

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GEOGRAFIA E GESTÃO DO TERRITÓRIO

CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA
APLICADA AO BIOMA CERRADO

GIULIANO TOSTES NOVAIS

UBERLÂNDIA / MG

2019

GIULIANO TOSTES NOVAIS

***CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA
APLICADA AO BIOMA CERRADO***

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial à obtenção do título de doutor em Geografia.

Área de Concentração: Geografia e Gestão do Território.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Luís Silva Brito

Uberlândia/MG

INSTITUTO DE GEOGRAFIA

2019

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

N935 2019	<p>Novais, Giuliano Tostes, 1974- Classificação climática aplicada ao Bioma Cerrado [recurso eletrônico] / Giuliano Tostes Novais. - 2019.</p> <p>Orientador: Jorge Luís Silva Brito. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Geografia. Modo de acesso: Internet. Disponível em: http://dx.doi.org/10.14393/ufu.te.2019.2199 Inclui bibliografia. Inclui ilustrações.</p> <p>1. Geografia. I. Brito, Jorge Luís Silva, 1966-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em Geografia. III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 910.1</p>
--------------	---

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

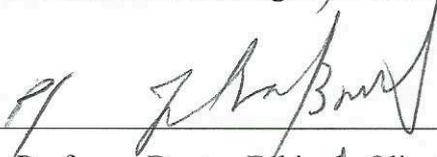
Programa de Pós-Graduação em Geografia

GIULIANO TOSTES NOVAIS

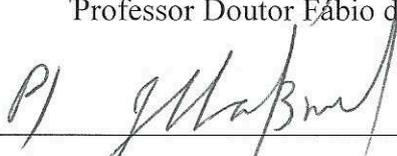
“PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA APLICADA AO BIOMA CERRADO”



Professor Doutor Jorge Luis Silva Brito (Orientador) - UFU



Professor Doutor Fábio de Oliveira Sanches – UFJF- MG



Professor Doutor Emerson Galvani – USP



Professora Doutora Camila Bertoletti Carpenedo – UFU



Professor Doutor Vanderlei de Oliveira Ferreira - UFU

Data: 12/1/07 de 19

Resultado: APROVADO

**ESSA OBRA É DEDICADA A TODOS OS MEUS ALUNOS
DOS CURSOS DE GEOGRAFIA POR ONDE PASSEI.**

**AO MEU QUERIDO FILHO PEDRO ARMADA VILELA NOVAIS, CARINHOSAMENTE
CHAMADO DE CARINHA.**

AGRADECIMENTOS

Apreendi a gostar do tempo atmosférico desde a instalação de uma estação climatológica no quintal de minha casa na cidade do Prata-MG. Essa estação, carinhosamente denominada de Estação Climatológica da Casa Amarela, foi cedida pelo Laboratório de Climatologia e Recursos Hídricos do Instituto de Geografia (IG) da Universidade Federal de Uberlândia pelo professor Washington. Durante sete anos (2002-2009) eu, meu pai, minha mãe e minha sobrinha Deborah fizemos medições dos elementos climáticos três vezes ao dia (9h – 15h – 21h), e com isso, pude compreender o tempo no entorno da cidade, me arriscando até fazer surpreendentes previsões. A elaboração de climogramas dessas medições me despertou para a análise do clima da minha região, resultando na dissertação de mestrado apresentada ao IG sobre a caracterização climática do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba. A partir daí eu já sabia que meu futuro seria na área da Climatologia.

A trajetória da minha vida mudou radicalmente a partir de 2007, ano que conheci a minha querida esposa Taís. Estava alegremente adaptado a uma cidade pequena do interior do Triângulo Mineiro, trabalhando como escrevente no cartório de notas e prestando eventualmente serviços como geógrafo em mapeamentos municipais, quando ela surgiu no Carnaval do Prata. A partir daí me incentivou a fazer uma especialização para melhorar meus trabalhos técnicos, com isso fui chamado para ministrar minhas primeiras aulas em um curso superior, na Faculdade Católica de Uberlândia, onde trabalhei por quatro anos. Concomitantemente, ingressei no mestrado e comecei a estudar para concursos docentes por todo o Brasil. Ela me acompanhou por todos os cantos, desde os confins da Amazônia, passando pelo Maranhão, Mato Grosso, Minas Gerais até chegar ao Planalto Central, onde fui aprovado e nomeado como docente efetivo do curso de Geografia no Câmpus Formosa da Universidade Estadual de Goiás. Hoje como professor universitário, agradeço

toda essa trajetória acadêmica a ela, Taís Armada Vilela Novais. E como fruto do nosso amor, nasceu o cara mais importante da minha vida, nosso filho Pedro, que ontem (22/05/2019) completou quatro anos, e é pra esse cara que dedico essa obra tão importante.

Um reconhecimento especial ao meu grande amigo Daniel Monteiro Huertas, o “Paulista”, que juntamente com a Taís, me tirou daquela cidadezinha do interior, mostrando que meu futuro poderia ser muito melhor do que de um escrevente de cartório, que sonhava com os lugares mais recônditos desse planeta.

Aos meus queridos pais, Renato e Lêda, tenho o privilégio de sempre ter contado com o apoio, presença e carinho, indispensáveis à minha formação. A Vânia e ao Zeti, pais da Taís, agradeço por todo incentivo e elogios a meu trabalho.

Os meus sinceros agradecimentos a meu orientador professor Jorge, e aos professores Vanderlei, Camila e Fabio Sanches, pela acolhida para com essa tese e pelas dicas valiosas na qualificação desse trabalho, tornando possível minha realização acadêmica.

Não posso esquecer das centenas de alunos, que nesses dez anos de vida acadêmica, tive a oportunidade de colaborar em suas formações. Me recordo de todos, desde a Faculdade Católica de Uberlândia, Universidade Federal do Triângulo Mineiro e Universidade Estadual de Goiás, um grande abraço.

Hoje, acredito que consegui colocar no papel toda a visão científica que obtive a partir do meu trabalho diário de coleta de informações no Posto Climatológico da Casa Amarela, em que observava conjuntamente, todos os aspectos climáticos que influenciavam o tempo, associando os modelos empíricos e genéticos na criação de uma nova classificação climática, que agora poderá ser aplicada em todo o território brasileiro, e quiçá, do mundo.

Brutal!

RESUMO

A classificação climática é considerada um estudo básico para auxílio no planejamento ambiental e econômico, definindo o clima em diversas regiões. Os modelos de classificação permitem uma compreensão sintética das principais características climáticas de uma região. Esta tese propõe uma nova abordagem de mapeamento das unidades climáticas para a área nuclear do Cerrado brasileiro, considerando a temperatura média do mês mais frio (TMMMF), a quantidade de meses secos, a influência de sistemas atmosféricos e seus efeitos na precipitação pluviométrica, e nas passagens de frentes frias com possibilidade de formação de geadas. Essa proposta de classificação climática possui uma hierarquia, podendo ser dividida em Domínios, Subdomínios, Tipos, Subtipos e Meso/Topoclimas. Para determinar as unidades climáticas foram utilizados dados de 456 postos de coleta de precipitação pluviométrica da Agência Nacional de Águas (ANA) e 41 estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O algoritmo CHELSA foi utilizado para delimitar as isotermas dos mapas de temperatura do ar, tendo uma melhor distribuição dos dados em regiões com ausência de estações. Quatro domínios climáticos foram identificados na área de estudo: Equatorial, Tropical, Tropical Ameno e Subtropical; esses são subdivididos em subdomínios climáticos (com quantidade de meses secos) e tipos climáticos (localização no território brasileiro). A definição das unidades climáticas do Cerrado fornece importantes subsídios para novos estudos regionais em climatologia (climatologia de detalhe). Esse novo sistema de classificação climática é aperfeiçoado, devido à grande quantidade de dados históricos, podendo ser usado em análises ambientais, didáticas e agrícolas.

Palavras-Chave: Unidades Climáticas do Cerrado, Temperatura média do mês mais frio, Quantidade de meses secos, Sistemas atmosféricos, Planejamento Ambiental.

ABSTRACT

Climate classification is considered a basic study for aiding environmental and economic planning, defining the climate on several regions. The classification models allow a synthetic understanding of the main characteristics of a region. This thesis proposes a new approach to the mapping of climatic units to the Brazilian Cerrado nuclear area, considering the average temperature of the coldest month, the number of dry months, the influence of atmospheric systems and their effects on rainfall, the occurrence of cold fronts and possibility of frost. The proposed climate classification system has a hierarchy divided into Domains, Subdomains, Types, Subtypes and Meso/Topoclimas. To determine the climatic units, data from 456 rainfall collection stations of the National Water Agency (ANA), 41 stations of the National Institute of Meteorology (INMET) were used. The CHELSA algorithm was used to delimit the isotherms of the air temperature maps, with a better distribution of the data in regions with no seasons. Four climatic domains were identified in the study area: Equatorial, Tropical, Mild Tropical and Subtropical; these are subdivided into climatic subdomains (with number of dry months) and climatic types (location in Brazilian territory). The definition of the climatic units of the Cerrado provides important subsidies for new regional studies in climatology (climatology of detail). This new climate classification system is improved due to the large amount of historical data, and can be used in environmental, didactic and agricultural analysis.

Key words: Climate Units of Cerrado, Temperature of the coldest month, Number of dry months, Atmospheric systems, Environmental Planning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Classificação climática de Koppen para o Brasil	17
Figura 2: Classificação climática de Strahler para o Brasil, e influência das massas de ares.....	23
Figura 3: Mapa de Clima do Brasil (Nimer/IBGE)	30
Figura 4: Representação esquemática dos sistemas atmosféricos atuantes na baixa troposfera da América do Sul	37
Figura 5: Carta sinótica mostrando a atuação da ZCIT desde o litoral do Maranhão ao Ceará, no dia 31 de março de 2019	39
Figura 6: Fluxograma das etapas metodológicas	52
Figura 7: Imagem da suavização das curvas das isotermas CHELSA com a ajuda do programa CorelDraw	62
Figura 8: Incidência solar no planeta	69
Figura 9: O globo e as divisões das zonas climáticas	70
Figura 10: Distribuição média dos climas zonais no globo	73
Figura 11: Temperatura Média do ar durante os meses de janeiro, fevereiro, março e abril no Bioma Cerrado.....	83
Figura 12: Temperatura Média do ar durante os meses de maio, junho, julho e agosto no Bioma Cerrado.....	87
Figura 13: Temperatura Média do ar durante os meses de setembro, outubro, novembro e dezembro no Bioma Cerrado	88
Figura 14: Pluviosidade Média durante os meses de janeiro, fevereiro, março e abril no Bioma Cerrado	102
Figura 15: Pluviosidade Média durante os meses de maio, junho, julho e agosto no Bioma Cerrado	104
Figura 16: Pluviosidade Média durante os meses de setembro, outubro, novembro e dezembro no Bioma Cerrado	106
Figura 17: Evapotranspiração Potencial (ETP) durante os meses de janeiro, fevereiro, março e abril no Bioma Cerrado	110
Figura 18: Evapotranspiração Potencial (ETP) durante os meses de maio, junho, julho e agosto no Bioma Cerrado	111
Figura 19: Evapotranspiração Potencial (ETP) durante os meses de setembro, outubro, novembro e dezembro no Bioma Cerrado	114

Figura 20: Unidades climáticas brasileiras, da primeira a terceira hierarquia	
Figura 21: Comparação das classificações climáticas de Koppen e Novais para o estado de Goiás	167
Figura 22: Comparação das classificações climáticas de Strahler e Novais para o centro brasileiro	168
Figura 23: Comparação das classificações climáticas de Nimer e Novais para o estado do Mato Grosso do Sul	169

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Extrato do balanço hídrico para a cidade de Uberaba (MG). Dados de 1981-2015	64
Gráfico 2: Comparação da temperatura média anual das estações do INMET na área de estudo, com o algoritmo CHELSA, durante os anos de 1979 a 2013	80

LISTA DE IMAGENS

Imagem 1: Subdomínio Equatorial semiúmido - Praia no Rio Araguaia em Conceição do Araguaia (PA).....	138
Imagem 2: Subdomínio Equatorial semiseco - Vegetação de Cerrado em Barreirinhas (MA).....	138
Imagem 3: Subdomínio Equatorial seco - Vista da Serra das Alpercatas em Mirador (MA).....	138
Imagem 4: Subdomínio Tropical úmido - Vista da cidade de Dourados (MS)	145
Imagem 5: Subdomínio Tropical semiúmido - Planalto Central em Pirenópolis (GO)	145
Imagem 6: Subdomínio Tropical semiseco – Vista da Serra da Boa Vista, Prata (MG)	145
Imagem 7: Subdomínio Tropical seco – Aspecto da paisagem em Corrente (PI)	146
Imagem 8: Subdomínio Tropical Ameno úmido - Vista do alto da Serra de Botucatu (SP)	157
Imagem 9: Subdomínio Tropical Ameno semiúmido - Chapada dos Veadeiros em Alto Paraíso de Goiás (GO)	157

Imagem 10: Subdomínio Tropical Ameno semiseco - Estrada Real na Serra do Espinhaço, Diamantina (MG)	158
Imagem 11: Subdomínio Subtropical úmido – Paisagem em Jaguariaíva (PR)	163
Imagem 12: Subdomínio Subtropical semiúmido - Vegetação de Campo Rupestre na Serra da Canastra, São Roque de Minas (MG)	163

