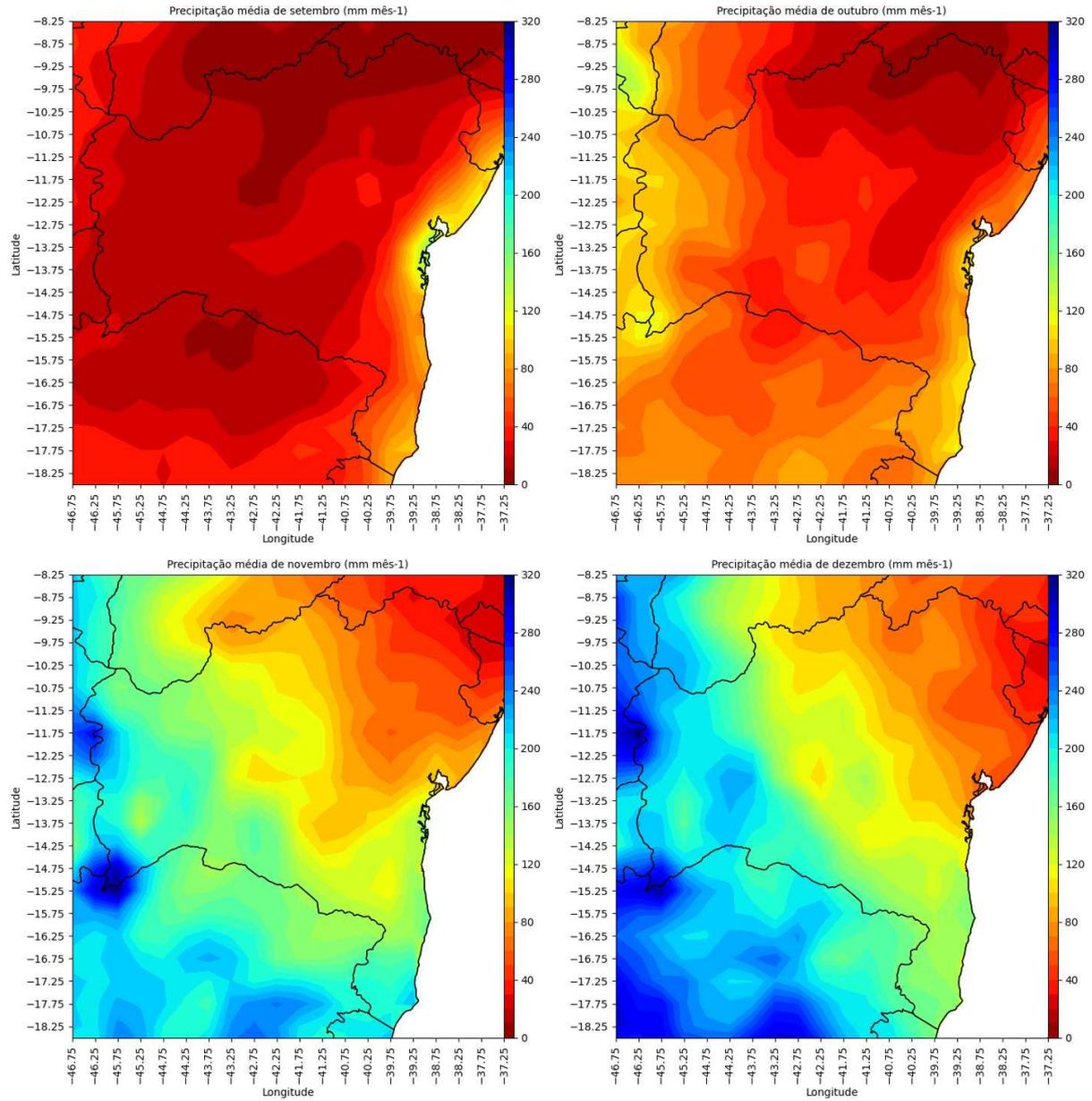
**APÊNDICE T – Balanço hídrico do milho para o município de Vitória da Conquista com as fases fenológicas da planta nos ciclos precoce (a), médio (b) e tardio (c). Simulações com os dados da reanálise.**



**APÊNDICE U – Precipitações médias de janeiro à dezembro durante o período de estudo, em mm mês<sup>-1</sup>.**







## APÊNDICE V – ARTIGO 1 PUBLICADO

Theoretical and Applied Climatology  
<https://doi.org/10.1007/s00704-023-04670-3>

## RESEARCH



## Application of ERA5-Land reanalysis data in zoning of climate risk for corn in the state of Bahia—Brazil

Wendy Kaori Matsunaga<sup>1</sup> · Eliton Sancler Gomes Sales<sup>1</sup> · Gervásio Costa Assis Júnior<sup>1</sup> · Madson Tavares Silva<sup>1</sup> · Francinete Francis Lacerda<sup>2</sup> · Evaldo de Paiva Lima<sup>3</sup> · Carlos Antonio Costa dos Santos<sup>1</sup> · JoséIVALDO Barbosa de Brito<sup>1</sup>

Received: 1 January 2023 / Accepted: 19 September 2023

© The Author(s), under exclusive licence to Springer-Verlag GmbH Austria, part of Springer Nature 2023

### Abstract

The agricultural zoning of climate risk (AZCR) is a fundamental tool for agricultural activities, as it identifies regions and times of lower climatic risk for planting and sowing crops. An AZCR representative of large areas requires a network of meteorological stations with dense spatial distribution, routine, and accurate observations. In Brazil, there is a good spatial distribution of rain gauges, but there is a scarcity in the spatial distribution of meteorological stations necessary to conduct an AZCR. One way to overcome the lack of data observed in situ is to use reanalysis data. However, it is necessary to show that it is possible to perform a reliable AZCR using it. Therefore, the objective of this research is to elaborate an AZCR for corn in the state of Bahia using reanalysis data and quantifying its viability. The ERA5-Land reanalysis database was chosen. When performing the validation of the ERA5-Land reanalysis data, it was verified that rainfall was the only meteorological variable needed for an AZCR that did not present seasonal and interannual values and variability similar to those already observed. Therefore, it was decided to validate the rainfall data from the CPC/NOAA Precipitation Project. With data from the ERA5-Land and CPC/NOAA Precipitation Project reanalysis validated, the AZCR for corn was performed in the state of Bahia, leading to the conclusion that it is possible to develop a reliable and robust AZCR with reanalysis data.

### 1 Introduction

In Brazil, the agricultural zoning of climate risk (AZCR) aims to improve the quality and availability of information on agroclimatic risks, with emphasis on supporting the formulation, improvement, and operationalization of public management programs and policies. AZCRs prepared annually tend to minimize the risks related to adverse weather phenomena and allow each municipality to identify the best

time to plant crops, in different types of soil and cultivar cycles (MAPA 2023). It should be noted that AZCRs have both validated methodology and technical-scientific support by Embrapa—the Brazilian Agricultural Research Corporation Brasil 2019—thus constituting a valuable tool in rural production.

To perform an AZCR, the main input meteorological variables are rainfall and reference evapotranspiration. The first is obtained from meteorological stations or rainfall

✉ Wendy Kaori Matsunaga  
 wendy.kaori@estudante.ufcg.edu.br

Eliton Sancler Gomes Sales  
 elitonsancler@hotmail.com

Gervásio Costa Assis Júnior  
 gervasio.junior@ccc.ufcg.edu.br

Madson Tavares Silva  
 madson.tavares@professor.ufcg.edu.br

Francinete Francis Lacerda  
 francis.lacerda@ipa.br

Evaldo de Paiva Lima  
 evaldo.lima@embrapa.br

Carlos Antonio Costa dos Santos  
 carlostorm@gmail.com

JoséIVALDO Barbosa de Brito  
 jivaldobrito@gmail.com

<sup>1</sup> Federal University of Campina Grande – UFCG, Av. Aprígio Veloso, nº 882 - Bairro Universitário - CEP 58.429-140 - Campina Grande, Paraíba, Brazil

<sup>2</sup> Agronomic Institute of Pernambuco – IPA, Recife, Pernambuco, Brazil

<sup>3</sup> Brazilian Agricultural Research Corporation – Embrapa Solos, Recife, Pernambuco, Brazil

stations, while the latter is estimated from data (maximum and minimum temperatures, wind, relative humidity, and radiation balance) obtained from weather stations. Therefore, when conducting an AZCR, it is convenient to have a good density of meteorological stations. According to the World Meteorological Organization (WMO 1981 and WMO 2008), for areas with smooth relief, one station per 900 km<sup>2</sup> is necessary, with reliable data, and continuous observations over time. In this context, Baba et al. (2014) mention that the absence of meteorological records is a frequent problem in most Brazilian climatological series, and researchers such as Xavier et al. (2016), Monteiro and Martins (2019), and Xavier et al. (2022) report that one of the major recurrent problems in Brazil is the unavailability of data in specific areas and the irregularity of observations.

Due to this absence of data in meteorological stations, those produced by atmospheric reanalysis become convenient. Reanalysis merges irregular observational data and models that encompass many physical and dynamic processes to generate a synthesized estimate of the state of the system through a uniform grid, with spatial homogeneity, temporal continuity, and a multidimensional hierarchy, making it a valuable source of data to study climate systems and variability. Bosilovich et al. (2008) and Sun et al. (2018) report that a reanalysis system consists of an accurate forecast model with a consistent and reliable data assimilation routine.

Based on the above, questions arise regarding the possibility of performing reliable AZCRs using reanalysis data or if they can be elaborated by merging data observed in rainfall and reanalysis stations for places with no information observed. The present research aims to answer these questions by using reanalysis data to perform an AZCR for corn in the state of Bahia.

Corn was chosen because it is the second most produced grain in Brazil and is harvested three times a year, while soybeans, the most produced grain, are harvested only once (CONAB 2022). Corn is also the second most-produced grain in Northeastern Brazil (NEB), where it is widely used in dry farming, and is an important staple for humans and animals (Martins et al. 2019; de Carvalho et al. 2019). Bahia was chosen for being the only state with a relevant corn production in the three yearly harvests (CONAB 2022). Furthermore, Marengo et al. (2022) reviewed the policy for agricultural adaptation and food security in the NEB and observed that this state is responsible for most of the annual agricultural production of the region, including corn. Data provided by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), in its Automatic Recovery System (CIDRA) (IBGE 2021), indicate that among the northeastern states, Bahia had the highest corn production from 2003 to 2019, with production records in all municipalities in the state, with emphasis on São Desidério, Formosa do Rio Preto,

Barreiras, Correntina, and Luís Eduardo Magalhães, where the highest production was observed.

For the reanalysis, the ERA5-Land dataset, from the European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), was chosen due to its refined spatial resolution of 0.1° × 0.1°; hourly temporal resolution, with temporal coverage from January 1950 to the present and updating, in near real-time; accurate information on global meteorological variables of the surface of the planet; and an accurate description of past climate (Muñoz-Sabater 2019).

This database uses ERA5 atmospheric variables, such as air temperature and humidity, as input to control simulated pieces of land. This is called atmospheric forcing, and, without it, the model-based estimates could quickly deviate from reality. Thus, although the observations are not used directly in the productions made by the ERA5-Land (Muñoz-Sabater 2019).

However, before performing the AZCR, it is necessary to validate the ERA5-Land data. Therefore, it is convenient to choose meteorological stations with fewer absences of data and temporal coverage that captures the seasonal, intraseasonal, and interannual variability of the local climate, such as dry and rainy years. WMO (2017) suggests the selected stations must have a limit of 20% missing data to perform a normal climatology. Regarding the period, Lenters et al. (2005) used 10 years of data to analyze seasonal, intraseasonal, and interannual variability in lake evaporation for Sparkling Lake in northern Wisconsin (USA). However, the WMO (2017) informs that for non-cumulative variables, such as temperature, up to 30% of missing data is acceptable for the elaboration of a monthly normal climatology. Therefore, for the present research, a period of consecutive years was established as a criterion for selecting the meteorological stations, with a maximum of 20% of missing data for rainfall, and 25% for the other variables.

For the variables maximum and minimum temperatures, wind at 10 m above the ground, relative humidity, and reference evapotranspiration, the ERA5-Land reanalysis provides data with seasonal, intraseasonal, and interannual values and variability analogous to data observed in situ. However, it did not provide satisfactory estimates for rainfall. It is noteworthy that similar results were obtained by Lavers et al. (2022) and Gleixner et al. (2020). At first, this situation does not present major problems, since, in general, there is a higher spatial density of rainfall stations than of meteorological ones, and the choice to perform a hybrid AZCR can be made, using observed rainfall data and reanalysis data for the other meteorological variables. However, the procedure for locations that do not have rain gauge data needs to be established. To solve this question, we have tried to validate the rainfall data from the CPC Global Unified Gauge-Based Analysis of the Daily Precipitation project dataset, from the Climate Prediction Center/

National Oceanic and Atmospheric Administration (CPC/NOAA), also known as CPC/NOAA Precipitation Project. It should be noted that this dataset presents consistent quantity and constantly improved quality, combining all sources of information available in the CPC/NOAA, covering the entire globe with a horizontal resolution of  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$  generated through objective interpolation analysis techniques (Chen et al. 2008; Sadeghi et al. 2019).

