

GOVERNO DO ESTADO DO MARANHÃO
SECRETARIA DE ESTADO DO PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO - SEPLAN
INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS - IMESC
ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO DO MARANHÃO (ZEE-MA) -
ETAPA BIOMA CERRADO E SISTEMA COSTEIRO



DIAGNÓSTICO CLIMÁTICO DO ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO DO ESTADO DO MARANHÃO (ZEE-MA) - ETAPA BIOMA CERRADO E SISTEMA COSTEIRO (RELATÓRIO TÉCNICO)

INSTITUIÇÕES:

IMESC

SEPLAN



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DO
MARANHÃO



FUNDAÇÃO DE APOIO
AO ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO



SÃO LUÍS - MA
2022

Essa publicação conta com a parceria entre o IMESC, a UEMA, a SEPLAN, a FAPEAD, a CPRM, a EMBRAPA e a UFMA.

As informações emitidas nesta publicação são de exclusiva e inteira responsabilidade dos autores, não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista do Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos e outras instituições vinculadas.

Essa publicação está disponível para download gratuito (<http://zee.ma.gov.br/>). É permitida a reprodução deste texto e dos dados nele contidos, desde que citada a fonte.

GOVERNADOR DO ESTADO DO MARANHÃO

Carlos Orleans Brandão da Silva

VICE-GOVERNADOR DO ESTADO DO MARANHÃO

Felipe Costa Camarão

SECRETÁRIO DE ESTADO DO PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO

Luís Fernando Silva

**INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS E
CARTOGRÁFICOS**

Presidenta

Talita de Sousa Nascimento Carvalho

Diretor de Estudos e Pesquisas

Rafael Thalysson Costa Silva

Diretor de Estudos Ambientais e Cartográficos

José de Ribamar Carvalho dos Santos

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO

Reitor

Gustavo Pereira da Costa

Vice-Reitor

Walter Canales Sant'ana

Pró-Reitora de Graduação

Fabiola de Jesus Soares Santana

Pró-Reitora de Pesquisa e Pós-Graduação

Rita de Maria Seabra Nogueira

Pró-Reitor de Extensão e Assuntos Estudantis

Paulo Henrique Aragão Catunda

Pró-Reitor de Gestão de Pessoas

José Rômulo Travassos da Silva

Pró-Reitor de Planejamento e Administração

Antônio Roberto Coelho Serra

COORDENADORA DO ZEE-MA

Talita de Sousa Nascimento Carvalho

COORDENADOR EXECUTIVO DO ZEE-MA (UEMA)

Paulo Henrique de Aragão Catunda

COORDENADOR TÉCNICO DO ZEE-MA (IMESC)

Luiz Jorge Bezerra da Silva Dias

COORDENADOR DO EIXO DE CLIMATOLOGIA

Gunter de Azevedo Reschke

EQUIPE TÉCNICA DE CLIMATOLOGIA

Gunter de Azevedo Reschke

Ronaldo Haroldo N. de Menezes

Carlos Wendell Soares Dias

Carlos Márcio de Aquino Eloi

Hallan David Velasco

Márcio Roberto Bezerra Fialho

APOIO TÉCNICO – ZEE-MA

Anny Karolyn Oliveira Portela

Janderson Rocha Silva

Vitor Raffael Oliveira de Carvalho

NORMALIZAÇÃO

Dyana Pereira

REVISÃO

Marília de Carvalho da Costa

Nayara da Silva Queiroz

Ilza do Socorro Galvão Cutrim

Yamille Priscilla Castro Silva

DIAGRAMAÇÃO

Carlaine de Oliveira Sousa

Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos (IMESC)

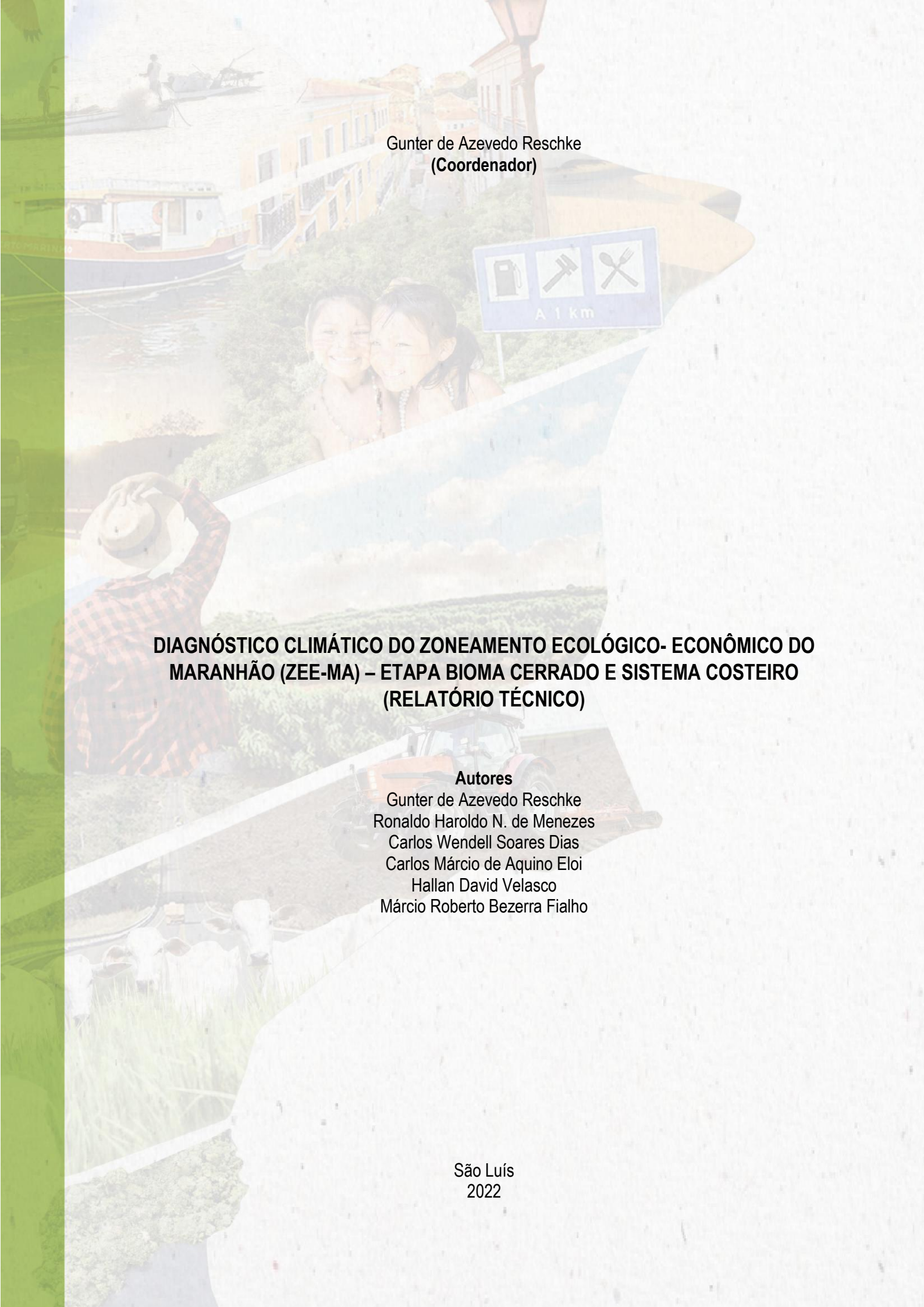
**Diagnóstico Climático do Zoneamento Ecológico- Econômico do
Maranhão (ZEE-MA) – Etapa Bioma Cerrado e Sistema Costeiro (Relatório
Técnico) / Gunter de Azevedo Reschke (Coord.). – São Luís: IMESC, 2022.**

58 p: il. color.

**1. Clima. 2. Meteorologia. 3. Maranhão. I. Reschke, Gunter Azevedo. II.
Título.**

CDU 551 (812.1)

Ficha elaborada pelas Bibliotecárias Dyana Pereira (CRB13/861) / Kádila Moraes (CRB13/815).



Gunter de Azevedo Reschke
(Coordenador)

**DIAGNÓSTICO CLIMÁTICO DO ZONEAMENTO ECOLÓGICO- ECONÔMICO DO
MARANHÃO (ZEE-MA) – ETAPA BIOMA CERRADO E SISTEMA COSTEIRO
(RELATÓRIO TÉCNICO)**

Autores

Gunter de Azevedo Reschke
Ronaldo Haroldo N. de Menezes
Carlos Wendell Soares Dias
Carlos Márcio de Aquino Eloi
Hallan David Velasco
Márcio Roberto Bezerra Fialho

São Luís
2022

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma metodológico das etapas para caracterização climática dos Biomas Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão	6
Figura 2 – Distribuição espacial das estações utilizadas na análise	8
Figura 3 – Sistemas produtores de tempo que influenciam as chuvas no Maranhão: a) ZCAS, b) ZCIT, c) VCAN e d) Ondas de Leste	11
Figura 4 – Distribuição espacial da precipitação anual no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão	12
Figura 5 – Distribuição espacial da temperatura média do ar anual no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão	14
Figura 6 – Distribuição espacial da evapotranspiração potencial anual no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão	16
Figura 7 – Distribuição espacial dos componentes de excesso hídrico anual no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão	18
Figura 8 – Distribuição espacial dos componentes de deficiência hídrica anual no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão	19
Figura 9 – Classificação espacial da erosividade anual das chuvas no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão	21
Figura 10 – Distribuição espacial do índice de aridez anual nos Biomas Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão	23
Figura 11 – Estação de crescimento no início do período de chuvas no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão	25
Figura 12 – Estação de crescimento no fim do período de chuvas no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão	26
Figura 13 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do arroz de sequeiro no mês de outubro	29
Figura 14 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do arroz de sequeiro no mês de novembro	30
Figura 15 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do arroz de sequeiro no mês de dezembro	31
Figura 16 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do arroz de sequeiro no mês de janeiro	32

Figura 17 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do arroz de sequeiro no mês de fevereiro.....	33
Figura 18 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura da soja em outubro...	35
Figura 19 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura da soja em novembro	36
Figura 20 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura da soja em dezembro	37
Figura 21 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura da soja em janeiro.....	38
Figura 22 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura da soja em fevereiro .	39
Figura 23 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura da soja em março	40
Figura 24 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do milho em outubro .	42
Figura 25 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do milho em novembro	43
Figura 26 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do milho em dezembro	44
Figura 27 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do milho em janeiro .	45
Figura 28 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do milho em fevereiro	46
Figura 29 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do milho em março ...	47
Figura 30 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do feijão em outubro .	49
Figura 31 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do feijão em novembro	50
Figura 32 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do feijão em dezembro	51
Figura 33 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do feijão em janeiro ..	52
Figura 34 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do feijão em fevereiro	53
Figura 35 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do feijão em março ...	54
Gráfico 1 – Exemplo da análise de consistência para localidade chapadinha na região homogênea do Baixo Parnaíba.....	9
Quadro 1 – Percentual de área favorável (menor risco climático) ao plantio das culturas de sequeiro em relação à área do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão	55

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Variáveis utilizadas no diagnóstico e quantitativo de mapas gerados.....	7
---	---

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	5
2	ATIVIDADES DESENVOLVIDAS	6
3	RESULTADOS	8
3.1	Aquisição de dados climáticos, análise e cálculos de indicadores climáticos	8
3.2	Mapas temáticos	10
3.2.1	Precipitação pluvial	10
3.2.2	Temperatura do ar	13
4.2.3	Evapotranspiração potencial	15
3.2.4	Excesso e deficiência hídrica	17
3.2.5	Erosividade das chuvas	20
3.2.6	Índice de Aridez	22
3.2.7	Risco climático para plantio de cultivos agrícolas	24
3.2.7.1	<i>Estação de crescimento</i>	24
3.2.7.2	<i>Áreas com menor risco climático para o plantio</i>	27
3.2.7.3	<i>Arroz de sequeiro</i>	27
3.2.7.4	<i>Soja</i>	34
3.2.7.5	<i>Milho</i>	41
3.2.7.6	<i>Feijão-caupi</i>	48
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
	REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

O Bioma Cerrado e o Sistema Costeiro do Maranhão compreendem uma área de transição climática entre a Amazônia e a Caatinga. Suas posições geográficas favorecem a atuação de diferentes sistemas meteorológicos produtores de chuvas que, aliados às características fisiográficas, contribuem para a definição dos padrões climáticos observados.

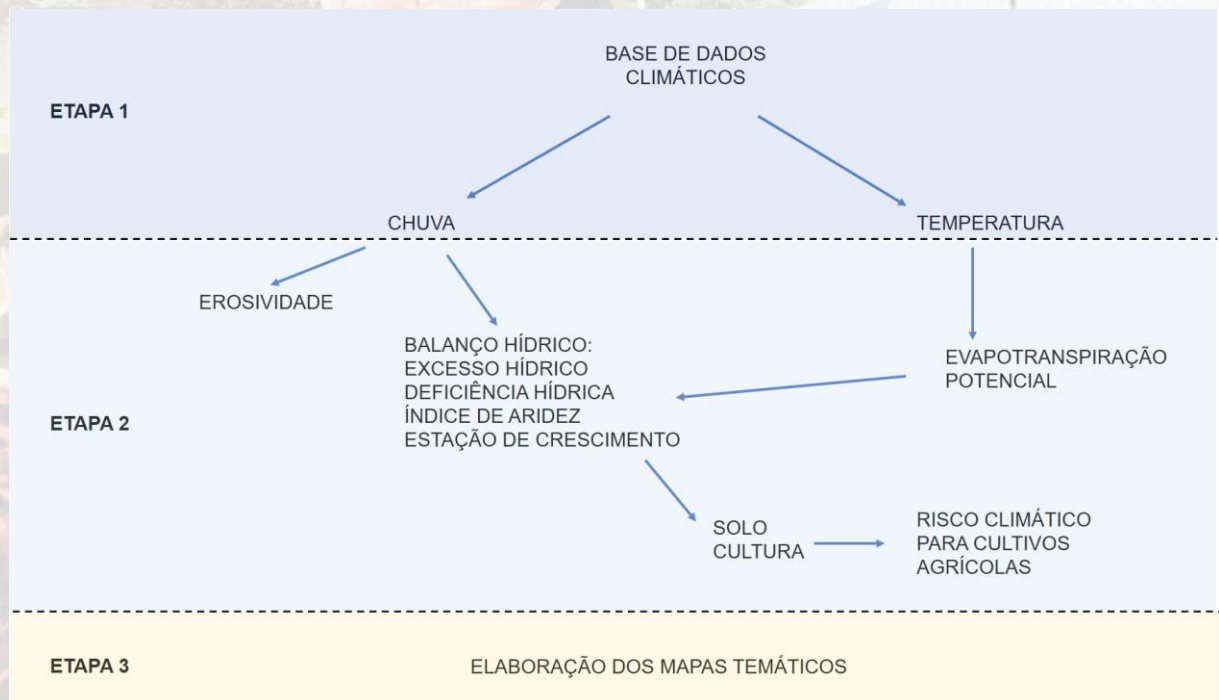
A compreensão da variabilidade espaço-temporal de variáveis climáticas é essencial para avaliar determinadas características dos ecossistemas existentes sobre a região, suas potencialidades e vulnerabilidades. Nesse sentido, realizou-se o levantamento e a análise das fontes de dados meteorológicos observados, como a precipitação pluvial e a temperatura do ar.

Mediante essas observações, foram aplicados métodos para a construção de indicadores climáticos que permitem avaliar as condições de vulnerabilidade a que o Bioma está submetido, a saber: evapotranspiração potencial – importante para a avaliação da demanda atmosférica e estabelecimento das condições climáticas; a erosividade provocada pelas chuvas para avaliar as áreas potencialmente favoráveis à erosão; as condições de aridez, como subsídio para avaliar o estado da vegetação, do solo, bem como a suscetibilidade a processos de desertificação; o balanço hídrico climático para a avaliação das condições hídricas fundamentais à manutenção dos ecossistemas existentes, bem como o balanço hídrico para fins agrícolas, utilizados na avaliação dos riscos climáticos para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável.

2 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

As atividades para a elaboração do diagnóstico climático do Bioma foram definidas em três etapas, conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma metodológico das etapas para caracterização climática dos Biomas Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão



Fonte: Elaboração própria.

A etapa 1 teve por objetivo organizar uma base de dados climáticos consistentes para os estudos diagnósticos do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão. Com base nos acervos de dados da Agência Nacional de Águas (ANA) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), foram adquiridos os dados climáticos referentes aos elementos precipitação pluvial e temperatura média do ar, respectivamente, em escala de tempo mensal e para um período de 30 anos (1987-2016). Os dados de precipitação pluvial foram submetidos à análise no sentido de identificar falhas e inconsistências. As falhas nos dados, referentes aos meses sem observação, foram preenchidas pelo método da ponderação regional, já a análise de consistência, pelo método da dupla massa.

Na etapa 2, com base nos dados básicos supracitados, foram determinados indicadores climáticos para a avaliação da erosividade promovida pelas chuvas (LOMBARDI NETO; MOLDENHAUER, 1992); da Aridez (THORNTHWAITE; HOLZMAN, 1941; PENMAN, 1953); dos períodos de excesso e deficiência de água para avaliação climática por meio do método proposto por Thornthwaite e Mather (1955), sendo utilizada a Capacidade de Água Disponível de 100 mm. O Índice

de Satisfação das Necessidades de Água (ISNA), determinado pelo programa SARRAZON (Sistema de Análise Regional dos Riscos Agroclimáticos), segundo Baron *et al.* (1996), foi utilizado na avaliação da disponibilidade hídrica em cultivos agrícolas, para a identificação das áreas favoráveis ao plantio com minimização de risco de perdas agrícolas. Nessa etapa foi constituída a matriz final de dados para a elaboração dos mapas temáticos, desenvolvidos na etapa 3.

Na etapa 3, foram elaborados mapas trimestrais e anuais, com o propósito de avaliar a sazonalidade espacial trimestral e a variabilidade espacial anual das variáveis supracitadas. Para a elaboração dos mapas temáticos das referidas variáveis, foi utilizado o software *Surfer 17.0*. Foram elaborados 63 mapas, distribuídos de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 – Variáveis utilizadas no diagnóstico e quantitativo de mapas gerados

Variável	Quantitativo de mapas
Precipitação Pluvial	05
Temperatura do Ar	05
Evapotranspiração Potencial	05
Excesso Hídrico	05
Deficiência Hídrica	05
Índice de Aridez	01
Índice de Erosividade das Chuvas	05
Índice de Satisfação das Necessidade de Água para cultivos agrícolas	32
TOTAL	63

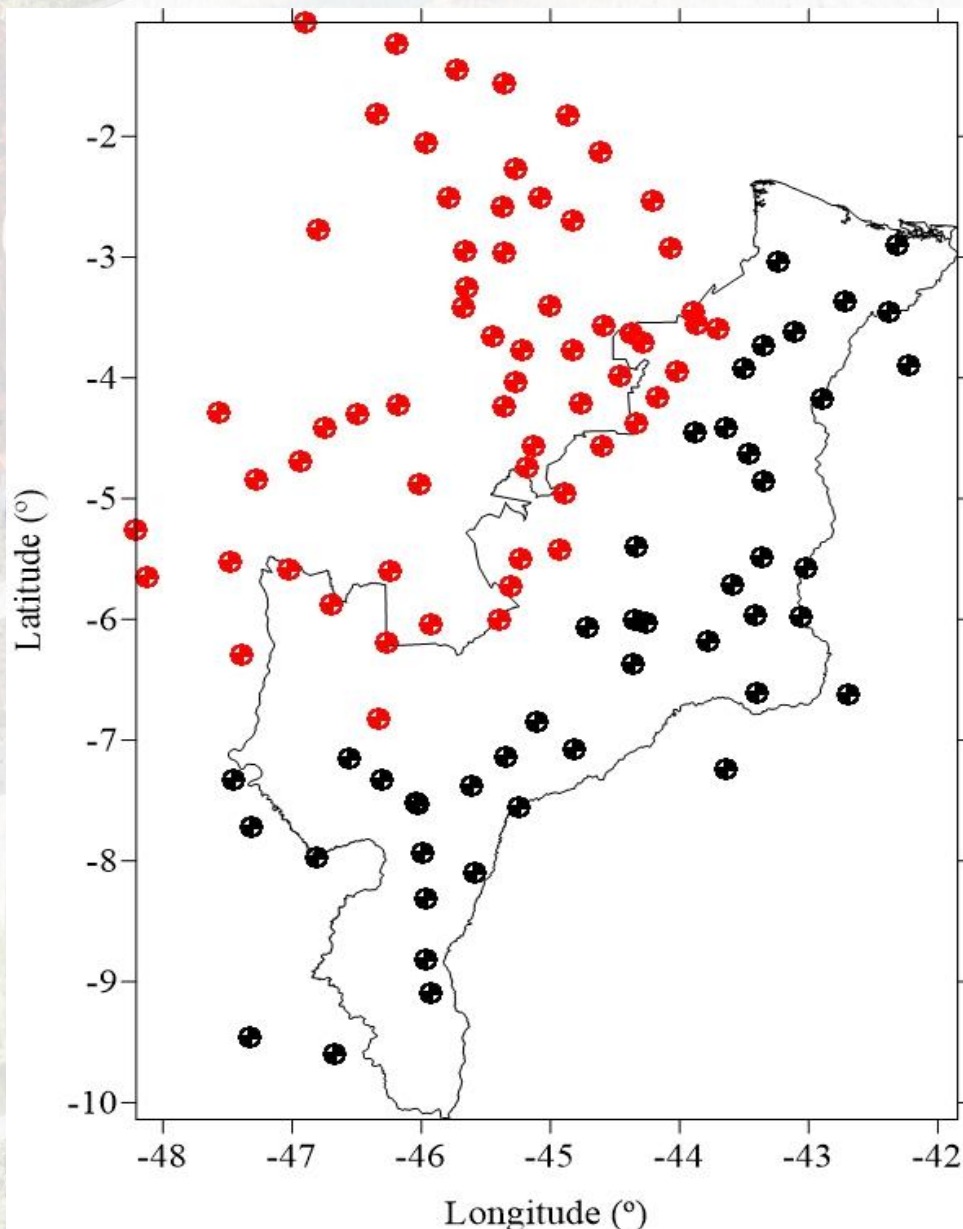
Fonte: Elaboração própria.

3 RESULTADOS

3.1 Aquisição de dados climáticos, análise e cálculos de indicadores climáticos

Após a obtenção dos dados, foram selecionadas 52 estações meteorológicas, dentre as quais 46, após analisadas, foram utilizadas no estudo (Figura 2). Ressalta-se que os dados relativos a estações localizadas no Bioma Amazônico do Maranhão, também identificados na Figura 2, foram incorporados, posteriormente, à base do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro, totalizando 108 estações meteorológicas, além de algumas estações nos estados do Piauí e Tocantins.