LISTA DE MAPAS

Mapa 1: Limite da área nuclear do Cerrado brasileiro	54
Mapa 2: Relevo e hidrografia da área nuclear do Cerrado brasileiro	57
Mapa 3: Estações climatológicas utilizadas	61
Mapa 4: Estações pluviométricas utilizadas	65
Mapa 5: Passagem de frentes frias e ocorrência de geada e neve no território brasileiro	80
Mapa 6: Temperatura Média Anual – Bioma Cerrado	90
Mapa 7: Temperatura Média do mês mais frio (TMMM) – Bioma Cerrado	92
Mapa 8: Possibilidade de formação de geada no período climatológico (30 anos) dentro do Bioma Cerrado	94
Mapa 9: Pluviosidade Média na estação do Verão – Bioma Cerrado	96
Mapa 10: Pluviosidade Média na estação do Outono – Bioma Cerrado	97
Mapa 11: Pluviosidade Média na estação do Inverno – Bioma Cerrado	99
Mapa 12: Pluviosidade Média na estação da Primavera - Bioma Cerrado	100
Mapa 13: Pluviosidade Média Anual no Bioma Cerrado	108
Mapa 14: Evapotranspiração Potencial Anual – Bioma Cerrado	117
Mapa 15: Excedente Hídrico Anual – Bioma Cerrado	118
Mapa 16: Déficit Hídrico Anual – Bioma Cerrado	119
Mapa 17: Quantidade de meses secos (Precipitação < ETP) no Bioma Cerrado	121
Mapa 18: Climas Zonais do Bioma Cerrado	124
Mapa 19: Unidades climáticas do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba-MG	126
Mapa 20: Domínios Climáticos do Bioma Cerrado	130
Mapa 21: Subdomínios Climáticos do Bioma Cerrado	132
Mapa 22: Tipos Climáticos do Bioma Cerrado	135
Mapa 23: Unidades climáticas da área nuclear do Cerrado brasileiro	136

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1: Grandes grupos climáticos de Köppen-Geiger	16
Quadro 2: Subgrupos climáticos de Köppen-Geiger	16
Quadro 3: Subdivisões climáticas de Köppen-Geiger	17
Quadro 4: Tipos climáticos de Thorntwaite (1948)	25
Quadro 5: Unidades climáticas brasileiras	127
Quadro 6: Dados das estações meteorológicas do INMET localizadas no Domínio Subtropical e seu entorno	129
Quadro 7: Características do Domínio Climático Equatorial, e suas subdivisões no Cerrado	140
Quadro 8: Características do Domínio Climático Tropical, e suas subdivisões no Cerrado	148
Quadro 9: Características do Domínio Climático Tropical Ameno, e suas subdivisões no Cerrado	159
Quadro 10: Características do Domínio Climático Subtropical, e suas subdivisões, no Cerrado	164
Quadro 11: Comparativo das principais classificações climáticas utilizadas na área de estudo com a proposta de classificação desse trabalho	169
Tabela 1: Precipitações do ano de 2014	66

SUMÁRIO

Agradecimentos	I
Resumo	III
Abstract	IV
Lista de Figuras, Gráficos, Imagens, Mapas, Quadros e Tabelas	V
Sumário	IX
Introdução	1
1. Revisão da literatura	6
1.1. Área de domínio da vegetação do Cerrado	6
1.2. Histórico das classificações climáticas	12
1.2.1. Köppen-Geiger	14
1.2.2. Strahler	20
1.2.3. Thornthwaite	22
1.2.4. Gaussen	26
1.2.5. Nimer	28
1.2.6. Outras classificações climáticas utilizadas	30
1.3. Sistemas Meteorológicos da América do Sul que afetam o clima no centro do Brasil	31
1.3.1. Circulação geral dos ventos	32
1.3.2. Interação da circulação oceânica com a atmosfera	34
1.3.3. Sistemas meteorológicos	36
2. Metodologia para uma proposta de classificação climática aplicada ao Bioma Cerrado	50
2.1. Caracterização física da área de estudo	53
2.2. Temperatura do ar	58
2.2.1. Algoritmo utilizado para estimativa da temperatura do ar	59
2.2.2. Estações climatológicas utilizadas	60
2.2.3. Elaboração cartográfica dos mapas térmicos	61
2.3. Precipitação pluviométrica	63
2.3.1. Balanço hídrico e evapotranspiração	63
2.3.2. Estações pluviométricas utilizadas	64
2.3.3. Elaboração cartográfica dos mapas pluviométricos	66
2.4. Sistemas meteorológicos utilizados na classificação climática	67

2.5. Delimitação das unidades climáticas	68
3. Resultados e Discussões	79
3.1. Distribuição espacial dos aspectos climáticos no Bioma Cerrado	80
3.1.1. Variação da temperatura no tempo e no espaço	81
3.1.2. Variação da precipitação pluviométrica no tempo e no espaço	94
3.1.3. Variação da evapotranspiração potencial no tempo e no espaço	108
3.1.4. Variação do balanço hídrico climatológico para o Cerrado	116
3.1.5. Quantidade de meses secos	119
3.2. Proposta de Unidades climáticas para o Bioma Cerrado	121
3.2.1. Climas Zonais do cerrado.....	123
3.2.2. Domínios, subdomínios e tipos climáticos do Cerrado	125
3.2.3. Domínio Climático Equatorial	137
3.2.4. Domínio Climático Tropical	143
3.2.5. Domínio Climático Tropical Ameno	156
3.2.6. Domínio Climático Subtropical	162
3.3. Comparação das principais classificações climáticas utilizadas com a da proposta desse trabalho	166
4. Considerações finais	170
5. Referências	174

INTRODUÇÃO

O propósito de uma classificação climática é obter uma disposição eficiente das informações do clima, e aplicá-la de forma simples e generalizada. Para isso são utilizadas técnicas estatísticas em sua delimitação, servindo satisfatoriamente a algumas finalidades. As unidades geradas por uma classificação climática devem promover um entendimento geral do clima em seus locais de atuação.

Segundo Nascimento et al (2016), a delimitação e a descrição dos parâmetros climáticos são utilizados pelas classificações climáticas no intuito de sintetizar a grande quantidade de informações relacionadas as características do clima de um certo lugar.

A maior fonte de energia que chega a Terra vem do Sol. Se determinarmos os locais onde a incidência solar seja maior, talvez possamos definir uma primeira hierarquia na classificação climática, a zonal.

A temperatura média do mês mais frio (TMMMMF) serve para delimitar os Climas Zonais. A energia solar que a superfície terrestre recebe, irradiando em ondas longas de volta para o espaço, diferencia-se latitudinalmente, tornando a temperatura o elemento climático principal nessa escala (NOVAIS, 2017).

De acordo com Strahler (1989), em qualquer lugar da Terra, a quantidade de energia solar recebida em um dia dependerá, basicamente, de três fatores: 1) o ângulo solar sobre a superfície; 2) o fotoperíodo ou tempo de duração da exposição dos raios solares e, 3) a cobertura de nuvens. Esses fatores variam com a latitude e conseqüentemente, com a mudança das estações do ano, que faz variar a trajetória do Sol no firmamento.

O clima de um local pode influenciar nas condições de saúde da população. Sigaud (2009) afirma que valores altos de temperatura e umidade juntamente com a morfologia do relevo local são agentes que provocam enfermidades. O transbordamento de grandes rios mantém vastos

depósitos de detritos vegetais, que devido a sua decomposição, causam febres intermitentes na população, sendo agravadas por emanações pantanosas de vales com baixa declividade.

Para Novais (2018), Koeppen em 1948 dizia que as populações que vivem em regiões equatoriais do planeta tornam-se sensíveis a variação térmica e sentem frio quando a temperatura fica abaixo de 22°C; mesmo os europeus possuem essa sensibilidade depois de passarem por um período de poucos meses sobre o clima tropical. Populações do continente africano sentem frio a partir da isoterma de 23°C. Koeppen (1948) ainda afirmava que o desenvolvimento de certos parasitas e vermes típicos de climas tropicais seriam influenciados pela alta temperatura dessa região do Globo, e a isoterma limite para esse crescimento tem o valor de 18°C. Já Mendonça & Danni-Oliveira (2003) cita casos de dengue relacionados à temperatura do ar elevada na região tropical:

A distribuição dos mosquitos, a frequência de suas picadas e o período de incubação do vírus são afetados pela temperatura, pluviosidade e velocidade do vento; por exemplo, com uma temperatura de 27°C, o período de incubação é de dez dias, no entanto a 37°C esse período passa a ser de sete dias. Além disso, a intermitência das chuvas no final da estação de verão e os ventos calmos acentuam a proliferação e atuação do vetor (2003, p. 210).

Outro fator a se considerar na questão são os sistemas atmosféricos, pois os mesmos influenciam diretamente em todos os climas ao redor do mundo. Ventos alísios, anticiclones, frentes, zonas de convergência e áreas de baixa pressão podem alterar a quantidade de chuva e de dias de estiagem, modificando também o valor das temperaturas do ar de um local.

Segundo Barry & Chorley (2013), a atmosfera atua como uma máquina térmica gigante, onde a diferença de temperatura entre os polos e o equador, causada pelo aquecimento solar diferencial, impulsiona a circulação atmosférica e oceânica no planeta.

A atmosfera e a dinâmica climática possuem uma variabilidade complexa, mas nas últimas décadas houve mudanças fundamentais para o entendimento desse desempenho, graças ao desenvolvimento e à aplicação de modelos numéricos do clima e do tempo.

O estudo do espaço geográfico e dos aspectos ambientais nele inseridos implica numa série de conhecimentos e informações que podem ser trabalhados de maneira mais ágil, fácil e rápida com as geotecnologias (FITZ, 2008).

O surgimento dos satélites artificiais, durante a década de 1970, proporcionou uma nova dimensão de observação aérea, apresentando novas possibilidades para o sensoriamento remoto, como as imagens de satélite, dinamizando a representação do espaço (CASTRO, 2012).

A meteorologia também se aproveitou da invenção dos satélites para monitorar o tempo em cada zona do planeta Terra.

Para Fitz (2008), a conversão de informações geográficas do mundo real para uma base de dados virtual compreende uma série de modelizações lógico-matemáticas. Tais modelagens seguem determinados padrões que podem ser estruturados física ou virtualmente. No uso do Sistema de Informação Geográfica (SIG) o interesse recai na modelagem virtual. Entretanto, determinados elementos físicos e concretos, muitas vezes, auxiliam sobremaneira o entendimento de tais modelos.

Os modelos de análise e interpretação da superfície terrestre são interpretados por profissionais habilitados, como é enfatizado por Fitz (2008):

A interatividade necessária para que possa trabalhar o meio ambiente como um todo, de forma interdisciplinar, torna necessária uma busca por ferramentas e técnicos qualificados para sua concretização. A inserção de profissionais de diferentes áreas do conhecimento, com destaque para o geógrafo, torna-se essencial para um bom resultado dos trabalhos desenvolvidos (2008, p.11).

Este trabalho tem como objetivo principal a elaboração de uma classificação climática para ser aplicada na área de estudo, com uma nova abordagem de mapeamento das unidades climáticas.

A temperatura média do mês mais frio (TMMMMF) é a principal variável térmica utilizada no trabalho, delimitando todos os *Climas Zonais* e a maioria dos *Domínios Climáticos*. A quantidade de meses secos é determinada pela diferença da precipitação pluviométrica com a evapotranspiração potencial (ETP). As unidades climáticas também são separadas pelos sistemas atmosféricos, que tem influência na precipitação pluviométrica, e nas passagens de frentes frias com possibilidade de formação de geadas. Como objetivos específicos se tem a obtenção dos dados climáticos para testar um algoritmo de temperatura (CHELSA) e a espacialização desses dados para o Bioma Cerrado.

A justificativa para essa pesquisa se dá em relação a outras classificações climáticas, que abordam de forma mais generalizada o clima da área de estudo. A exemplo da classificação de Strahler, a mais utilizada, em que todo o bioma é classificado como Tropical, não existindo diferenciação de locais mais úmidos, mais frios e com influência do relevo. Claro que na época em que essas classificações surgiram não havia todo o aparato tecnológico que temos nos dias de hoje (softwares de SIG e de estatística, dados de reanálise, maior disponibilidade de dados observados e sua temporalidade). Para isso, essa nova classificação melhora substancialmente a capacidade de análise, ajudando nos aspectos associados as mudanças ambientais. O Cerrado foi escolhido para testar a metodologia por representar um dos maiores biomas do país, de tamanho adequado para a visualização didática das diferentes unidades climáticas utilizadas nessa proposta de classificação, e também por ser responsável pelas nascentes dos principais rios que abastecem grande parte da população brasileira.

A definição das unidades climáticas do Bioma Cerrado fornece importantes subsídios para novos estudos regionais em climatologia (climatologia de detalhe), apresentando dados de forma mais didática, que poderão subsidiar atividades antrópicas, visando um melhor planejamento das condições ambientais de cada localidade.

Como hipótese, pretendemos fornecer nessa classificação climática um melhor refinamento na delimitação dos climas (por exemplo, a utilização do relevo para definição das menores unidades climáticas) em comparação com outras classificações utilizadas anteriormente.

O levantamento e a quantificação dos dados climáticos foram disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA) juntamente pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Foram elaborados mapas contendo informações da distribuição espacial da temperatura do ar média anual e mensais; temperatura média do mês mais frio (TMMMMF); possibilidade de formação de geada; precipitação média anual, mensais e estacionais; excedente e déficit hídrico anuais, evapotranspiração potencial (ETP) média anual e mensais; quantidade de meses secos; e unidades climáticas propostas por essa tese.

A tese foi dividida em três capítulos. O primeiro faz uma revisão da literatura desde a área de influência da vegetação do Cerrado, passando por um histórico das classificações climáticas mais utilizadas e dos sistemas atmosféricos que atuam na área de estudo. O segundo capítulo traz a metodologia da proposta de classificação climática abrangendo os aspectos térmicos, pluviométricos e de balanço hídrico, e também como foram feitas as delimitações das unidades climáticas. No terceiro capítulo são apresentados os resultados e discussões com a distribuição dos aspectos climáticos no bioma em forma de mapas e a proposta de classificação climática em si. As considerações finais analisam a proposta e a compara com os outros sistemas de classificação.