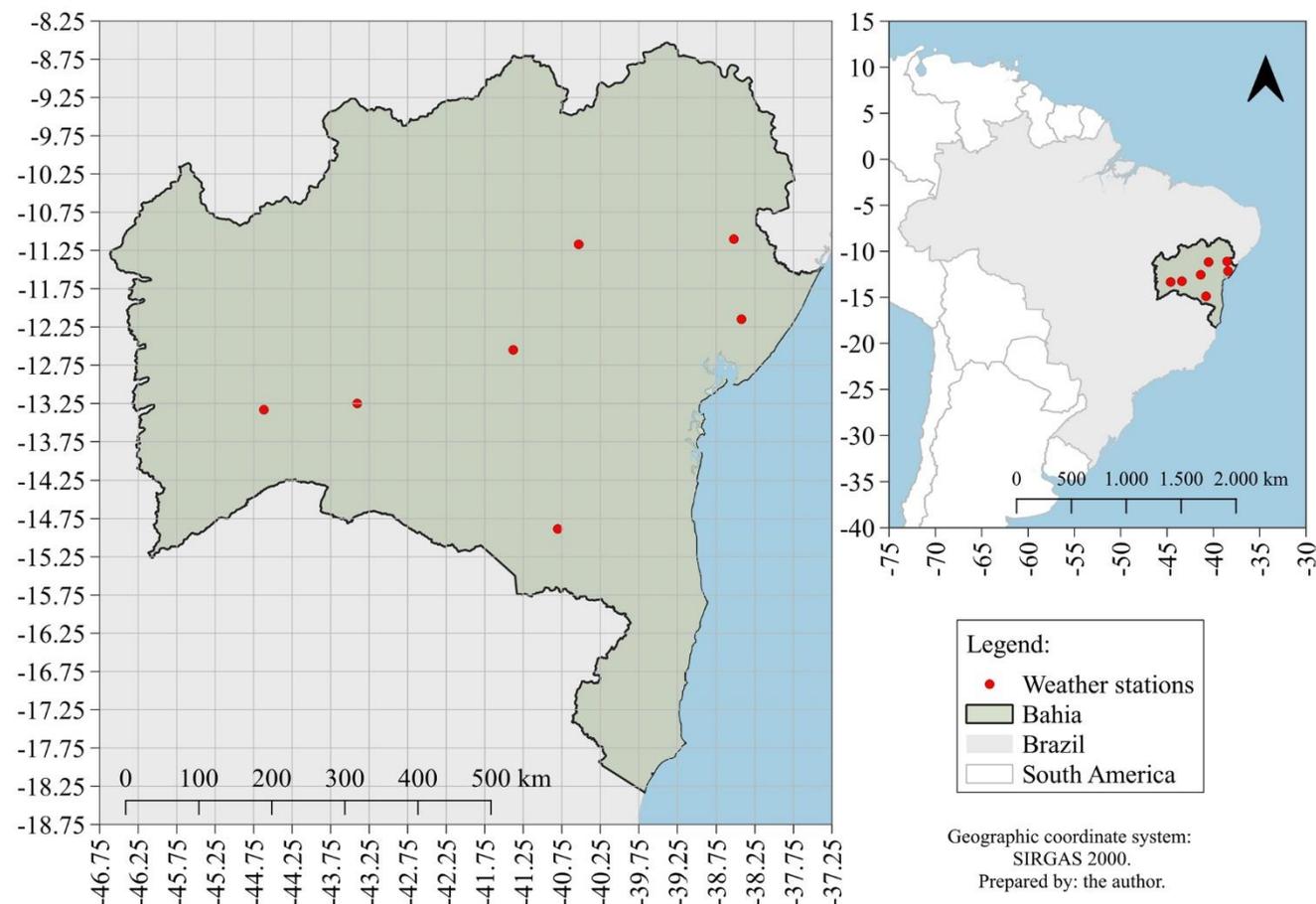
Therefore, in addition to the basic objective, which is to perform an AZCR for corn in the state of Bahia using reanalysis data, the present research had the following specific objectives: (1) validation of data for the maximum and minimum temperatures, wind speed at 10 m above ground level, relative air humidity, and reference evapotranspiration from the ERA5-Land reanalysis; (2) validation of rainfall data from the CPC/NOAA Precipitation Project; (3) performing an AZCR for corn using, concomitantly, observed data when information was available and reanalysis in situations of no observed data.

It is emphasizing that there was no overlapping of data validation. We have validated data from the ERA5-Land reanalysis for maximum and minimum temperatures, wind speed, relative humidity, and reference evapotranspiration; for rainfall, the CPC/NOAA Precipitation Project data were validated,

which provides only rainfall data. It should be noted that, in the validation analysis, it was verified that the data from the ERA5-Land and CPC/NOAA Precipitation Project reanalysis present seasonal, intraseasonal, and interannual values and variability similar to those observed in situ. It was also observed that the AZCRs obtained with reanalysis data and hybrid data (observed rainfall and other variables acquired from reanalysis) present results similar to those obtained only with data from weather stations. It is concluded that the AZCRs elaborated with data from the ERA5-Land and CPC/NOAA Precipitation Project reanalysis are viable and reliable and, in the absence of observed data, reanalysis is very useful and should be used. Furthermore, it is important to inform that data from other reanalyses, provided they are validated, can be used for performing AZCRs.

## 2 Methodology

The study was conducted in the state of Bahia, located in the NEB, between the latitudes  $8^\circ 32'$  and  $18^\circ 21'$  S and longitudes  $37^\circ 20'$  and  $46^\circ 37'$  W (Fig. 1). The following data were used:



**Fig. 1** Location map of the state of Bahia and the seven weather stations, Brazil

The daily data used in this research were downloaded from conventional meteorological stations in the Meteorological Database for Teaching and Research (BDMEP) of the National Institute of Meteorology (INMET), measured over 10 years (from January 1, 1993 to December 31, 2002), for the municipalities studied, using instruments such as dry bulb thermometers, for maximum and minimum air temperatures; wet bulb thermometers to calculate the average relative humidity; heliographs for measuring insolation; anemometers for the average wind speed at 10 m; and pluviometers for rainfall.

It was verified that, of the 23 conventional meteorological stations of INMET that were operational from 1981 to 2020, only seven followed the adopted criterion from 1993 to 2002. For other 10-year periods, including the most recent ones, the number of missing data generally exceeded 30%. Thus, the stations of Alagoinhas, Bom Jesus da Lapa, Cipó, Correntina, and Vitória da Conquista, which had a maximum of 20% of missing data; and those of Jacobina and Lençóis, which had less than 25% of missing data; and the period from 1993 to 2022 was selected to provide validation of rainfall data, maximum and minimum temperatures, wind speed at 10 m above ground level, relative humidity, and reference evapotranspiration of the ERA5-Land reanalysis.

Considering that the state of Bahia had 27 stations, only 23 of which were operational with daily data. However, when using the criterion of a maximum of 20% of missing data in a period of ten consecutive years, it was verified that only five stations and records from 1993 to 2002 could be used.

The municipalities used for data validation have the following characteristics: Alagoinhas and Cipó are in the mesoregion of Northeastern Bahia and have biomes belonging to the Atlantic Forest and Caatinga, with annual precipitation of 1147.96 mm and 578.17 mm, respectively. Bom Jesus da Lapa is in the São Francisco Valley, with Cerrado and Caatinga biomes and precipitation of 814.55 mm per year. In the extreme west of Bahia, there is Correntina, which is part of the Brazilian Cerrado, with an average annual rainfall of 935.37 mm. Finally, Vitória da Conquista is in the Atlantic Forest, in the mesoregion of the Center-South of Bahia, with a precipitation of 735.44 mm per year. This can be visualized in Fig. 1.

ERA5-Land reanalysis data on air temperature at 2 m height, dew point temperature at 2 m height, solar and thermal surface radiation, and  $u$  and  $v$  components of wind at 10 m height at an hourly frequency were obtained from the ECMWF website, from January 1, 1993, to December 31, 2002, with a horizontal resolution of  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ . As ERA5 reanalysis data do not provide good rainfall estimates for the tropics (Gleixner

et al. 2020; Lavers et al. 2022), daily rainfall data for the period above were retrieved from the CPC/NOAA Precipitation Project, with a spatial resolution of  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$  (Chen et al. 2008), because this dataset has been a useful reference to improve other data sources (Cui et al. 2017; Sadeghi et al. 2019).

## 2.1 Validation

Data from the ERA5-Land reanalysis and CPC/NOAA Precipitation Project were validated and their reliability was evaluated by comparing temperatures (maximum and minimum), relative humidity, wind speed, and reference evapotranspiration estimates to weather station data. For this purpose, the statistical parameters root-mean-square error (RMSE), standard error of the estimate (SEE), mean absolute percentage error (MAPE), mean absolute error (MAE), and Pearson correlation coefficient ( $r$ ), obtained in the comparisons of data from the ERA5-Land reanalysis and CPC/NOAA precipitation with observational data, were used in the analysis.

Three types of crop water balance (CWB) simulations were created: the first with data from INMET meteorological stations, and the second with data from the ECMWF and CPC/NOAA Precipitation Project. In addition, a simulation was performed with rainfall data from the weather stations and air temperature and reference evapotranspiration derived from reanalysis data. This is a “hybrid” approach, and it was adopted because the state of Bahia presents a good spatial distribution of rain gauges, with daily and routine observations of rainfall only, but a scarce spatial distribution of weather stations. In addition, with the three types of simulations, we can infer the accuracy of the reanalysis data in spatializing the state of Bahia.

For each station, ECMWF data were used at a resolution of  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ , considering the central point equivalent to the location of the meteorological station and its four peripheral points to the north, south, east, and west; forming grouped mean values ready for validation to reduce possible errors. The native resolution of the CPC/NOAA precipitation data was used.

After statistically validating the data from the ERA5-Land reanalysis and the CPC/NOAA Precipitation Project, a spatialization of agricultural zoning was proposed to cover the entire state of Bahia. For this, the data from the ERA5-Land reanalysis were organized into grouped averages in intervals of  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ , to correspond to the spatial resolution of the CPC/NOAA Precipitation Project throughout the territory of Bahia, between the extreme latitudes of  $8.25^\circ$  S and  $18.75^\circ$  S and longitudes of  $37.25^\circ$  W and  $47.25^\circ$  W. This resulted in an area with 232 grid points, totaling 232 CWB simulations. As shown in Fig. 1.

## 2.2 Data spatialization

For the execution of the agricultural zoning of climate risk through the water balance, potential evapotranspiration is a fundamental variable and there are several methods available to estimate it. In the context of crops, the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) recommends the use of reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>), which was estimated by the Penman Monteith-FAO method proposed by Allen et al. (1998).

To organize the data, the Python 3.8 programming language was used, with the Pandas, Xarray, and Numpy libraries, through the Visual Studio Code editor to process all data from the ECMWF and CPC/NOAA Precipitation Project to calculate the following meteorological variables: relative humidity, wind speed, surface radiation balance, and evapotranspiration as a reference from the Penman Monteith-FAO method.

In the same way, the variables that belong to the calculation of the ET<sub>o</sub> were calculated: saturation vapor pressure, current vapor pressure, and saturation vapor pressure curve and delta, considering that the heat flux in the ground is zero. The longitude was adjusted from 0 to 360° to -180 to 180°, grouping spatially at each grid of 0.1° × 0.1° for the validation of data from meteorological stations and later at each 0.5° × 0.5° for the entire state. Then, all the data were concatenated in 10-day periods, considering the average of the minimum, maximum, and average values of temperature and relative humidity at 2 m; the average wind speed adjusted for 2 m, daily accumulated radiation balance, and the sum of reference evapotranspiration and rainfall.

The crop water balance program developed by Rolim et al. (1998) was implemented in an Excel™ environment, with the reference evapotranspiration estimation method proposed by Allen et al. (1998). The program also has modifications which enabled the use of the crop coefficient variables (K<sub>c</sub>), and the available water capacity (AWC) variable. All are organized in 10-day periods. When rasterizing polygons with GeoCube in Python, average values were calculated every 0.5° × 0.5° for the AWC (Fig. 2), from the values of each municipality in Bahia available in ANA (2021), in shapefile format. The simulations of the crop water balance were performed in 10-day periods, resulting in a total of 36 periods per year that were considered when selecting the appropriate sowing dates.

In this study, we analyzed the cycles classified as early (Group I), medium (Group II), and late (Group III) for the corn crop, according to Ordinance number 170 of July 2020, of the Ministry of Agriculture, Livestock and Supply of Brazil, which approves the AZCR for the 1st harvest of corn in the state of Bahia. To calculate the crop water balance, the corn cycle was divided into four phases, namely, germination/emergence (phase I), vegetative growth/development

(phase II), flowering/grain filling (phase III), and physiological maturation/harvest (phase IV), respectively, each with an average duration of 100, 120, and 140 days, as provided by MAPA (2022).