Figura 2 – Distribuição espacial das estações utilizadas na análise

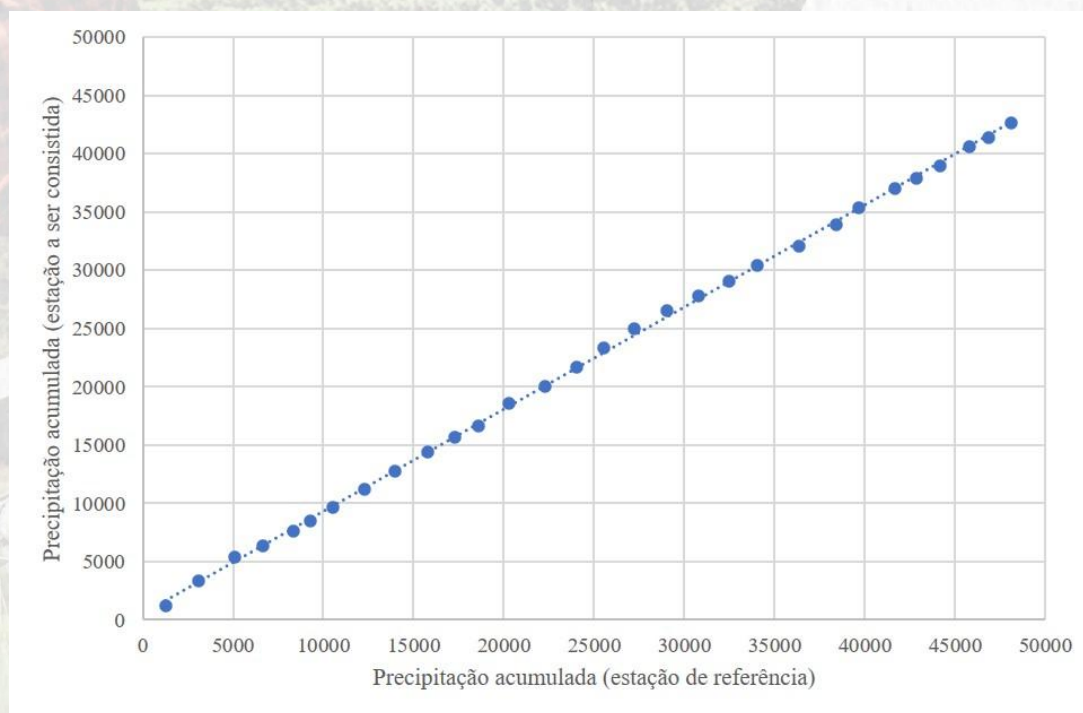


Fonte: Elaboração própria (2021).

As análises consistiram inicialmente na identificação de dados faltosos e verificação de consistência. As estações de coleta dos dados meteorológicos foram distribuídas de acordo com as regiões homogêneas de precipitação (MENEZES, 2009), localizadas dentro dos limites geográficos do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão. Foram identificadas 9 estações na região do Baixo Parnaíba, 4 na região dos Cocais, 14 na região da Chapada do Alto Itapecuru, 5 na região das Chapadas das Mangabeiras e 14 na região de Gerais de Balsas, totalizando 46 estações.

Para cada uma das regiões, foram identificadas as falhas nos dados. Diante disso, foi feita a reconstrução da base de dados e, após a resolução das falhas, não foram identificados problemas que inviabilizassem seu uso. No Gráfico 1, tem-se um exemplo da análise de consistência, realizada para a estação de Chapadinha (estação a ser consistida), tendo como estação de referência a estação de Esperantina, na região homogênea de precipitação do Baixo Parnaíba maranhense. A condição é que os pontos sejam alinhados, conforme o Gráfico 1, o que indica que os dados são consistentes. Esse teste foi aplicado em todas as estações para avaliar o nível de consistência dos dados.

Gráfico 1 – Exemplo da análise de consistência para localidade chapadinha na região homogênea do Baixo Parnaíba



Fonte: Elaboração própria (2021).

Na etapa 2, os dados de precipitação pluvial e temperatura do ar foram utilizados na determinação dos indicadores de erosividade das chuvas, aridez, disponibilidade hídrica (excesso e deficiência de água no solo) e disponibilidade hídrica para cultivos agrícolas (ISNA) para avaliação do risco climático.

Por fim, na etapa 3, foram elaborados os mapas temáticos que serviram de base para o diagnóstico climático. O intuito era analisar a dinâmica climática do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão sob uma visão geográfica, de forma a entender a interrelação com as características dos ecossistemas existentes na região.

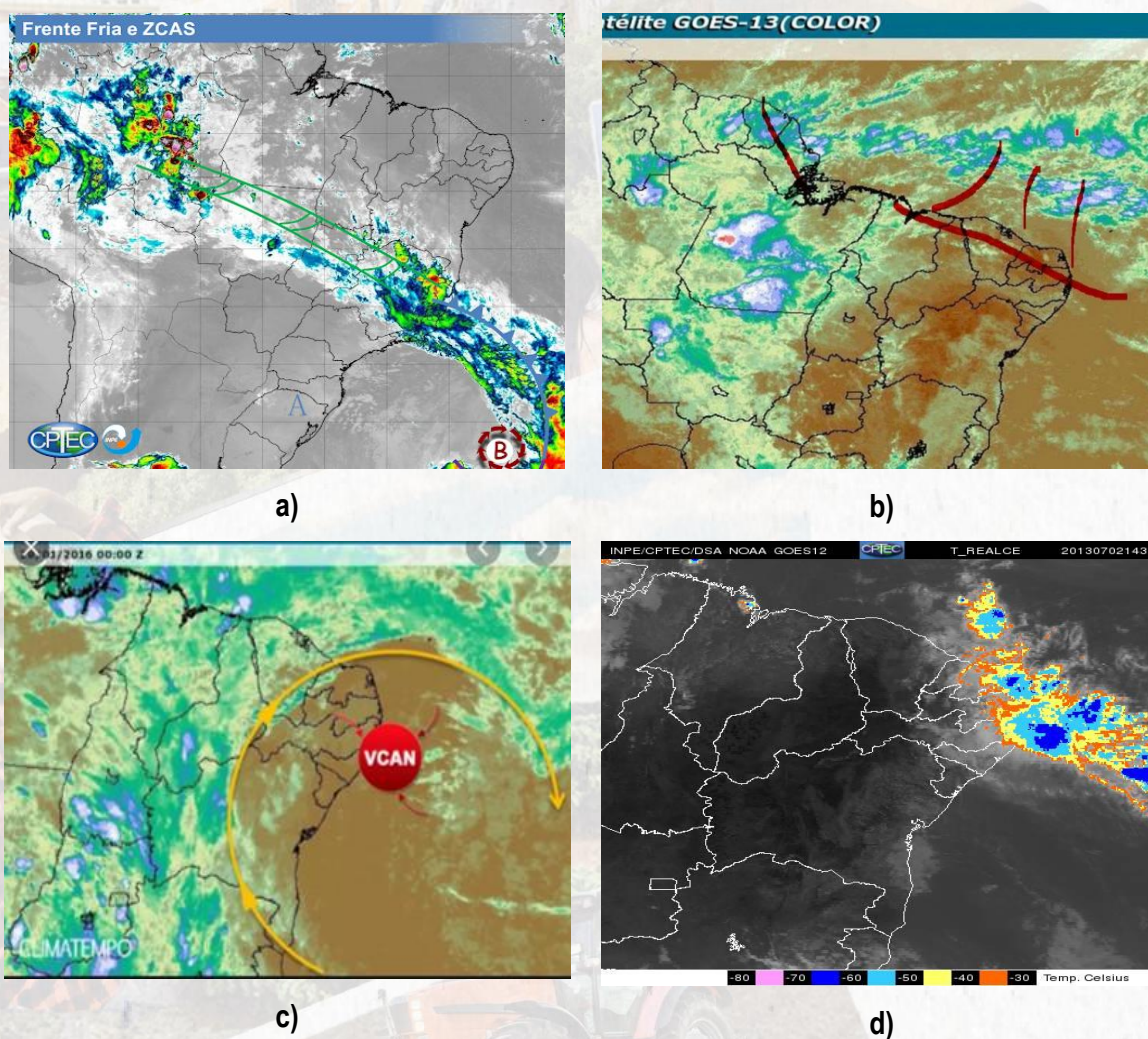
3.2 Mapas temáticos

3.2.1 Precipitação pluvial

A precipitação pluvial sobre a região de domínio do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão apresenta variabilidade espacial consistente com a atuação dos diferentes sistemas produtores de chuvas durante o ano. O Bioma encontra-se posicionado geograficamente entre dois principais sistemas produtores de chuvas. A porção sul apresenta regime de chuvas influenciado pela Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (Figura 3a), que contribui para os eventos de chuvas que ocorrem de outubro até abril. Por outro lado, na porção norte, os eventos de chuvas só começam a partir de dezembro com término em julho, nesse caso, condicionado, principalmente, pela atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (Figura 3b), principal sistema produtor de chuvas nessa porção da região nos meses de fevereiro a maio.

Aliado a esses sistemas, estão os chamados sistemas transientes, que apresentam tempo de duração mais curto entre a formação e dissipação, como os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) (Figura 3c) e os distúrbios ondulatórios de leste, conhecidos como ondas de leste (Figura 3d). O VCAN é importante para estabelecer a distribuição espacial e temporal das chuvas, durante os meses de dezembro e janeiro, meses de maior incidência desse sistema. Esses são considerados próprios da pré-estação chuvosa da porção norte e da estação chuvosa da porção sul do bioma, uma vez que podem induzir áreas de instabilidade e ocorrência de chuvas ou inibir as atividades convectivas, reduzindo consideravelmente as chuvas.

Figura 3 – Sistemas produtores de tempo que influenciam as chuvas no Maranhão: a) ZCAS, b) ZCIT, c) VCAN e d) Ondas de Leste



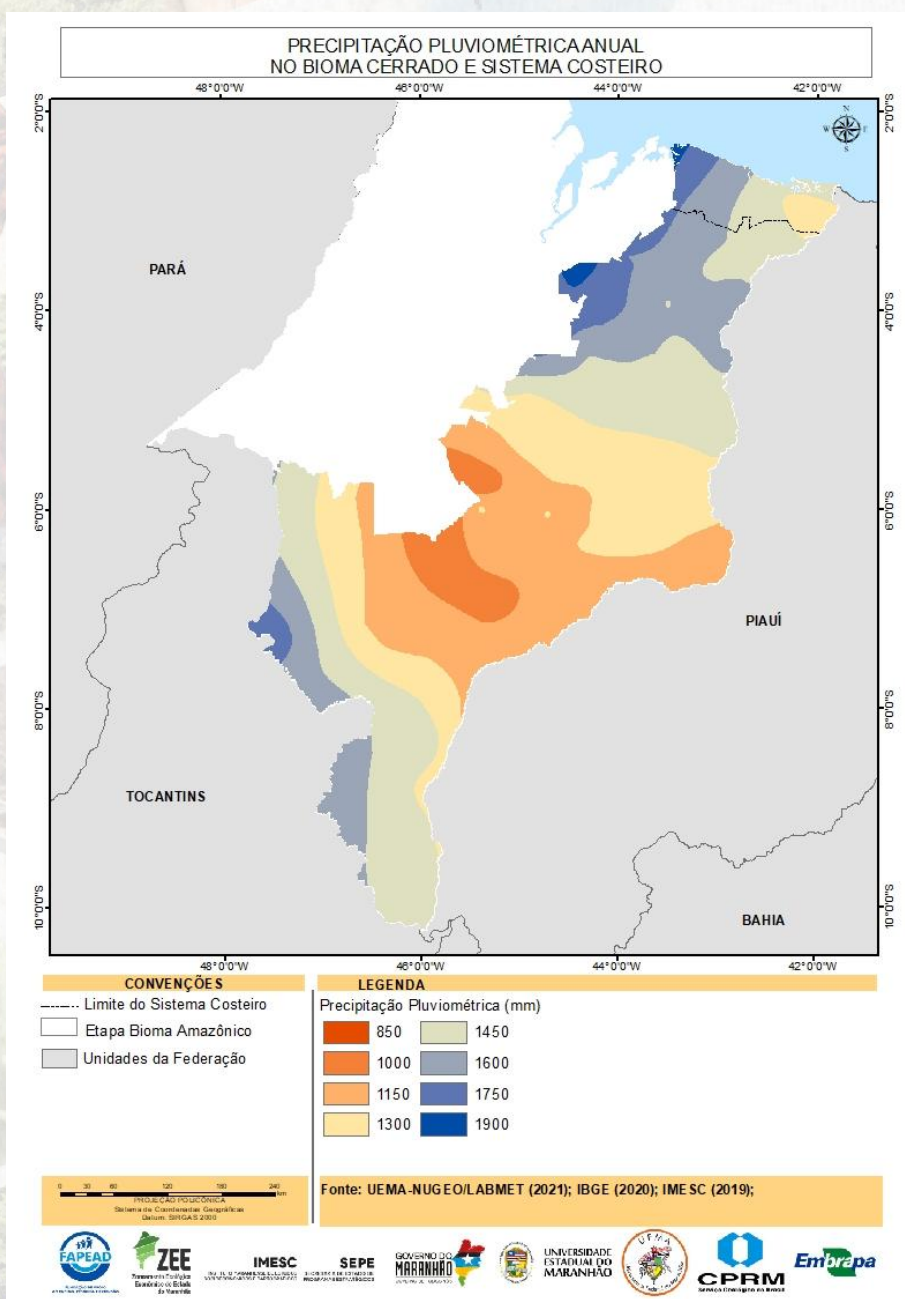
Fonte: Elaboração própria.

Ressalta-se que as chuvas da pré-estação da porção norte servem para o restabelecimento das condições hídricas depois de um longo período de estiagem e marcam, também, o início das atividades agrícolas da região. Por outro lado, para a porção sul do Bioma Cerrado, nos meses acima referidos, o período chuvoso já está estabelecido e, dependendo da posição do VCAN, poderá inibir as chuvas, promovendo longos períodos de estiagem, conhecidos como verânicos, que podem comprometer a produção de grãos na região, uma vez que as culturas se encontram no período do ciclo produtivo de maior exigência hídrica. As ondas de leste, por outro lado, condicionam as chuvas pós-estação chuvosa do Bioma, principalmente nos meses de junho e julho na porção norte que compreende a região costeira.

A Figura 4 mostra a distribuição espacial anual das chuvas na área do Bioma Cerrado e do Sistema Costeiro do Maranhão. Destaca-se uma área de transição entre as chuvas da porção sul e

norte do Bioma, localizada na porção central, onde se concentram os menores volumes de chuvas anuais, entre 850 mm e 1150 mm. Essa é uma área que exige atenção, pois o baixo volume de chuvas não atende à demanda estabelecida pela evapotranspiração potencial, o que reflete na disponibilidade de água para a manutenção do ecossistema existente nessa porção do Bioma. No Litoral Oriental, mais especificamente, na região do Baixo Parnaíba Maranhense, observam-se áreas com totais anuais de chuva entre 1150 mm e 1450 mm. As áreas que recebem um maior volume de chuvas se concentram no extremo sul, acima de 1450 mm e no extremo norte, acima de 1600 mm anuais.

Figura 4 – Distribuição espacial da precipitação anual no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão



Ressalta-se que os padrões normais de precipitação apresentados neste diagnóstico, bem como os indicadores analisados, de alguma forma associados ao regime de chuvas, estão sujeitos a alterações devido à variabilidade interanual das chuvas no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão, que normalmente está condicionada aos padrões de aquecimento das águas dos Oceanos Pacífico e Atlântico Tropicais.

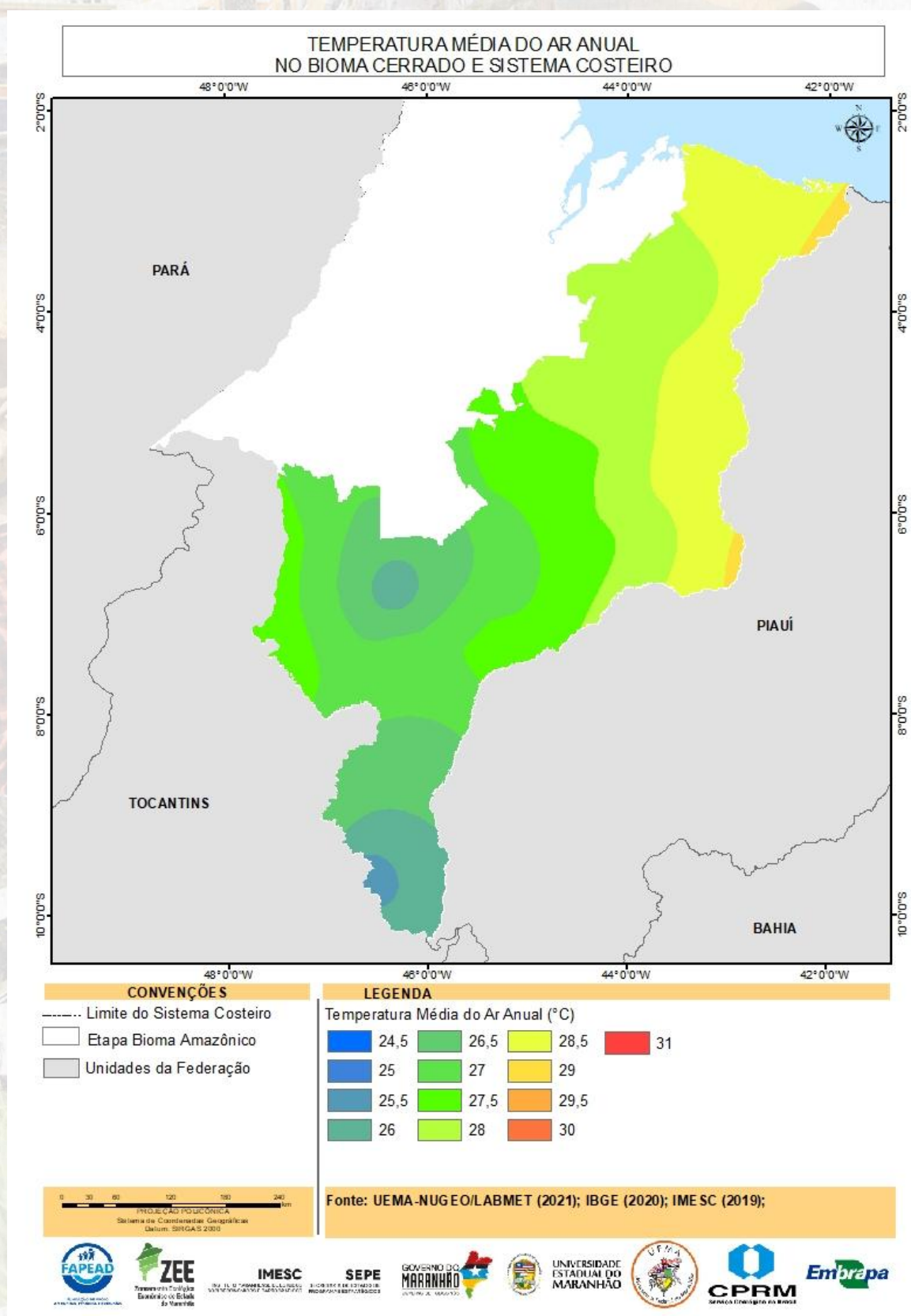
Os anos considerados secos, normalmente, estão associados ao aquecimento das águas do Pacífico Tropical e ao aquecimento das águas do Atlântico Norte, enquanto os anos chuvosos estão relacionados ao resfriamento das águas na região supracitada e ao aquecimento das águas do Atlântico Sul. Esses padrões de aquecimento e resfriamento das águas nos oceanos citados acima contribuem para mudanças no padrão da circulação global, o que explica as mudanças observadas no regime de chuvas da região, pois os principais sistemas produtores de chuvas estão ligados a essa circulação.

3.2.2 Temperatura do ar

O Bioma Cerrado e o Sistema Costeiro do Maranhão, por estarem localizados na faixa intertropical, apresentam grande incidência de radiação solar e longos períodos de insolação anualmente, o que contribui para as altas temperaturas do ar observadas. Porém, a sazonalidade da temperatura média do ar, não mostrada, depende do regime de chuvas, cujos maiores valores se concentram durante o período considerado seco, que no sul corresponde ao trimestre julho-agosto-setembro e no norte ao trimestre agosto-setembro-outubro, proporcionado pela redução da nebulosidade e pelo aumento da radiação solar incidentes na superfície. Por outro lado, durante o período chuvoso, o aumento da nebulosidade reduz a incidência da radiação solar direta na superfície que, aliado às frequentes ocorrências de chuvas, promovem a redução da temperatura do ar. Na porção norte, essa condição predomina entre os meses de janeiro a julho e, na porção Sul, entre os meses de outubro a abril.

Portanto, a sazonalidade espacial da temperatura do ar sobre a área do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão segue a sazonalidade característica do regime de chuvas. A Figura 5 mostra a distribuição espacial da temperatura média do ar anual sobre a área que compreende o Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão. Observa-se que anualmente as temperaturas médias do ar mais elevadas se concentram na porção leste da região, estendendo-se até a porção costeira do Bioma, com valores acima de 28°C. Por outro lado, no sul da região, os valores ficam em torno de 25°C, mostrando claramente a influência do relevo.

Figura 5 – Distribuição espacial da temperatura média do ar anual no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão

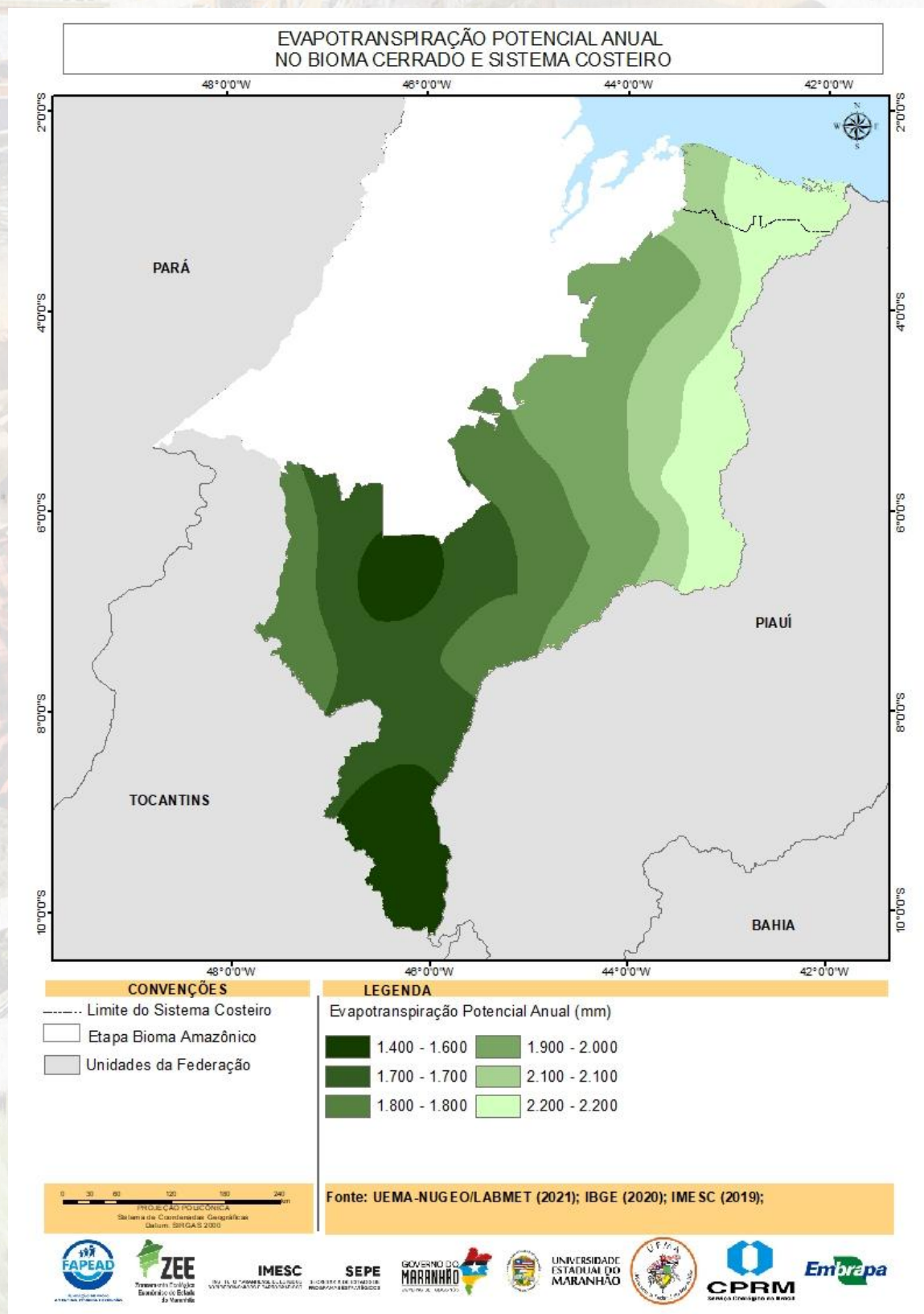


4.2.3 Evapotranspiração potencial

Os Valores normalmente elevados de temperatura do ar, em decorrência da intensa radiação solar e insolação, contribuem para as taxas elevadas de evapotranspiração observada sobre a região, o que condiciona o predomínio de clima subúmido seco e áreas com tipo climático seco subúmido, principalmente na porção sudeste. Essa condição ocorre em virtude dos totais de chuvas, que ocorrem ao longo da região, não atenderem à demanda exigida pela evapotranspiração potencial, o que promove restrição hídrica e deixa a região vulnerável a aridez e processos de desertificação.