1. REVISÃO DA LITERATURA

1.1. Área de domínio da vegetação do Cerrado

A savana foi um termo que surgiu no final do século XIX para nomear os lhanos da Venezuela, sendo introduzido na África pelos naturalistas espanhóis como Savannah e no Brasil por Campos. Essa vegetação caracteriza-se pelo domínio de árvores, arbustos e vegetação herbácea. As árvores apresentam altura média de três a dez metros, sendo, em geral, espaçadas e com copas amplas. A cobertura herbácea é contínua e parece um tapete no meio das árvores e arbustos (BRASIL, 2012).

A savana brasileira é denominada de Cerrado e está classificada entre os principais biomas ou domínios fitogeográficos do planeta. Possui várias definições, baseadas em conceitos diferenciados. Eiten (1986) sugeriu que a savana se encaixaria em dois grandes grupos de acepções do termo: uma fisionomia de vegetação, aplicável a qualquer parte do mundo, ou um tipo de vegetação em grande escala nos trópicos e subtropicais.

As espécies do Cerrado apresentam ser secas, como uma vegetação xeromórfica, mas isso só na aparência. Para Ferri (1963), a savana brasileira possui um pseudoxeromorfismo, ocasionado pela toxicidade por alumínio no solo, fato que defende a hipótese de um escleromorfismo oligotrófico. Essas árvores e arbustos mais desenvolvidos do Cerrado seriam adaptados as condições climáticas e de solos da região tropical do planeta. Arens (1958) diz que o Cerrado teria uma flora de evolução integrada às condições dos climas e solos dos trópicos úmidos, sujeitos a forte sazonalidade herdada de condições ecológicas de longa duração no atual período interglacial.

A importância do conhecimento das variáveis do clima para o Cerrado é de grande importância para os estudos ecológicos, botânicos, fitogeográficos e, principalmente, para a produção sustentável de alimentos (SILVA et al., 2008).

A formação e distribuição das savanas é em grande parte afetada pelo clima, por meio da pluviosidade e da temperatura do ar, e também pela umidade relativa. Segundo Walter (1986), a precipitação e sua distribuição ao longo das estações (duração das estações seca e chuvosa) é que tem reflexos diretos na ocorrência das savanas.

Para Reis (1971), o clima influencia não só a composição dos mosaicos paisagísticos que determinam as tipologias das unidades ambientais do Cerrado, mas também a organização e a produção do espaço geográfico.

O povoamento da área nuclear do bioma Cerrado começou com as entradas e bandeiras dos bandeirantes paulistas em busca de metais preciosos. Ainda no século XVII surgiram vários núcleos populacionais, como Cuiabá e Vila Boa de Goiás. Um caminho terrestre ligava essas duas cidades. A partir da capital goiana havia um entroncamento com vias que dava acesso a São Paulo, Rio de Janeiro e Bahia (HUERTAS, 2009).

Durante os séculos XVIII e XIX as atividades econômicas do Cerrado foram bastante incipientes, se resumindo a pecuária e agricultura de subsistência. São Paulo e Maranhão eram exceções nessa época pois sua economia já era voltada para a exportação.

Conforme Huertas (2009), no último decênio do século XIX, o marechal Cândido Mariano da Silva Rondon instituiu as linhas telegráficas ligando Cuiabá ao noroeste brasileiro, sendo o primeiro esforço de grandes proporções para a integração nacional por meio das comunicações.

Klink & Moreira (2002) também falam um pouco sobre a história da ocupação do cerrado brasileiro:

A ocupação humana efetiva do Cerrado iniciou-se na década de 1920, quando a indústria de café estava em plena atividade, principalmente no Estado de São Paulo. Mais tarde, com o esgotamento de terras férteis do Sul e Sudeste do Brasil e com o crescimento populacional, o governo de Getúlio Vargas (1930-1945) promoveu um incentivo à ocupação do sul do Estado de Goiás, por meio de fornecimento de subsídios e assistência técnica aos pecuaristas interessados (2002, p. 73).

A construção de Goiânia em 1937 e Brasília em 1960 impulsionaram o desenvolvimento do Brasil Central interligando-o com o restante do país.

Até os anos 1950 a agricultura na maior parte do Cerrado dava preferência as calhas aluviais onde existiam densas matas de galeria. Conforme Ab'Saber (2003), a partir da década de 1960, e principalmente, ao longo da década de 1970, grandes extensões de terra localizadas no alto dos chapadões, nos chamados interflúvios, passaram a ser utilizados em plantações de arroz e para o reflorestamento. Com o passar dos anos, essas culturas foram substituídas pelo plantio de abacaxi e depois por lavouras consideradas nobres como a soja, o café e o trigo. Hoje, a agricultura comercial no cerrado ampliou a fronteira agrícola, viabilizando grandes áreas, até então mal aproveitadas e improdutivas.

De acordo com Sette & Tarifa (2004), a marcha para o Oeste, configurada na chamada “década da destruição ou dos anos 80”, que avançou sobre os cerrados, imprimiu uma outra paisagem. Nas chapadas e topos de planaltos quase planos encontram-se grandes unidades de produção (fazendas), que necessitam de áreas equivalentes a um território nacional, para manter o crescimento e o aumento de produtividade, com glebas variando entre 1000 a 7000 ha. Ainda segundo Sette & Tarifa (2004), esses espaços, apesar de serem grandes, configuram-se como “vazios de vida”, no sentido social, pois englobam os espaços da monocultura de soja, milho, algodão e cana-de açúcar e álcool. Por outro lado, nas áreas rebaixadas, ou seja, nos vales, encontram-se a agricultura e pecuária de subsistência e também a pecuária comercial. Esses espaços apresentam repetições habitualmente regulares do ritmo climático estacional. Klink et al. (2004) afirma que:

“As transformações de uso da terra no bioma Cerrado têm levado a modificações profundas na estrutura e funcionamento dos ecossistemas. As atividades humanas têm afetado as funções hidrológicas e biogeoquímicas do Cerrado. Modelos ecológicos de predição de alterações climáticas mostram que a substituição da vegetação nativa por monoculturas de pastagens plantadas pode levar ao declínio da precipitação e aumento da frequência

de veranicos no Brasil central. Além disso, o Cerrado é, potencialmente, um grande assimilador e acumulador de carbono e tanto as entradas de carbono via raízes quanto os reservatórios de carbono no solo podem ser substancialmente alterados devido a grande abrangência geográfica das modificações que se processam neste bioma” (2004; p.70).

A produção agroindustrial ligada aos grandes capitais estão alterando significativamente o espaço geográfico e a paisagem original da área nuclear do Cerrado. De acordo com Sette (2005):

A bio-sociodiversidade vem sendo destruída pela produção em larga escala (monocultura, ou agricultura de precisão). Os ritmos (mecânicos, quantitativos) destas atividades, são cada vez mais dependentes de produtos (sementes, insumos, agrotóxicos) e conhecimentos (por exemplo, o uso de variedades e sementes transgênicas), procedentes de outra realidade (externa ao ambiente do cerrado). O resultado desta homogeneização é a perda de resistência orgânica (às doenças e às variações dos ritmos externos) das variedades de plantas clonadas ou geneticamente produzidas e, por consequência, à perda de qualidade no sentido de evolução e diversidade biológica e social. A mudança nos padrões rítmicos associados a este tipo de produção/reprodução do espaço, é extremamente intensa (2005; p.98).

Sobre os ritmos naturais (climáticos, hidrodinâmicos, morfológicos e sedimentológicos), Sette & Tarifa (2004) afirmam que são redefinidos pela intensidade das transformações, associados às diferentes fases do ciclo produtivo:

As mudanças quantitativas, ligadas às alterações no escoamento pluvio-fluvial e no tempo de residência e armazenamento da água no solo e nos processos erosivos, são acompanhadas por mudanças qualitativas nos ciclos biogeoquímicos, tanto no solo quanto na atmosfera. Os ciclos vitais são alterados e degradados afetando todas as formas de vida e de relações sociais (2004; p. 23).

Conforme Sette (2005), as alterações na paisagem não se restringem às áreas de produção ou às fazendas. As áreas de recarga, juntamente com suas nascentes no topo das Chapadas, concentram a maior parte da produção de soja e grãos, são áreas que fornecem as águas que abastecem as principais bacias hidrográficas brasileiras. O ritmo das vazões (águas altas ou

baixas) depende dos totais de chuva mais elevados que ocorrem nas chapadas e que controlam, por sua vez, a deposição de sedimentos e nutrientes.

Sette (2005) cita outro exemplo de arritmia provocada pelas queimadas no Cerrado:

Outro exemplo de arritmia, resultante das divergências entre os ritmos naturais e os socioeconômicos, trata-se da poluição do ar (fumaça, fuligem, material particulado fino, e ozônio) provocada pelas queimadas no Cerrado durante a estação seca do Brasil Central, sendo particularmente intensas no Estado do Mato Grosso, com a permanência da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). Podemos explicar essa polirritmia, ou composição holorritmica, desde a tradição cultural do fogo pelos indígenas (coivara), passando pela ocorrência do fenômeno de forma natural nos cerrados, e ainda pelas fazendas de gado (latifúndios enormes) que empregam o fogo para “limpeza” e para forçar a rebrota das pastagens no auge da estação seca, ou mesmo no desmatamento de áreas para o plantio (2005; p.11).

Hoje, os extensos plantios de soja, milho, feijão, algodão, café e cana-de-açúcar predominam em regiões como: Luís Eduardo Magalhães-BA, Jataí e Rio Verde-GO, Lucas do Rio Verde, Sorriso e Sinop-MT (SCARAMUZZA ET AL, 2017).

De acordo com Scaramuzza et al (2017), as duas classes de uso do solo mais representativas são as pastagens cultivadas e as culturas agrícolas, que ocupam 29,5 e 11,7% do Cerrado, respectivamente. As áreas mais modificadas de uso do solo foram encontradas na porção sul, enquanto a maior parte da vegetação natural localiza-se na porção norte da área nuclear do Cerrado. Esse retrato é fruto do próprio histórico de ocupação das terras do Brasil. A porção norte mostrou-se relativamente preservada por causa das dificuldades de acesso e pela maior distância dos grandes centros urbanos e consumidores. De acordo com Sano et al (2008), São Paulo, Paraná e Mato Grosso do Sul foram os estados que apresentaram os menores índices de cobertura vegetal natural: 15, 32 e 32%, respectivamente. As áreas de silvicultura concentram-se principalmente nos estados de São Paulo, Goiás e Minas Gerais.

A área do Cerrado no estado de São Paulo sofre um grande desmatamento desde o período imperial com o Ciclo do Café. Hoje é composta por lavouras de cana-de-açúcar, laranja, soja e

eucalipto; e por regiões industriais localizadas em dezenas de cidades de porte médio e grande. Uma grande área alterada pelas atividades antrópicas, o que também acontece com a expansão da cana-de-açúcar em Goiás, e da soja no Mato Grosso.

O Centro-Sul da área nuclear do Cerrado brasileiro está profundamente transformado e modernizado por técnicas agrícolas de lavoura comercial, sendo que a pecuária melhorada avança pelo estado do Tocantins chegando a Chapada das Mangabeiras entre os estados do Maranhão e Piauí (na região denominada de MATOPIBA). No planalto do oeste baiano, a agricultura predominantemente comercial da soja é uma realidade, fazendo crescer cidades como Luís Eduardo Magalhães, que hoje se aproxima de 100 mil habitantes, sendo que no início da década de 1990 a mesma não existia.

Para Sette (2005), a grande maioria das cidades assentadas na área do cerrado, teve sua urbanização, com o uso de tecnologias de construção, baseada em processos padronizados pela indústria da construção, que não consideram o ritmo do aquecimento tropical, onde na maior parte dos edifícios são necessários elevados consumos de energia para resfriar os ambientes internos e, ao mesmo, tempo aumentam o calor externo. O mesmo comenta sobre os ritmos naturais do cerrado:

Apesar de todos os aparatos construídos, as cidades ainda guardam remanescentes (sobreviventes) dos ritmos naturais, na sequência estacional (inverno/primavera), a vegetação entra na fenofase de floração e dá um tom colorido aos ipês, aricás, lixeiras, mandovis, tarumãs, entre outros, que embelezam a cidade muitas vezes encobertas pela poeira e fumaça comum na estação seca. São ritmos naturais sobrepostos ou compostos aos socioculturais (SETTE, 2005).

A malha urbana que constitui a área de estudo é de grande importância econômica para o território brasileiro. Possui várias cidades acima de 100 mil habitantes somando cinco em Goiás, sendo as principais Goiânia, Anápolis e Rio Verde; além de Brasília mais três cidades

no entorno do Distrito Federal (Luziânia, Águas Lindas de Goiás e Formosa); três em Mato Grosso (Cuiabá, Várzea Grande e Rondonópolis); vinte cidades no estado de São Paulo, sendo Ribeirão Preto, São José do Rio Preto, Piracicaba, Bauru e Franca as principais; doze cidades mineiras, como Uberlândia, Montes Claros, Uberaba, Sete Lagoas, Divinópolis e Ituiutaba; seis no Maranhão, sendo Imperatriz e Caxias as principais; duas no Tocantins, a capital Palmas e Araguaína; e uma nos estados do Mato Grosso do Sul (Campo Grande), Bahia (Barreiras) e Piauí (Teresina).