The crop water requirement satisfaction index (WRSI) developed by FAO (Frère and Popov 1986) was used as a selection criterion for the start of the planting in each simulation of the crop water balance. This index consists of the ratio of actual to maximum evapotranspiration of the crop at a frequency of 80% established by Assad et al. (1998) and indicates a high (WRSI > 0.55), intermediate (WRSI between 0.45 and 0.55), or low (WRSI < 0.45) suitability of a site for planting corn, considering then that a site is suitable for planting corn when WRSI ≥ 0.45 (Santos et al. 2012).

As previously described, the study was divided into two stages: first, the validation of data from ERA5-Land reanalysis and the CPC/NOAA Precipitation Project, by comparison with actual values from INMET weather stations; and second, the use of the validated data to perform the AZCR for corn in the state of Bahia as a grid with a horizontal spatial resolution of 0.5° × 0.5°, covering the entire state.

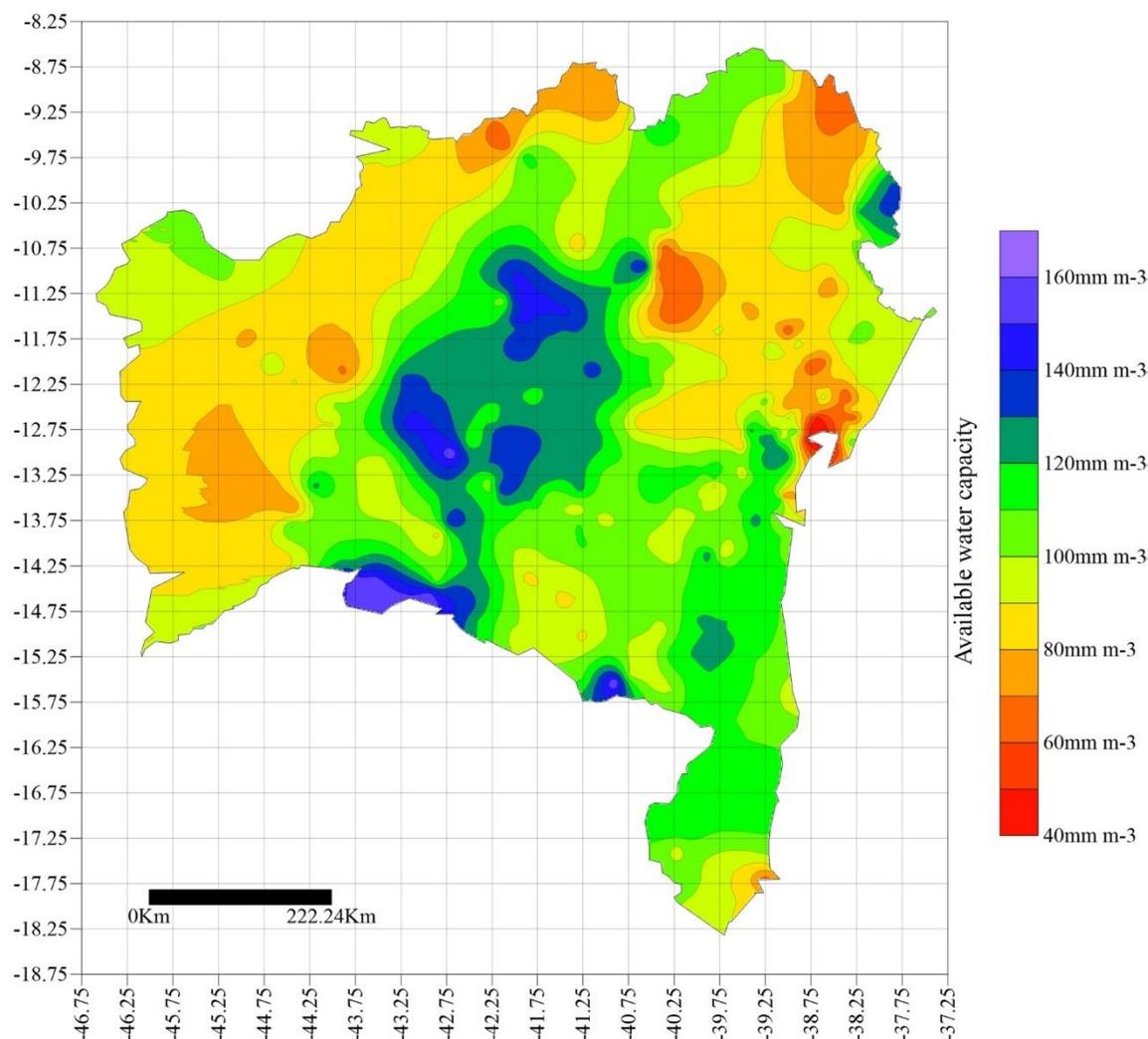
## 3 Results

### 3.1 Validation

#### 3.1.1 Statistical validation

The values obtained from the statistical parameters for the validation analysis of maximum and minimum temperatures, wind speed at 10 m above the ground, relative humidity, and reference evapotranspiration were estimated according to Allen et al. (1998) from the ERA5-Land reanalysis and CPC/NOAA precipitation data, versus values observed at the conventional meteorological stations of the INMET in Alagoinhas, Bom Jesus da Lapa, Cipó, Correntina, Vitória da Conquista, Jacobina, and Lençóis, in the state of Bahia, in the period of 10 years of observation (January 1, 1993, to December 31, 2002) are shown in Table 1. These stations presented the lowest number of missing data from 1981 to 2020.

It is observed, in Table 1, that, in general, the variable that presented the highest correlation (*r*) between the observed data and those of the reanalysis was the maximum temperature, with the highest value (*r* = 0.96) in Vitória da Conquista, followed by the minimum temperature and reference evapotranspiration, while the one with the lowest coefficient was that of wind speed at 10 m from the ground, with the lowest value, among all, also in Vitória da Conquista (*r* = 0.45). It should be noted that for the number of observations used in the analysis and a *p*-value < 0.001, the correlation coefficient must be greater than 0.27, a value estimated



**Fig. 2** Available water capacity (AWC) in the state of Bahia

from Student's  $t$  table, presented by Berthouex and Brown (2002). This means that for all coefficients greater than 0.27 there is a 0.1% probability that the correlation is not real. Therefore, there is a high correlation between the observed variables and those estimated by the reanalysis.

However, as mentioned and observed in Table 1, different degrees of correlation are verified, ranging from 0.46 to 0.96. At first, there is no scientific understanding to categorize the values of the correlation coefficients, but there is a range of tables that make this categorization. One of the most used is that of Callegari-Jacques (2009), in which:  $0.30 < r < 0.60$  is a moderate correlation;  $0.6 < r < 0.90$  is a strong correlation; and  $r > 0.90$  is a very strong correlation. Therefore, it is observed, in Table 1, that, except for wind speed in Cipó, Vitoria da Conquista, and Lençóis, which presented a moderate correlation, all other conditions and variables presented strong or very strong correlations.

The other statistical parameters (RMSE, SEE, MAPE, and MAE) showed acceptable values for all variables and locations. However, relatively high values for RMSE, SEE, and MAE are observed for the maximum temperature in Jacobina, which may lead to the conclusion that the data from the reanalysis for the maximum temperature are not detecting seasonal and/or interannual variability in this city, but the correlation was 0.93, a very strong correlation, demonstrating that the seasonal and/or interannual variability was captured by the reanalysis. Other exceptions were the relatively high values of RMSE, SEE, and MAE for rainfall observed in Jacobina and Lençóis, versus data from the CCPC/NOAA Project. These results occurred because in the third 10-day period of March 1997, precipitation was greater than 400 mm/10 days and the rainfall recorded by the CCPC/NOAA Project was around 200 mm/10 days. In addition, for the other three 10-day periods in Jacobina, rainfall was greater than 230 mm/10 days and the CCPC/

**Table 1** Relative air humidity, maximum and minimum air temperatures, wind speed, reference evapotranspiration, and precipitation

| Weather stations                    | RMSE (°C)           | SEE (°C)           | MAPE (%) | MAE (°C)           | <i>r</i> |
|-------------------------------------|---------------------|--------------------|----------|--------------------|----------|
| <b>Maximum temperature</b>          |                     |                    |          |                    |          |
| Alagoíneas                          | 1.60                | 1.68               | 0.48     | 1.47               | 0.94     |
| Bom Jesus da Lapa                   | 1.07                | 1.12               | 0.25     | 0.83               | 0.92     |
| Cipó                                | 2.28                | 2.42               | 0.62     | 1.73               | 0.95     |
| Correntina                          | 1.76                | 1.86               | 0.52     | 1.66               | 0.93     |
| Vitória da Conquista                | 0.73                | 0.77               | 0.16     | 0.43               | 0.96     |
| Jacobina                            | 3.34                | 3.53               | 1.09     | 3.25               | 0.93     |
| Lençóis                             | 2.76                | 2.93               | 0.51     | 1.36               | 0.72     |
| <b>Minimum temperature</b>          |                     |                    |          |                    |          |
| Alagoíneas                          | 1.33                | 1.40               | 0.55     | 1.11               | 0.90     |
| Bom Jesus da Lapa                   | 2.01                | 2.12               | 0.95     | 1.87               | 0.91     |
| Cipó                                | 2.16                | 2.29               | 1.18     | 1.83               | 0.92     |
| Correntina                          | 0.61                | 0.64               | 0.16     | 0.33               | 0.82     |
| Vitória da Conquista                | 0.82                | 0.87               | 0.29     | 0.45               | 0.90     |
| Jacobina                            | 1.69                | 1.78               | 0.83     | 1.59               | 0.91     |
| Lençóis                             | 1.64                | 1.73               | 0.48     | 0.73               | 0.85     |
| Weather stations                    | RMSE (m/s)          | SEE (m/s)          | MAPE (%) | MAE (m/s)          | <i>r</i> |
| <b>Wind speed</b>                   |                     |                    |          |                    |          |
| Alagoíneas                          | 0.46                | 0.49               | 2.06     | 0.35               | 0.65     |
| Bom Jesus da Lapa                   | 0.51                | 0.54               | 3.02     | 0.36               | 0.62     |
| Cipó                                | 0.73                | 0.78               | 3.60     | 0.57               | 0.52     |
| Correntina                          | 0.57                | 0.60               | 0.58     | 0.17               | 0.73     |
| Vitória da Conquista                | 0.51                | 0.53               | 1.13     | 0.31               | 0.45     |
| Jacobina                            | 1.16                | 1.24               | 4.54     | 1.51               | 0.78     |
| Lençóis                             | 0.62                | 0.65               | 4.15     | 0.53               | 0.54     |
| Weather stations                    | RMSE (%)            | SEE (%)            | MAPE (%) | MAE (%)            | <i>r</i> |
| <b>Relative humidity</b>            |                     |                    |          |                    |          |
| Alagoíneas                          | 4.30                | 4.54               | 0.34     | 2.72               | 0.83     |
| Bom Jesus da Lapa                   | 8.60                | 9.06               | 1.17     | 7.08               | 0.91     |
| Cipó                                | 9.51                | 10.04              | 1.09     | 6.57               | 0.86     |
| Correntina                          | 5.63                | 5.94               | 0.62     | 3.98               | 0.84     |
| Vitória da Conquista                | 4.38                | 4.62               | 0.37     | 2.95               | 0.85     |
| Jacobina                            | 6.53                | 6.88               | 0.41     | 2.82               | 0.80     |
| Lençóis                             | 4.33                | 4.61               | 0.27     | 1.55               | 0.81     |
| Weather stations                    | RMSE (mm/ ten days) | SEE (mm/ ten days) | MAPE (%) | MAE (mm/ ten days) | <i>r</i> |
| <b>Reference evapotranspiration</b> |                     |                    |          |                    |          |
| Alagoíneas                          | 3.31                | 3.5                | 0.38     | 1.2                | 0.93     |
| Bom Jesus da Lapa                   | 5.03                | 5.32               | 0.78     | 3.23               | 0.85     |
| Cipó                                | 4.69                | 5.07               | 0.71     | 2.31               | 0.92     |
| Correntina                          | 5.22                | 5.51               | 0.60     | 3.15               | 0.84     |
| Vitória da Conquista                | 3.28                | 3.48               | 0.43     | 1.34               | 0.93     |
| Jacobina                            | 13.40               | 14.45              | 1.57     | 5.72               | 0.90     |
| Lençóis                             | 4.21                | 4.51               | 0.68     | 1.88               | 0.83     |
| <b>Rainfall</b>                     |                     |                    |          |                    |          |
| Alagoíneas                          | 15.74               | 16.59              | 2.45     | 6.58               | 0.87     |
| Bom Jesus da Lapa                   | 10.18               | 10.73              | 11.40    | 2.88               | 0.93     |
| Cipó                                | 9.63                | 10.16              | 5.66     | 2.45               | 0.77     |
| Correntina                          | 11.58               | 12.21              | 2.60     | 3.51               | 0.83     |
| Vitória da Conquista                | 10.01               | 10.55              | 1.60     | 2.65               | 0.91     |
| Jacobina                            | 34.25               | 36.11              | 10.53    | 15.69              | 0.66     |
| Lençóis                             | 27.71               | 29.29              | 3.70     | 9.66               | 0.74     |

*RMSE* root-mean-square error, *SEE* standard error of the estimate, *MAPE* mean absolute percentage error, *MAE* mean absolute error, *r* Pearson correlation coefficient.