Conforme identificado na Figura 6, as perdas anuais de água por evapotranspiração são elevadas, variam entre 1400 mm a 2150 mm, sendo os menores valores concentrados no extremo sul e os maiores valores no leste da região do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão, sendo condizente com o padrão térmico observado.

Figura 6 – Distribuição espacial da evapotranspiração potencial anual no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão



3.2.4 Excesso e deficiência hídrica

O aumento da demanda hídrica, estabelecida pela evapotranspiração em decorrência das altas temperaturas observadas na região do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão, e a falta de planejamento e gestão dos recursos hídricos trazem impactos ambientais e afetam determinadas atividades que dependem da disponibilidade hídrica. Portanto, essa disponibilidade reflete nas características climáticas, sendo de grande importância para a produção de alimentos e para a manutenção dos ecossistemas existentes na região.

O balanço hídrico climático, utilizado na caracterização climática regional, é o resultado do processo de interação solo-planta-atmosfera e serve para comparar e identificar os períodos de excesso (úmido) ou deficiência de água (seco). Esse fator é fundamental para o planejamento agrícola, identificação de áreas aptas ou inaptas para o cultivo de determinadas culturas, determinação de épocas para a implantação dos cultivos agrícolas, escolha do sistema de cultivo (sequeiro ou irrigado), além de servir para elaboração de estudos hidrológicos.

O Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão apresenta os maiores volumes de excesso hídrico anual concentrados no norte e sul/sudoeste e os menores concentrados na porção sudeste da região, conforme observado na Figura 7. Devido à distribuição espacial das chuvas ser irregular sobre a área do Bioma, observa-se uma sazonalidade, não mostrada, em que no norte, os excessos hídricos se concentram nos dois trimestres do ano, enquanto no sul, o excesso ocorre entre os meses de outubro a abril. Por outro lado, a deficiência hídrica anual é mais acentuada no leste da região, reduzindo para o sul/sudoeste, como observado na Figura 8.

Figura 7 – Distribuição espacial dos componentes de excesso hídrico anual no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão

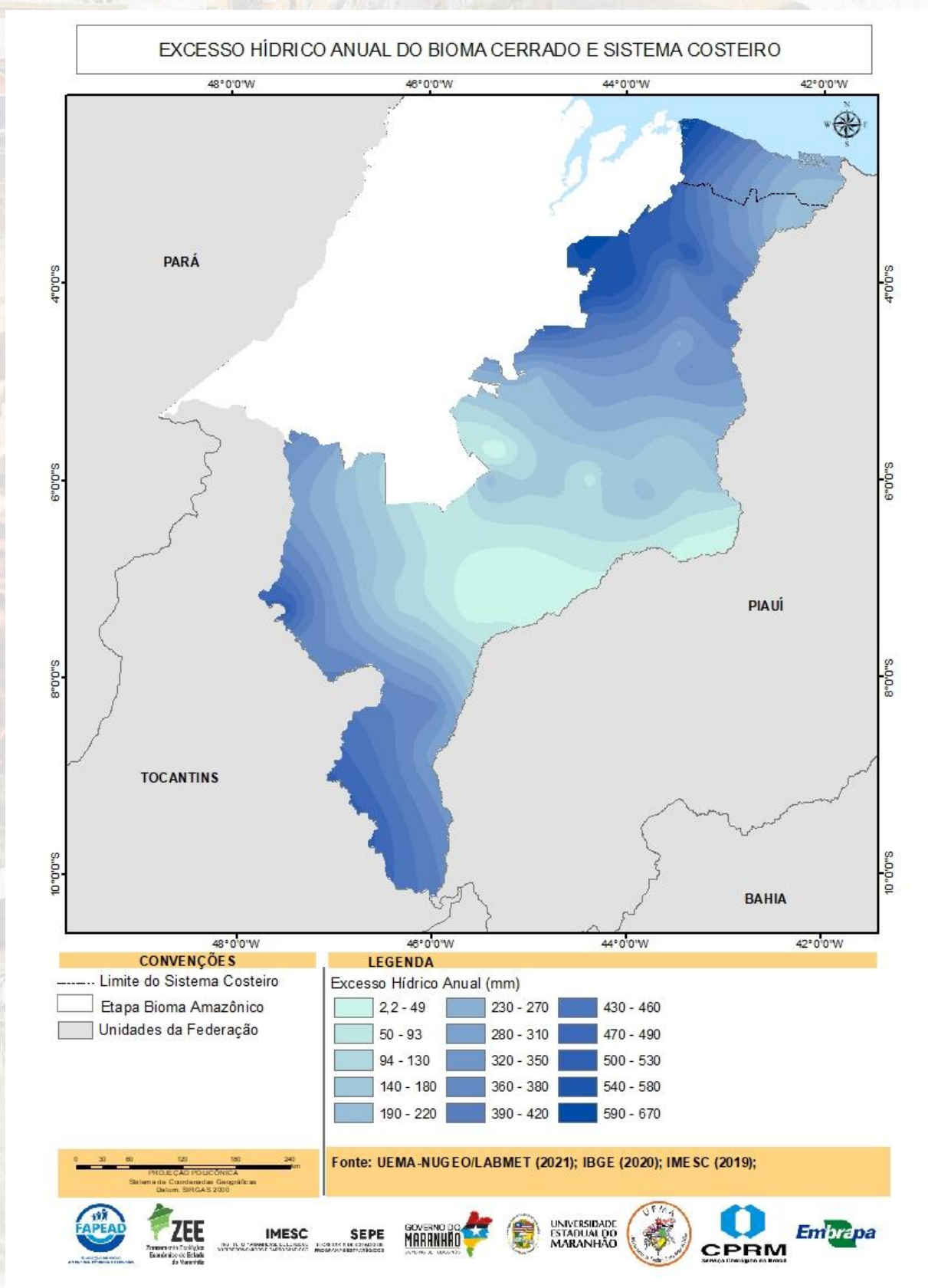
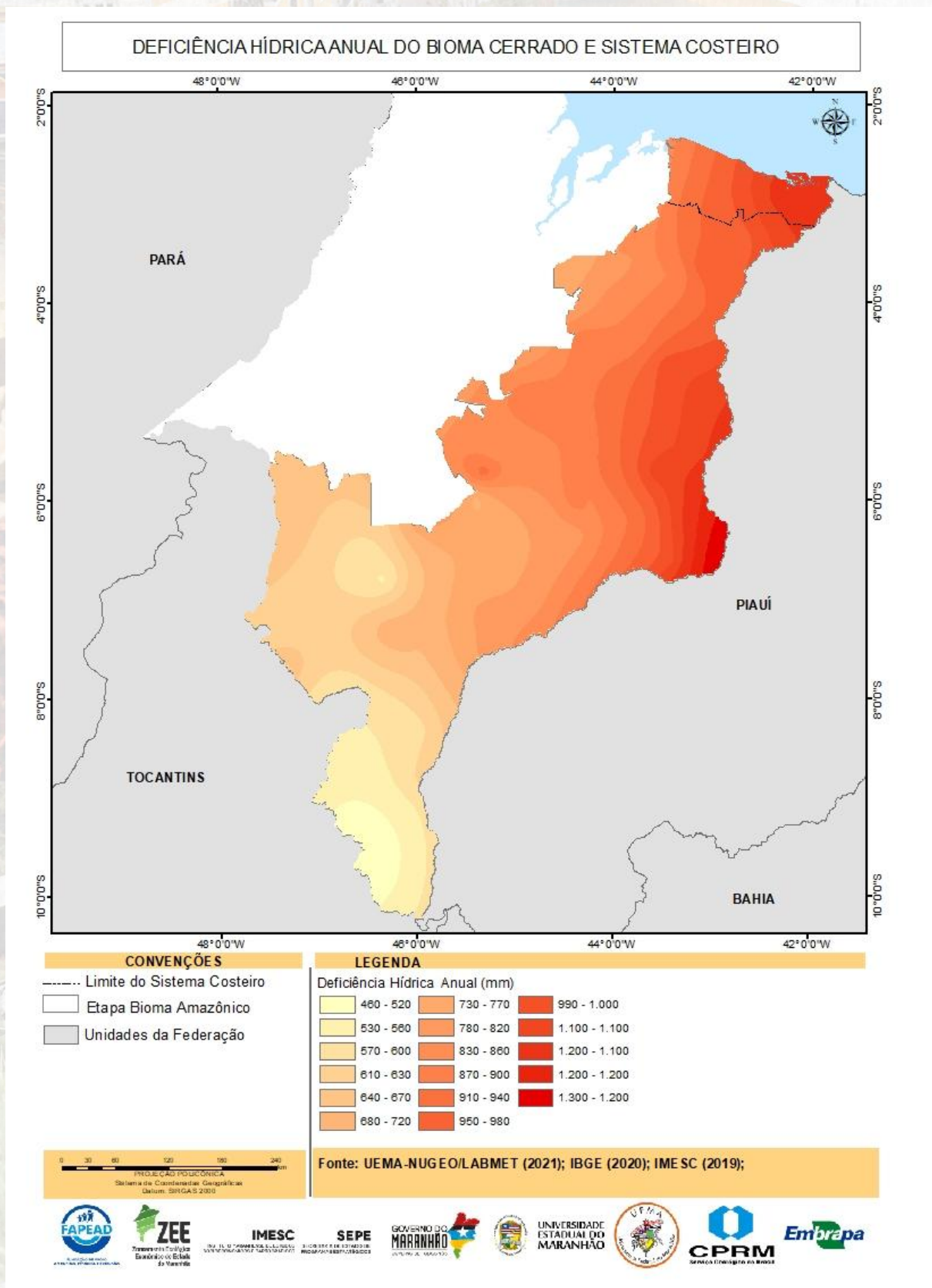


Figura 8 – Distribuição espacial dos componentes de deficiência hídrica anual no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão



3.2.5 Erosividade das chuvas

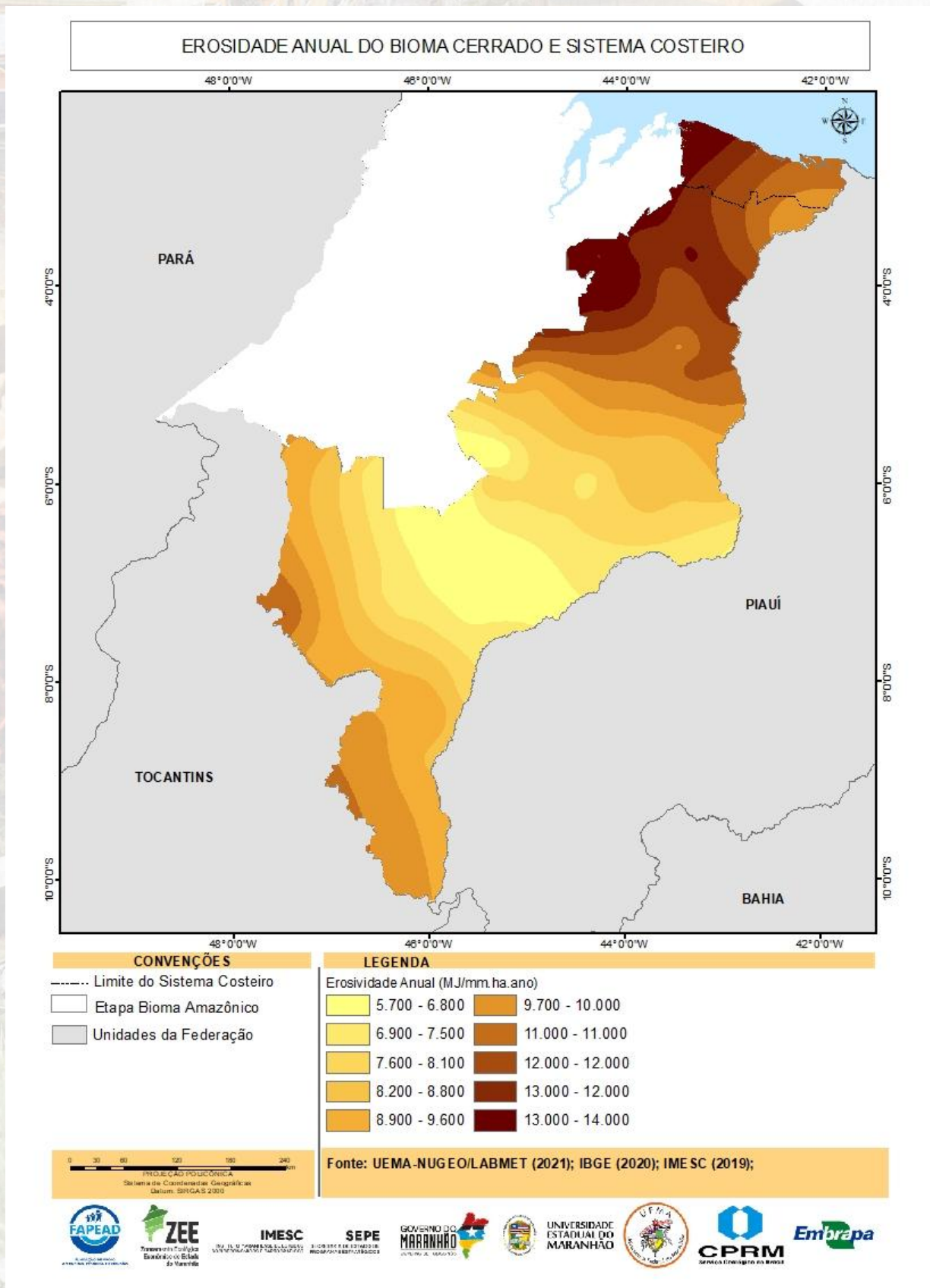
Com relação à erosividade anual das chuvas (Figura 9), observa-se maior suscetibilidade à erosão principalmente na parte norte do Bioma, e menor, na porção sudeste e sul da região. O Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão está sujeito à atuação de sistemas convectivos que são responsáveis por ocorrências de chuvas intensas, com grandes volumes concentrados em um tempo muito curto, o que gera impacto no solo e, consequentemente, suscetibilidade à erosão.

Na porção norte da região do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão, observa-se potencial de erosividade muito forte. Nos outros setores da região do Bioma, a erosividade varia de forte à moderada. Portanto, o estudo da erosividade do solo é fundamental para o planejamento, visando à conservação do solo da região.

Em função da variabilidade espacial das chuvas, observa-se uma sazonalidade da erosividade, não evidenciada na Figura 9. Na porção norte do Bioma, a suscetibilidade à erosividade é maior entre os meses de fevereiro a maio, e menor, entre agosto e novembro. Enquanto na porção sul, a suscetibilidade à erosividade é maior entre os meses de novembro a fevereiro, e menor, entre maio e setembro.

Ressalta-se que a erosividade elevada não está, necessariamente, relacionada ao total de chuvas, mas sim à intensidade dessas chuvas. As características das chuvas observadas sobre o Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão são normalmente do tipo convectivas que, além de favorecer elevados volumes de chuvas, ocorrem de forma concentrada e em grande intensidade, gerando, consequentemente, energia cinética suficiente para a ocorrência de processos erosivos no solo.

Figura 9 – Classificação espacial da erosividade anual das chuvas no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão

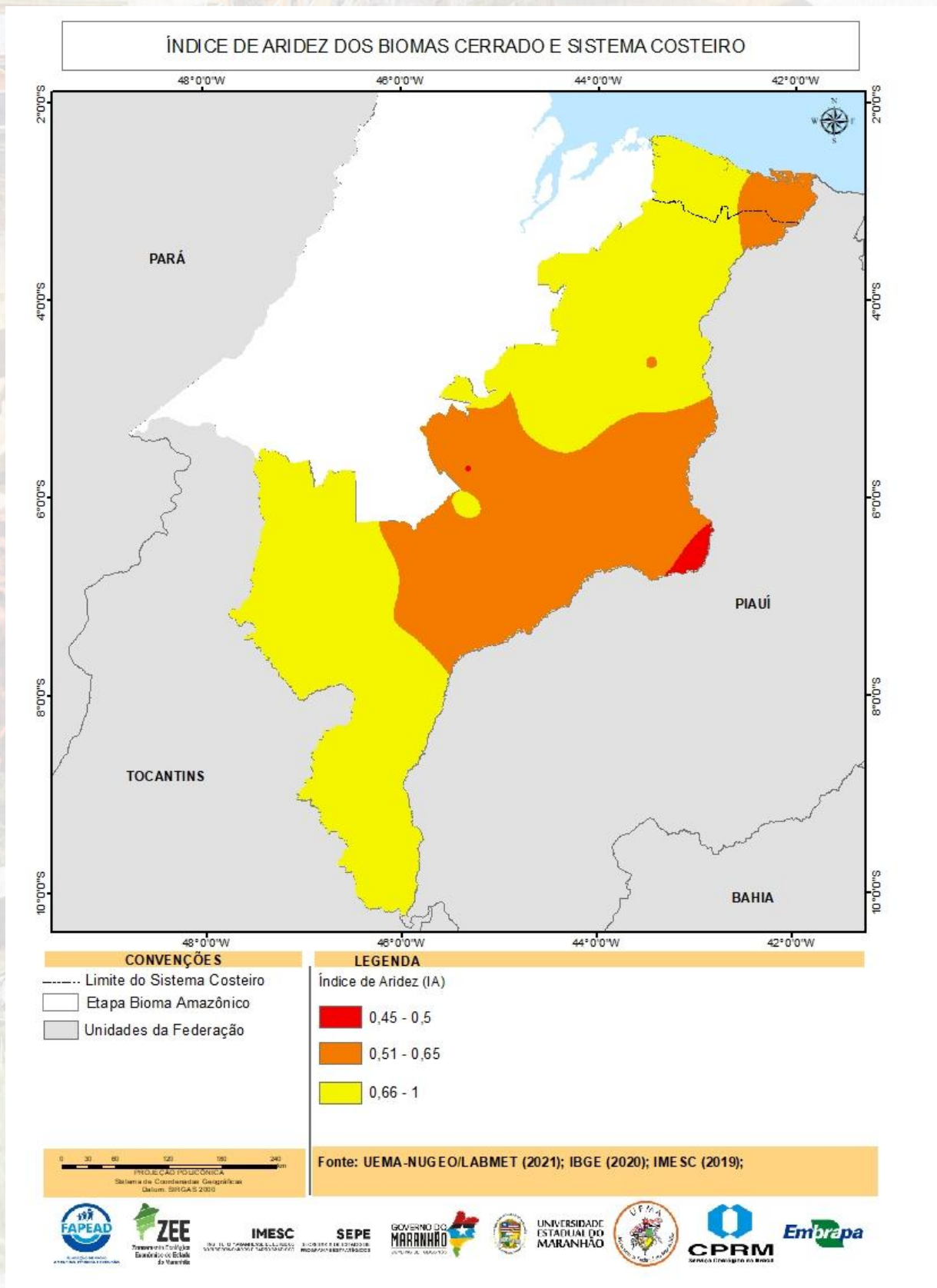


3.2.6 Índice de Aridez

O índice de aridez é importante indicador não apenas das áreas em que predominam condições áridas ou semiáridas, mas também de desertificação. Observa-se, conforme mostrado na Figura 10, que parte da região do Bioma, que envolve áreas na porção norte e sul/sudoeste, apresenta índice de aridez acima 0,65, consideradas as áreas menos suscetíveis à desertificação e classificadas como Subúmido Úmido.

Por outro lado, as áreas localizadas na porção sudeste e na região do Baixo Parnaíba maranhense são caracterizadas como Subúmido Seco. Na região da Chapada do Alto Itapecuru, no sudeste da região do Bioma, há ocorrência de Semiárido, com valores do índice de aridez, variando entre 0,2 e 0,5. Ressalta-se que existem outros fatores que indicam a suscetibilidade de uma região à desertificação, porém o índice de aridez pode ser um indicativo, pois utiliza em sua contabilização variáveis quantitativas que expressam as condições climáticas predominantes.

Figura 10 – Distribuição espacial do índice de aridez anual nos Biomas Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão



3.2.7 Risco climático para plantio de cultivos agrícolas

Os estudos agroclimáticos, aplicados para avaliação ou identificação de áreas apropriadas ao plantio, que atendem às exigências das culturas, são importantes para a política agrícola e gerenciamento dos riscos associados às atividades agrícolas, pois servem para orientar o agricultor com relação às melhores datas de plantio, com vistas à redução de perdas de produtividade. Porém, pode ir mais além nos estudos ambientais relacionados à proteção do solo e ao uso apropriado das terras, evitando exploração indevida.

Nos resultados apresentados a seguir, com relação às áreas identificadas como favoráveis ao plantio com menor risco climático, não são recomendadas para nenhum tipo de sistema de produção agrícola, áreas de preservação obrigatória com declividade superior a 45% ou solos pedregosos com declives acima de 20% e solos com menos de 50 cm de profundidade. Os resultados são válidos apenas para as áreas com solos de textura média.

3.2.7.1 *Estação de crescimento*

A estação de crescimento no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão se concentra entre os meses de outubro e junho, a qual representa o período de disponibilidade hídrica para o crescimento e o desenvolvimento da vegetação e dos cultivos agrícolas das culturas de sequeiro. A distribuição espacial dos meses de início e fim das chuvas estão representadas nas Figuras 9a e 9b, respectivamente.

As chuvas começam, efetivamente, no mês de outubro, no extremo sul do Bioma e avançam, nos meses seguintes, em direção ao setor norte, onde só começam a partir de janeiro, conforme mostrado na Figura 11. Por outro lado, em maio, finaliza o período chuvoso no setor sul do Bioma, enquanto no setor norte, o fim do período chuvoso se estende até junho/julho, conforme visto na Figura 12. A duração da estação chuvosa na área do Bioma varia entre 6 e 7 meses.