A área de abrangência do Cerrado tem uma proporção ideal para identificação visual das unidades climáticas propostas por essa classificação, pois abrange desde o litoral setentrional brasileiro, passando por toda a região central do país e atingindo o planalto paranaense. A partir da área nuclear do Cerrado, essa classificação climática poderá ser expandida para todo o Brasil, respeitando as condições específicas de cada área abordada.

1.2. Histórico das Classificações Climáticas

O principal desafio das classificações climáticas é sistematizar uma grande quantidade de dados meteorológicos e climáticos, transformando-os em valores estatísticos que deem suporte para o agrupamento das características da atmosfera sobre os distintos lugares.

Neste sentido, Terassi (2013) afirma:

A classificação climática é importante por definir os climas de diferentes regiões levando em consideração os diferentes elementos climáticos simultaneamente, sendo considerado um estudo básico para auxiliar no planejamento ambiental e econômico. Os métodos classificatórios, cada um com suas especificidades, permitem uma compreensão sintética das características climáticas de determinado espaço (2013; p. 113).

Para Barry & Chorley (2013), a finalidade de um sistema de classificação climática é conseguir uma disposição eficiente de informações de forma simples e generalizada. Os valores estatísticos, depois de analisados e organizados, servem para a delimitação dos principais tipos

climáticos. Os mesmos autores afirmam que qualquer que seja a classificação, esta servirá apenas a alguns propósitos. Com isso, foram desenvolvidos diversos esquemas que relacionam o clima com a vegetação ou os solos, e poucas classificações que tentam abordar os efeitos diretos do clima sobre os seres humanos.

Segundo Helferich (2005), Alexander von Humboldt foi o primeiro a classificar os climas em zonas climáticas, em sua obra “Geografia das Plantas”, no ano de 1802. Humboldt é considerado por muitos autores o pai da Geografia Moderna. Helferich (2005) também cita Humboldt como o pioneiro na apresentação visual de dados científicos, inclusive meteorológicos:

Além de revolucionar a meteorologia com a invenção das isotermas, Humboldt transformou a geografia com a introdução de perfis geográficos retratando a altitude relativa de terras vizinhas. Essas novas técnicas revelaram-se de um valor inestimável para outros pesquisadores (a isoterma hoje é um instrumento de meteorologia essencial), mas, para Humboldt, elas eram muito mais que ferramentas. Uma coisa era ser informado de que a vegetação varia de forma previsível com a altitude; outra inteiramente diferente era ser capaz de visualizar essas modificações, graças a uma representação convincente (2005; p. 77).

Em sua viagem exploratória pela América do Sul no século XIX, Humboldt considerava a Cordilheira dos Andes como seu laboratório vertical, onde possuía uma influência direta nas plantas com uma quantidade de fatores físicos, incluindo a altitude, atmosfera, índice pluviométrico e tipo de solo. Esse estudo foi de suma importância para criar as zonas climáticas do planeta

Ayoade (2003) cita a importância das classificações climáticas para o planejamento das atividades antrópicas:

A indicação das tipologias climáticas dos diferentes lugares, definidas com base nas características dos parâmetros atmosféricos, correspondem a importantes insumos ao planejamento urbano, rural, regional e ambiental, principalmente à atividades diretamente relacionadas à organização e produção do espaço, a exemplo da agricultura, da indústria e do turismo (AYOADE, 2003).

Ainda segundo Ayoade (2003), existem duas abordagens principais nas classificações climáticas: uma analítica e outra genética. A primeira descreve os elementos e suas combinações, em valores estatísticos, caracterizando o clima por eles, geralmente descrevem os elementos climáticos como a temperatura, quantidade de chuvas, umidade relativa do ar e evapotranspiração.

Para Nascimento et al (2016), a abordagem analítica, é apresentada sobre dois segmentos:

Um dos segmentos utiliza essencialmente a descrição dos elementos climáticos, com base em dados meteorológicos, enquanto o outro se baseia no efeito do clima sobre os elementos naturais, geralmente sobre a vegetação ou o solo (2016; p. 66).

Maluf (2000), comenta que alguns autores utilizam como critérios o balanço de radiação solar, as amplitudes térmicas, a temperatura dos meses mais frios e dos meses mais quentes, a duração dos períodos chuvosos e de estiagem ou a quantidade de dias com precipitação efetiva.

Já o critério genético baseia-se no controle dos fatores climáticos e na origem das características das massas de ar, orientados pela Climatologia Geográfica. Para Maluf (2000), o modelo genético também se divide em dois segmentos, considerando a dinâmica das massas de ar e o regime das precipitações pluviométricas; e o outro considera o balanço de energia como principal fator de controle climático.

1.2.1. Köppen-Geiger

W. Köppen foi o autor de vários projetos de classificação climática, sendo o primeiro a classificar os climas levando em conta a temperatura e a precipitação, e ajustando a delimitação climática à distribuição dos tipos de vegetação. Sua classificação climática é uma das mais utilizadas no mundo, e é considerada do tipo analítica.

Nascimento (2016) descreve as publicações de Köppen durante o início do século XX:

Inicialmente em 1918, um sistema de classificação dos climas, sucessivamente alterado pelo autor até 1936. Em 1961, Rudolf Geiger realizou uma nova modificação para a proposta de Köppen, passando a ser considerada como classificação climática de Köppen-Geiger (1961), tendo se tornado o sistema mais empregado em trabalhos científicos e livros didáticos (2016; p. 69).

O modelo de Köppen é simples e compreende um conjunto de letras maiúsculas e minúsculas para designar os grandes grupos climáticos, os subgrupos, e as subdivisões que indicam características especiais sazonais (**Quadros 1, 2 e 3**).

- Primeira letra: maiúscula ("A", "B", "C", "D", "E"); significa a característica climática comum em uma região, indicando o grupo de climas a que pertence;
- Segunda letra: minúscula (na maioria dos casos) ou maiúscula (nos grupos B ou E); constituindo o tipo climático dentro do grupo, com suas particularidades dentro do regime de chuvas, ou seja, é a quantidade e a distribuição da precipitação;
- Terceira letra: minúscula; relacionada com o valor da temperatura média mensal do ar nos meses mais quentes ou a temperatura média anual do ar.

Um resumo global sintetizado da classificação climática de Köppen, mostrando quais são as letras utilizadas, é dado pelos seguintes quadros:

Quadro 1: Grandes grupos climáticos de Köppen-Geiger.

Código	Descrição
A	<ul style="list-style-type: none"> • Climas megatérmicos • Temperatura média do mês mais frio do ano > 18 °C • Estação inverno ausente • Forte precipitação anual (superior à evapotranspiração potencial anual)
B	<ul style="list-style-type: none"> • Climas secos (precipitação anual inferior a 500 mm) • Evapotranspiração potencial anual superior à precipitação anual • Não existem cursos de água permanentes
C	<ul style="list-style-type: none"> • Climas mesotérmicos • Temperatura média do ar dos 3 meses mais frios compreendidas entre -3 °C e 18 °C • Temperatura média do mês mais quente > 10 °C • Estações de Verão e Inverno bem definidas
D	<ul style="list-style-type: none"> • Climas microtérmicos • Temperatura média do ar no mês mais frios < -3 °C • Temperatura média do ar no mês mais quente > 10 °C • Estações de Verão e Inverno bem definidas
E	<ul style="list-style-type: none"> • Climas polares e de alta montanha • Temperatura média do ar no mês mais quente < 10 °C • Estação do Verão pouco definida ou inexistente.

Quadro 2: Subgrupos climáticos de Köppen-Geiger.

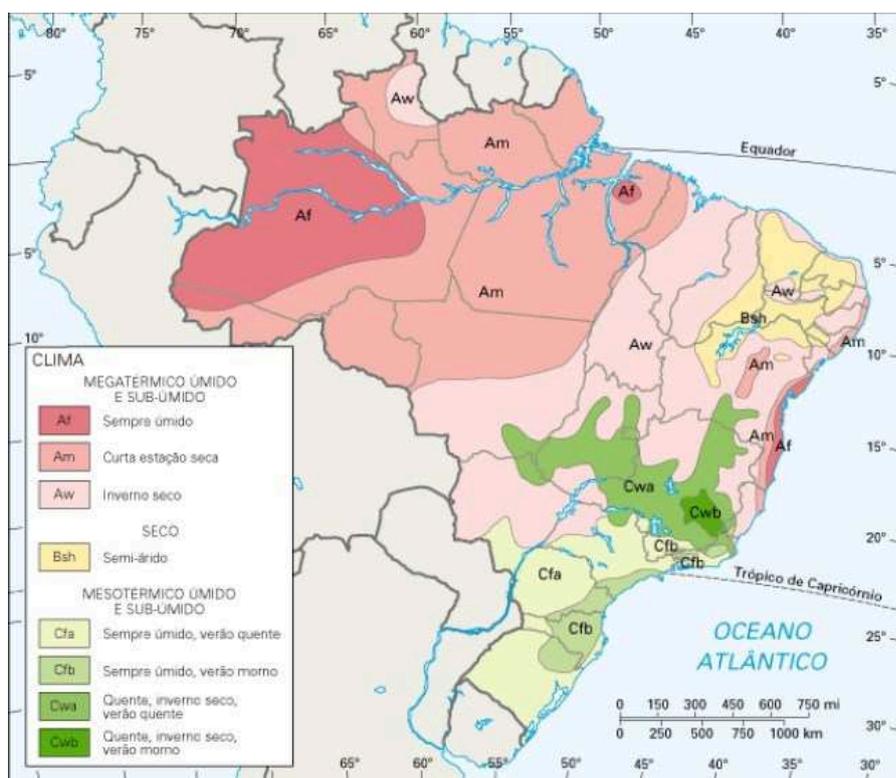
Código	Descrição	Aplica-se ao grupo
S	• Precipitação anual total média compreendida entre 380 e 760 mm	B
W	• Precipitação anual total média < 250 mm	B
f	<ul style="list-style-type: none"> • Clima úmido • Ocorrência de precipitação em todos os meses do ano • Inexistência de estação seca definida 	A-C-D
w	• Chuvas de Verão	A-C-D
s	• Chuvas de Inverno	A-C-D
w'	• Chuvas de Verão-outono	A-C-D
s'	• Chuvas de Inverno-outono	A-C-D
m	<ul style="list-style-type: none"> • Clima de monção: • Precipitação total anual média > 1500 mm • Precipitação do mês mais seco < 60 mm 	A
T	• Temperatura média do ar no mês mais quente compreendida entre 0 e 10 °C	E
F	• Temperatura média do mês mais quente < 0 °C	E
M	<ul style="list-style-type: none"> • Precipitação abundante • Inverno pouco rigoroso 	E

Quadro 3: Subdivisões climáticas de Köppen-Geiger.

Código	Descrição	Aplica-se aos grupos
a : Verão quente	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura média do ar no mês mais quente $\geq 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ 	C-D
b : Verão temperado	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura média do ar no mês mais quente $< 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ • Temperaturas médias do ar nos 4 meses mais quentes $> 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 	C-D
c : Verão curto e fresco	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura média do ar no mês mais quente $< 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ • Temperaturas médias do ar $> 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante menos de 4 meses • Temperatura média do ar no mês mais frio $> -38\text{ }^{\circ}\text{C}$ 	C-D
d : Inverno muito frio	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura média do ar no mês mais frio $< -38\text{ }^{\circ}\text{C}$ 	D
h : seco e quente	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura média anual do ar $> 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ • Deserto ou semi-deserto quente (temperatura anual média do ar igual ou superior a $18\text{ }^{\circ}\text{C}$) 	B
k : seco e frio	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura média anual do ar $< 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ • Deserto ou semi-deserto frio (temperatura anual média do ar inferior a $18\text{ }^{\circ}\text{C}$) 	B

A **Figura 1**, mostra uma mapa da classificação climática de Köppen aplicada ao território brasileiro.

Figura 1: Classificação climática de Köppen para o Brasil. Fonte: Simielli (2013).



Para Koeppen (1948), devido à distribuição da radiação solar e efeitos desiguais da rotação da Terra em todas as latitudes geográficas, a influência destes são decisivas não só na temperatura da atmosfera e do solo abaixo dos mesmos, mas também na pressão atmosférica, nos ventos e nas chuvas, determinando as características gerais das condições atmosféricas da vida orgânica e da cultura.

Na zona quente, situada entre os trópicos, a altura meridiana do Sol chega ao zênite duas vezes por ano e ele nunca se põe com um ângulo menor que 43° , enquanto que a duração do dia nunca é menor que 10 horas e meia. A oscilação da temperatura depende mais das estações úmidas e secas do que da posição do Sol no céu (KOEPPEN, 1948).

Para além dos trópicos, Koeppen (1948) afirma que o contraste entre as estações do ano aumenta rapidamente à medida que nos dirigimos aos polos. Um segundo e muito marcado limite astronômico se encontra na região onde a altura meridiana do Sol baixa a 0° durante o dia mais curto do ano ($66^\circ 33'$ de latitude). No verão, nessas regiões, faz tanto frio que a temperatura é insuficiente para a grande maioria das plantas e principalmente árvores crescerem.

A grande utilidade dessa divisão não se baseia somente na temperatura média anual, mas também na existência ou ausência de uma estação suficientemente fria e outra suficientemente quente.

Conforme Koeppen (1948), nas latitudes médias, a interrupção das temperaturas elevadas por uma estação mais fria consiste, para os descendentes europeus, uma das condições primordiais para o pleno desenvolvimento de suas energias corporais. O limite da zona intermediária, o centro das principais culturas humanas, deve fixar-se rumo ao equador, na temperatura do mês mais frio do ano (18°C), e em direção aos polos, na temperatura do mês mais quente do ano (10°C).