NOAA reanalysis showed values around 100 mm/10 days and 2 days with rainfall greater than 230 mm/10 days in Lençóis, while the CCPC/NOAA Project presented around 160 mm/10 days. The 3 days in Jacobina and the 2 days in Lençóis were not coincident. It should be noted that these results do not invalidate the data from the reanalysis, which, in general, presented satisfactory results that can be used in the absence of data when performing the AZCR in the state of Bahia.

Rainfall is the most complex and difficult variable to predict. Its estimates from ERA5-land reanalysis showed a high deviation from actual rainfall rates. Gleixner et al. (2020) concluded that both ERA5 and the precedent ERA-interim reanalysis products did not capture the rainfall trends observed in most of Africa. This is not surprising since such trends are uncertain for most regions of the globe. To circumvent this problem, data from the CPC/NOAA Precipitation Project were used in the present study. Rainfall data from the CPC Precipitation Project were closer to observed data when compared to ERA5-Land data. However, the statistics of this variable are still not excellent for the study region, showing higher values of statistical errors and the lowest correlation of all analyzed variables. This situation is evident mainly in Jacobina.

The root-mean-square error, standard error of the estimate, mean absolute percentage error, mean absolute error values, and Pearson correlation coefficient described in Table 1 allow us to evaluate the reliability of data from the ERA5-land reanalysis and CPC/NOAA Precipitation Project when compared to weather station data. The reanalysis data were, thus, validated, and acceptable in the absence of observational data, particularly regarding maximum and minimum air temperatures, relative humidity, wind speed at 2 m height estimated with wind speed at 10 m above the ground, and reference evapotranspiration estimated with reanalysis data.

It is worth mentioning that other researchers, such as Araújo et al. (2022), compared air temperature of weather stations and reanalysis from ERA5-Land data, in Pernambuco; Siefert et al. (2021) and Fernandes et al. (2021) compared data for wind speed 10 m above ground from stations with reanalysis data from ERA5-Land in Brazil, concluding that the latter is reliable and useful, and can be safely used.

### 3.1.2 Agricultural zoning of climate risk for Alagoinhas

Data from five weather stations that presented the lowest number of issues (missing or doubtful data), among the 27 stations in the state of Bahia, were used to validate the data from the ERA5-Land reanalysis and CPC/NOAA Precipitation Project. However, the AZCR was performed in Alagoinhas because this municipality is the one with the higher rainfall rates and consequently larger sowing window for

corn crops. This broader time window makes it easier to provide discrepancy between the beginning and end of the 10-day periods recommended for sowing between the three datasets: reanalysis, observed, and hybrid.

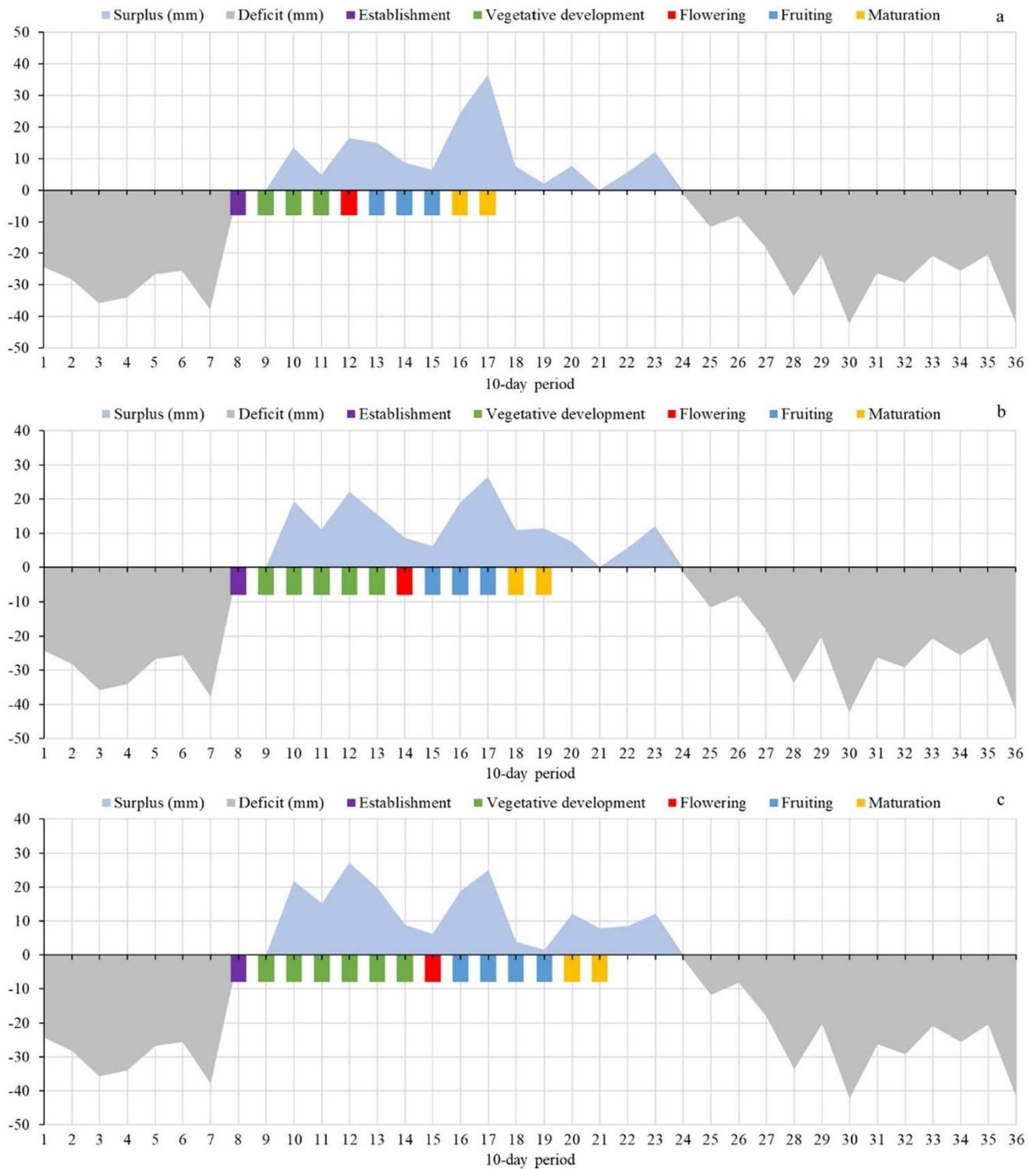
The recommended dates for planting in Alagoinhas, according to the simulation of the crop water balance, are organized in Table 2. The initial date was found to be the eighth 10-day period of the year in all three simulations (weather station data; reanalysis and CPC/NOAA Precipitation Project data; and hybrid data). The deadline for planting was also the same in all simulations but varied according to the duration of the cycle. Both the simulations with the reanalysis data and with hybrid data described the same period as the simulation based on weather station data, thus confirming that the estimated data can be used in the AZCR for corn in the municipality.

The AZCR published by the Ministry of Agriculture, Livestock and Supply in Ordinance number 170 of May 25, 2022, in the Federal Official Gazette considers the planting of corn at a frequency of 80% for the early cycle with 10-day periods from 10 to 17, 10 to 18, and 10 to 19; for the medium cycle with 10-day periods from 10 to 16, 10 to 17, and 10 to 17; and for the late cycle with 10-day periods 10 to 14, 10 to 15, and 10 to 16 for sandy, medium and clayey soil textures, respectively (MAPA 2022). There is a clear similarity between the recommended dates for planting corn found in the present study and those from MAPA (2022). Moreover, the initial discrepancy between the 10-day periods 8 and 10 can be explained by the different methodologies applied, such as the use of different WRSIs to start planting.

Casanovas et al. (2003) found that droughts during the flowering period of corn negatively affected leaf physiology and grain yield and, thus, water deficits during this period caused the greatest productivity losses. In the present study, in the simulation with hybrid data (Fig. 3), the period with water surplus comprises the entire period in which water requirements are higher for the development of the crop, from the establishment to the fruiting stages. The graphs present the period with water surplus and indicate the phenological stages of the plant during each 10-day period. The same result was observed in the simulations based on reanalysis data and weather station data.

**Table 2** Dates, in 10-day periods of the year, suitable for planting in the municipality of Alagoinhas

| Alagoinhas | Cycle (10-day period) |         |         |
|------------|-----------------------|---------|---------|
|            | Early                 | Medium  | Late    |
| Station    | 8 to 20               | 8 to 18 | 8 to 16 |
| Reanalysis | 8 to 20               | 8 to 18 | 8 to 16 |
| Hybrid     | 8 to 20               | 8 to 18 | 8 to 16 |



**Fig. 3** Corn water balance for the municipality of Alagoinhas with phenological stages in early (a), medium (b), and late (c) cycles. Simulations with hybrid data

Thus, the suitable dates for planting corn and respective phenological stages depend on crop water balance. The initial date indicated was the eighth 10-day period, when the WRSI is favorable ( $WRSI > 0.55$ ) or intermediate ( $WRSI$  between 0.45 and 0.55). Furthermore, as the studied site has a long period with water surplus, it is possible to plant rainfed corn with early (Fig. 3a), medium (Fig. 3b), and late (Fig. 3c) cycle varieties.

### 3.2 Agricultural zoning of climate risk for the state of Bahia

The number of 10-day periods is shown in Fig. 4, throughout the year, in which it is recommended to plant corn in the early rainfed cycle in the state of Bahia, according to the AZCR. Some areas do not have a recommended 10-day period for corn, such as the northeast of the state until its southeast area, where planting is recommended

all year round. It should be noted that these observations are for climatic conditions, not other variables, such as soil condition.

The recommended regions for planting rainfed early-cycle corn in the state comprise those that do not have any 10-day period recommended for its cultivation until the coastal strip, where planting is recommended all year round (Fig. 4).

The largest region where planting rainfed early-cycle corn is not recommended is the mesoregion in the far north of Bahia (Fig. 4). This is because the state has most of the municipalities (276) with dry conditions in Northeastern Brazil (Avala et al. 2017). In the semiarid region, the highest rainfall (900 mm) is observed in the eastern and western regions, and it decreases towards the center, reaching minimum annual values of less than 600 mm in the far north (Lopes et al. 2019).

Besides the mesoregion of the far north of Bahia, planting corn is not recommended in the area found in the 12.75°