A evolução das chuvas e sua distribuição espacial, observada sobre a área do Bioma, estão associadas à sua localização geográfica, à extensão territorial, principalmente no sentido latitudinal e à incursão de diferentes sistemas produtores de tempo, que atuam anualmente sobre a região e em épocas específicas. Por essa razão, a avaliação da aptidão agroclimática para a identificação das áreas de menor risco para plantio das culturas de sequeiro ficou concentrada entre os meses de outubro e maio, cobrindo dessa forma todo o período de chuvas da região do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão.

Figura 11 – Estação de crescimento no início do período de chuvas no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão

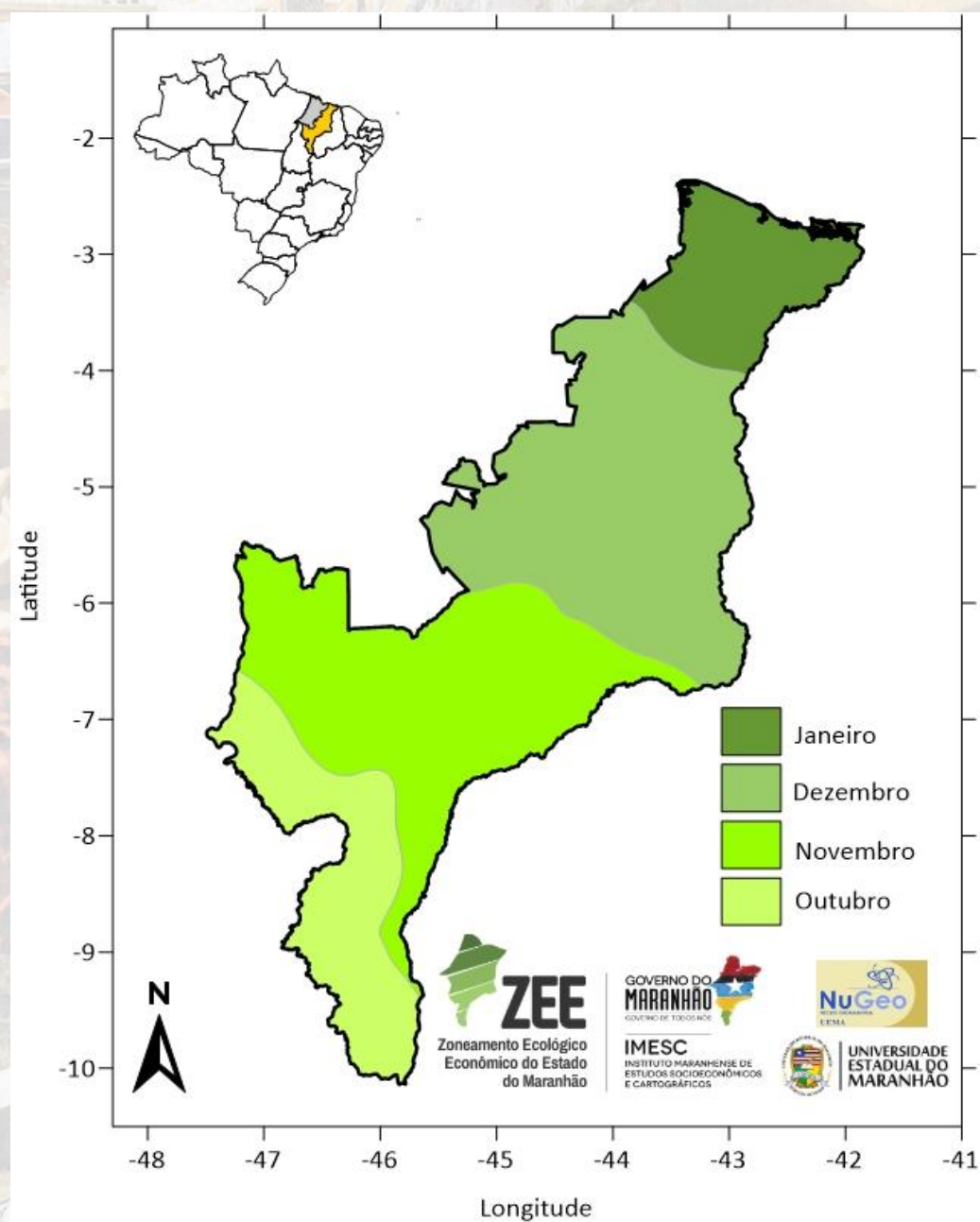
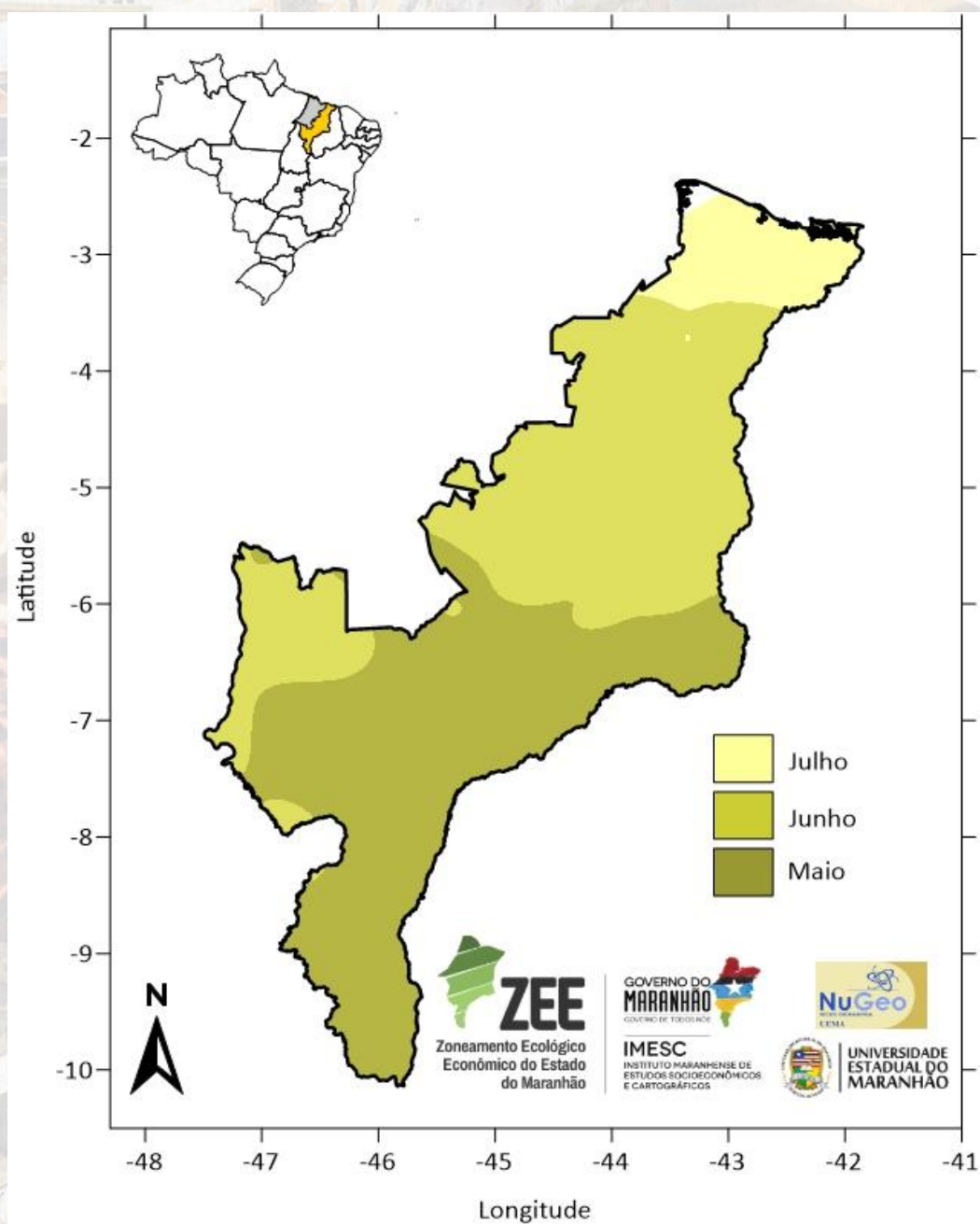


Figura 12 – Estação de crescimento no fim do período de chuvas no Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão



3.2.7.2 Áreas com menor risco climático para o plantio

As áreas com aptidão plena para o plantio das culturas analisadas correspondem às áreas onde a disponibilidade hídrica seja satisfatória na fase I – semeadura à emergência e fase III - floração e enchimento dos grãos, simultaneamente. São áreas com baixo risco climático, onde os cultivos podem ser realizados com menor risco de quebra de safra de acordo com o mês de plantio.

3.2.7.3 Arroz de sequeiro

As áreas de aptidão plena com redução de risco de perdas para os cultivos de sequeiro acompanham a evolução das chuvas no Bioma. Para plantio realizado na primeira quinzena de outubro (Figura 13), apenas uma área centrada em uma faixa entre 6,5° e 8,5° de latitude sul e de 4,5° e 47,5° de longitude oeste se apresenta favorável, com aptidão plena com relação à disponibilidade hídrica no plantio e na fase de floração e enchimento dos grãos.

Para plantios realizados na primeira quinzena de novembro (Figura 14), as áreas favoráveis que apresentam aptidão plenamente para o cultivo do arroz de sequeiro com baixo risco abrangem principalmente uma faixa compreendida entre 6° e 10° de latitude sul e 43° e 46,5° de longitude oeste, nessas áreas as necessidades hídricas da cultura do arroz de sequeiro são atendidas na fase inicial e floração/enchimento dos grãos.

Com a evolução das chuvas em direção ao setor norte do Bioma, as áreas com aptidão plena para o plantio do arroz de sequeiro vão ampliando. Para o plantio na primeira quinzena de dezembro (Figura 15), observa-se aptidão plena acima de 4° de latitude sul, em que as necessidades hídricas para o cultivo do arroz com baixo risco de perdas são atendidas, principalmente nas duas fases principais do ciclo produtivo, semeadura/emergência e floração/enchimento dos grãos.

Na primeira quinzena de janeiro, as chuvas já se encontram estabelecidas sobre toda a região do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão, com aptidão plena para o plantio do arroz de sequeiro (Figura 16), com exceção de algumas áreas no centro sul do Bioma, onde há restrição hídrica durante a fase de floração e enchimento dos grãos. Em função da irregularidade dos sistemas produtores de chuvas que afetam essa região, a ocorrência de verânicos geralmente afeta a disponibilidade hídrica nessa fase do ciclo, o que compromete o desenvolvimento/crescimento da cultura, uma vez que essa é fase mais importante, quando não pode haver restrição hídrica.

A aptidão agroclimática para plantios realizados a partir de fevereiro, no centro-sul do Bioma, conforme mostrado na Figura 17, sofre restrição devido à redução das chuvas na fase de floração e enchimento dos grãos, principalmente em uma ampla faixa acima de 4° de latitude sul, muito embora

haja disponibilidade hídrica para o plantio. Para essas áreas, é recomendado o plantio safrinha (segunda safra), uma vez que ainda há disponibilidade hídrica no solo para o cultivo com ciclo mais curto.

Por outro lado, no setor norte, abaixo de 4° de latitude sul (Figura 17), o plantio é recomendado em fevereiro, uma vez que há disponibilidade hídrica nas duas fases importantes do ciclo produtivo do arroz de sequeiro, ou seja, semeadura/emergência e floração/enchimento dos grãos. Nesse setor, o período de chuvas ainda se prolonga até junho/julho. Nas outras áreas do Bioma, não é recomendado o plantio, pois, muito embora haja disponibilidade hídrica para o plantio, não haverá a mesma disponibilidade na fase de floração e de enchimento dos grãos.

Na primeira quinzena dos meses de março, abril e maio, não mostrado, a aptidão para o plantio do arroz sofre restrição devido à disponibilidade hídrica na fase de floração e enchimento de grãos, muito embora ainda haja disponibilidade hídrica para o plantio.

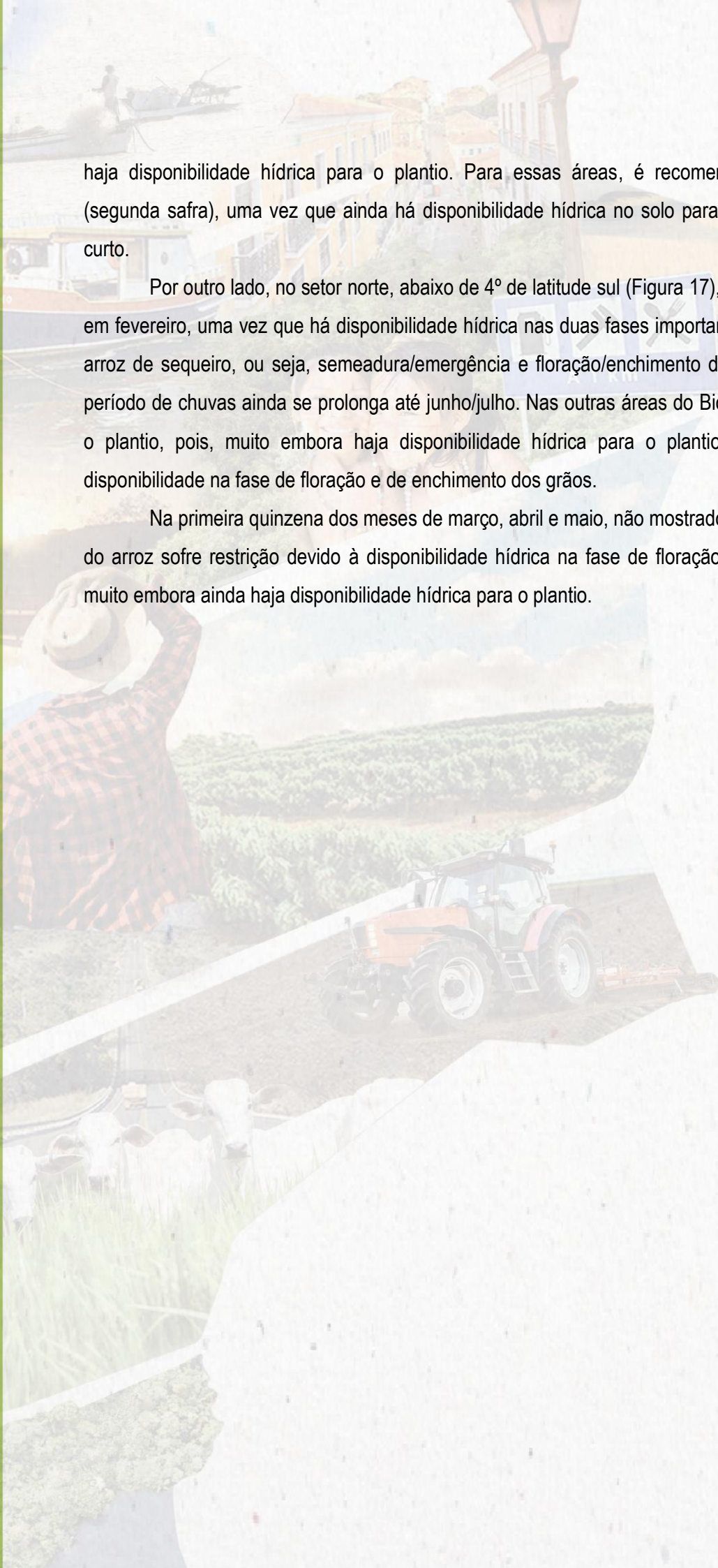


Figura 13 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do arroz de sequeiro no mês de outubro

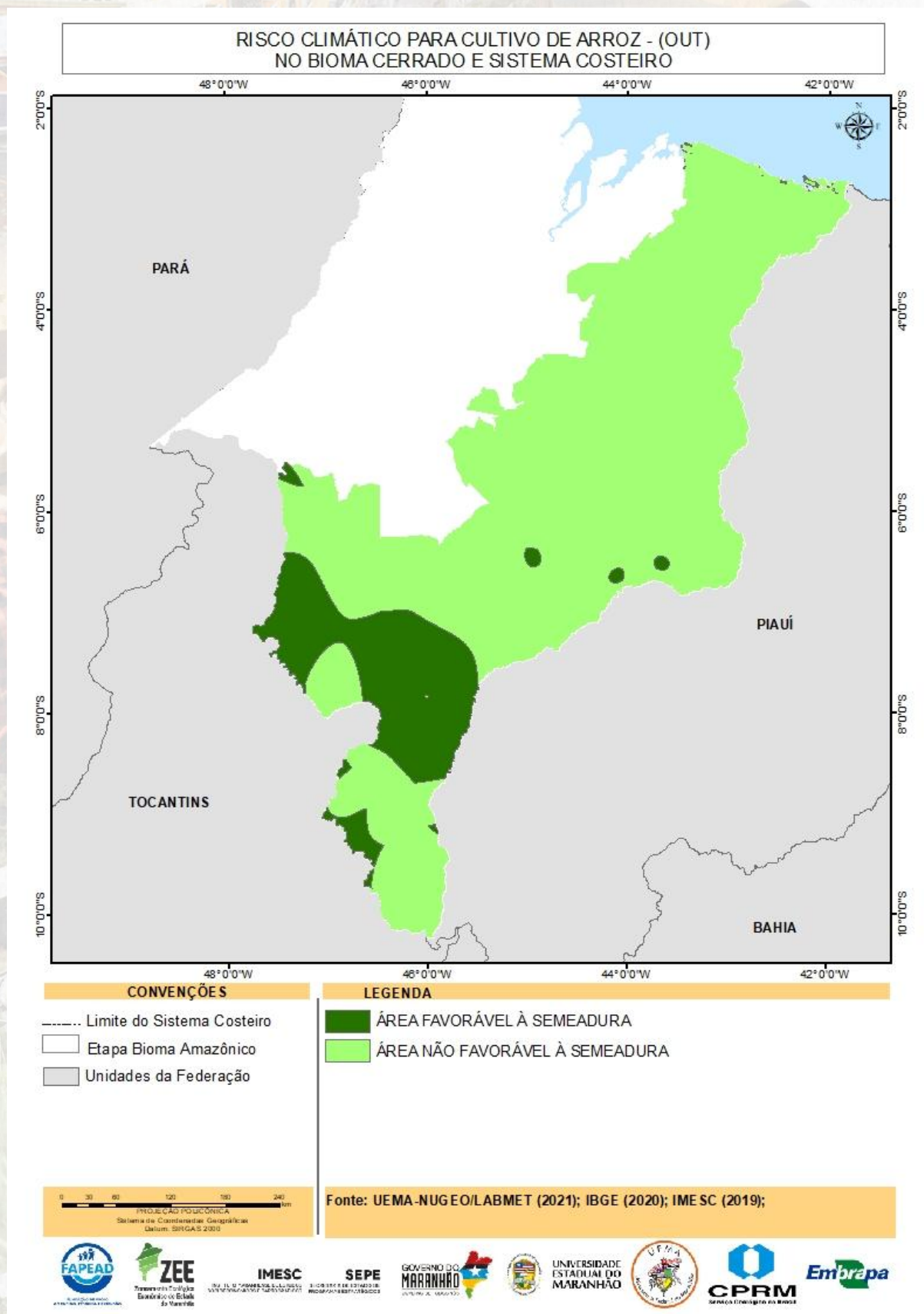


Figura 14 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do arroz de sequeiro no mês de novembro

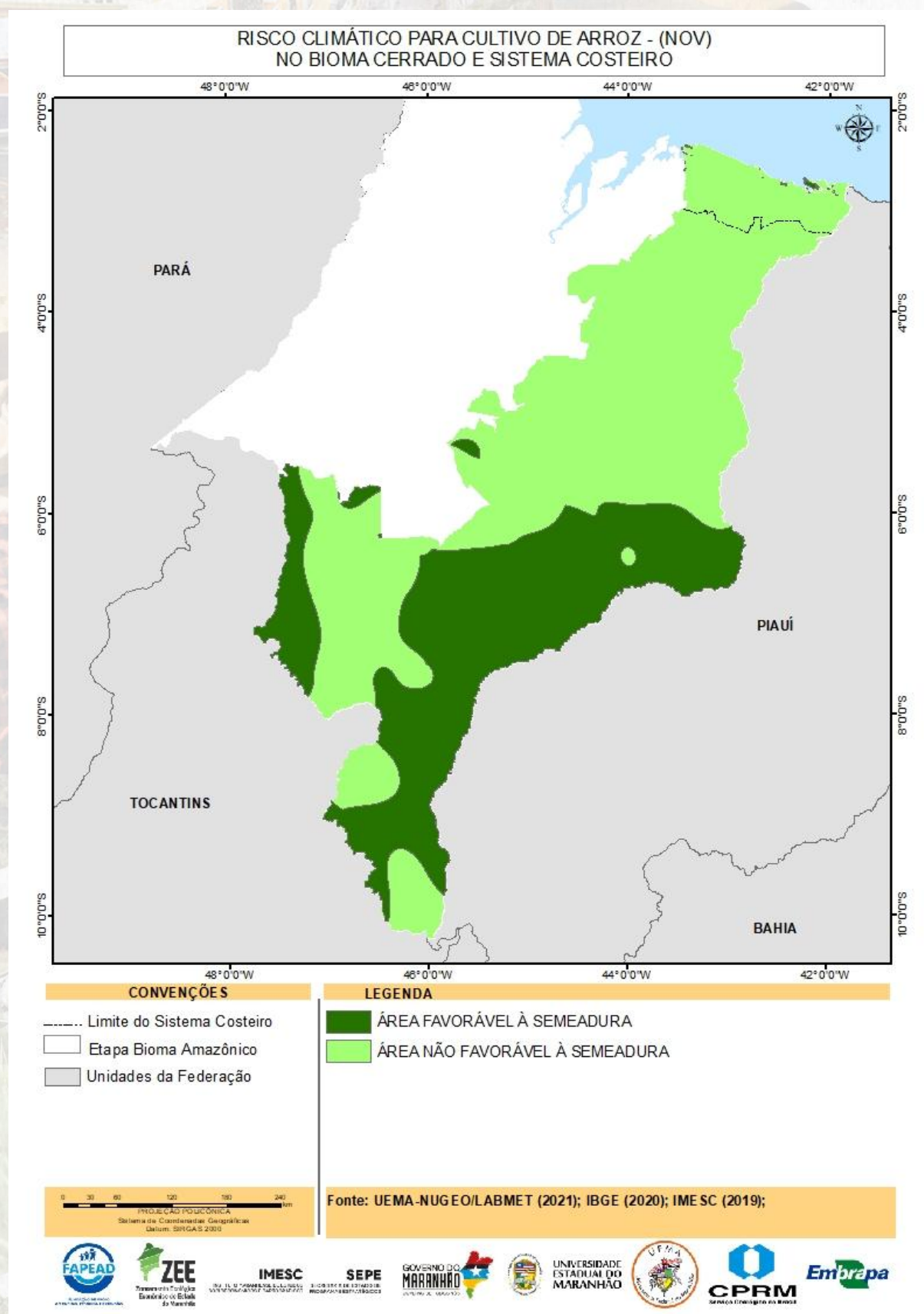


Figura 15 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do arroz de sequeiro no mês de dezembro