Para Koeppen (1948), as populações que vivem nas regiões equatoriais do planeta tornam-se sensíveis a variação térmica e sentem frio quando a temperatura fica abaixo de 22°C; mesmo os europeus possuem essa sensibilidade depois de passarem por um período de poucos meses sobre o clima tropical. Populações do continente africano sentem frio a partir da isoterma de 23°C. O mesmo autor afirma que o desenvolvimento de certos parasitas e vermes típicos de climas tropicais são influenciados pela alta temperatura dessa região do Globo, e a isoterma limite para esse crescimento é a isoterma de 18°C.

Para Koppen (1948), os esforços de trabalhos corporais cansam mais nas regiões intertropicais comparados com regiões fora dos trópicos:

Essa debilitação pode ser considerada, em parte, como efeito do forte calor constante, devido as frequentes enfermidades tropicais. A geografia médica também estuda a influência da temperatura sobre o desenvolvimento e espalhamento de enfermidades como a malária e outras doenças afins, transmitidas por agentes patógenos como o mosquito (1948; p. 132).

Dubreuil et al (2018) aplicaram o método classificatório de Koppen no território brasileiro, contudo, não foram utilizados os valores médios do período climatológico (30 anos ou mais), mas sim, para cada ano independente, definindo um Tipo de Clima Anual (TCA) para cada ano considerado. Dubreuil et al (2018) nas suas conclusões sobre TCA afirma:

Mais de um século após o seu desenvolvimento o método de classificação climática de Köppen ainda hoje permite abordar o tema dos limites climáticos de modo interessante e ultrapassar a versão inicial estabelecida com base nos valores médios. A abordagem fundamentada nos Tipos de Climas Anuais (TCA) renova o método considerando, explicitamente, a variabilidade interanual do clima. Ele mostra que o tipo de clima médio de Köppen nem sempre representa o que foi observado em uma determinada estação. No Brasil, para ¼ (um quarto) das 208 estações aqui estudadas, o tipo médio não é o mais frequente (2018; p. 39).

Considerando a importância da classificação climática de Koppen no Brasil, principalmente para a área ambiental Alvares et al (2013), desenvolveram um SIG para identificar os tipos

climáticos de Koppen, utilizando dados de quase três mil estações meteorológicas. O mapa climático final ficou com uma alta resolução espacial (1 ha), e permitiu observar as variações climáticas ao nível de paisagem.

1.2.2. Strahler

Arthur Newell Strahler foi professor de geociências na Universidade de Columbia (EUA). Em 1951 escreveu o livro *Geografia Física*, sendo uma das principais obras da ciência geográfica no século XX. No capítulo 13, dentro desse volume bibliográfico, encontra-se um modelo de classificação climática desenvolvido por ele.

Segundo Rossato (2011), as classificações climáticas mais aceitáveis são aquelas denominadas de genéticas, uma vez que privilegiam a origem dos fenômenos, em detrimento de qualquer outro critério de classificação. O método de Strahler explica a origem dos sistemas de forma qualitativa e não quantitativa, como é proposto por Koppen.

Nascimento et al (2016) afirma que possivelmente pelo sua maneira dinâmica e abrangente em diferenciar os tipos climáticos do planeta, o sistema classificatório formulado por Strahler é um dos mais usados (juntamente com o de Koppen), tanto no ambiente científico como no cotidiano das pessoas, e por isso mesmo é muito divulgado em livros didáticos:

Baseado na gênese dos regimes das massas de ar e nos elementos climáticos de precipitação e temperatura, o autor divide os climas do globo terrestre em três principais grupos: os climas das latitudes baixas, controlados pelas massas de ar equatoriais e tropicais; os climas das latitudes médias, controlados pelas massas de ar tropicais e polares; os climas das latitudes altas, controlados pelas massas de ar polares (2016; p. 71).

Nóbrega (2010) faz algumas críticas em relação a classificação de Strahler:

Embora esta pareça ser uma abordagem válida, no entanto, requer uma compreensão detalhada dos tipos e as características das massas de ar em diferentes partes do globo. É verdade que uma massa de ar ideal de um determinado tipo deve possuir determinadas características básicas. No entanto, não há garantia de que os efeitos reais

de tal massa seja idêntica ao longo de todo o seu percurso, uma vez que as massas são dinâmicas, associadas a circulação geral da atmosfera. Além disso, as variações locais, que podem ser muito significativas em algumas áreas, dificilmente podem ser reconhecidas no sistema de Strahler.

Já Barry & Chorley (2013) consideram a classificação de Strahler simples, mas eficaz, para os climas mundiais, com base nos mecanismos planetários fundamentais. Após uma divisão em latitudes (baixa, média e alta), as regiões são agrupadas segundo a influência relativa da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), das células subtropicais de alta pressão, das tempestades ciclônicas, das zonas frontais de altas latitudes, e áreas-fonte de ar polar/ártico.

Mendonça (2007) afirma que isso gerou 3 grandes grupos climáticos, ou zonas climáticas fundamentais, com 14 classes e uma categoria separada de climas de montanha onde o relevo é o fator determinante, sendo elas:

- Zona Climática das baixas latitudes - Controlada por massas de ar equatoriais e tropicais. Possui climas regulados por células anticiclônicas (alta pressão), fonte das massas de ar tropicais. Também tem influência da baixa pressão equatorial situada entre as altas pressões atmosféricas, onde o ar que converge dos ventos alísios está em constante convecção (ascensão), na região de atuação da ZCIT. De acordo com Mendonça (2009), é subdividida em 5 domínios climáticos: Equatorial Úmido (quente e úmido o ano todo, com predomínio de chuvas convectivas); Litorâneo determinado pelos ventos alísios (quente e úmido, com predomínio da Massa Tropical Marítima); Estepes e desertos tropicais (quente e seco, com irregularidade das chuvas); Deserto da costa ocidental (subsistência do ar – alta pressão); Tropical úmido-seco (quente com chuva de verão e seca de inverno).
- Zona Climática das médias latitudes – Sob o domínio de massas de ar tropicais e polares, também abrange os tipos climáticos situados na zona de intercâmbio das massas tropicais que movem-se em direção as altas latitudes e das massas polares que se

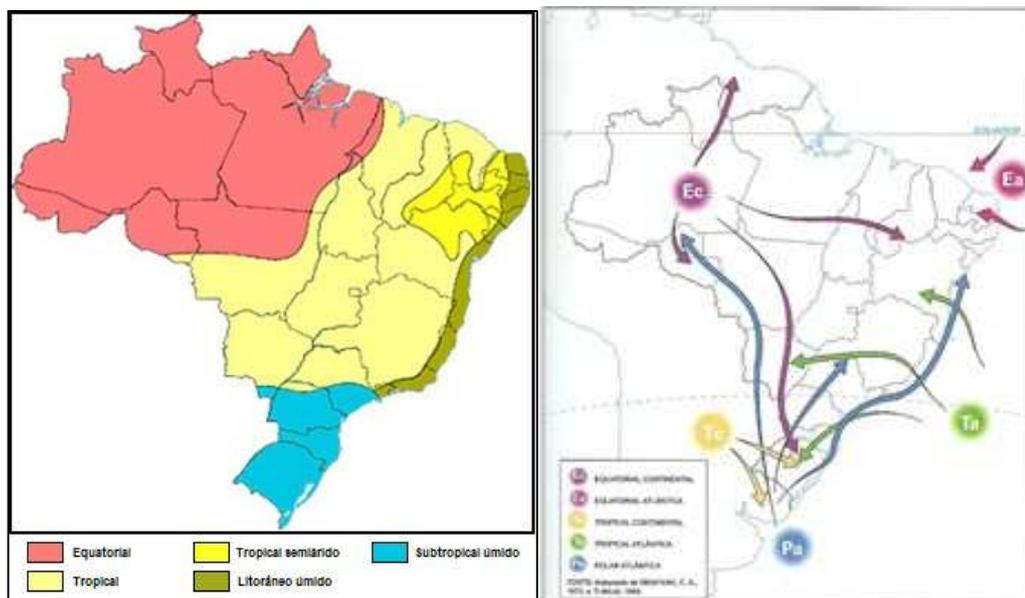
deslocam em direção as baixas latitudes, dando origem à frente polar, acompanhada dos ventos de leste. Conforme Mendonça (2009), é subdividida em 5 domínios climáticos: Subtropical úmido (com chuvas bem distribuídas, predomínio da precipitação de origem frontal); Marítimo da costa ocidental (predomínio de chuvas orográficas); Mediterrâneo (seca de verão e chuva de inverno); Desertos e estepes das latitudes médias (localizado no interior dos continentes, protegido das massas de ar litorâneas por montanhas); Continental úmido (clima temperado típico, com influência de massas polares e tropicais).

- Zona Climática das latitudes altas - Regulada por massas de ares de origem polar, localizados entre as latitudes de 50° e 90°. É caracterizada por baixas temperaturas, precipitações e pouca evaporação. O domínio climático das terras altas é incorporado por esse grupo para efeito de análise, pois suas características térmicas são bem parecidas. Segundo Mendonça (2009), é subdividido em 5 domínios: Subártico continental (origem das massas de ares polares continentais, sendo a região habitada mais fria do planeta); Marítimo subártico (pequena amplitude térmica anual, com predomínio de ventos fortes); Tundra (zona de baixa pressão atmosférica, frequente mau tempo); Calotas glaciais (com predomínio de temperaturas negativas o ano todo – clima do interior do continente antártico); Terras altas (temperaturas baixas devido ao grande resfriamento adiabático provocado pelas altas montanhas).

A **Figura 2**, ilustra a classificação climática de Strahler para o Brasil. O clima Equatorial (em vermelho) segue o limite da floresta amazônica. A cor ocre representa o clima Litorâneo úmido, influenciado pela Massa Tropical Marítima; os tons de amarelo indicam clima Tropical, o mais claro semiúmido, e o mais escuro semiárido; e o azul demonstra o clima Subtropical Úmido, de domínio das massas de ares Polar Atlântica e Tropical Marítima.

Figura 2: Classificação climática de Strahler para o Brasil, e influência das massas de ar.

Fonte: Kreutzfeld (2011) e Simielli (2013).



Portanto, a caracterização climática organizada por Strahler é influenciada pelas massas de ar, amparada numa técnica acessível e de grande facilidade de emprego. Strahler (1984) lembra que o principal problema das classificações climáticas é o limite dos climas, não acontecendo de forma brusca, mas sim, gradualmente.

1.2.3. Thornthwaite

O Sistema de Classificação Climática de Thornthwaite merece destaque pela utilização da evapotranspiração potencial (ETP), mesmo parâmetro adotado por essa pesquisa para delimitar a quantidade de meses secos.

Rolim et al (2007) alega que para Thornthwaite, a planta não é vista como um instrumento de relação dos elementos climáticos, e sim, um meio de transporte que leva a água do solo para a atmosfera. Um tipo climático é definido como úmido ou seco se tiver relação com estiver as condições hídricas das plantas, ou seja, dependente de um balanço hídrico.

Trewartha (1954) alega que para aplicações agrícolas, essa classificação climática é considerada um método mais refinado que o de Köppen:

Houve muitas críticas em relação a evapotranspiração potencial (ETP) utilizada por Thornthwaite, que era estimada em geral somente pela temperatura devido à falta de disponibilidade de medidas dos outros elementos meteorológicos. Sendo assim, numa revisão de sua classificação climática foi inserida a Capacidade de Água Disponível no solo (CAD), ou seja, o máximo de água que o solo pode acumular, e dependente de suas características físicas como a textura (1954; p. 149).

Uma planilha de balanço hídrico elaborada por Sentelhas et al (1998) é utilizada nesse trabalho, sendo a ETP estimada pela temperatura do ar, pela latitude do local e também pela CAD.

Camargo & Camargo (2000) relata a importância da evapotranspiração potencial (ETP) para a Climatologia no início do século passado:

O conceito de ETP, foi o mais significativo avanço no conhecimento dos aspectos da umidade climática, introduzido em 1944 por Thornthwaite, quando trabalhava com problemas de irrigação, no México. A evapotranspiração potencial (ETP) passou a ser considerada, como a chuva, um elemento meteorológico padrão, fundamental, representando a chuva necessária para atender às carências de água da vegetação (2000; p. 128).

Segundo Camargo & Camargo (2000), a ETP segue um padrão determinado por uma superfície natural gramada, sem restrição hídrica, que perde água para a atmosfera para atender às necessidades da evaporação do solo e da transpiração.

Rolim et al (2007) comenta que Balling (1984) verificou que a classificação de Thornthwaite foi muito bem aceita nos Estados Unidos por ter uma quantidade de estações meteorológicas que deram apoio a ao seu sistema.

Para Sampaio et al (2011), a classificação climática de Thornthwaite resumidamente consiste na comparação de dados de ETP e de chuva, e com base nesses dados, foram calculados vários índices que compõe o balanço hídrico:

A partir dos valores anuais determinou-se o índice hídrico (Ih), que é a relação em porcentagem entre o excesso de água e a evapotranspiração potencial; o índice de aridez (Ia), que expressa em porcentagem a relação entre a deficiência

hídrica e a evapotranspiração potencial; e o índice de umidade (I_m), que relaciona os índices hídricos e de aridez (2011; p. 8860).

Com base nestes índices, determina-se o tipo climático local e a disponibilidade de água no solo (**Quadro 4**). O índice de umidade total (I_m) avalia a efetividade da precipitação, pois é preciso saber se a quantidade de chuva é maior ou menor do que evapotranspiração. Como Vianello & Alves (1991) afirma, ele é usado para classificar o clima em nove classes, numa escala de umidade que vai do seco ao muito úmido.

Quadro 4: Tipos climáticos de Thorntwaite (1948). Adaptado de Sampaio et al (2011).