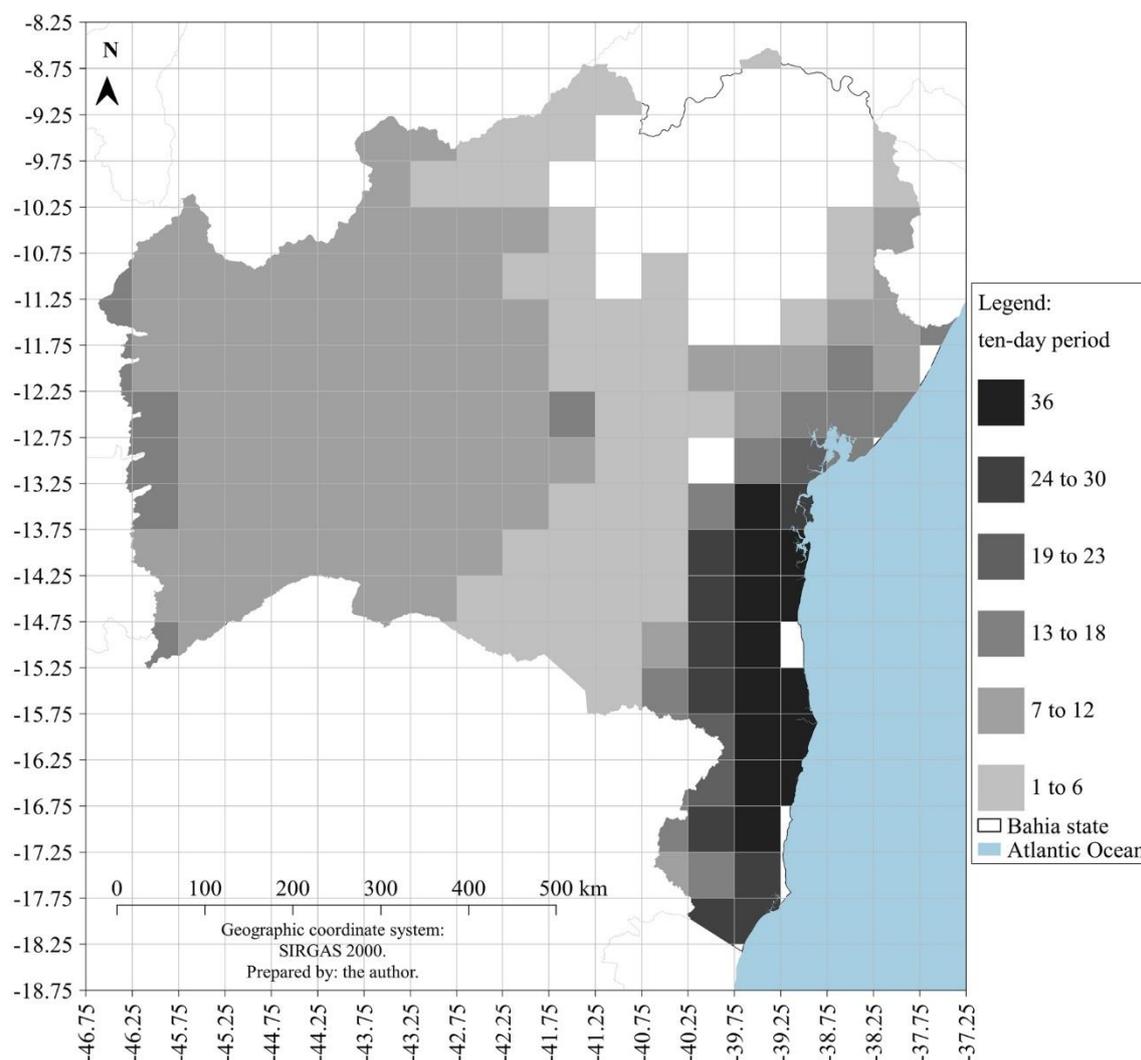


Fig. 4 Map of favorable areas for rainfed corn cultivation in the state of Bahia

S and 39.75° W grid either (Fig. 4), which comprises part of the municipalities of Iaçú and Milagres. This is a semi-arid area located between the Diamantina and Conquista-Jequitinhonha plateaus, known as the Southern Sertaneja Depression, and presents irregular rainfall according to the historical series, with extreme droughts (Jelinek et al. 2014; Santos et al. 2014; Santos Neto et al. 2022). Sousa et al. (2016) analyzed 73 stations in the Paraguaçu river basin, the most important in the state of Bahia, and observed that five municipalities presented extreme droughts. The longest ones were found in Iaçú, lasting 34 months, from 1961 to 1963, because of changes in atmosphere dynamics when the displacement of precipitating systems was changed.

The state of Bahia does not have 31 to 35 accumulated 10-day periods for this study. Furthermore, there is no ZARC for five areas along its coastline due to unavailability of data from the ERA5-Land reanalysis.

In contrast, planting in the southern coastal strip is recommended during the 36 10-day periods (Fig. 4), as it is an area where rainfall occurs throughout the year, with little seasonal temperature variability. A study by Silva et al. (2019) that used the precipitation concentration degree (PCD) for the NEB found values ranging from 0.16 to 0.36 for the southern coast of Bahia, indicating that annual rainfall is uniformly distributed throughout the year, which may be related to the atmospheric systems that operate in this part of the state in different seasons of the year, namely, the South Atlantic Convergence Zone (Simões et al. 2018), Frontal systems (Kousky 1979), and Easterly Wave systems (Gomes et al. 2019). All areas west of 41.75° W have at least one 10-day period in which corn can be successfully planted from the climatic point of view, and as one moves westwards, the number of days during the year in which planting is possible with climatic success increases, reaching a value of up to 18 10-day periods (Fig. 4). Furthermore, within the southern mesoregion of Bahia, there is a lower amount of rainfall in the northwest and southwest, with minimum values of 878.8 mm year<sup>-1</sup>, and higher in the northeast, with maximum values of 1619 mm year<sup>-1</sup> (Mencia et al. 2021; Aparecido et al. 2022). The analyses of seasons suitable for the cultivation of corn for the other geographical areas in the state are presented in the following subsection.

### 3.2.1 Recommendations of suitable dates

The recommendations for planting rainfed early-cycle corn in the state of Bahia are shown in Fig. 5, with an occurrence of 80%, for the 10-day periods 30 and 31 (Fig. 5a), 32 and 33 (Fig. 5b), 34 and 35 (Fig. 5c), 36 and 1 (Fig. 5d), and 2 and 3 (Fig. 5e), which are associated with the main rainy period in most of the state

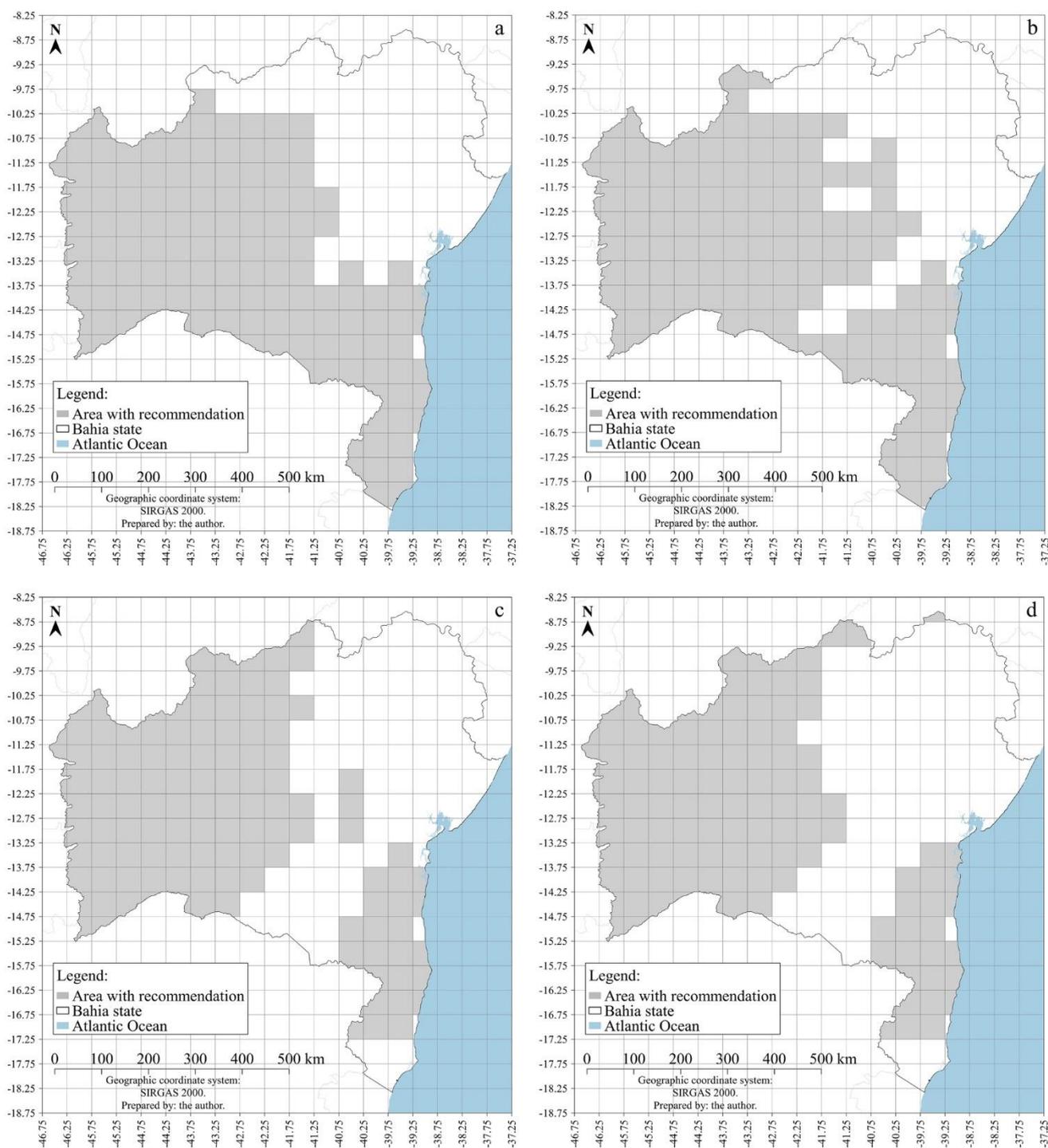
(November to January), including the semiarid region, with its maximum rainfall rates in December (Kousky and Chu 1978; Rao and Hada 1990; de Souza and Nascimento 2020). Rainfall in this period is associated with the penetration of frontal systems or their vestiges (Kousky 1979), the South Atlantic convergence zone (Rosa et al. 2020; Simões et al. 2020; Pezzi et al. 2022), South Atlantic subtropical high (Chaves and Nobre 2004), and upper tropospheric cyclonic vortices (Kousky and Gan 1981; Morais et al. 2021; Reis et al. 2021; Escobar and Reboita 2022). Reis et al. (2021) studied the spatial distribution of the upper tropospheric cyclonic vortices for a 37-year period and found that the east of the state of Bahia and almost all its coastal region are among the northeastern regions with the highest occurrence of rainfall associated with this system.

In the east, that is, throughout the coastal strip, the most intense rains occur from April to August, corresponding to the 10-day periods 4 and 5 (Fig. 5f), 6 and 7 (Fig. 5g), 8 and 9 (Fig. 5h), 10 and 11 (Fig. 5i), 12 and 13 (Fig. 5j), 14 and 15 (Fig. 5k), and 16 and 17 (Fig. 5l), which, according to Yamazaki and Rao (1977) and Gomes et al. (2019), result from easterly wave disturbances. However, Kousky (1980) found that in the eastern part of the NEB, including practically the whole coast of Bahia, the most intense rains observed in the months from April to June are largely explained by the interaction between the circulation of terrestrial breeze and predominant east and southeast trade winds. Such interaction imposes a peak of nocturnal precipitation. The rains on the coast are also explained by the modulation of the trade winds and the subtropical high and by vestiges of frontal systems (Kousky 1979; Rao et al. 1993).

Assuming that rainfall is the only way for water to enter the corn water balance system, the 232 areas in which the AZCR was performed for early-cycle corn in Bahia obtained recommendations for planting that coincide with the rainiest period of each region and their active precipitation systems. Fonseca et al. (2022) explained that this is because sowing dates in rainfed systems are strongly correlated with the start of the rainy season.

The AZCR for the medium and late cycles indicated dates suitable and unsuitable for planting corn in Bahia. Due to their size, they were divided into two parts and comprised 232 areas, starting from the western to the central region of the state (Table 3) and from the central to the eastern region (Table 3).

Compared to the early cycle, dates for planting the medium and late cycles in each study area are more restricted, except for the southern coastal area in which planting is recommended all year round for all cycles.



**Fig. 5** Dates recommended for planting early-cycle corn in the state of Bahia. **a** Ten-day periods 30 and 31, from October 21 to November 10. **b** Ten-day periods 32 and 33, from November 11 to November 30. **c** Ten-day periods 34 and 35, from December 1 to December 20. **d** Ten-day periods 36 and 1, from December 21 to January 10. **e** Ten-day periods 2 and 3, from January 11 to January 31. **f** Ten-day

periods 4 and 5, from February 1 to February 20. **g** Ten-day periods 6 and 7, from February 21 to March 10. **h** Ten-day periods 8 and 9, from March 11 to March 31. **i** Ten-day periods 10 and 11, from April 1 to April 20. **j** Ten-day periods 12 and 13, from April 21 to May 10. **k** Ten-day periods 14 and 15, from May 11 to May 31. **l** Ten-day periods 16 and 17, from June 1 to June 20

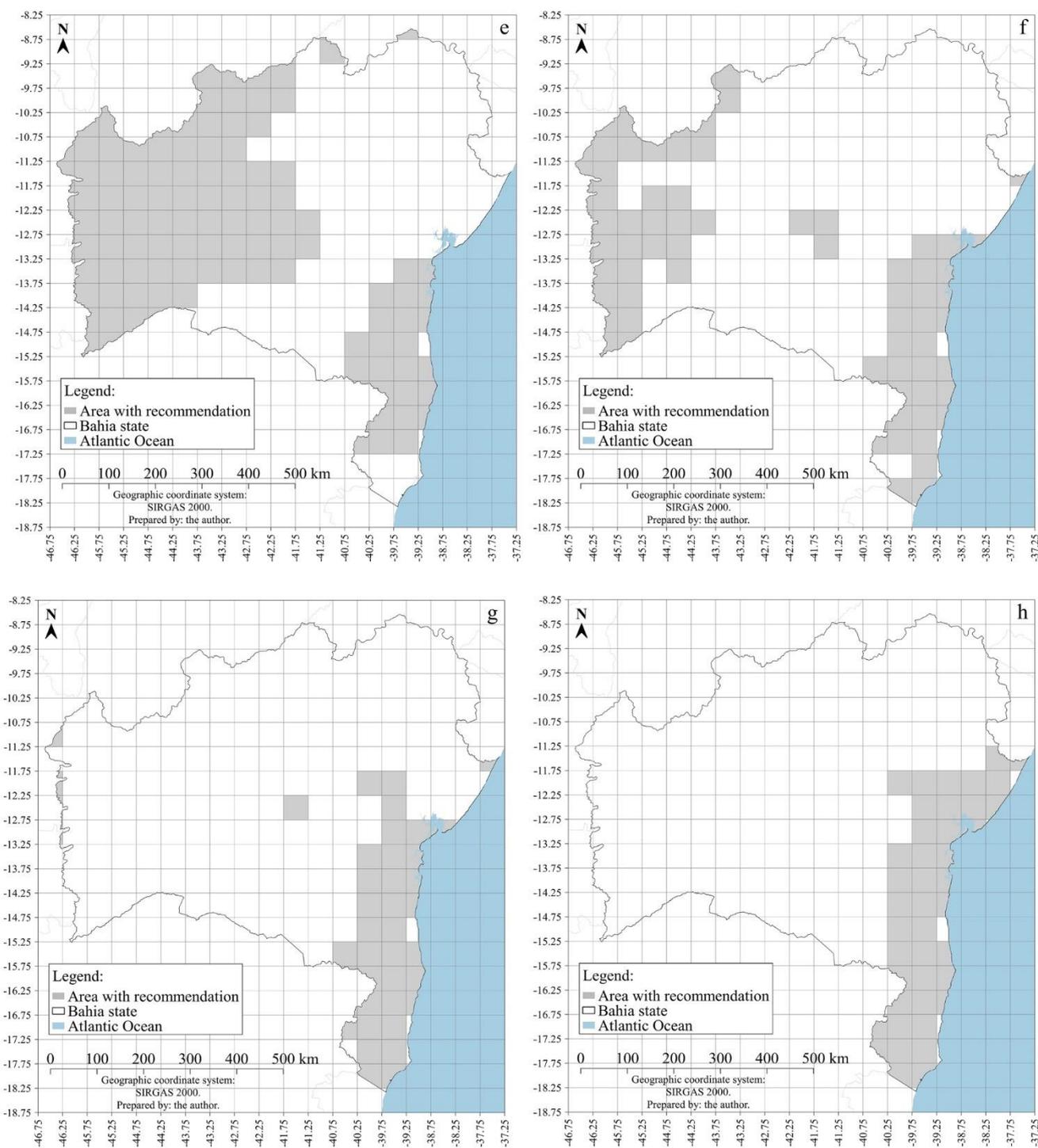


Fig. 5 (continued)