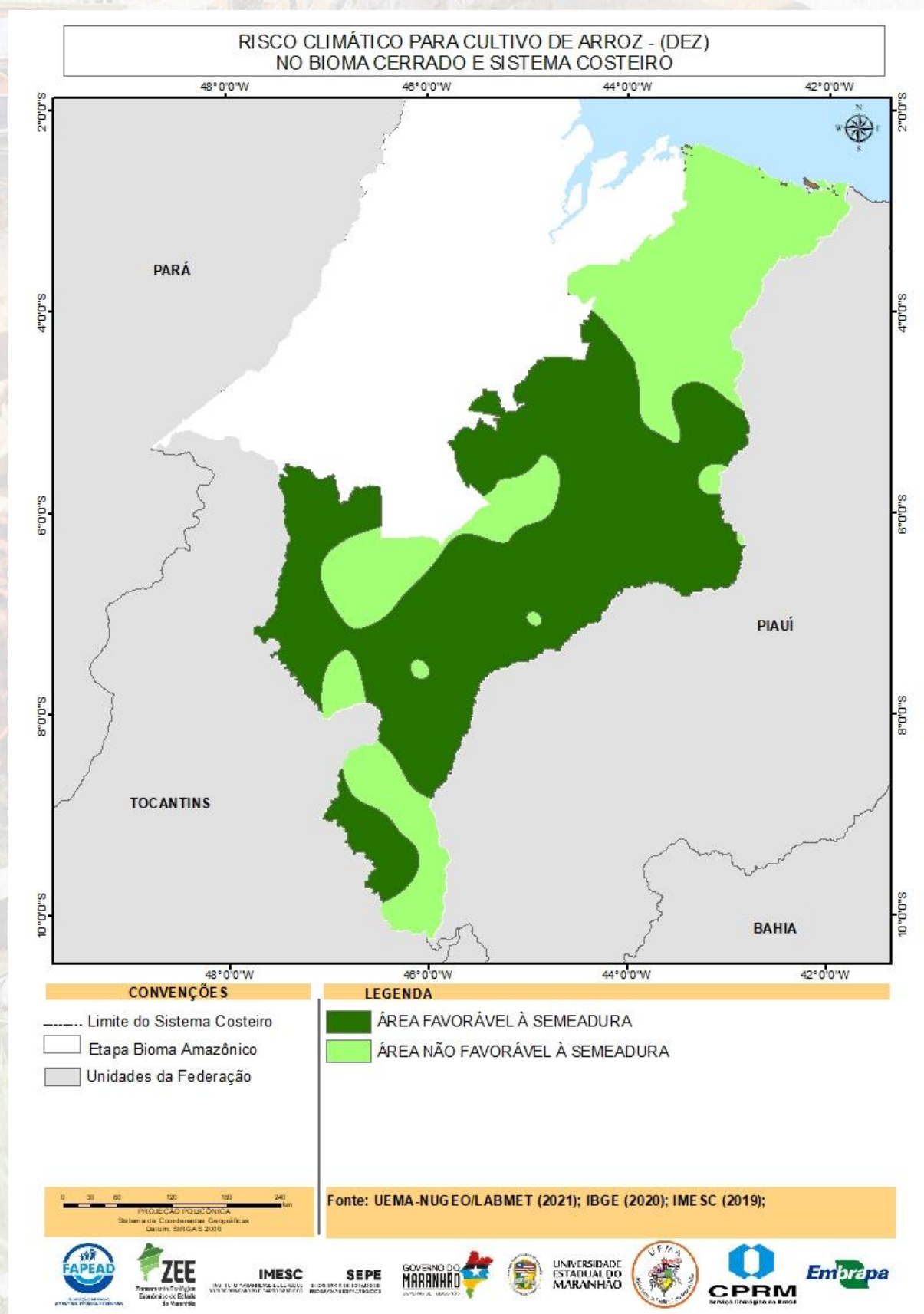


Figura 16 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do arroz de sequeiro no mês de janeiro

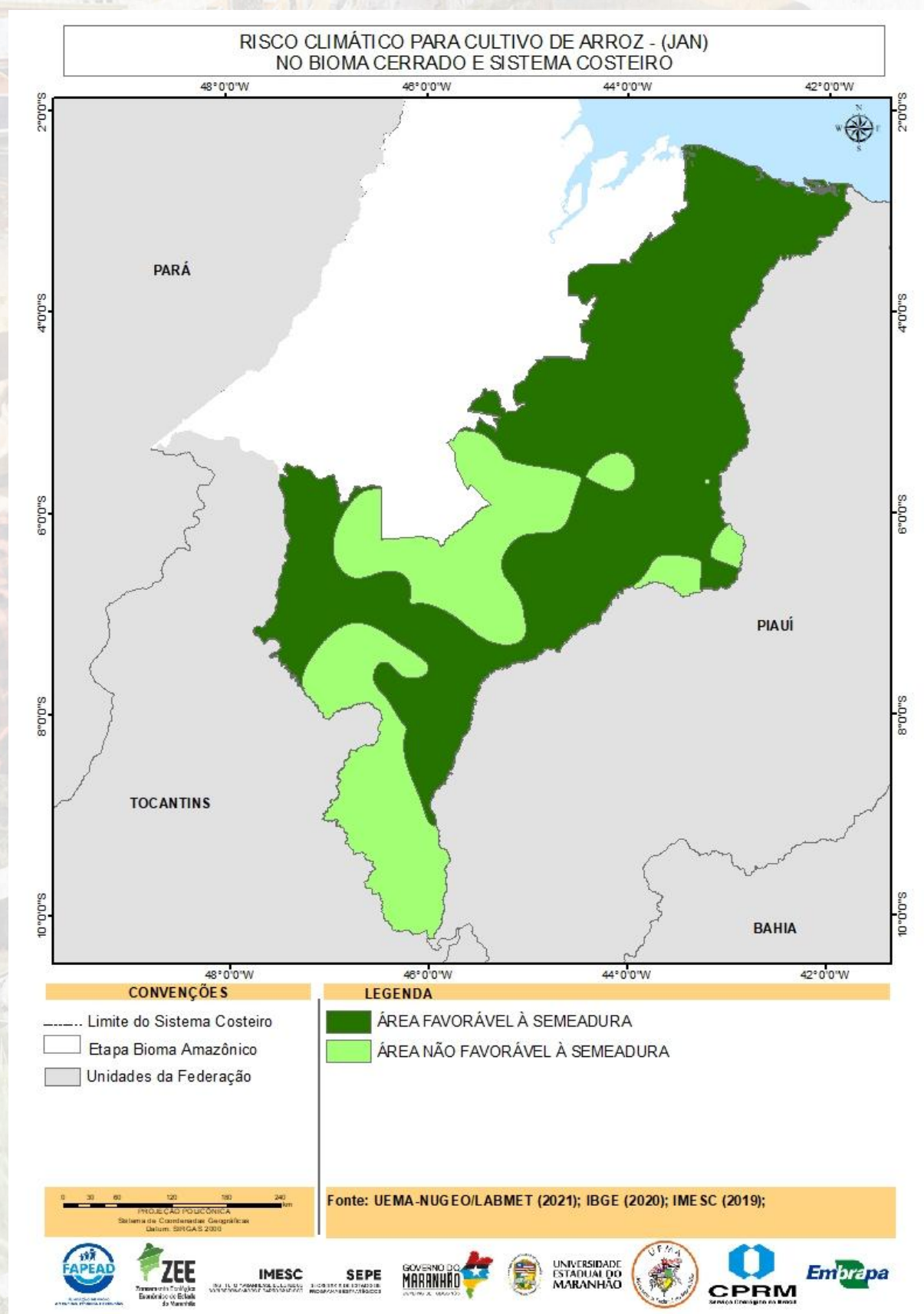
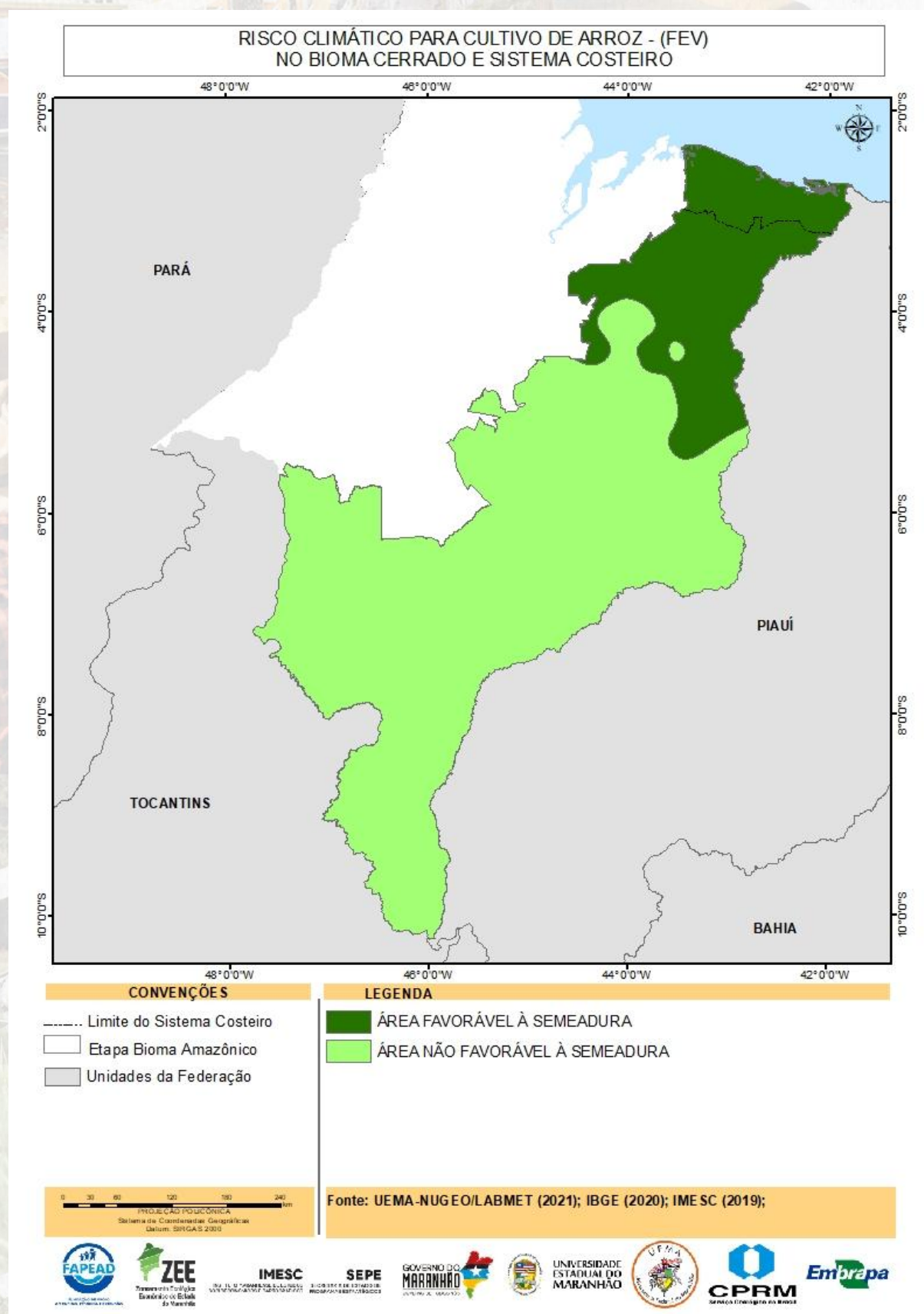


Figura 17 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do arroz de sequeiro no mês de fevereiro



3.2.7.4 Soja

Em outubro (Figura 18), o plantio da soja é recomendado apenas na porção sul do Bioma, principalmente acima de 7° de latitude. Em novembro (Figura 19), observa-se expansão da área favorável ao plantio, até em torno de 5,5° de latitude. No mês subsequente, dezembro (Figura 20), a área favorável ao plantio compreende a faixa de latitude acima de 4° de latitude. No mês de janeiro (Figura 21), praticamente toda a área do Bioma encontra-se favorável ao plantio, com exceção de uma pequena área no extremo sul, acima de 9° de latitude, onde poderá ocorrer restrição hídrica na fase de floração/enchimento dos grãos.

Em fevereiro (Figura 22), apenas a porção centro-norte do Bioma encontra condições de disponibilidade de água para o cultivo da soja, tanto na fase de semeadura/emergência e floração/enchimento dos grãos, enquanto no centro-sul não é recomendado o plantio, pois não haverá disponibilidade de água na fase de floração/enchimento dos grãos, muito embora ainda haja disponibilidade de água na fase inicial do ciclo produtivo. Em março (Figura 23), o plantio da soja não é recomendado, com exceção de uma pequena área no extremo norte do Bioma.

Figura 18 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura da soja em outubro

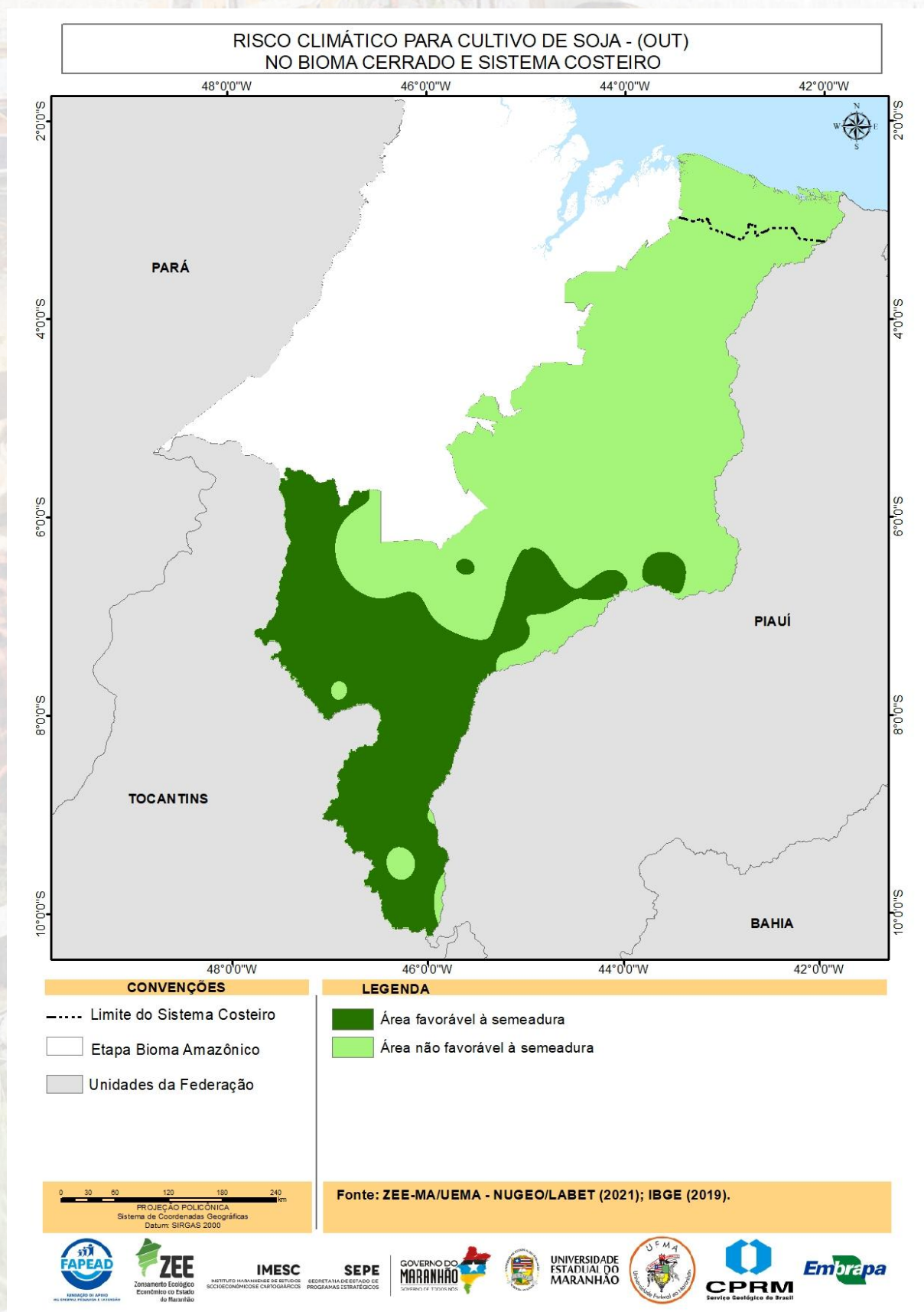


Figura 19 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura da soja em novembro

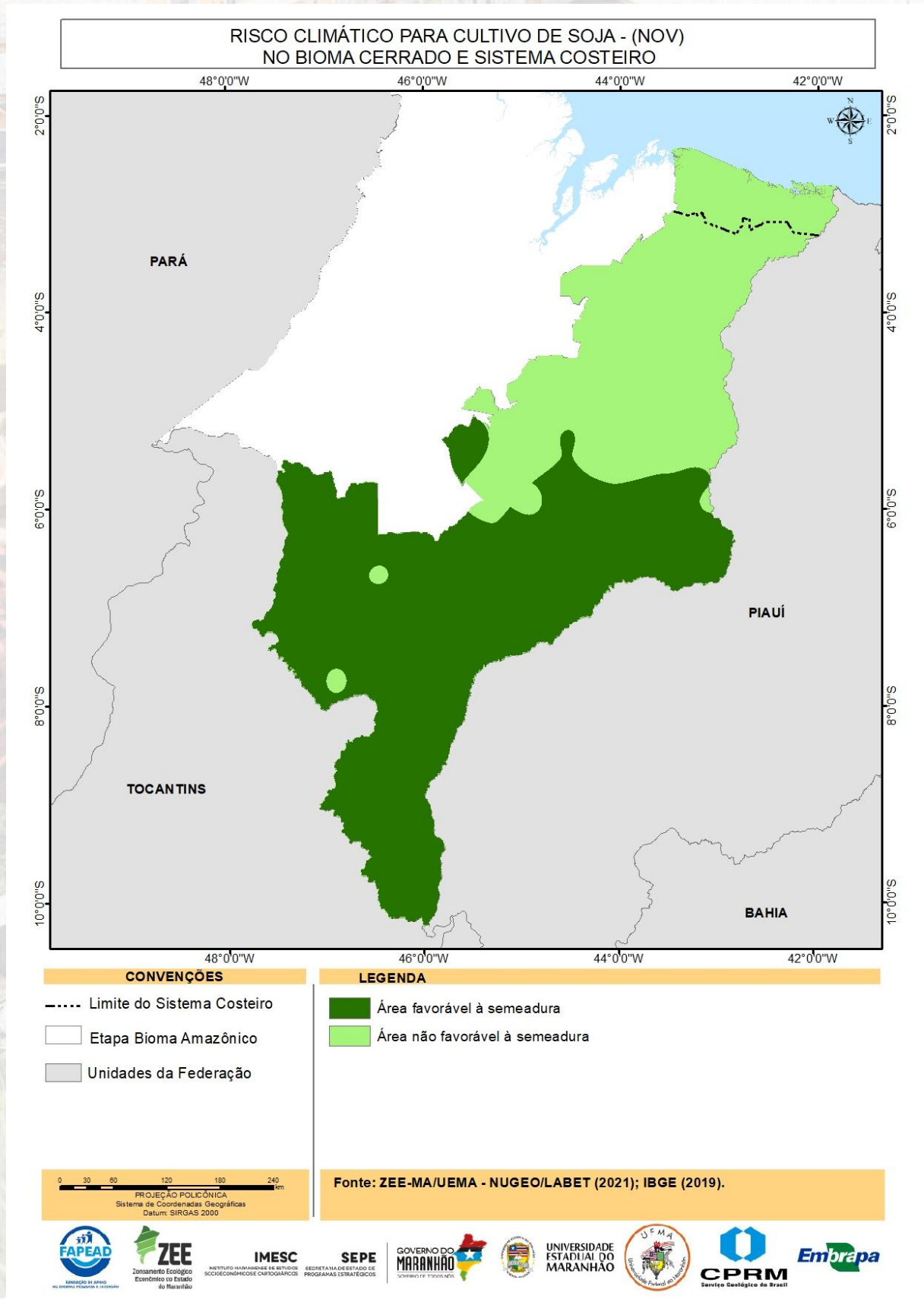


Figura 20 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura da soja em dezembro

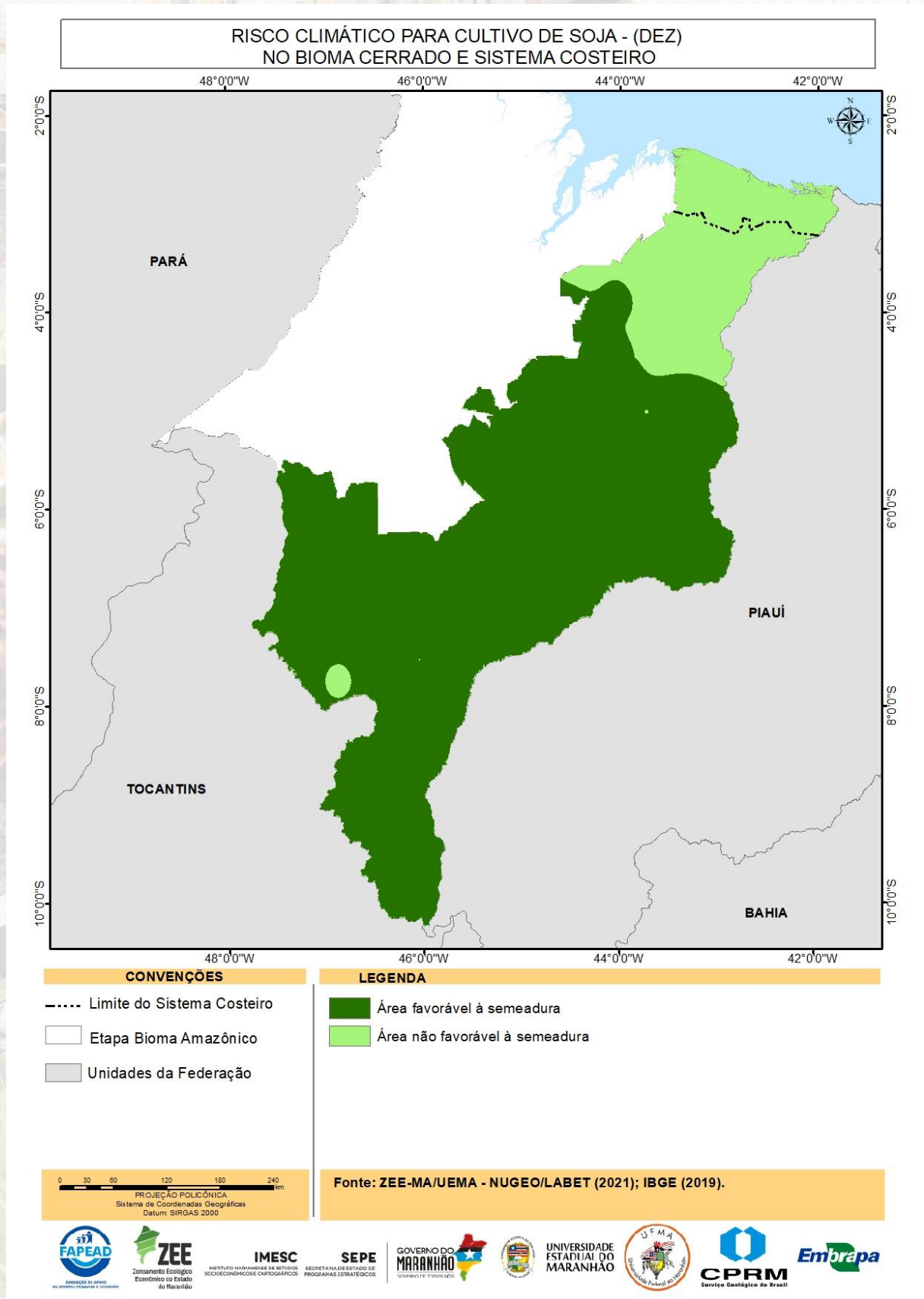


Figura 21 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura da soja em janeiro