TIPOS CLIMÁTICOS	ÍNDICE DE UMIDADE (I_m)
A – Super-úmido	$I_m > 100$
B4 - Úmido	$80 < I_m < 100$
B3 – Úmido	$60 < I_m < 80$
B2 - Úmido	$40 < I_m < 60$
B1 - Úmido	$20 < I_m < 40$
C2 – Sub-úmido	$0 < I_m < 20$
C1 – Sub-úmido seco	$-20 < I_m < 0$
D – Semi-árido	$-40 < I_m < -20$
E - Árido	$-60 < I_m < -40$

Segundo Pereira et al (2002), em 1955, Thorntwaite juntamente com Mather, criaram o Balanço Hídrico Climatológico (BHC) para determinar o regime hídrico de um local, sem a necessidade de medidas diretas das condições do solo. Para sua determinação, é necessário definir o armazenamento máximo de água no solo (CAD), e de se ter a medida da chuva total, e também a estimativa da Evapotranspiração Potencial (ETP) em cada período.

Pereira et al (2002) comentam sobre essas três informações básicas:

O BHC permite deduzir a evapotranspiração real, a deficiência ou o excedente hídrico, e o total de água retida no solo em cada período. A disponibilidade

hídrica de uma região pode ser quantificada pelo BHC, que evidencia as variações sazonais dos excedentes e deficiências hídricas, relacionando as entradas e saídas de água numa condição de controle, principalmente a precipitação pluvial e a evapotranspiração potencial (2002; p.290).

De maneira geral, os trabalhos pioneiros de Thornthwaite & Mather (1955), foram os precursores dos estudos do BHC (SOUZA, 2013). Para Dantas et al. (2007) o BHC deve ser desenvolvido visando a relação de uma cultura com os aspectos climáticos de um determinado local, apresentando aplicações na definição de zoneamentos agroclimáticos, irrigações suplementares, hidrologia, dimensionamento de reservatórios, drenagem, por exemplo.

1.2.4. Gaussen

De acordo com Galvão (1967), a classificação de Gaussen é baseada na pesquisa do "clima biológico" e está relacionada a dinâmica das massas de ar e condicionada ao relevo local:

Essa classificação permitiu um conhecimento mais minucioso das reais condições climáticas existentes nas diferentes áreas do território nacional, mostrando uma perfeita correlação das diferentes modalidades climáticas com os diferentes tipos de vegetação. Por outro lado, os limites das modalidades climáticas estão nitidamente correlacionados à dinâmica das massas de ar que predominam sobre as diversas áreas do Brasil no decorrer do ano, apresentando, ainda, ampla correlação com os fatores: relevo e altitude (1967; p. 43).

É fundamentada nas condições médias mensais de temperatura do ar e de pluviosidade durante o ano, atendendo necessariamente os estados favoráveis ou desfavoráveis à vegetação, com períodos quentes, períodos frios, períodos secos e períodos úmidos. Para Galvão (1967), as relações hídricas da cobertura vegetal dependem, da entrada de água no sistema pelas precipitação pluviométrica e da saída de água correspondente à evapotranspiração. Todavia, a contagem da evapotranspiração era ainda muito separada e suas medições muito vagas para que se possam ser utilizadas nos mapeamentos bioclimáticos.

Galvão (1967) afirma que a classificação de Gaussen utiliza as medições de temperatura muito mais frequentes, em relação à precipitação para obter uma ideia do balanço de água e demonstra seu método:

Fugindo à utilização de índices e fórmulas estabelecidas para um determinado país e quando aplicados ao resto do mundo dão resultados decepcionantes, esta classificação baseia-se no emprego de um método gráfico, claro e simples, que permite classificar os climas análogos e caracterizar climas diferentes, de maneira mais eficiente do que o faz o simples exame das normais térmicas e pluviométricas anuais. Tal método pode ser dividido em duas etapas essenciais e complementares. A primeira é dedicada a determinação da estação seca, fator essencial do clima, pois, como se sabe, o período do ano em que a água existe em quantidade insuficiente ou mesmo falta totalmente, imprime profundas modificações sobre os seres vivos em geral e sobre os vegetais em particular. A estação seca é a sequência dos meses secos, sendo considerado mês seco aquele em que o total das precipitações, em milímetros é igual ou inferior ao dobro da temperatura em graus Celsius: $P < 2T$. Esta relação foi estabelecida por Gaussen, com base em trabalhos de ecologia vegetal, feitos por numerosos autores em diferentes partes do globo em que se manifesta um período seco. A classificação climática criada por Nimer utiliza esse critério de mês seco de Gaussen (1967,; p. 200).

Galvão (1967) continua explicando a metodologia da classificação de Gaussen:

A determinação gráfica da estação seca é feita através de um diagrama ombrotérmico ou seja um gráfico no qual são traçados na abcissa os meses do ano; na ordenada à direita, as precipitações (em mm) e à esquerda, as temperaturas (em °C) numa escala do dobro da escala das precipitações. Quando a curva dos pontos representativos dos valores médios mensais da precipitação (curva ombrica) passa sob a curva representativa dos valores médios mensais da temperatura (curva térmica) tem-se $P < 2T$. A superfície de cruzamento das curvas ombricas e térmica indica a duração da estação seca e dá uma primeira estimativa quanto à intensidade da seca, sendo esta tanto mais intensa quanto maior e mais profunda for a superfície de cruzamento (1967; p.201).

Esta dimensão é melhor caracterizada na segunda etapa da classificação, onde é colocado um terceiro elemento: a umidade atmosférica, em todos os seus formatos, para a definição do índice xerotérmico. Este índice permite individualizar tipos climáticos próximos com características

semelhantes, fornecendo o número de dias biologicamente secos, no decorrer dos meses secos (GALVÃO, 1967).

No entanto, para Galvão (1967), é preciso não confundir dia sem chuva, com dia biologicamente seco, visto que, num dia com ausência de precipitação mas que a umidade atmosférica é elevada e há presença de orvalho e nevoeiro, estes elementos originam uma quantidade significativa de água na atmosfera que é aproveitada pela planta, devendo ser considerada nos cálculos.

Para a determinação do índice xerotérmico Galvão (1967) sintetiza:

Para a importância da precipitação considera-se o número de dias sem chuva (P). Deste modo, para uma igual precipitação mensal, obter-se-á um índice maior de intensidade da seca, se esta precipitação for devida às chuvas de tempestades violentas e rápidas, de pouco proveito para as plantas, e um índice menor se as chuvas forem finas e contínuas, as quais são mais benéficas ao vegetal. Para corrigir os dias sem chuva (P) da influência da umidade atmosférica, multiplica-se P pelo coeficiente $K = \frac{230200}{H}$ em que H é a umidade relativa. Este coeficiente varia de 1 (H = 30) a 0,65 (H = 100). No primeiro caso o ar é excessivamente seco para que a umidade seja utilizada pelas plantas, daí o dia ser contado como seco. No segundo caso o ar está saturado e o dia é contado como meio dia seco. Os dias de orvalho e nevoeiro são computados como meios dias secos e são subtraídos do total de dias sem chuva (P), já corrigidos da influência da umidade atmosférica. O número obtido na subtração acima citada é o índice xerotérmico. Como o índice xerotérmico relaciona-se com a duração da estação seca, ele tende a ser tanto mais elevado quanto mais longa é a estação seca (1967; p.205).

1.2.5. Nimer

Edmon Nimer foi um climatólogo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) que atuou dos anos 60 aos anos 90. Teve grande produção bibliográfica no período. Foi responsável por uma série que abordou a climatologia de todas as regiões brasileiras entre o final de 1971 e todo o ano de 1972, escrevendo também todos os capítulos de Clima da coleção Geografia do Brasil de 1977 (ALMEIDA, 2009).

Segundo Terassi et al (2013), a metodologia de classificação climática de Nimer (1972), essencialmente, delimita o clima de uma forma quantitativa, utilizando valores de temperatura do ar e precipitação pluviométrica; mas também tem uma método qualitativo, por considerar a quantidade de meses secos e a circulação atmosférica.

Para Terassi et al (2013), esse sistema classificatório é composto por três partes:

a) Limite de tipos climáticos de acordo com a variação da temperatura, sendo utilizado os valores médios do mês mais frio, onde: Clima quente para valores médios acima de 18°C em todos os meses do ano; Clima subquente para média entre 15°C e 18°C em pelo menos um mês do ano; Clima mesotérmico brando para valores médios entre 10°C e 15°C; Clima mesotérmico médio para temperatura média do mês mais frio menor que 10°C.

b) Classificação de acordo com a quantidade de meses secos. Para ser considerado mês seco, o total da precipitação (mm) tem de ser igual ou inferior ao dobro da temperatura média em °C ($P < 2T$). Nimer também considera uma subseca com fórmula $P < 3T$. Portanto, a metodologia da classificação climática pode ser definida assim: Clima superúmido quando não há seca; Clima superúmido com subseca; Clima úmido com 1 a 2 meses secos; Clima úmido com 3 meses secos; Climas semiúmido com 4 a 5 meses secos; Clima semiárido brando: com 6 meses secos; Clima semiárido mediano com 7 a 8 meses secos; Clima semiárido forte com 9 a 10 meses secos; Clima semiárido muito forte com 11 meses secos; Clima desértico com 12 meses secos.

c) Por causa das dificuldades de delimitação desses climas, um terceiro componente tem como base a circulação atmosférica, com análise da distribuição pluviométrica e térmica durante as estações do ano, relacionando com suas gêneses. Terassi et al (2013) afirma que essa terceira variável foi determinada a partir de pressupostos teóricos provenientes de revisão bibliográfica.

.....

e a ligação dos tipos de tempo, buscando um melhor entendimento da variabilidade local dentro de um quadro regional, caracterizado pela influência dos fatores geográficos.

Para Monteiro (1973):

.....
Foi adotada a gênese da circulação atmosférica para a divisão climática em porções individualizadas, tomando como base a visão de Strahler na distinção dos climas regionais, procurando diversificar dentro deles, as feições climáticas individualizadas através da variação do ritmo, das quantidades, da associação a fatores geográficos de importância, como por exemplo, o relevo. Na análise do ritmo climático foi de grande valia a utilização dos gráficos diários de observação do tempo.
.....

Zavatini (1990) criou uma classificação climática aplicada ao estado do Mato Grosso do Sul também baseada no ritmo da sucessão dos tipos de tempo, influenciado pelas chuvas. De acordo com Rossato (2011), Zavatini criou três anos padrão (chuvoso, habitual e seco) analisando dez pontos espalhados pelo estado. Elaborou gráficos de análise diária de cartas sinóticas, para uma compreensão da dinâmica das precipitações, juntando os diferentes fluxos de incursão do ar frio polar que atingiam o Mato Grosso do Sul. Sua proposta de classificação foi baseada na gênese das correntes atmosféricas, mas também na morfologia e pluviometria da área de estudo (ROSSATO, 2011).

Rossato (2011) fez um estudo analítico do clima do estado do Rio Grande do Sul com foco na variação espacial e temporal dos elementos climáticos-meteorológicos, abordando suas tendências, com base nas classificações climáticas aplicadas na região. A autora definiu quatro tipos climáticos dentro do domínio subtropical no estado, variando em termos de umidade.

1.3. Sistemas Meteorológicos da América do Sul que afetam o clima no centro do Brasil

Os sistemas meteorológicos atmosféricos proporcionam uma interação entre todos os elementos que compõe a atmosfera. Eles são responsáveis pela consolidação do tempo e dos tipos

climáticos. Esses sistemas atuam diretamente em todos os climas ao redor do mundo. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é considerada o sistema gerador de precipitação mais importante que atua sobre a região equatorial dos oceanos Atlântico, Pacífico e Índico, e também sobre áreas continentais adjacentes a essas oceanos (CAVALCANTI et al, 2009).

Uma das características mais perceptíveis do clima tropical durante a estação do verão no continente sul americano é a presença de uma faixa de nebulosidade e chuvas com orientação noroeste-sudeste, a qual se estende desde a Amazônia ocidental até a Região Sudeste do Brasil e, comumente, sobre o oceano Atlântico subtropical meridional. Para Cavalcanti et al. (2009), essa particularidade climatológica é associada a um escoamento convergente de umidade na baixa troposfera, e convencionou-se chamar de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). A temperatura da superfície do oceano Atlântico Sul influencia na duração desse fenômeno. Quando mais quente, a convecção do ar aumenta, formando uma ZCAS mais forte, mas se a temperatura da superfície do mar (TSM) fica menor, ela beneficia a chegada de anticiclones, diminuindo o tempo de atuação desse fenômeno.

Anticiclones são circulações de vento em larga escala sob alta pressão atmosférica, circundando regiões de baixa pressão atmosférica. No Brasil, a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) quando avança para o continente é responsável por provocar o período de seca de inverno no centro do país, já o Anticiclone Polar gera quedas de temperatura acentuadas na Região Sul.

A seguir iremos descrever os principais sistemas meteorológicos que afetam o clima na área de estudo, ou seja, na zona central do Brasil.

1.3.1. Circulação geral dos ventos

O aquecimento desigual da Terra e sua atmosfera, pela radiação solar e terrestre, gera gradientes de energia térmica potencial, parte da qual é convertida em energia cinética pela ascensão do ar quente e pela descida do ar frio, também gerando a circulação horizontal, ou advecção (ventos).

Barry & Chorley (2013) afirmam que a atmosfera é uma máquina térmica altamente ineficiente, e explica com suas palavras:

A energia cinética do movimento atmosférico em todas as escalas é dissipada pelo atrito e por vórtices turbulentos de pequena escala (isto é, viscosidade interna). Para manter a circulação geral, a taxa de geração da energia cinética deve obviamente equilibrar a sua taxa de dissipação (2013).