Naturally, areas not recommended for planting early-cycle corn were also not recommended for the other cycles, and those with a short sowing window for planting the early cycle were not recommended for the medium cycle, following this trend as the number of days required to complete the cycle increases.

## 4 Conclusions

In this study, the validation of maximum and minimum temperatures, relative humidity, wind speed, and reference evapotranspiration data from the ERA5-Land reanalysis, combined with rainfall data from the CPC/NOAA Precipitation

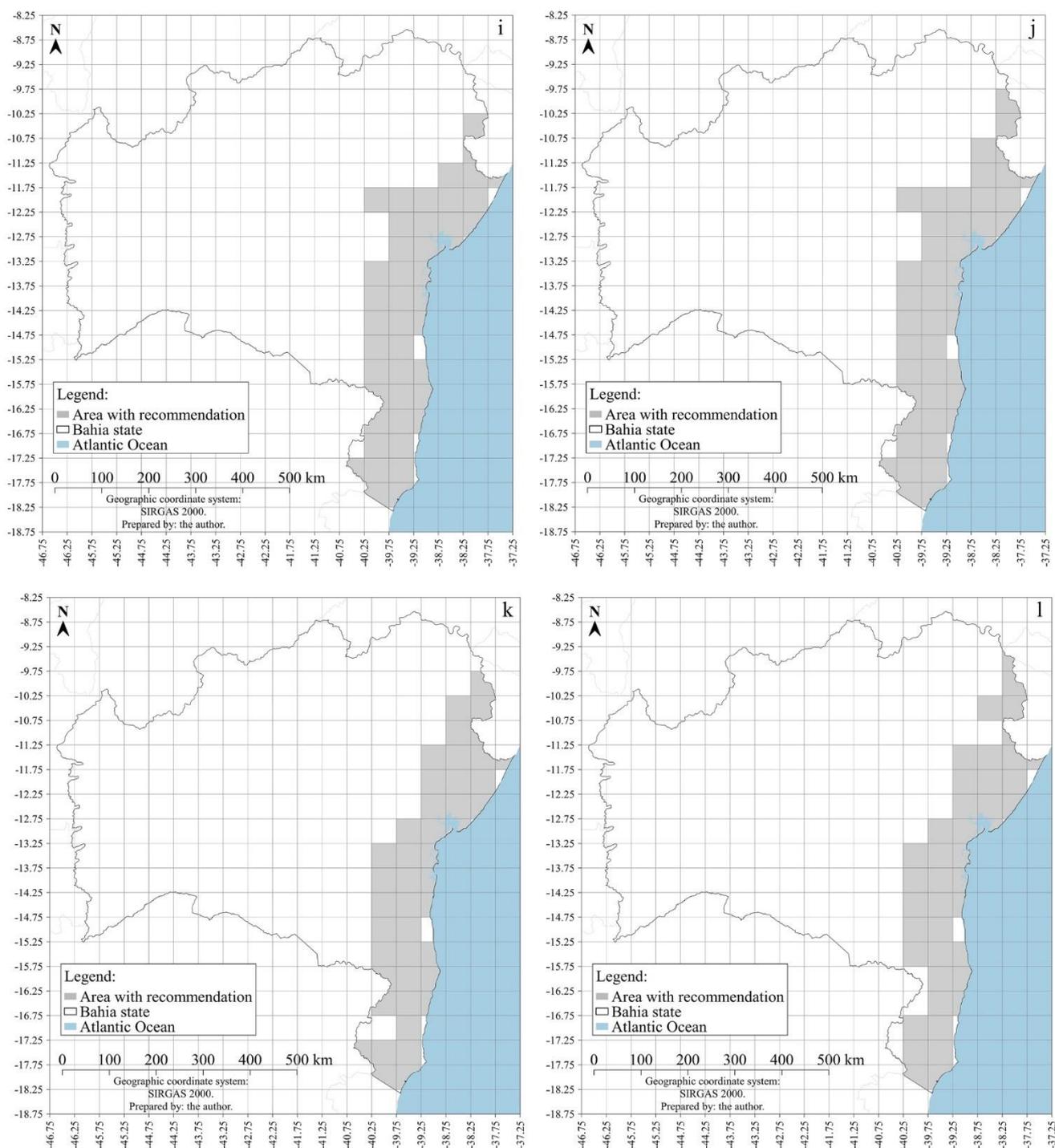


Fig. 5 (continued)

Project, showed good statistical performance. The validation proved to be crucial for using the data in studies such as AZCR, in the absence of data observed in a wide area, such as in the state of Bahia.

Furthermore, the AZCR performed exclusively with data from reanalysis and hybrid data (with observed precipitation;

estimated reference temperature, and evapotranspiration) showed similar results for corn to the one performed with the observed data. This justifies the use of reanalysis data as a safe and robust source.

Another way of understanding the use of reanalysis data as a tool for recommending dates for growing corn without

**Table 3** Dates, in 10-day periods, recommended for planting medium and late cycle corn in the state of Bahia, starting from the western to the central regions

| Longitude | Latitude | Medium cycle | Late cycle | Longitude | Latitude | Medium cycle | Late cycle | Longitude | Latitude | Medium cycle | Late cycle | Longitude | Latitude | Medium cycle | Late cycle |
|-----------|----------|--------------|------------|-----------|----------|--------------|------------|-----------|----------|--------------|------------|-----------|----------|--------------|------------|
| 46.25     | 13.75    | 30 to 3      | 30 to 1    | 44.75     | 10.75    | 30 to 2      | 30 to 36   | 43.25     | 9.75     | 31 to 2      | 31 to 36   | 42.25     | 12.25    | 31           | -          |
| 46.25     | 13.25    | 29 to 3      | 29 to 1    | 44.75     | 11.25    | 29 to 36     | 29 to 34   | 43.25     | 10.25    | 31 to 36     | 31 to 34   | 42.25     | 12.75    | 31 to 36     | 31 to 34   |
| 46.25     | 12.75    | 29 to 4      | 29 to 2    | 44.75     | 11.75    | 29 to 2      | 29 to 36   | 43.25     | 10.75    | 31 to 1      | 31 to 35   | 42.25     | 13.25    | 31 to 36     | 31 to 34   |
| 46.25     | 12.25    | 29 to 4      | 29 to 2    | 44.75     | 12.25    | 29 to 2      | 29 to 36   | 43.25     | 11.25    | 31 to 1      | 31 to 35   | 42.25     | 13.75    | 31 to 35     | 31 to 33   |
| 46.25     | 11.75    | 29 to 4      | 29 to 2    | 44.75     | 12.75    | 30 to 2      | 30 to 36   | 43.25     | 11.75    | 31 to 36     | 31 to 34   | 42.25     | 14.25    | -            | -          |
| 46.25     | 11.25    | 29 to 4      | 29 to 2    | 44.75     | 13.25    | 30 to 1      | 30 to 35   | 43.25     | 12.25    | 31 to 36     | 31 to 34   | 42.25     | 14.75    | 31           | -          |
| 46.25     | 10.75    | 29 to 4      | 29 to 2    | 44.75     | 13.75    | 30 to 36     | 30 to 34   | 43.25     | 12.75    | 31 to 1      | 31 to 35   | 41.75     | 8.75     | 35 to 1      | -          |
| 45.75     | 10.25    | 29 to 2      | 29 to 36   | 44.75     | 14.25    | 30 to 36     | 30 to 34   | 43.25     | 13.25    | 31 to 36     | 31 to 35   | 41.75     | 9.25     | 35 to 36     | -          |
| 45.75     | 10.75    | 29 to 2      | 29 to 36   | 44.25     | 10.25    | 30 to 2      | 30 to 36   | 43.25     | 13.75    | 31 to 35     | 31 to 33   | 41.75     | 9.75     | 35 to 2      | -          |
| 45.75     | 11.25    | 29 to 2      | 29 to 36   | 44.25     | 10.75    | 30 to 2      | 30 to 36   | 43.25     | 14.25    | 31 to 35     | 31 to 33   | 41.75     | 10.25    | 31 to 35     | 31 to 33   |
| 45.75     | 11.75    | 29 to 2      | 29 to 36   | 44.25     | 11.25    | 31 to 2      | 31 to 36   | 43.25     | 14.75    | 31 to 35     | 31 to 33   | 41.75     | 10.75    | 31 to 32     | -          |
| 45.75     | 12.25    | 29 to 3      | 29 to 1    | 44.25     | 11.75    | 29 to 2      | 29 to 36   | 42.75     | 9.25     | 32 to 36     | 32 to 34   | 41.75     | 11.25    | 31 to 36     | 31 to 34   |
| 45.75     | 12.75    | 29 to 3      | 29 to 1    | 44.25     | 12.25    | 30 to 2      | 30 to 36   | 42.75     | 9.75     | 35 to 1      | 35 to 1    | 41.75     | 11.75    | 31 to 36     | 31 to 29   |
| 45.75     | 13.25    | 29 to 3      | 29 to 1    | 44.25     | 12.75    | 30 to 2      | 30 to 36   | 42.75     | 10.25    | 31 to 36     | 31 to 34   | 41.75     | 12.25    | 31 to 3      | 31 to 29   |
| 45.75     | 13.75    | 30 to 2      | 30 to 36   | 44.25     | 13.25    | 30 to 2      | 30 to 36   | 42.75     | 10.75    | 31 to 36     | 31 to 34   | 41.75     | 12.75    | 31 to 1      | 31 to 35   |
| 45.75     | 14.25    | 29 to 2      | 29 to 36   | 44.25     | 13.75    | 31 to 36     | 31 to 34   | 42.75     | 11.25    | 31 to 36     | 31 to 34   | 41.75     | 13.25    | 31 to 1      | 31 to 35   |
| 45.75     | 14.75    | 28 to 3      | 28 to 1    | 44.25     | 14.25    | 31 to 36     | 31 to 34   | 42.75     | 11.75    | 31 to 36     | 31 to 34   | 41.75     | 13.75    | -            | -          |
| 45.75     | 15.25    | 28 to 2      | 28 to 36   | 43.75     | 9.25     | 32 to 3      | 32 to 1    | 42.75     | 12.25    | 31 to 36     | 31 to 34   | 41.75     | 14.25    | -            | -          |
| 45.25     | 9.75     | 30 to 3      | 30 to 1    | 43.75     | 9.75     | 31 to 2      | 31 to 36   | 42.75     | 12.75    | 31 to 36     | 31 to 34   | 41.75     | 14.75    | -            | -          |
| 45.25     | 10.25    | 30 to 2      | 30 to 36   | 43.75     | 10.25    | 31 to 2      | 31 to 36   | 42.75     | 13.25    | 31 to 36     | 31 to 34   | 41.25     | 8.25     | 35 to 1      | -          |
| 45.25     | 10.75    | 29 to 2      | 29 to 36   | 43.75     | 10.75    | 31 to 2      | 31 to 36   | 42.75     | 13.75    | 31 to 35     | 31 to 35   | 41.25     | 8.75     | -            | -          |
| 45.25     | 11.25    | 29 to 36     | 29 to 34   | 43.75     | 11.25    | 31 to 1      | 31 to 35   | 42.75     | 14.25    | 31 to 35     | 31 to 33   | 41.25     | 9.25     | -            | -          |
| 45.25     | 11.75    | 29 to 36     | 29 to 34   | 43.75     | 11.75    | 31 to 2      | 31 to 36   | 42.75     | 14.75    | 31 to 35     | 31 to 33   | 41.25     | 9.75     | -            | -          |
| 45.25     | 12.25    | 29 to 2      | 29 to 36   | 43.75     | 12.25    | 30 to 2      | 30 to 36   | 42.25     | 9.25     | 35 to 2      | -          | 41.25     | 10.25    | -            | -          |
| 45.25     | 12.75    | 29 to 2      | 29 to 36   | 43.75     | 12.75    | 30 to 1      | 30 to 35   | 42.25     | 9.75     | 35 to 2      | -          | 41.25     | 10.75    | -            | -          |
| 45.25     | 13.25    | 30 to 2      | 30 to 36   | 43.75     | 13.25    | 31 to 36     | 31 to 34   | 42.25     | 10.25    | 31 to 36     | 31 to 34   | 41.25     | 11.25    | -            | -          |
| 45.25     | 13.75    | 30 to 2      | 30 to 36   | 43.75     | 13.75    | 31 to 36     | 31 to 34   | 42.25     | 10.75    | 31 to 35     | 31 to 33   | 41.25     | 11.75    | -            | -          |
| 45.25     | 14.25    | 30 to 2      | 30 to 36   | 43.75     | 14.25    | 31 to 35     | 31 to 33   | 42.25     | 11.25    | 31 to 36     | 31 to 34   | 41.25     | 12.25    | 31 to 5      | 31 to 3    |
| 45.25     | 14.75    | 29 to 2      | 29 to 36   | 43.25     | 9.25     | 32 to 3      | 32 to 1    | 42.25     | 11.75    | 31 to 36     | 31 to 34   | 41.25     | 12.75    | 31 to 3      | 31 to 1    |
| 41.25     | 13.25    | 31 to 1      | -          | 40.25     | 12.75    | -            | -          | 39.75     | 17.75    | 5 to 30      | 5 to 28    | 38.75     | 11.75    | 8 to 15      | 8 to 13    |
| 41.25     | 13.75    | -            | -          | 40.25     | 13.25    | -            | -          | 39.75     | 18.25    | 7 to 29      | 7 to 27    | 38.75     | 12.25    | 8 to 18      | 8 to 16    |
| 41.25     | 14.25    | -            | -          | 40.25     | 13.75    | -            | -          | 39.25     | 8.25     | 36 to 2      | 36 to 36   | 38.75     | 12.75    | 4 to 20      | 4 to 18    |
| 41.25     | 14.75    | -            | -          | 40.25     | 14.25    | 31 to 1      | 31 to 29   | 39.25     | 8.75     | -            | -          | 38.75     | 13.25    | 1 to 24      | 1 to 22    |
| 41.25     | 15.25    | -            | -          | 40.25     | 14.75    | 31 to 1      | 31 to 35   | 39.25     | 9.25     | -            | -          | 38.75     | 13.75    | 1 to 36      | 1 to 36    |
| 40.75     | 8.25     | 36 to 2      | -          | 40.25     | 15.25    | 31 to 3      | 31 to 3    | 39.25     | 9.75     | -            | -          | 38.75     | 14.25    | 1 to 36      | 1 to 36    |