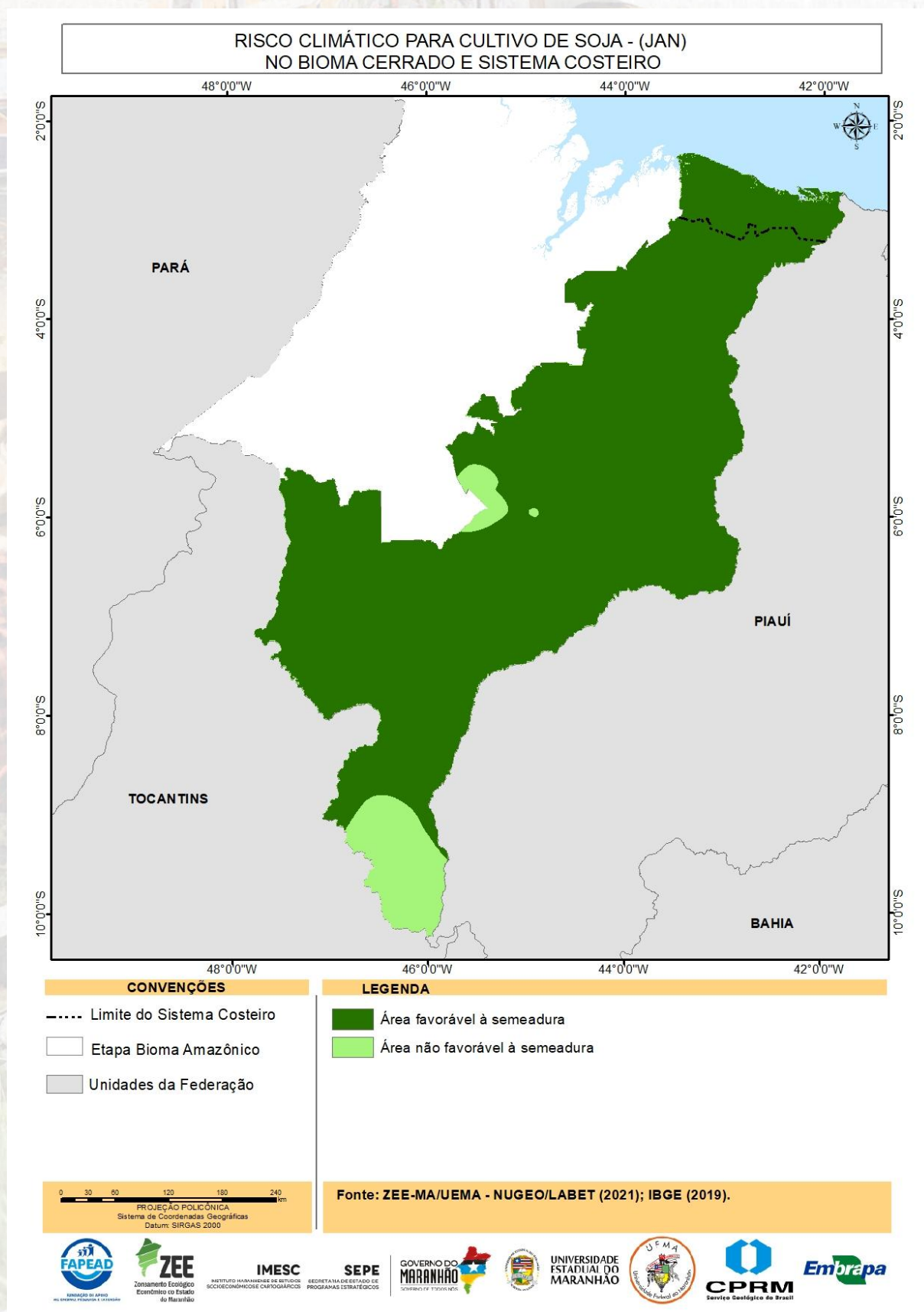


Figura 22 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura da soja em fevereiro

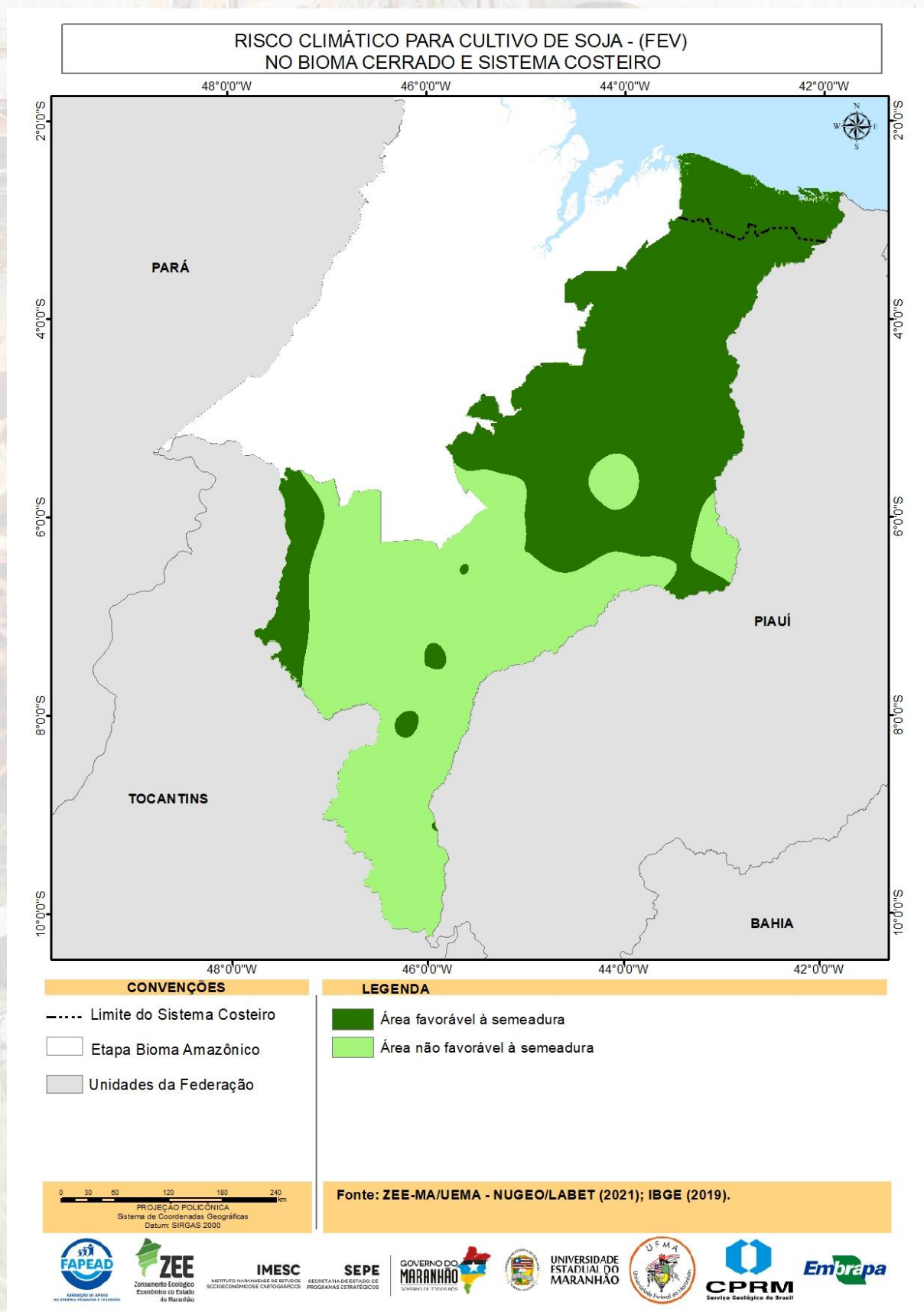
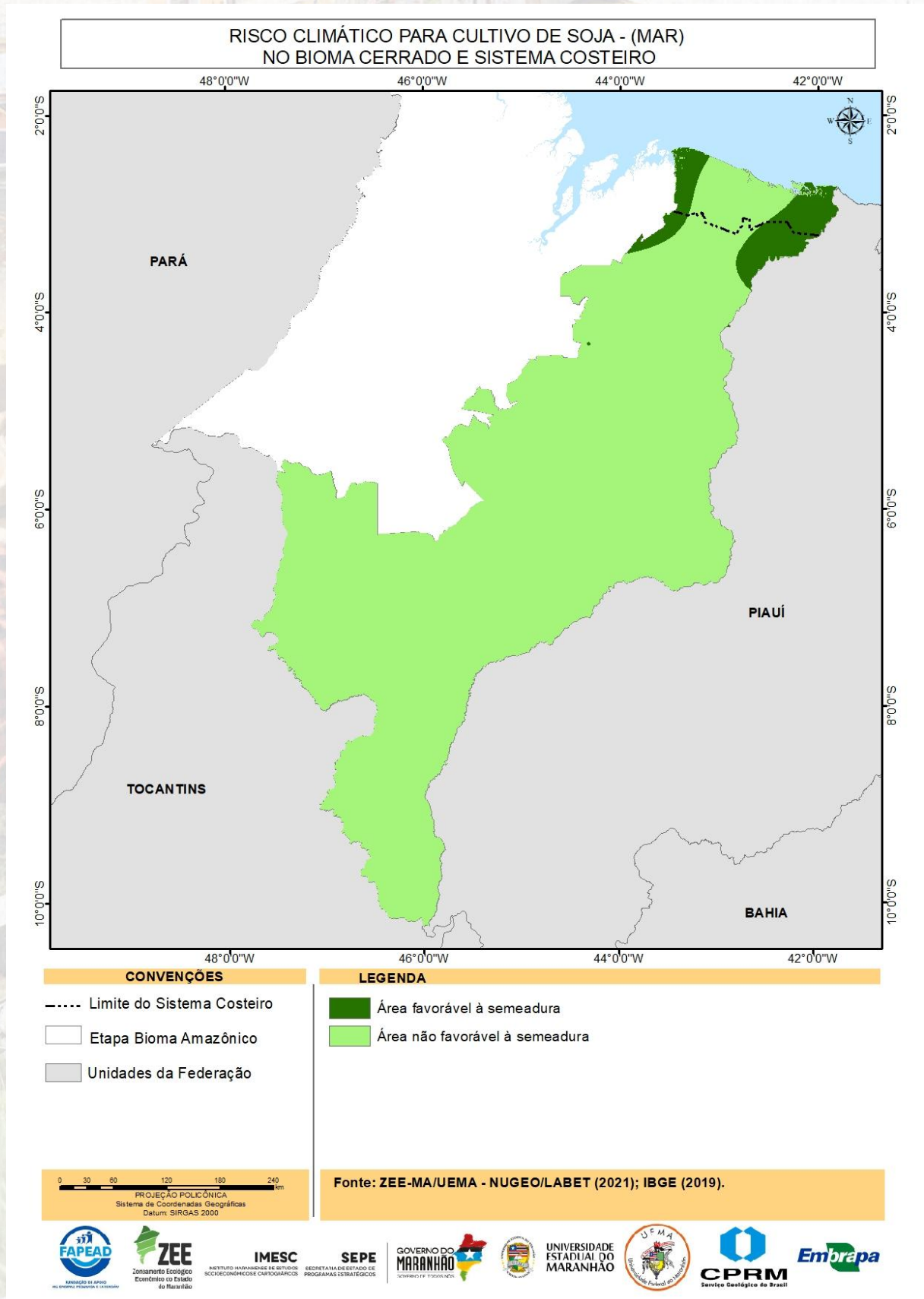


Figura 23 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura da soja em março



3.2.7.5 Milho

As áreas favoráveis ao plantio da cultura do milho, com menos risco de perdas, apresentam distribuição espacial semelhante à da cultura da soja, com ligeira expansão, conforme mostrado nas Figura 24, Figura 25, Figura 26, Figura 27, Figura 28 e Figura 29. O plantio em outubro (Figura 24) é recomendado em uma faixa de latitude acima de 6°, apresentando expansão, em novembro (Figura 25), para 5° de latitude e, em dezembro (Figura 26), para 3° de latitude. Em janeiro (Figura 27), observa-se que as áreas favoráveis ao plantio compreendem todo o Bioma, com exceção de uma pequena área no extremo sul. Em fevereiro (Figura 28), as áreas favoráveis ao plantio se restringem ao centro-norte do Bioma, onde as condições hídricas são favoráveis na fase I – semeadura/emergência e fase III – floração/enchimento dos grãos. Por fim, em março (Figura 29), só é recomendado o plantio no extremo norte do Bioma.

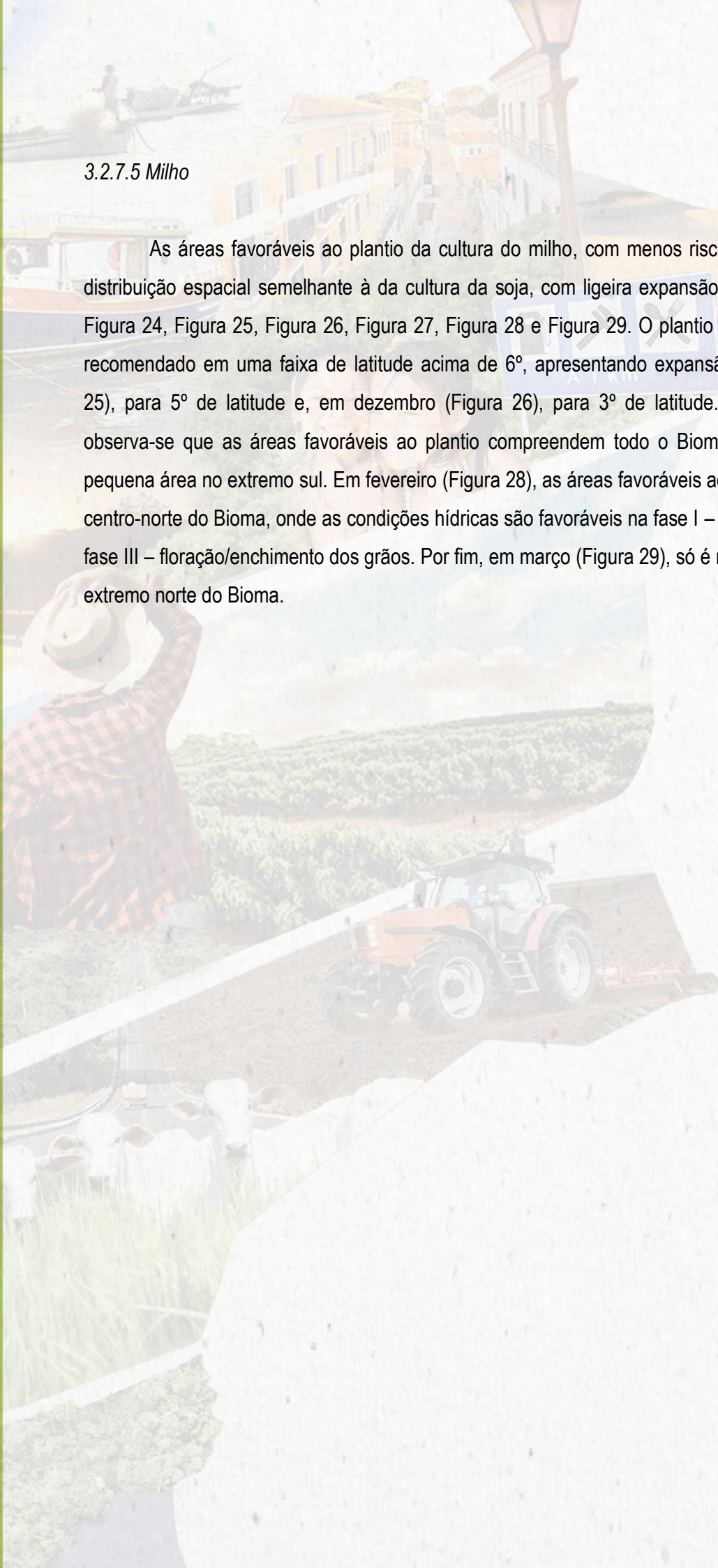


Figura 24 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do milho em outubro

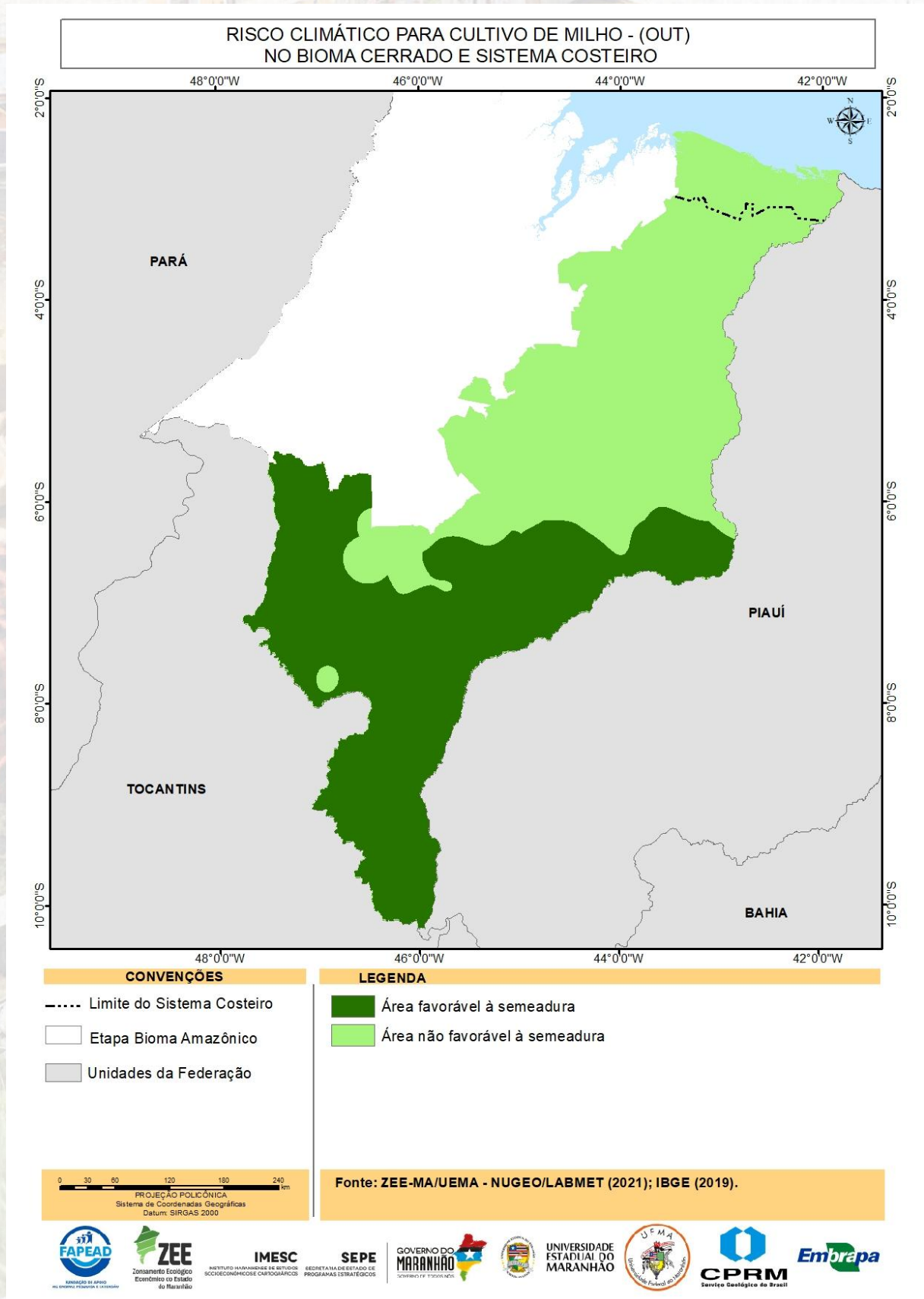


Figura 25 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do milho em novembro

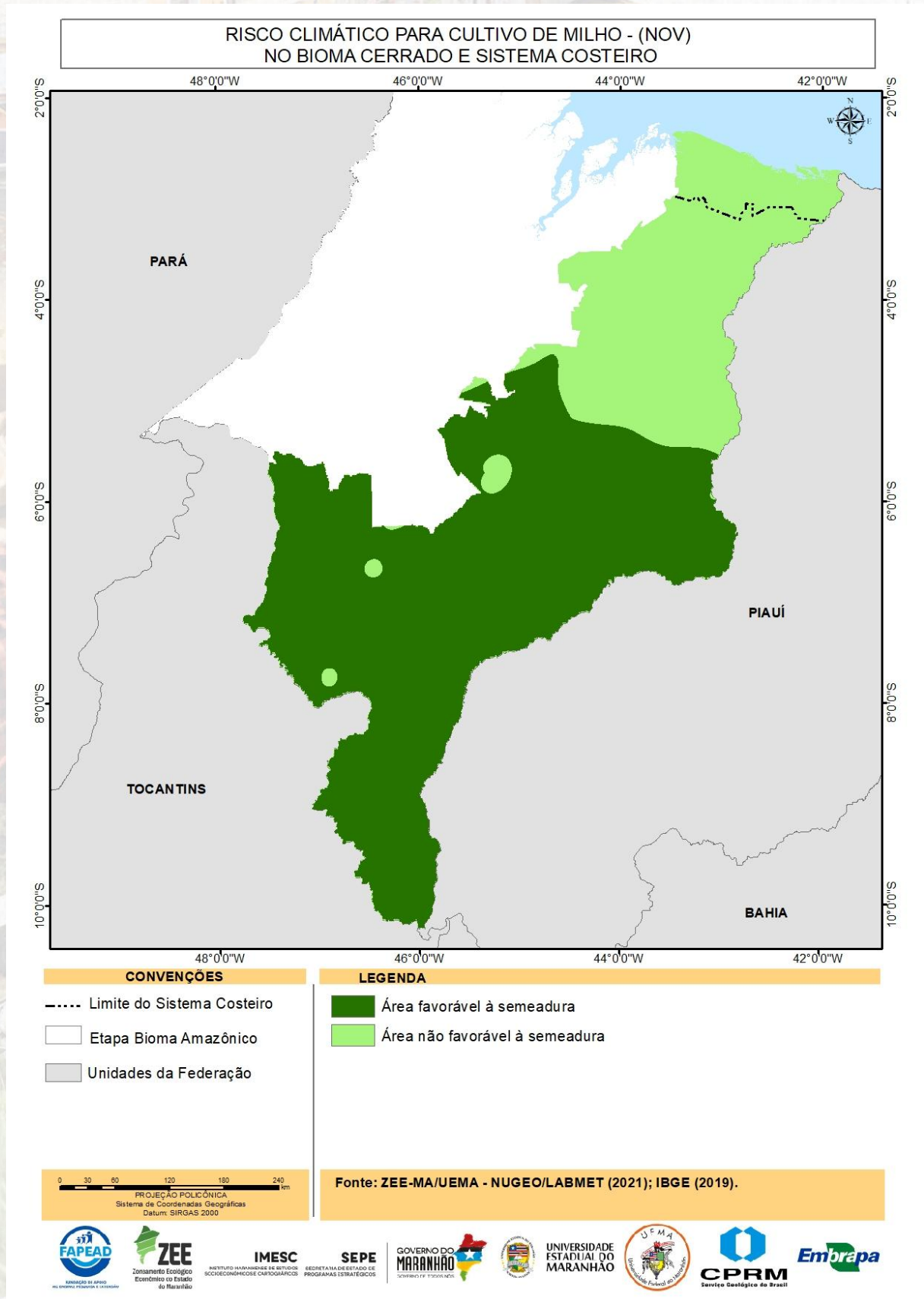


Figura 26 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do milho em dezembro