Os centros de ação da atmosfera (campos de pressão), são determinados por observações em estações meteorológicas que ficam sobre os oceanos e continentes, tanto em superfície quanto na alta atmosfera, em sensores a bordo de satélites. São áreas que controlam o clima na Terra, reconhecidas como anticiclones ou ciclones (BARRY & CHORLEY, 2013).

Os anticiclones possuem uma alta pressão atmosférica em relação a sua área adjacente, ocorrendo uma divergência do ar no núcleo, que recebe o ar subsidente impedindo a formação de nuvens. Mendonça & Danni-Oliveira (2007) descrevendo essas áreas de alta pressão falam que:

Na porção central dos anticiclones, o tipo de tempo é geralmente bom, seja quente ou frio, sendo que a circulação do ar ao seu redor se efetua no sentido anti-horário no hemisfério Sul e no sentido horário no hemisfério Norte, como consequência da força de Coriolis sobre o movimento da atmosfera.

As áreas de baixas pressões que são cercadas por áreas de altas pressões são denominadas de ciclones. Esses ciclones são acompanhados da convergência de ventos na superfície e de elevação do ar, transportando o vapor d'água para sua condensação, o princípio da formação das nuvens que dão origem a chuva.

Para Mendonça (2007), a circulação atmosférica forma células específicas de movimentação, gerada pela repartição diferenciada das fontes de energia e associadas a movimentos verticais de ascendência e subsidência, e horizontais de advecção, da alta e baixa atmosfera.

De acordo com Christopherson (2012), o ar é na Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é quente e úmido dentro, também é uma área de calmaria dos ventos, com tendência de elevação do ar. A partir da latitude de 20° em ambos os Hemisférios, esses ventos da alta troposfera fluem de oeste para leste, formando massas de ar descendentes e sistemas de alta pressão nas latitudes subtropicais, caracterizada por ar seco e quente. Quando chegam a superfície os ventos migram para o norte e para o sul, ascendendo novamente, por volta de 60°N e S, essas áreas são denominadas de baixas pressões subpolares, onde o ar é frio e úmido. Este ar então desce em direção aos polos, formando as células de alta pressão polares (ar muito frio e seco).

1.3.2. Interação da circulação oceânica com a atmosfera

A circulação atmosférica sobre a região dos trópicos é influenciada em grande parte pelos aspectos termodinâmicos dos oceanos Pacífico e Atlântico. Ferreira & Melo (2005) citam anomalias da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) que influenciam nesse aspecto:

Em anos nos quais se verificam anomalias positivas ou negativas da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) nas bacias desses oceanos, a célula de Hadley, que atua no sentido meridional (ramo ascendente sobre o equador e ramos descendentes nas latitudes subtropicais), e a célula de Walker, que atua no sentido zonal (ramo ascendente no Pacífico oeste e ramo descendente no Pacífico leste) são perturbadas, causando fortes anomalias na circulação atmosférica sobre os trópicos, visto que essas células são deslocadas de suas posições climatológicas. Consequentemente a intensidade e duração do período chuvoso dessa região também são afetadas (2005; p.16).

A integração da atmosfera e das águas oceânicas em relação as suas temperaturas e concentrações de CO₂ é nítida. Barry & Chorley (2013) acreditam que a atmosfera contém menos de 1,7% de CO₂ presente nos oceanos, e que a quantidade absorvida pela superfície oceânica controla a concentração do ar acima desse. Os mesmos autores afirmam que a absorção de gás carbônico pelos oceanos é maior onde a água é fria, ou seja, onde é mais rica em matéria orgânica. Sendo assim, os oceanos podem regular o a gás carbônico da atmosfera, influenciando no efeito estufa e consequentemente contribuindo para as mudanças climáticas.

De acordo com Hastenrath et al (1977); Moura & Shukla (1981), Aragão (1998) e Nóbrega et al (2014), o Dipolo do Atlântico é um fenômeno de interação oceano e atmosfera identificado como uma mudança anômala na temperatura da superfície água do mar (TSM) no Oceano Atlântico Tropical, onde uma porção do oceano fica mais quente e a outra fica mais fria. Nobre & Shukla (1996) alegam que a TSM na região equatorial altera a posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT):

No caso brasileiro, quando as águas do Atlântico Equatorial e Tropical Sul estão mais frias que no Atlântico Tropical Norte, forçam movimentos descendentes de transporte de ar frio e seco dos altos níveis da atmosfera sobre o Centro-Norte da região Nordeste brasileira inibindo a formação de nuvens e diminuindo a precipitação (Fase Positiva do Dipolo), podendo causar secas. Por outro lado, quando as águas do Atlântico Tropical Sul estão mais quentes existem aumento nos movimentos ascendentes sobre estas regiões, intensificando a formação de nuvens e aumentando os totais pluviométricos (Fase Negativa do Dipolo). Esse padrão de anomalias de TSM afeta a posição latitudinal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), alterando assim a distribuição sazonal de precipitação pluviométrica sobre parte do Nordeste, até o centro da Amazônia (1996; p. 2470).

Conforme Nobre et al (2002), no curto intervalo de tempo de aproximadamente uma semana os efeitos de anomalias positivas de TSM sobre o Atlântico Sudeste, por abaixamento hidrostático da pressão, aumento da convergência de massa em baixos níveis e de movimento vertical ascendente sobre as regiões mais aquecidas, favorece o desenvolvimento de caso de ZCAS mais intensa do que a presença de águas mais frias sobre o Atlântico Sudeste.

Carpenedo (2018) investigou a atividade convectiva associada às anomalias de TSM através dos índices climáticos do oceano Atlântico Tropical Sul (TSA) e do oceano Atlântico Tropical Norte (TNA), bem como os impactos climáticos sazonais no Brasil, com foco em Minas Gerais:

Foi observado que eventos frios (quentes) do TSA estão associados com anomalias negativas (positivas) de TSM no Atlântico tropical e anomalias positivas (negativas) no Atlântico Sul extratropical, semelhante à fase negativa (positiva) do Dipolo do Atlântico Sul. Um padrão espacial de tripolo de anomalias negativas/positivas/negativas (positivas/negativas/positivas) de ROLE entre o Atlântico Norte tropical, equador e Atlântico Sul tropical reflete o

deslocamento para norte (para sul) da ZCIT do Atlântico (2018; p.82).

Ainda segundo Carpenedo (2018) a precipitação em Minas Gerais é influenciada pelo TSA:

O padrão espacial das anomalias de precipitação sobre o Brasil durante eventos frios do TSA entre a primavera e outono é semelhante ao padrão de gangorra associado à ZCAS, indicando uma maior atividade convectiva. Desta forma, sobre o estado de Minas Gerais há anomalias positivas de precipitação e negativas de temperatura do ar. A associação com eventos de ZCAS não é evidente em episódios quentes do TSA. Assim, as anomalias de precipitação (outono e inverno) e de temperatura do ar (primavera, verão e outono) são opostas às observadas em eventos frios do TSA, ou seja, anomalias negativas de precipitação e positivas de temperatura do ar. Por outro lado, em eventos frios (quentes) do TNA as anomalias negativas (positivas) de TSM ficam confinadas no Atlântico Norte tropical e equatorial. Entre a primavera e outono (inverno e verão) há anomalias positivas de TSM no centro-leste (oeste e leste) do Atlântico Sul tropical. No Atlântico Sul equatorial e tropical há convecção (supressão de convecção) anômala, o que demonstra o deslocamento da ZCIT do Atlântico para sul (para norte) de sua posição climatológica (2018; p.82).

Carpenedo (2018) afirma que as anomalias de TSM no oceano Atlântico tropical tem grande importância para o entendimento das diferenças de precipitação e temperatura do ar, fornecendo subsídios para um melhor planejamento regional, como a autora mesmo fala:

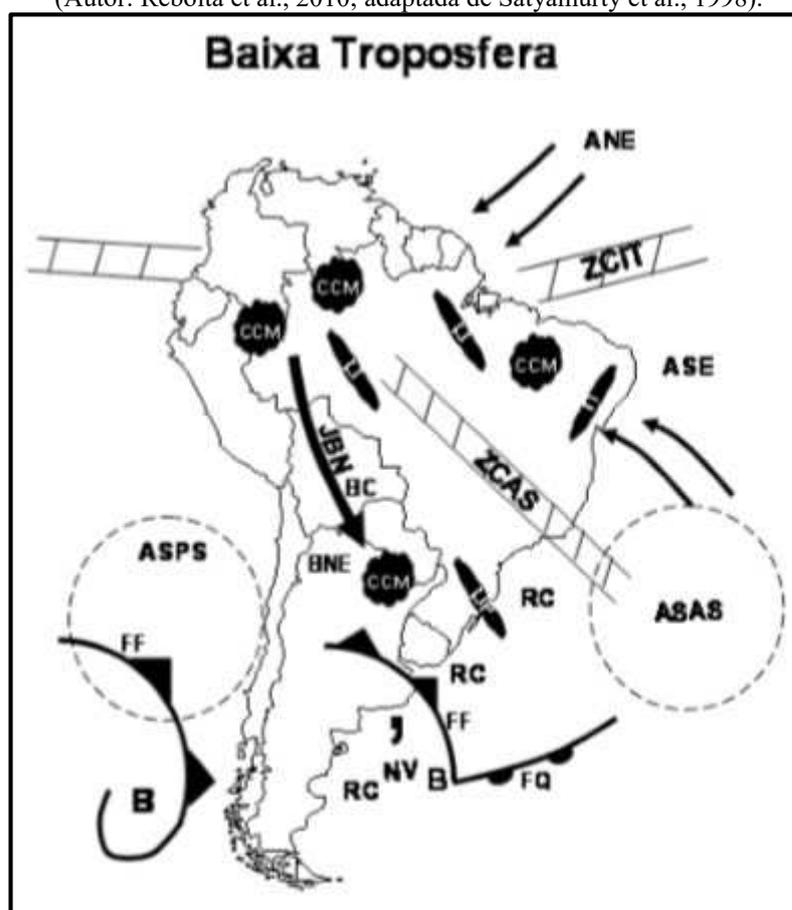
A previsão da precipitação com pelo menos alguns meses de antecedência é importante para que se possa traçar estratégias que previnam situações de risco à sociedade e minimizem os custos socioeconômicos de mitigação e adaptação em relação aos impactos decorrentes dos eventuais eventos extremos hidrológicos. Além disso, possibilita a elaboração de políticas públicas mais eficientes, que servirão de instrumento para a tomada de decisões, com vistas à garantia de oferta de água para o abastecimento público, bem como para a geração de energia hidráulica e para a agricultura (2018; p. 83).

1.3.3. Sistemas Meteorológicos

A grande extensão latitudinal e as variadas formas de relevo da América do Sul permitem o desenvolvimento de diferentes sistemas atmosféricos que atuam na área nuclear do Cerrado brasileiro. Esses sistemas meteorológicos que agem na baixa troposfera são mostrados na **Figura 4**: ventos alísios de nordeste (ANE), ventos alísios de sudeste (ASE), anticiclone subtropical do Atlântico Sul (ASAS), anticiclone subtropical do Pacífico Sul (ASPS), baixa

pressão (B), baixa do Chaco (BC), região de baixas térmicas no noroeste argentino (BNE), complexo convectivo de mesoescala (CCM), frente fria (FF), frente quente (FQ), jato de baixos níveis a leste dos Andes (JBN), linha de instabilidade tropical (LI), linha de instabilidade pré-frontal (LIP), nuvem vírgula (NV), regiões ciclogênicas (RC), zona de convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e zona de convergência intertropical (ZCIT).

Figura 4: Representação esquemática dos sistemas atmosféricos atuantes na baixa troposfera da América do Sul. (Autor: Reboita et al., 2010; adaptada de Satyamurty et al., 1998).



Os principais sistemas meteorológicos que atuam na área de estudo são descritos a seguir.

- Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)

Segundo Ferreira (1996), a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) fica localizada numa região de interação da confluência dos ventos Alísios, do Cavado Equatorial, da máxima Temperatura da Superfície do Mar (TSM), da máxima convergência de massa, e da máxima

cobertura de nuvens convectivas. Todas essas características interagindo próximas à linha do equador, mas não se apresentando essencialmente ao mesmo tempo sobre o mesmo local.

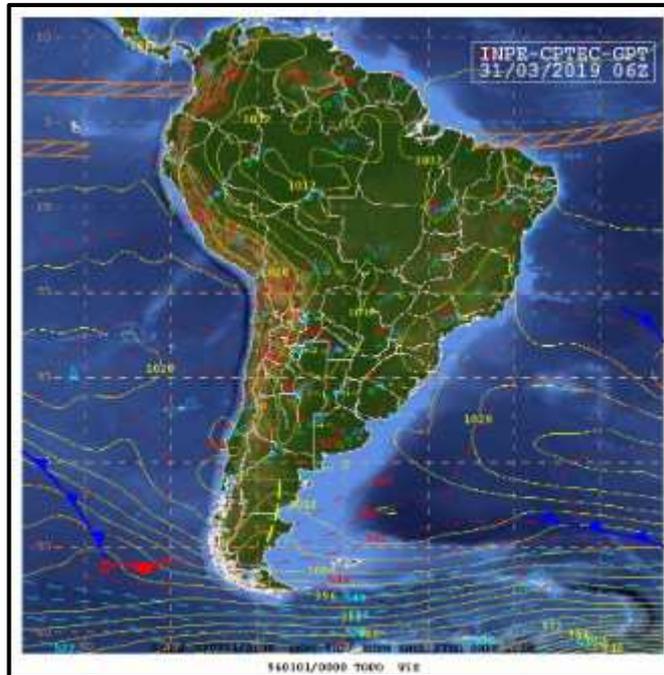
Conforme Molion (1987), a ZCIT é formada pela confluência dos ventos alísios do Hemisfério Norte e os ventos alísios do Hemisfério Sul. Hastenrath e Lamb (1977) afirmam que, sobre o oceano Atlântico, a ZCIT move-se progressivamente para o sul, de sua posição limite-norte em Agosto, e alcança sua posição limite-sul no final do verão do Hemisfério Sul (Março). A ZCIT é responsável pelas precipitações sobre as áreas costeiras da Amazônia e do Nordeste brasileiro. Alguns autores (e.g. Trewartha, 1961; Ratisbona, 1976) mencionam a existência de uma ZCIT continental durante o verão.