**Table 3** (continued)

| Longitude | Latitude | Medium cycle | Late cycle | Longitude | Latitude | Medium cycle | Late cycle | Longitude | Latitude | Medium cycle | Late cycle | Longitude | Latitude | Medium cycle | Late cycle |
|-----------|----------|--------------|------------|-----------|----------|--------------|------------|-----------|----------|--------------|------------|-----------|----------|--------------|------------|
| 40.75     | 8.75     | 36           | -          | 40.25     | 15.75    | 29 to 5      | 29 to 3    | 39.25     | 10.25    | -            | -          | 38.75     | 15.25    | 1 to 36      | 1 to 36    |
| 40.75     | 9.25     | -            | -          | 40.25     | 16.25    | 29 to 6      | 29 to 3    | 39.25     | 10.75    | -            | -          | 38.75     | 15.75    | 1 to 36      | 1 to 36    |
| 40.75     | 9.75     | -            | -          | 40.25     | 16.75    | 29 to 7      | 29 to 5    | 39.25     | 11.25    | -            | -          | 38.75     | 16.25    | 1 to 36      | 1 to 36    |
| 40.75     | 10.25    | -            | -          | 40.25     | 17.25    | 29 to 12     | 29 to 10   | 39.25     | 11.75    | 7 to 11      | 7 to 9     | 38.25     | 8.75     | -            | -          |
| 40.75     | 10.75    | -            | -          | 40.25     | 17.75    | 30 to 7      | 30 to 5    | 39.25     | 12.25    | 7 to 11      | 7 to 12    | 38.25     | 9.25     | -            | -          |
| 40.75     | 11.25    | -            | -          | 39.75     | 8.75     | -            | -          | 39.25     | 12.75    | 4 to 18      | 4 to 16    | 38.25     | 9.75     | -            | -          |
| 40.75     | 11.75    | -            | -          | 39.75     | 9.25     | -            | -          | 39.25     | 13.25    | 1 to 36      | 1 to 36    | 38.25     | 10.25    | 15           | -          |
| 40.75     | 12.25    | -            | -          | 39.75     | 9.75     | -            | -          | 39.25     | 13.75    | 1 to 36      | 1 to 36    | 38.25     | 10.75    | 12 to 14     | 12 to 13   |
| 40.75     | 12.75    | -            | -          | 39.75     | 10.25    | -            | -          | 39.25     | 14.25    | 1 to 36      | 1 to 36    | 38.25     | 11.25    | 10 to 15     | 10 to 13   |
| 40.75     | 13.25    | -            | -          | 39.75     | 10.75    | -            | -          | 39.25     | 14.75    | 1 to 36      | 1 to 36    | 38.25     | 11.75    | 8 to 18      | 8 to 16    |
| 40.75     | 13.75    | -            | -          | 39.75     | 11.25    | -            | -          | 39.25     | 15.25    | 1 to 36      | 1 to 36    | 38.25     | 12.25    | 8 to 18      | 8 to 16    |
| 40.75     | 14.25    | -            | -          | 39.75     | 11.75    | 7 to 13      | 7 to 9     | 39.25     | 15.75    | 1 to 36      | 1 to 36    | 38.25     | 12.75    | 5 to 18      | 5 to 16    |
| 40.75     | 14.75    | -            | -          | 39.75     | 12.25    | -            | -          | 39.25     | 16.25    | 1 to 36      | 1 to 36    | 37.75     | 9.25     | -            | -          |
| 40.75     | 15.25    | 31 to 36     | 31 to 35   | 39.75     | 12.75    | -            | -          | 39.25     | 16.75    | 1 to 36      | 1 to 36    | 37.75     | 9.75     | 13 to 15     | 13 to 13   |
| 40.75     | 15.75    | 29 to 5      | 29 to 3    | 39.75     | 13.25    | 4 to 15      | 4 to 13    | 39.25     | 17.25    | 5 to 30      | 5 to 28    | 37.75     | 10.25    | 11 to 15     | 11 to 14   |
| 40.25     | 8.75     | -            | -          | 39.75     | 13.75    | 31 to 16     | 31 to 14   | 39.25     | 17.75    | 5 to 30      | 5 to 28    | 37.75     | 10.75    | 10 to 17     | 10 to 15   |
| 40.25     | 9.25     | -            | -          | 39.75     | 14.25    | 31 to 18     | 31 to 16   | 38.75     | 8.25     | -            | -          | 37.75     | 11.25    | 9 to 18      | 9 to 16    |
| 40.25     | 9.75     | -            | -          | 39.75     | 14.75    | 29 to 18     | 29 to 16   | 38.75     | 8.75     | -            | -          | 37.75     | 11.75    | 9 to 18      | 9 to 16    |
| 40.25     | 10.25    | -            | -          | 39.75     | 15.25    | 29 to 15     | 29 to 13   | 38.75     | 9.25     | -            | -          | 37.75     | 12.25    | 8 to 18      | 8 to 16    |
| 40.25     | 10.75    | -            | -          | 39.75     | 15.75    | 29 to 13     | 29 to 11   | 38.75     | 9.75     | -            | -          | 37.25     | 9.75     | 12 to 15     | 12 to 13   |
| 40.25     | 11.25    | -            | -          | 39.75     | 16.25    | 29 to 13     | 29 to 11   | 38.75     | 10.25    | -            | -          | 37.25     | 10.25    | 10 to 15     | 10 to 13   |
| 40.25     | 11.75    | 32           | -          | 39.75     | 16.75    | 29 to 18     | 29 to 16   | 38.75     | 10.75    | -            | -          | 37.25     | 10.75    | 9 to 20      | 9 to 18    |
| 40.25     | 12.25    | -            | -          | 39.75     | 17.25    | 29 to 14     | 29 to 12   | 38.75     | 11.25    | -            | -          | 37.25     | 11.25    | 5 to 20      | 5 to 18    |

the aid of irrigation is that it depends on the input of water into the system, exclusively through rainfall. In the case of the state of Bahia, there was strong correspondence with the time of operation of the precipitating systems in each region, indicating consistency in the recommendations of the dates.

The ZARC was improved, increasing the refinement of the spatial network of this very important decision-making tool in the state of Bahia to mitigate risks in crops of rainfed corn. The satisfactory results in the validation of reanalysis data showed that they are efficient and robust for developing future studies requiring high-resolution meteorological data and providing in-depth knowledge about the climatology of any location.

Weather stations that provide accurate and reliable data are essential for the AZCR and their maintenance and expansion should be encouraged. In this way, the availability of data will increase, and with the reanalysis of data in a complementary way, works such as this one will be more accurate and reliable.

**Authors contributions** The preparation data was made by and analysis were performed by WKM, GCAJ and JIBB. The first draft of the manuscript was written by WKM and the authors ESGS, FFL, JIBB, CACS and EPL commented, rating and proofreading on previous versions of the manuscript to improve. All authors contributed to this study and approved the final manuscript.

**Funding** This work was supported by Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). The authors declare that only the first author has received a grant to conducting her scientific research.

**Data availability** The datasets analyzed in the present study are available in the ECWMF repository [<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-land>], NASA repository [<https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.cpc.globalprecip.html>], and INMET repository [<https://bdmep.inmet.gov.br/>].

## Declarations

**Competing interests** The authors declare no competing interests.

**Conflicts of interest** All authors declare that they have no conflicts of interest or competing interests do disclosure.

**Ethics approval** I state herewith that the material of this article is not being presently considered for publication in any other journal, that its publication is approved by all authors and by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere, including electronically, in the same form, in English or any other language without the written consent of the copyright holder.

**Consent to participate** All authors consent to participate in the submission.

**Consent for publication** All authors read and approved the final manuscript.

## References

- Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M (1998) Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56, Rome
- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA (2021) Capacidade de água disponível - CAD ou AWC dos solos no Brasil. <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/28fe4baa-66f3-4f6b-b0d2-890abf5910c4>. Accessed 1 Feb 2022
- Aparecido LZ, Lorençone PA, Lorençone JA, de Meneses KC, de Moraes JRSC, de Farias MF (2022) Soil water seasonal and spatial variability in Northeast Brazil. *Environ Dev Sustain* 24(5):6136–6152. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01695-4>
- Araújo CSPD, Silva IACE, Ippolito M, Almeida CDGCD (2022) Evaluation of air temperature estimated by ERA5-Land reanalysis using surface data in Pernambuco. *Brazil Environ Monit Assess* 194(5):381. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10047-2>
- Assad ED, Sano EE, Bezerra HS, Silva SC, Lobato EJE (1998) Uso de modelos numéricos de terreno na espacialização de épocas de plantio. In: Assad ED, Sano EE (eds) *Sistemas de informações geográficas: Aplicações na agricultura*. Embrapa Cerrados, Brasília, pp 231–248
- Avala R, Cunha AP, Brito SS, Seluchi ME, Marengo JA, Moraes OL, Carvalho MA (2017) Drought monitoring in the Brazilian Semiarid region. *An Acad Bras Ciênc* 91:e20170209. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170209>
- Baba RK, Vaz MS, Costa JD (2014) Correção de dados agrometeorológicos utilizando métodos estatísticos. *Rev Bras de Meteorol* 29(4):515–526. <https://doi.org/10.1590/0102-778620130611>
- Berthouex PM, Brown LC (2002) *Statistics for environmental Engineers*. Lewis Publishers, New York, USA
- Bosilovich MG, Chen J, Robertson FR, Adler RF (2008) Evaluation of global precipitation in reanalyses. *J Appl Meteorol Climatol* 47(9):2279–2299. <https://doi.org/10.1175/2008JAMC1921.1>
- Brasil (2019) Decreto nº 9.841, de 18 de junho de 2019. [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2019/decreto/D9841.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/D9841.htm). Accessed 16 Sept 2022
- Callegari-Jacques SM (2009) *Bioestatística: Princípios E Aplicações*. Artmed Editora, Porto Alegre, Brazil
- Carvalho AAD, Montenegro AADA, Assis F, Tabosa JN, Cavalcanti RQ, Almeida TA (2019) Spatial dependence of attributes of rainfed maize under distinct soil cover conditions. *Rev Bras De Engenharia Agrícola e Ambiental* 23:33–39. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n1p33-39>
- Casanovas EM, Barassi CA, Andrade FH, Sueldo RJ (2003) Azospillum-Inoculated maize plant responses to irrigation restraints imposed during flowering. *Cereal Res Commun* 31(3):395–402. <https://doi.org/10.1007/BF03543370>
- Chaves RR, Nobre P (2004) Interactions between the sea surface temperature over the South Atlantic Ocean and the South Atlantic Convergence Zone. *Geophys Res Lett* 31:L03204. <https://doi.org/10.1029/2003GL018647>
- Chen M, Shi W, Xie P, Silva VB, Kousky VE, Higgins RW, Janowiak JE (2008) Assessing objective techniques for gauge-based analyses of global daily precipitation. *J Geophys Res: Atmos* 113:D04110. <https://doi.org/10.1029/2007JD009132>
- Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB (2022) Boletim Da Safra de Grãos: 9º Levantamento - Safra 2022/23. <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/gaos/boletim-da-safra-de-gaos>. Accessed 24 June 2023
- Cui W, Dong X, Xi B, Kennedy A (2017) Evaluation of reanalyzed precipitation variability and trends using the gridded gauge-based analysis over the CONUS. *J Hydrometeorol* 18:2227–2248. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-17-0029.1>