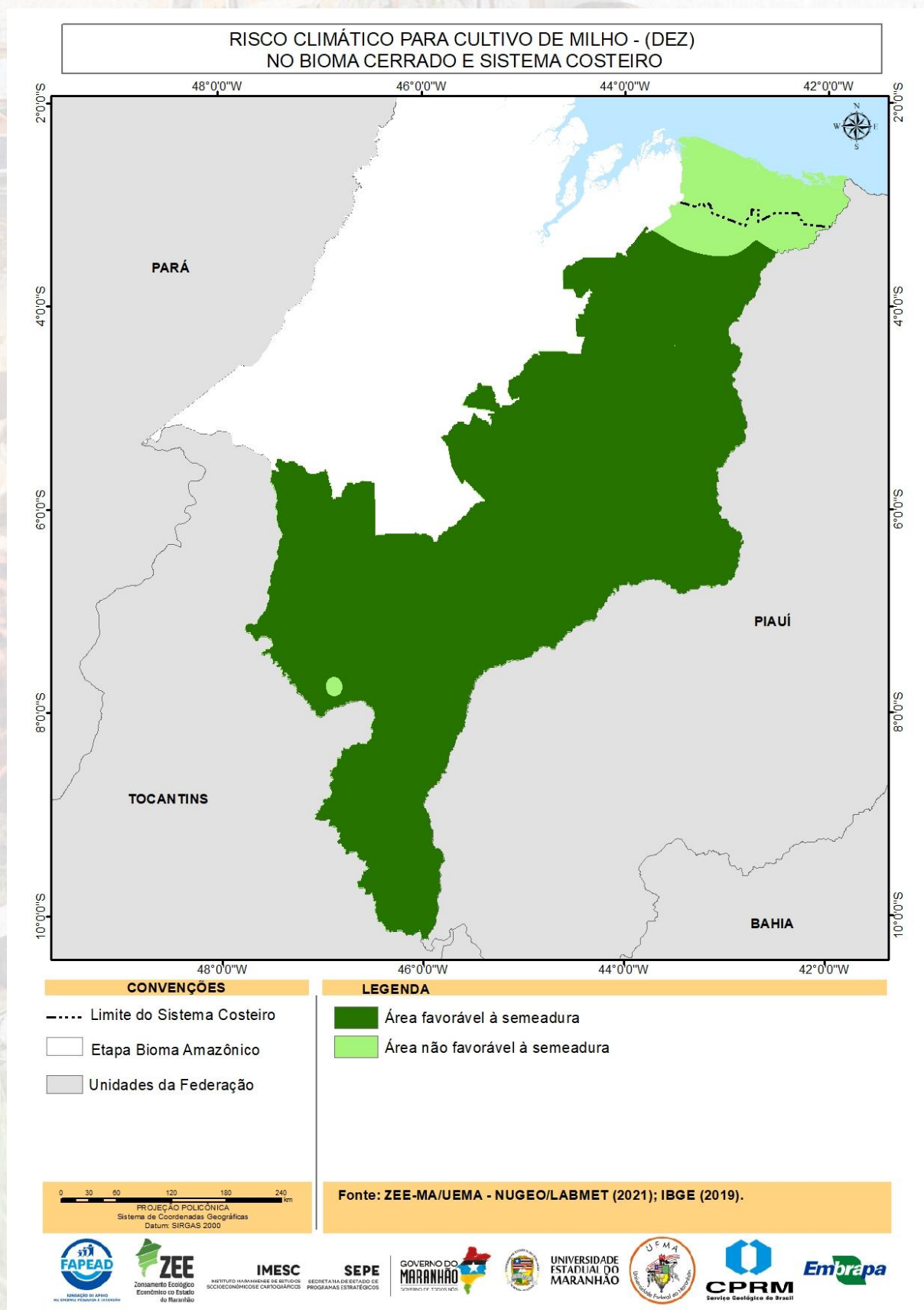


Figura 27 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do milho em janeiro

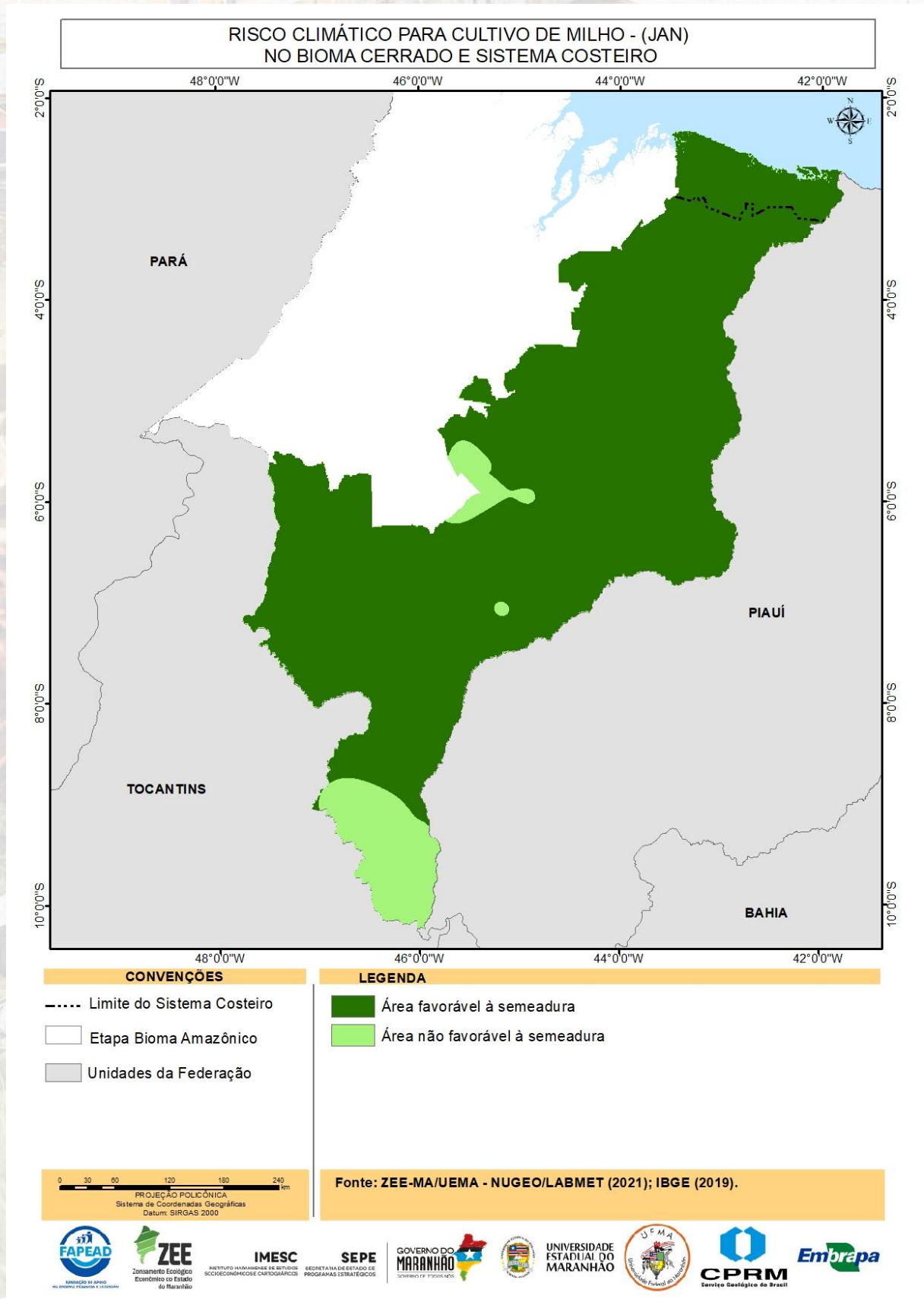


Figura 28 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do milho em fevereiro

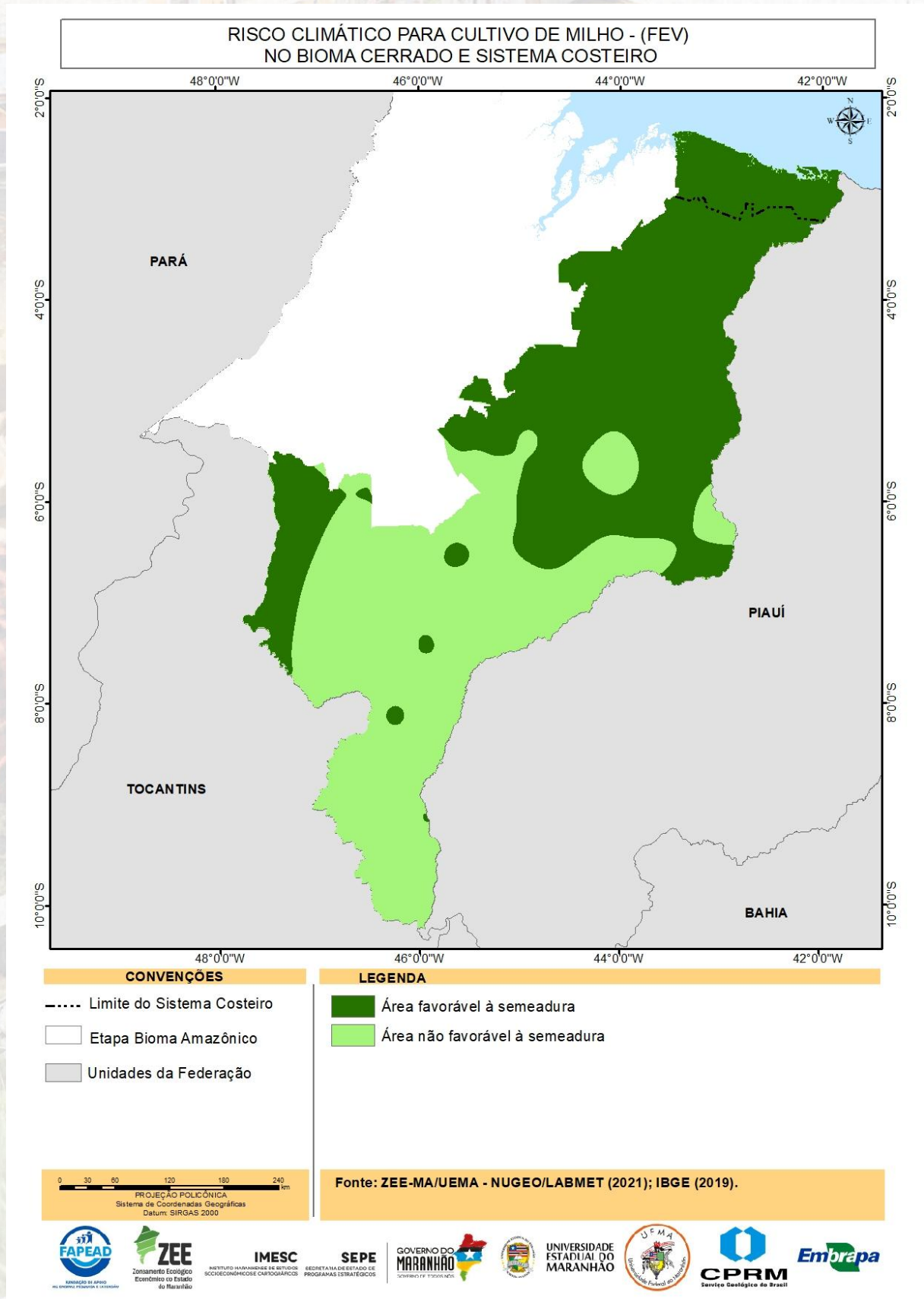
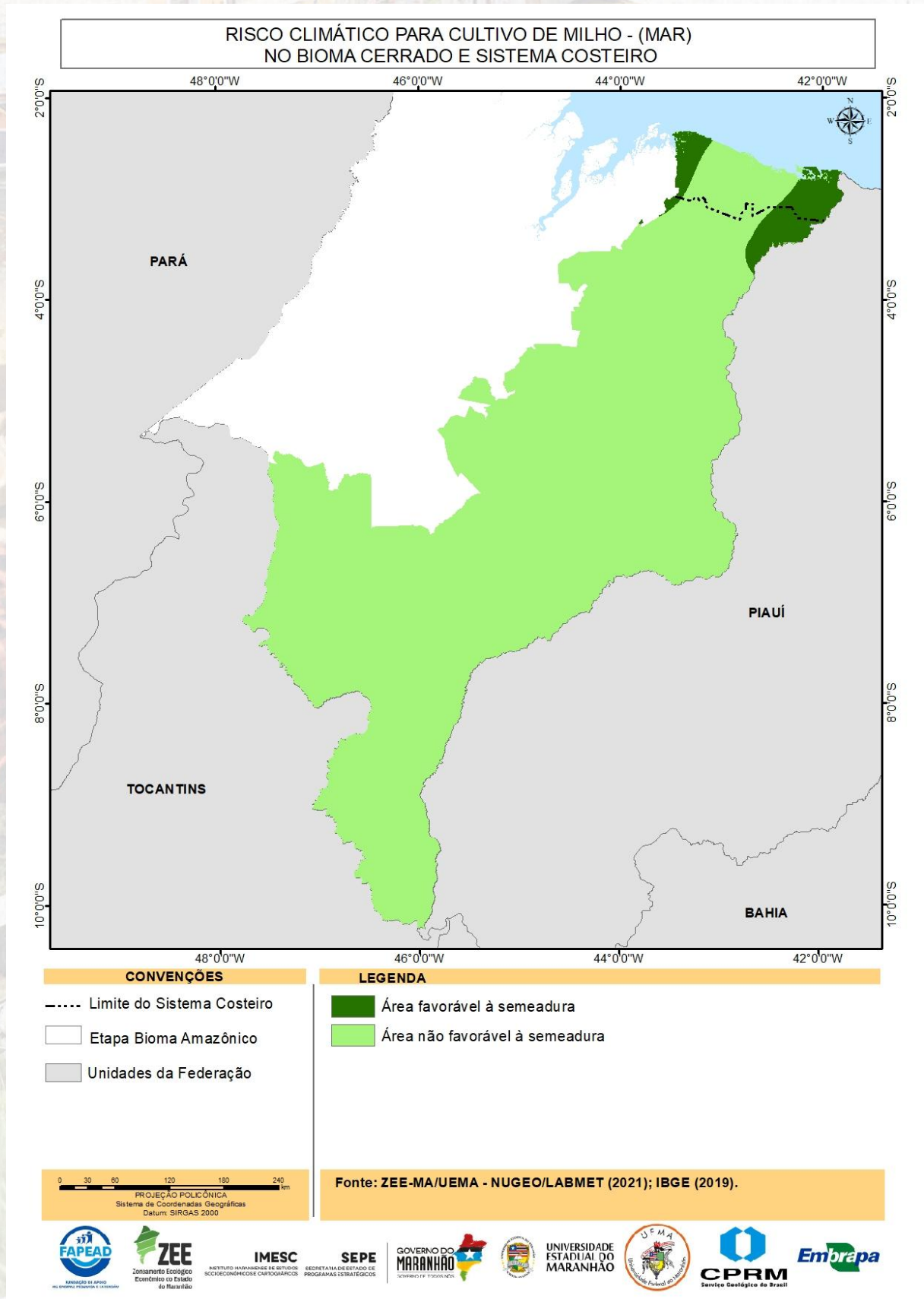


Figura 29 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do milho em março



3.2.7.6 Feijão-caupí

O feijão-caupí em outubro, conforme mostrado na Figura 30, pode ser cultivado com baixo risco de perdas no extremo sul do Bioma, em uma faixa compreendida entre 6,5° e 9° de latitude, e 46° e 48° de longitude, e acima de entre 9° e 10° de latitude. Em novembro (Figura 31), com o avanço das chuvas, a área de abrangência favorável ao plantio amplia, cobrindo todo o centro-sul do Bioma.

Em dezembro (Figura 32), observa-se o surgimento de uma área em condições de risco climático centrada em 7° de latitude e 47° de longitude, provavelmente associada à deficiência hídrica na fase de floração e enchimento dos grãos, promovida por ocorrências de verânicos. Observa-se ainda, no mês de dezembro, na faixa central do Bioma, uma área favorável ao plantio centrada em 5° de latitude e 44,5° de longitude.

Nos meses de janeiro e fevereiro (Figura 33 e Figura 34), respectivamente, o plantio é recomendado em praticamente toda a área do Bioma, com exceção de áreas isoladas no centro-sul. Em relação as outras culturas, esta é a que apresenta maior área favorável ao plantio, pois devido ao ciclo produtivo mais curto, a fase de floração e enchimento dos grãos ainda ocorre em pleno período de chuvas, o que garante o suprimento de água nessas fases.

Em março (Figura 35), apenas na porção norte do Bioma, o plantio é recomendado, abaixo de 5° de latitude. Nas outras áreas, finaliza a janela de plantio, entretanto há disponibilidade hídrica para realizá-lo, uma vez que se encontra ainda em pleno período de chuvas, porém falta água na fase de floração e enchimento dos grãos.

Figura 30 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do feijão em outubro

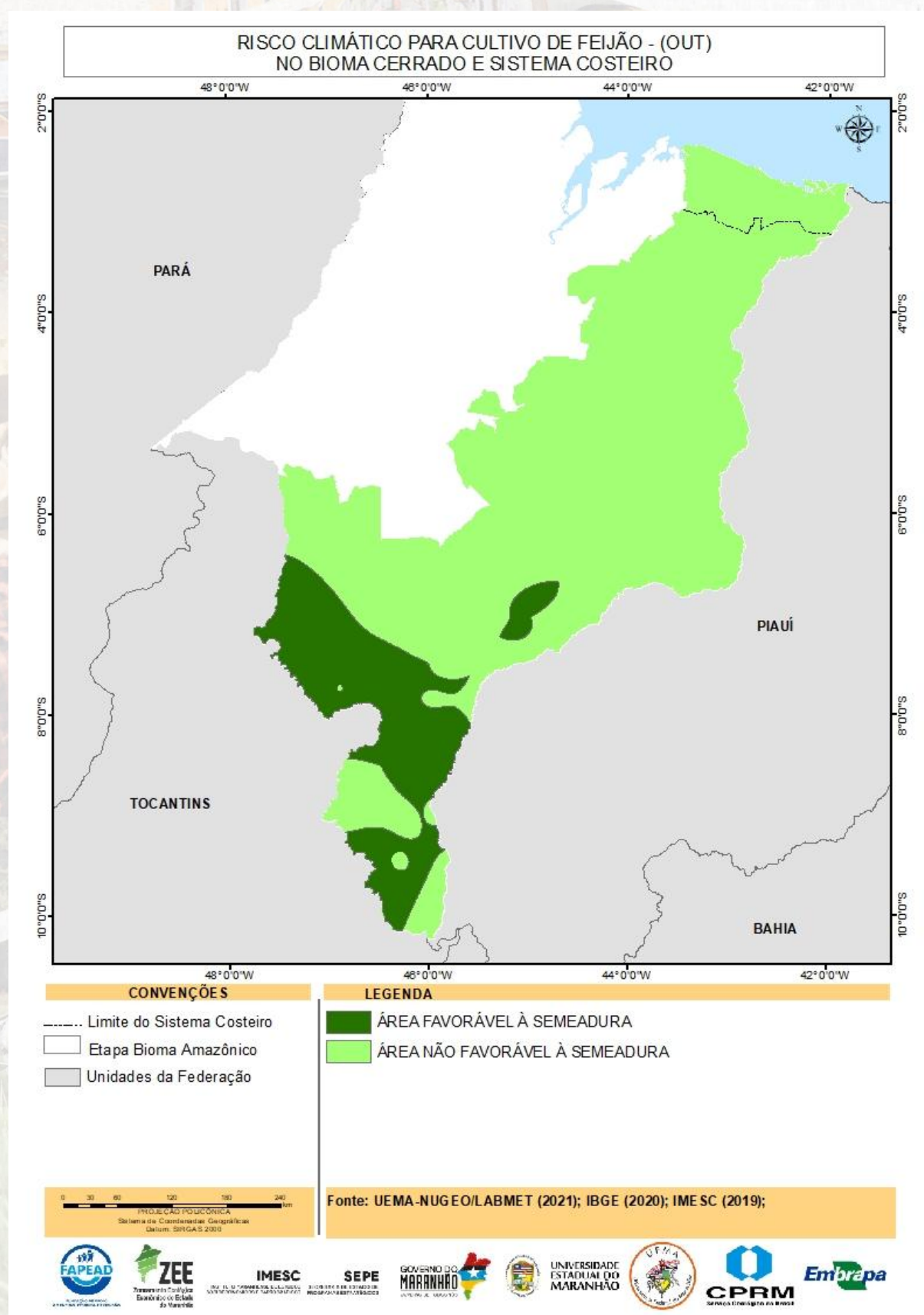


Figura 31 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do feijão em novembro

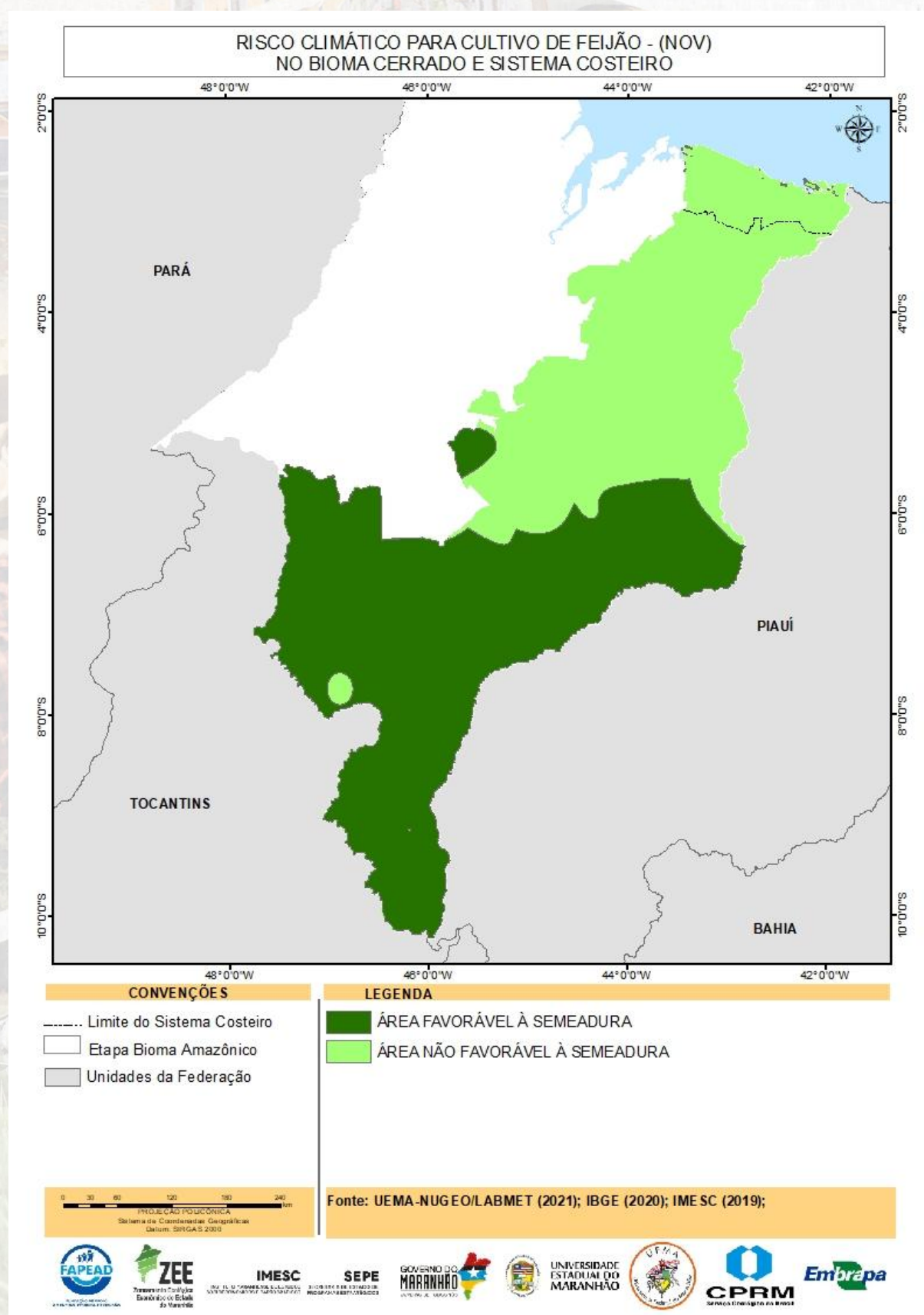


Figura 32 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do feijão em dezembro

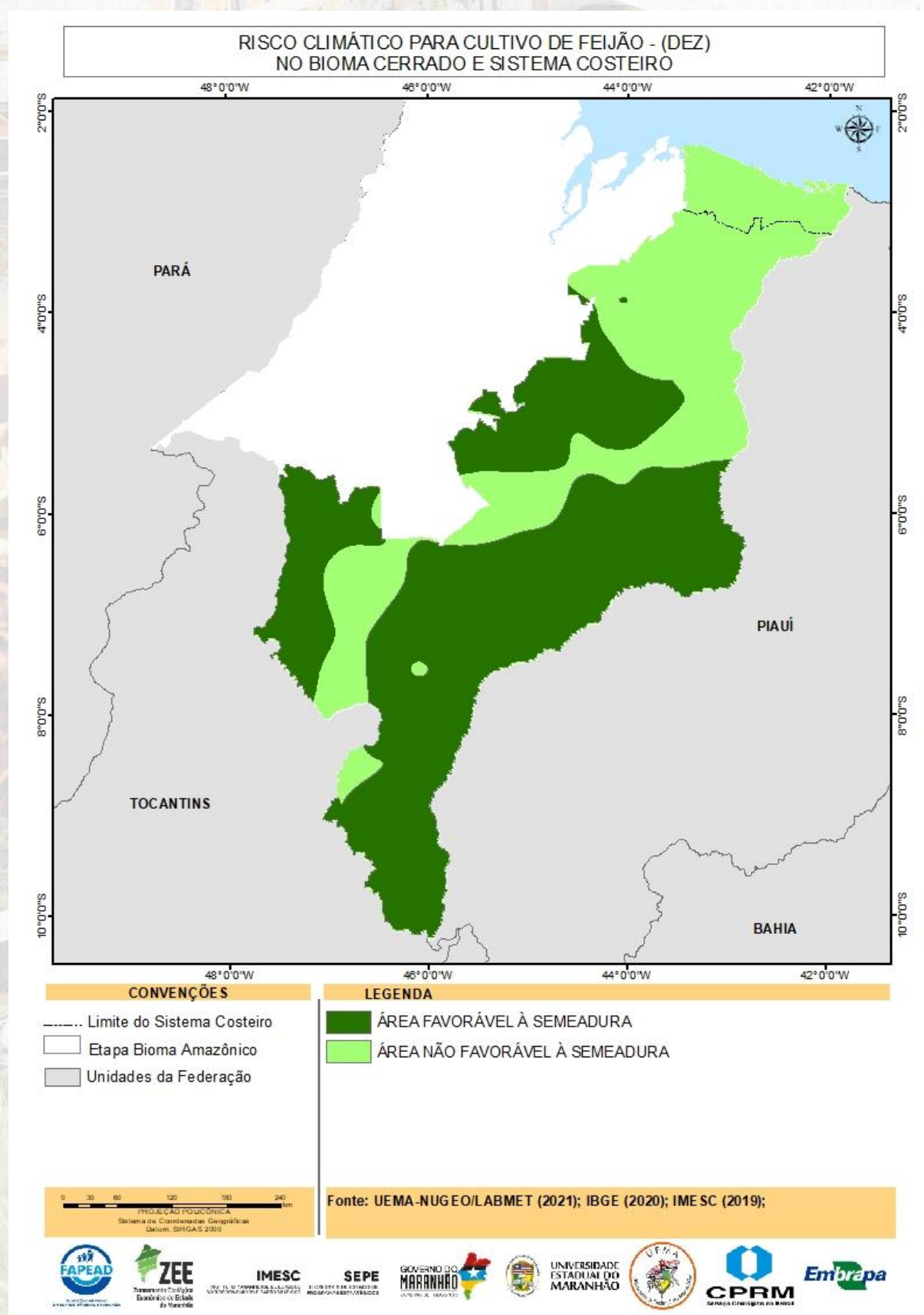


Figura 33 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do feijão em janeiro

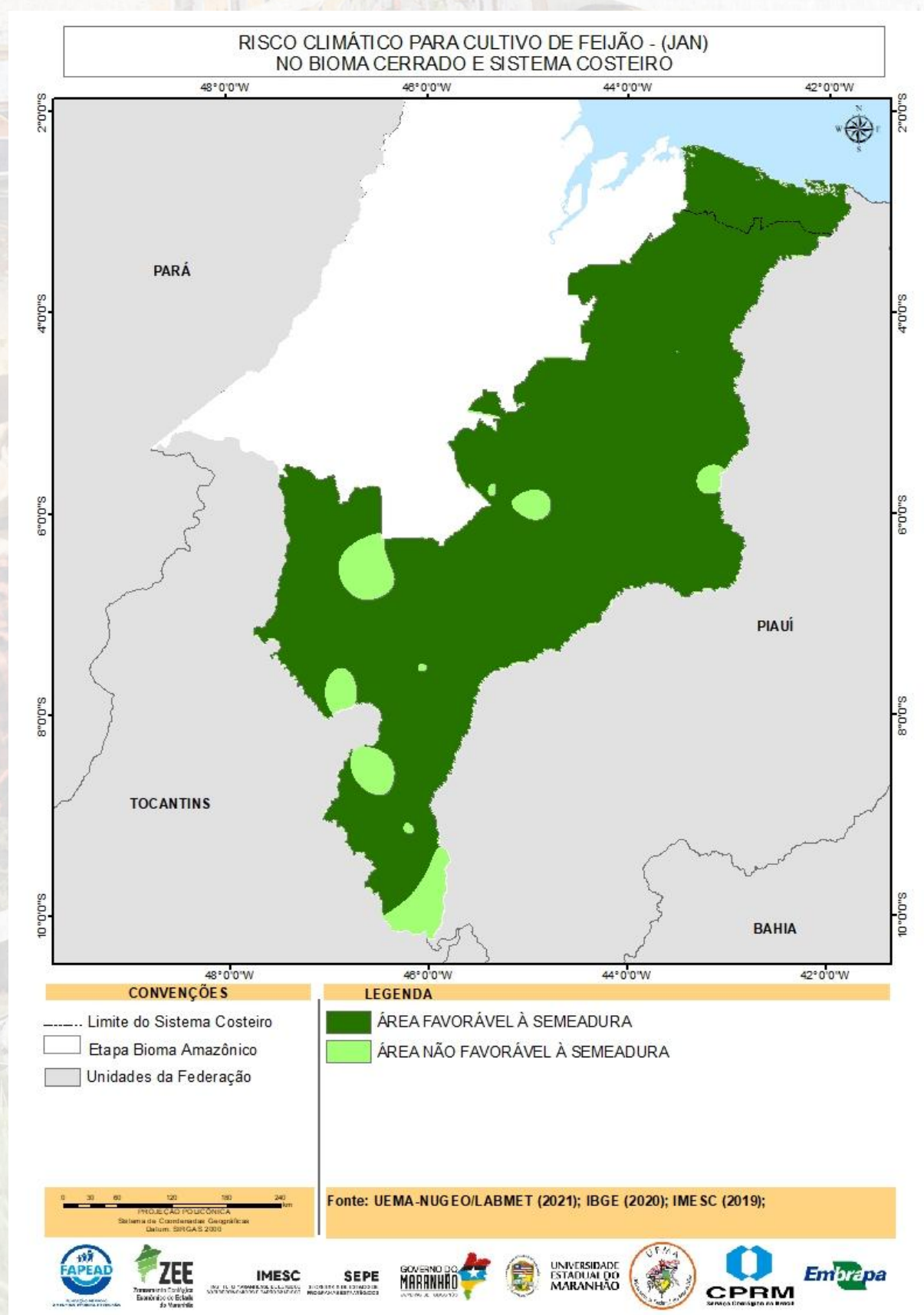


Figura 34 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do feijão em fevereiro

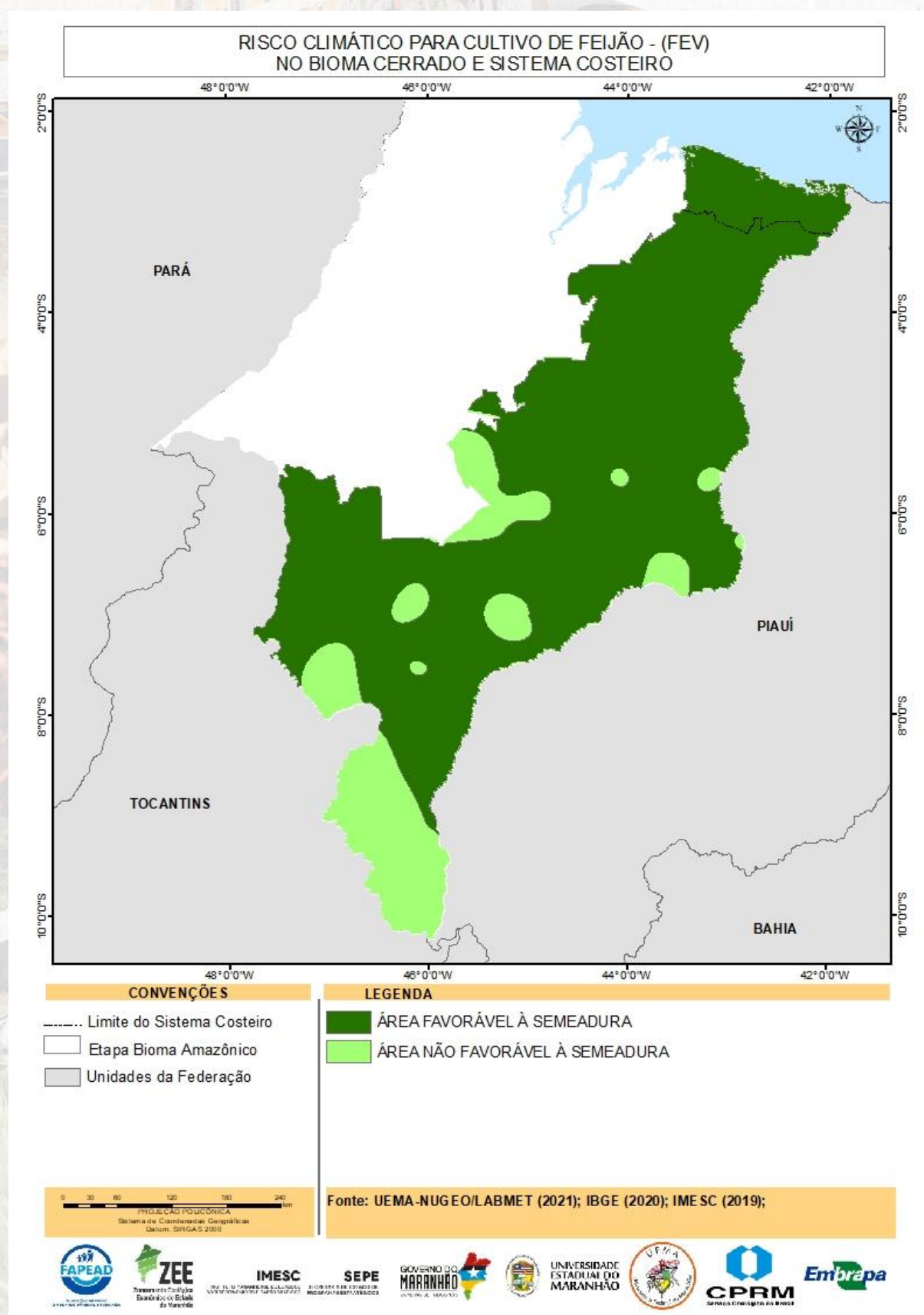
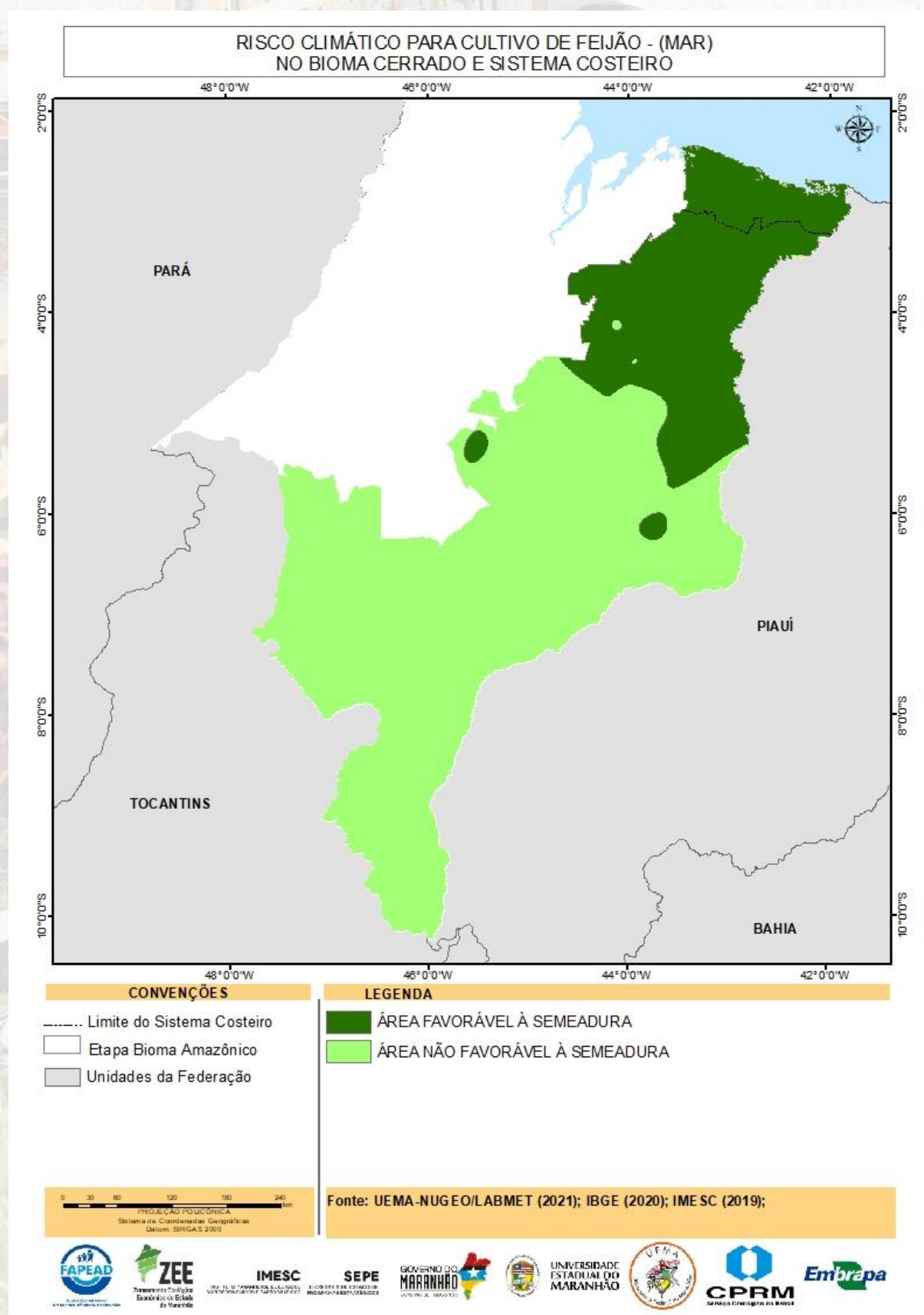


Figura 35 – Áreas favoráveis com menor risco climático para plantio da cultura do feijão em março



Em termos percentuais (Quadro 1), as áreas favoráveis ao plantio com baixo risco climático para todas as culturas ampliam-se à medida que os meses avançam até o mês de janeiro, quando mais de 90% da área do Bioma encontra-se com aptidão hídrica plena nas duas fases principais do ciclo produtivo, a fase da semeadura/emergência e floração/enchimento dos grãos.

A partir de fevereiro, as áreas favoráveis reduzem gradativamente, concentrando-se apenas na porção norte do Bioma. Dentre as culturas analisadas, a cultura do milho é a que apresenta os maiores percentuais de áreas favoráveis ao plantio com menor risco climático, seguido pela soja. Por outro lado, a cultura do arroz apresenta os menores percentuais de área favorável ao plantio com risco climático baixo.

Quadro 1 – Percentual de área favorável (menor risco climático) ao plantio das culturas de sequeiro em relação à área do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão

Cultura	Meses de Plantio							
	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Maio
Soja	34,2	59	80,2	92	51,6	4,3	-	-
Milho	46	68	90,2	90,6	53,2	3,5	-	-
Arroz	15,5	36,3	61,5	68,8	22,2	-	-	-
Feijão	18,1	55,6	62	92,8	82	27,9	-	-

Fonte: Elaboração própria.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo diagnóstico climático para o Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão revelou que:

- As chuvas apresentam variabilidade espacial condizente com a atuação dos diferentes sistemas meteorológicos. No norte do Bioma, os maiores volumes de chuvas se concentram entre os meses de fevereiro e maio, associados à atuação da Zona de Convergência Intertropical. Por outro lado, a porção sul do Bioma apresenta os maiores volumes entre os meses de novembro a fevereiro, associados à atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul;
- A temperatura média do ar apresenta valores altos, típicos das regiões equatoriais, não sofre grandes variações espaciais, sendo influenciada pela variabilidade das chuvas, assim como, por fatores com a maritimidade no norte do Bioma e pelos efeitos da continentalidade e relevo na porção sul do Bioma;
- A evapotranspiração potencial é elevada, condicionada pelas temperaturas mais altas, proporcionando maior demanda de chuva que mantém a região em equilíbrio hídrico para manutenção dos ecossistemas existentes;
- Devido ao volume das chuvas e sua distribuição geográfica, aliados às perdas de água por evapotranspiração, a região apresenta sazonalidade nos períodos de excesso e deficiência de água. Os maiores volumes de excesso hídrico anual são concentrados no norte e sul/sudoeste e os menores concentrados na porção sudeste da região. Por outro lado, observa-se predomínio de deficiência hídrica acentuada, principalmente na porção leste do Bioma, devido às maiores demandas exigidas pela evapotranspiração potencial;
- Na porção norte da região do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão, observa-se potencial de erosividade muito forte. Nos outros setores da região do Bioma, a erosividade varia de forte à moderada;
- As porções norte e sudoeste são consideradas áreas menos suscetíveis à desertificação, classificadas de acordo com o Índice de Aridez como Subúmido Úmido. Porém, na porção sudeste e na região do Baixo Parnaíba maranhense, as características são de Subúmido Seco. Observa-se ainda que, no extremo sudeste da região do Bioma, há indicação de Semiaridez;
- A região apresenta áreas de risco para o plantio das culturas de sequeiro que dependem da época de plantio, devido à variabilidade sazonal das chuvas. A janela para plantio com menor risco de perdas de safra varia entre os meses de outubro e março. Em outubro, o plantio é

recomendado somente na porção sul, avançando para os meses subsequentes para as outras regiões, de forma que na porção norte, o plantio só é recomendado a partir de janeiro, quando as chuvas já estão estabelecidas. A partir de fevereiro, o plantio com menor risco climático e consequentemente menor risco de quebra de safra só é recomendado na porção norte. Nas outras regiões, só se recomenda o plantio safrinha por ainda haver disponibilidade de água para o plantio;

- Observa-se, portanto, que a região do Bioma Cerrado e Sistema Costeiro do Maranhão encontra-se em condições climáticas no limite, o que pode se agravar com os cenários de mudanças climáticas estabelecidos por modelos de previsão, que projetam, principalmente, aumento na temperatura do ar para as próximas décadas, o que pode colocar em risco todo o ecossistema existente, com impactos na biodiversidade, na disponibilidade hídrica, na agricultura e principalmente na economia local, com reflexo nos indicadores sociais e de desenvolvimento humano.

REFERÊNCIAS

BARON, C. *et al.* **Manuels d'utilisation de:** SARRAMET 45p SARRABIL 35p et SARRAZON 29p. Montpellier: CIRAD, 1996.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. **Bragantia**, Campinas, v. 51, n. 2, p. 189-196, 1992. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/JVzbSngjnsnGX3mFhQyXQNG/?lang=pt>. Acesso em: 25 set. 2022.

MENEZES, R. H. N. **Caracterização agroclimática e análise do rendimento agrícola do Estado do Maranhão, Brasil**. 2009. 188f. (Tese de Doutorado em Meteorologia) – Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande – Paraíba – Brasil, 2009. Disponível em: <https://dspace.sti.ufcg.edu.br/handle/riufcg/2084>. Acesso em: 25 set. 2022.

PENMAN, H.L. The physical bases of irrigation control. *In*: INTERNATIONAL HORTICULTURAL CONGRESS, 13., 1953. [Report] [...]. London: Royal Horticultural Society, 1953. p. 913-924.

THORNTON, C.W.; HOLZMAN, B. Evaporation and transpiration. *In*: UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Climate and Man**: Yearbook of Agriculture -- 1941. Washington D.C.: U.S. Department of Agriculture, 1941, p. 545-550. Disponível em: <https://archive.org/details/yoa1941/page/n7/mode/2up>. Acesso em: 25 set. 2022.

THORNTON, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Centerton: Drexel Institute of Technology-Laboratory of Climatology, 1955. (Publications in Climatology, v. 8, n. 1).

**DIAGNÓSTICO
CLIMÁTICO
DO ZONEAMENTO
ECOLÓGICO-ECONÔMICO
DO ESTADO DO
MARANHÃO (ZEE-MA) -
ETAPA BIOMA CERRADO E
SISTEMA COSTEIRO
(RELATÓRIO TÉCNICO)**

INSTITUIÇÕES:

IMESC SEPLAN

GOVERNO DO
MARANHÃO



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DO
MARANHÃO



FUNDAÇÃO DE APOIO
AO ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO



CPRM
Serviço Geológico do Brasil

Embrapa



Acesse:

zee.ma.gov.br