- de Souza TS, Nascimento PS (2020) Análise da variabilidade espacial e temporal da precipitação pluviométrica na região hidrográfica do recôncavo sul (BA). *Rev Bras De Climatol* 27:1–18. <https://doi.org/10.5380/abclima.v27i0.68353>
- Escobar GCJ, Reboita MS (2022) Relationship between daily atmospheric circulation patterns and South Atlantic Convergence Zone (SACZ) events. *Atmosfera* 35(1):1–25. <https://doi.org/10.20937/atm.52936>
- Fernandes, IG, Pimenta, FM, Saavedra, OR, Silva, AR (2021) Off-shore validation of ERA5 reanalysis with hub height wind observations of Brazil. *IEEE PES innovative smart grid technologies conference-Latin America*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ISGTLatinAmerica52371.2021.9542993>
- Fonseca HP, Pires GF, Brumatti LM (2022) Spatial and temporal evolution of sowing and the onset of the rainy season in a region of large agricultural expansion in Brazil. *Agronomy* 12(7):1679. <https://doi.org/10.3390/agronomy12071679>
- Frère M, Popov G (1986) Early agrometeorological crop yield assessment. *FAO Plant Production and Protection Paper 73*. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, Italy
- Gleixner S, Demissie T, Diro GT (2020) Did ERA5 improve temperature and precipitation reanalysis over East Africa? *Atmosphere* 11(9):996. <https://doi.org/10.3390/atmos11090996>
- Gomes HB, Ambrizzi T, Silva BFP, Hodges K, Dias PLS, Herdies DL, Silva MCL, Gomes HB (2019) Climatology of easterly wave disturbances over the tropical South Atlantic. *Clim Dyn* 53(3):1393–1411. <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04667-7>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2021) SIDRA: Produção Agrícola Municipal. Rio de Janeiro. <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Accessed 29 June 2021
- Jelinek AR, Chemale F, Van der Beek PA, Guadagnin F, Cupertino JA, Viana A (2014) Denudation history and landscape evolution of the northern East-Brazilian continental margin from apatite fission-track thermochronology. *J S Am Earth Sci* 54:158–181. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2014.06.001>
- Kousky VE (1979) Frontal influences on northeast Brazil. *Mon Weather Rev* 107(9):1140–1153. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1979\)107%3c1140:FIONB%3e2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1979)107%3c1140:FIONB%3e2.0.CO;2)
- Kousky VE (1980) Diurnal rainfall variation in northeast Brazil. *Mon Weather Rev* 108(4):488–498. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1980\)108%3c0488:DRVINB%3e2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1980)108%3c0488:DRVINB%3e2.0.CO;2)
- Kousky VE, Chu PS (1978) Fluctuations in annual rainfall for Northeast Brazil. *J Meteorol Soc Jpn. Ser. II* 56(5):457–465. [https://doi.org/10.2151/jmsj1965.56.5\\_457](https://doi.org/10.2151/jmsj1965.56.5_457)
- Kousky VE, Gan MA (1981) Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. *Tellus* 33(6):538–551. <https://doi.org/10.3402/tellusa.v33i6.10775>
- Lavers DA, Simmons A, Vamborg F, Rodwell MJ (2022) An evaluation of ERA5 precipitation for climate monitoring. *Q J R Meteorol Soc* 148(748):3152–3165. <https://doi.org/10.1002/qj.4351>
- Lenters JD, Kratzb TK, Bowser CJ (2005) Effects of climate variability on lake evaporation: results from a long-term energy budget study of Sparkling Lake, northern Wisconsin (USA). *J Hydrol* 308:168–195. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.10.028>
- Lopes JRF, Dantas MP, Ferreira FEP (2019) Variabilidade da precipitação pluvial e produtividade do milho no semiárido brasileiro através da análise multivariada. *Nativa* 7(1):77–83. <https://doi.org/10.31413/nativa.v7i1.6243>
- Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento - MAPA (2022) Portaria nº 175, de 25 de maio de 2022. <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/programa-nacional-de-zoneamento-agricola-de-risco-climatico/portarias/safra-vigente/bahia>. Accessed 31 May 2021
- Ministério da Agricultura e Pecuária. Programa Nacional de Zoneamento Agrícola de Risco Climático – MAPA (2023). Zoneamento Agrícola. <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/programa-nacional-de-zoneamento-agricola-de-risco-climatico/>. Accessed 22 June 2023
- Marengo JA, Galdos MV, Challinor A, Cunha AP, Marin FR, Vianna MDS, Avala RCS, Alves LM, Moraes OL, Bender F (2022) Drought in Northeast Brazil: a review of agricultural and policy adaptation options for food security. *Clim Res Sustain* 1(1):e17. <https://doi.org/10.1002/cli2.17>
- Martins MA, Tomasella J, Dias CG (2019) Maize yield under a changing climate in the Brazilian Northeast: impacts and adaptation. *Agric Water Manag* 216:339–350. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.02.011>
- Mencia FPH, Zanchi FB, Lopes ERN (2021) Climatic characteristics and their implications among the pedological and topographical aspects of southern Bahia, Brazil. *Rev Bras De Climatol* 29:24–48. <https://doi.org/10.5380/abclima.v29i0.71108>
- Monteiro AFM, Martins FB (2019) Global solar radiation models in Minas Gerais, southeastern Brazil. *Adv Meteorol* 2019:1–17. <https://doi.org/10.1155/2019/9515430>
- Morais MDC, Gan MA, Yoshida MC (2021) Features of the upper tropospheric cyclonic vortices of Northeast Brazil in life cycle stages. *Int J Climatol* 41:E39–E58. <https://doi.org/10.1002/joc.6839>
- Muñoz-Sabater J (2019) ERA5-Land hourly data from 1981 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). <https://doi.org/10.24381/cds.e2161bac>
- Pezzi LP, Quadro MF, Lorenzetti JA, Miller J, Rosa EB, Lima LN, Sutil UA (2022) The effect of Oceanic South Atlantic Convergence Zone episodes on regional SST anomalies: the roles of heat fluxes and upper-ocean dynamics. *Clim Dyn* 59:2041–2065. <https://doi.org/10.1007/s00382-022-06195-3>
- Rao VB, Hada K (1990) Characteristics of rainfall over Brazil: annual variations and connections with the Southern Oscillation. *Theoret Appl Climatol* 42(2):81–91. <https://doi.org/10.1007/BF00868215>
- Rao VB, Lima MC, Franchito SH (1993) Seasonal and interannual variations of rainfall over eastern northeast Brazil. *J Clim* 6(9):1754–1763. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1993\)006%3c1754:SAIVOR%3e2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1993)006%3c1754:SAIVOR%3e2.0.CO;2)
- Reis JS, Gonçalves WA, Mendes D (2021) Climatology of the dynamic and thermodynamic features of upper tropospheric cyclonic vortices in Northeast Brazil. *Clim Dyn* 57(11):3413–3431. <https://doi.org/10.1007/s00382-021-05873-y>
- Rolim GS, Sentelha PC, BarbieriV (1998) Planilhas no ambiente EXCEL TM para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. *Revista Brasileira de Agrometeorologia* 6:133–137. <http://www.sbagro.org/files/biblioteca/171.pdf>. Accessed 3 Oct 2020
- Rosa EB, Pezzi LP, Quadro MFLD, Brunzell N (2020) Automated detection algorithm for SACZ, oceanic SACZ, and their climatological features. *Front Environ Sci* 8:18. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00018>
- Sadeghi M, Asanjan AA, Faridzad M, Goroooh VA, Nguyen P, Hsu K, Sorooshian S, Braithwaite D (2019) Evaluation of PERSIANN-CDR constructed using GPCP V2.2 and V2.3 and a comparison with TRMM 3B42 V7 and CPC Unified Gauge-Based Analysis in Global Scale. *Remote Sens* 11(23):2755. <https://doi.org/10.3390/rs11232755>
- Santos PM, Pezzopane JRM, Mendonça FC, Bettiol GM, Evangelista BA, Silva FAM (2012) Climatic risk zoning for corn and palisade grass (*Brachiaria brizantha* cv: Marandu) cultivated in integrated crop-livestock systems in São Paulo state, Brazil. *Rev Bras De Zootecnia* 41:36–40. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982012000100006>
- Santos GM, Dattilo W, Presley SJ (2014) The seasonal dynamic of ant-flower networks in a semi-arid tropical environment. *Ecol Entomol* 39(6):674–683. <https://doi.org/10.1111/een.12138>

- Santos Neto JC, Gama DC, Silva LF, Jesus JB (2022) Caracterização da precipitação e da vazão no trecho sudoeste da Bacia Hidrográfica do rio Paraguaçu, Bahia, Brasil. *Res, Soc Dev* 11(9):e32911931659–e32911931659. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i9.31659>
- Siefert CAC, Dombrowski Netto N, Marangon FHS, Schultz GB, Silva LMDR, Fontenelle TH, Santos ID (2021) Avaliação de Séries de Velocidade do Vento de Produtos de Reanálises Climáticas para o Brasil. *Rev Bras De Meteorol* 36:689–701. <https://doi.org/10.1590/0102-7786360026>
- Silva BKN, Amorim ACB, Silva C, Lucio PS, Barbosa LM (2019) Rainfall-related natural disasters in the Northeast of Brazil as a response to ocean-atmosphere interaction. *Theoret Appl Climatol* 138(3):1821–1829. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02930-9>
- Simões YS, Silva EHBC, Araújo HA (2018) Rainfall zoning of Bahia State, Brazil: an update proposal. *Ambiente Água an Interdiscip J Appl Sci* 13(1):e2171. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2171>
- Simões YDS, Araújo HAD, Cohim E (2020) Trend analysis of rain indicators for the state of Bahia Brazil. *Int J Hydrol* 4(2):67–74
- Sousa FDASD, Macedo MJH, Guedes RVS, Silva VPR (2016) O Índice de Precipitação Padronizada (IPP) na identificação de extremos de chuvas e secas na bacia do rio Paraguaçu (BA). *Ambiência Guarapuava (PR)* 12(2):707–719. <https://doi.org/10.5935/ambiencia.2016.02.14>
- Sun Q, Miao C, Duan Q, Ashouri H, Sorooshian S, Hsu KL (2018) A review of global precipitation data sets: Data sources, estimation, and inter-comparisons. *Rev Geophys* 56:79–107. <https://doi.org/10.1002/2017RG000574>
- World Meteorological Organization – WMO (1981) *Guide to Hydrological Practice*. Switzerland, Geneva
- World Meteorological Organization – WMO (2017) *Guidelines on the Calculation of Climate Normals*. Switzerland, Geneva
- World Meteorological Organization - WMO (2008) *Guide to Hydrological Practice: Hydrology*. Switzerland, Geneva
- Xavier AC, King CW, Scanlon BR (2016) Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). *Int J Climatol* 36(6):2644–2659. <https://doi.org/10.1002/joc.4518>
- Xavier AC, Scanlon BR, King CW, Alves AI (2022) New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020). *Int J Climatol* 2(16):8390–8404. <https://doi.org/10.1002/joc.7731>
- Yamazaki Y, Rao VB (1977) Tropical cloudiness over the south Atlantic Ocean. *J Meteorol Soc Jpn. Ser. II* 55(2):205–207. [https://doi.org/10.2151/jmsj1965.55.2\\_205](https://doi.org/10.2151/jmsj1965.55.2_205)

**Publisher's Note** Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Springer Nature or its licensor (e.g. a society or other partner) holds exclusive rights to this article under a publishing agreement with the author(s) or other rightsholder(s); author self-archiving of the accepted manuscript version of this article is solely governed by the terms of such publishing agreement and applicable law.