Satyamurty et al (2008) cita a importância da floresta Amazônica na precipitação pluviométrica da região:

A precipitação pluviométrica nessa região do Globo é elevada e supera a grande evapotranspiração potencial durante a maior parte do ano. Em meses secos, o déficit pluviométrico pode atingir dezenas de milímetros. Com o solo úmido, essa evapotranspiração ajuda na formação de nuvens convectivas que podem provocar chuvas locais em qualquer época do ano. O efeito biótico da floresta é muito importante, pois o transporte de umidade para toda bacia Amazônica é menor que a precipitação mensal, sazonal e anual, sugerindo um acréscimo de água no ambiente pela evapotranspiração (2008).

De acordo com Melo et al (2000), na região Nordeste a ZCIT aparece no centro-norte maranhense e piauiense, nos estados do Ceará e Rio Grande do Norte, e nos sertões da Paraíba e Pernambuco, com máximos de precipitação durante março e abril, meses onde a ZCIT atua de forma mais sistemática (**Figura 5**).

Figura 5: Carta sinótica mostrando a atuação da ZCIT desde o litoral do Maranhão ao Ceará, no dia 31 de março de 2019. Fonte: CPTEC/INPE, 2019.



A associação da ZCIT com outros sistemas meteorológicos que atuam sobre o Norte-Nordeste durante os meses chuvosos deve-se principalmente aos Distúrbios Ondulatórios de Leste e a formação de Linhas de Instabilidade ao longo da costa norte brasileira (MELO, NOBRE, DE MELO & SANTANA, 2000).

De acordo com Molion (1993) e Nobre & Shukla (1996), o padrão espacial das anomalias de chuva observadas sobre o Nordeste brasileiro causam grandes períodos de seca num momento, e em contraposição a eventos de inundações em outro. Esse padrão possui uma escala espacial que extrapola a região, atingindo também o oceano Atlântico Equatorial e o centro da Amazônia. Para Nobre et al (1989) e Nobre & Shukla (1996), o excesso ou deficiência de precipitação ao sul do equador está associado não somente ao deslocamento latitudinal anômalo da ZCIT, mas principalmente à duração do período da incursão da ZCIT ao sul do equador.

A permanência da ZCIT ao sul de sua posição latitudinal média até o mês de abril, provoca um ano chuvoso sobre o Nordeste, na Amazônia e no oceano Atlântico Equatorial. Enquanto em

anos de seca a ZCIT retorna ao Hemisfério Norte já em março. Para Nobre & Shukla (1996) a TSM influencia nesses deslocamentos da ZCIT, como eles mesmo dizem:

Há evidências observacionais de que os mecanismos responsáveis pelo deslocamento latitudinal da ZCIT estejam associados a uma cadeia de processos de interação entre o oceano e a atmosfera, envolvendo o acoplamento lateral com distúrbios atmosféricos extra-tropicais de ambos hemisférios. Estes contribuem para o aparecimento de anomalias de TSM ao norte e ao sul do equador com sinais opostos, formando assim um gradiente meridional de anomalias de TSM, responsável pelo deslocamento e permanência da ZCIT mais para o sul ou para o norte (1996; p. 2471).

A ZCIT atua indiretamente no interior da Região Norte brasileira através de aglomerados convectivos formados ao longo dela, propagando-se para oeste atingindo a bacia Amazônica. Isso deve-se a interação dos ventos alísios com a circulação da brisa marinha formando as linhas de instabilidade (LI) que penetram no continente até alcançarem as vertentes íngremes da cordilheira dos Andes (REBOITA ET AL, 2010).

- Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)

O período de chuva na América do Sul se inicia em agosto com a formação de grandes aglomerados convectivos na Amazônia ocidental, nos meses seguintes cresce para o sudeste brasileiro. Na maior parte das Regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil o início das chuvas acontece na segunda quinzena de outubro. O auge da precipitação sobre o Centro-Oeste e Sudeste do Brasil acontece entre dezembro e fevereiro. No fim de março e início de abril, a atividade convectiva profunda se enfraquece sobre a região tropical (CAVANCANTI et al, 2009).

Uma das características mais perceptíveis do clima tropical durante a estação do verão no continente sul americano é a presença de uma faixa de nebulosidade e chuvas com orientação noroeste-sudeste, a qual se estende desde a Amazônia ocidental até a Região Sudeste do Brasil e, comumente, sobre o oceano Atlântico subtropical meridional. Para Cavalcanti et al (2009),

essa particularidade climatológica é associada a uma convergência de umidade na baixa troposfera, e convencionou-se chamar de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

O fato de episódios de ZCAS ocorrerem no principalmente na estação de verão no Hemisfério Sul, ressalta a importância da convecção tropical, e a consequente liberação de calor latente na região amazônica, tanto para a geração como manutenção do fenômeno. Sakamoto e Silva Dias (1990) destacaram a importância da umidade no Brasil Central para a precipitação de sistemas semi estacionários no verão do Hemisfério Sul.

Outros estudos mostraram que o fluxo em larga escala da Amazônia é provavelmente o principal mecanismo que mantém a posição da ZCAS (como por exemplo, Figueroa et al. 1995; Nogués-Paegle e Mo 1997 ; Liebmann et al. 2004 ; Gan et al. 2004). Esses resultados indicam que mecanismos diferentes modulam a variabilidade das chuvas extremas sobre a porção oceânica e continental da ZCAS (CARVALHO ET AL. 2002, 2004). Esses mecanismos seriam a TSM, a circulação de nível superior, a circulação de baixo nível, a oscilação Madden-Julian e os Jatos de Baixos Níveis (MUZA et al, 2009).

A temperatura da superfície do oceano Atlântico Sul influencia na duração desse fenômeno. Quando a temperatura se eleva, a ascensão do ar aumenta, formando uma ZCAS mais persistente, mas se a TSM fica menor, ela beneficia a chegada de anticiclones, diminuindo o tempo de atuação desse fenômeno.

A continuidade e o posicionamento do episódio da ZCAS deve-se também a outros sistemas atmosféricos, como a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), a Alta da Bolívia, o cavado semi estacionário (localizado a leste da Cordilheira dos Andes) e o Jato subtropical de altos níveis. A entrada de sistemas frontais nas latitudes subtropicais, e a consequente organização da convecção nos trópicos com formato de uma faixa de nebulosidade intensa, de direção noroeste-sudeste, também tem uma grande influência na ZCAS (QUADRO, 1994).

- Zonas de Convergência de Umidade (ZCOU)

Conforme Sacramento Neto et al. (2010), o conceito de Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) foi apresentado a comunidade meteorológica pelo Grupo de Previsão de Tempo do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (GPT-INPE) devido à confirmação de variações no período médio das ZCAS.

A principal semelhança da ZCOU com a ZCAS é o fato de ambas serem zonas de convergência de umidade marcadas por nebulosidade e precipitação intensas, no entanto, diferenças no modelo de escoamento clássico, principalmente em médios e baixos níveis, diminuem o período de atuação e organização dessa faixa de nuvens e chuva, caracterizando-se assim uma ZCOU ao invés de ZCAS (PALOTTA & NAKASATO, 2010).

Sacramento Neto et al. (2010) citam a diferença da duração desses episódios de convergência, mostrando a pesquisa do GPT/CPTEC:

Em termos puramente ligados ao tempo de persistência, uma ZCOU pode ser caracterizada em situações onde os padrões são similares aos de ZCAS, porém a duração do sistema é de apenas 3 dias. Há ressalva de que caso o padrão persista por um quarto dia, o sistema passa a ser considerado ZCAS. Ainda no âmbito da duração, uma ZCOU pode ser atribuída à uma situação previamente estabelecida de ZCAS em situação de dissipação, onde ainda é possível ser identificada uma banda de nebulosidade organizada (2010).

Saindo da esfera do tempo, pois há ocorrência de episódios de ZCOUs com mais de três dias de persistência, Palotta & Nakasato (2010) dizem que a análise de escoamento e convergência nos diferentes níveis da atmosfera apresentam características significativas:

Em níveis médios observa-se o deslocamento de cavados entre o norte e nordeste da Argentina, o Paraguai, o Mato Grosso do Sul e a região sul do Brasil. O fato desses cavados se movimentarem consideravelmente quebra o padrão de persistência de nebulosidade e precipitação já descritos para a situação de ZCAS, desfavorecendo os escoamentos típicos dos níveis abaixo (2010; p.2).

- Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS)

As Altas Subtropicais são anticiclones localizados nos principais oceanos do planeta, próximo a latitude de 30°. Elas são associadas à circulação média da atmosfera, no Hemisfério Sul, aparecendo devido às células de Hadley. A Alta Subtropical do oceano Atlântico Sul (ASAS) possui uma grande importância no clima da América do Sul. Para Bastos & Ferreira (2000), ela afeta o clima do Brasil tanto no inverno como no verão:

No inverno, ela inibe a entrada de frentes e causa inversão térmica e concentração de poluentes nos principais centros urbanos das regiões sudeste e sul. Na região nordeste, a ASAS contribui para o regime de chuvas no litoral. A dinâmica desse sistema também favorece a formação de nevoeiros e geadas no sul e sudeste do Brasil. Por outro lado, no verão o transporte de umidade nos baixos níveis troposféricos ao longo da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (Kodama, 1993; Quadro, 1994), são afetados pela circulação associada a ASAS (2000; p.612).

Como é de conhecimento, a parte oceânica da ZCAS é fortemente modulada pela convergência de umidade no oceano Atlântico (Kodama, 1993).

A mudança no padrão estacional da circulação atmosférica na América do Sul, na passagem do verão para outono-inverno, conduz ao avanço e participação cada vez maior da ASAS para o centro do continente, deixando o céu claro (sem nebulosidade), aspecto que pode prevalecer por semanas.

- Anticiclone Polar Sul (APS), frentes frias e geadas

Na região do oceano Atlântico circumpolar localiza-se a área core do Anticiclone Polar Sul (APS), ou anticiclone móvel polar. A subsidência do ar que gera essa alta pressão, juntamente com as águas frias do oceano meridional, são responsáveis pela formação de uma massa de ar fria e estável. Essa denominada de polar marítima (mP), tem atuação periódica, com intervalos médios de uma semana entre duas passagens no Brasil meridional (TUBELIS e NASCIMENTO, 1980).

A atuação do APS no centro-sul do Brasil influencia significativamente os totais pluviométricos nesta região. Galvani e Azevedo (2015) comentam a atuação do APS denominado por eles como Massa Polar Atlântica (mPa):

Em sua borda, no contato com os sistemas atmosféricos tropicais, configuram-se extensas zonas de pressão relativamente baixa e intensa convergência, usualmente chamada de frente polar. Estas frentes comportam-se como verdadeiros rios atmosféricos, canalizando importantes volumes de ar em fluxo concentrado em direção a centros de baixa pressão, que normalmente atingem seu máximo aprofundamento e atividade sobre o oceano atlântico (2015; p. 2).

A frente fria que provoca nebulosidade, antecede a chegada do ar polar, gerando chuvas durante todo o período do sistema frontal em várias áreas do território paulista (Monteiro, 1969, 1973; Tarifa, 1975).

Segundo Galvani e Azevedo (2015), o ar frio que acompanha o sistema frontal em sua retaguarda, alimenta este sistema, pois é mais denso e avança pelo continente sul-americano em forma de cunha, elevando o ar quente da zona tropical a sua frente:

A elevação resulta em resfriamento adiabático da parcela de ar deslocada pelo ar mais denso. O ar deslocado termina por atingir a temperatura do ponto de orvalho. O excedente de vapor, associado à presença de núcleos higroscópicos, passa para a fase líquida formando as nuvens. Caso as gotículas atinjam tamanho suficientemente grande, a força de gravidade as arrasta para o solo vencendo a força de ascensão que as mantém em suspensão dando origem a chuvas e eventualmente chuviscos (2015; p. 2).

Portanto, para Galvani e Azevedo (2015), o deslocamento da mPa transporta umidade em direção aos trópicos, por meio das frentes frias, gerando condições necessárias para a ocorrência de precipitação. Depois da passagem do sistema frontal tem-se o predomínio do ar de origem polar, com um tempo caracterizado pelo aumento progressivo da pressão atmosférica, céu sem nebulosidade, ar relativamente frio e umidade mais baixa que antes.

Para Monteiro (1973), a chuva oriunda de cumulonimbus provocada pela instabilidade gerada da aproximação do sistema frontal, mas que não tem origem da frente fria propriamente dita, é

chamada de pré-frontal. Depois da passagem desse sistema frontal, é comum que ocorra chuva, proveniente de nuvens stratus que cobrem o céu quase totalmente, sobretudo no período de outono/inverno.

Essas frentes frias afetam o tempo durante todo o ano na América do Sul, principalmente na sua região meridional, sendo facilmente identificadas em imagens de satélite. Geralmente deslocam-se de sudoeste para nordeste sobre o continente e oceano Atlântico adjacente. Conforme Cavalcanti (2009), durante o inverno, esses sistemas são acompanhados pelo APS, de latitude alta que, muitas vezes, causam geadas em áreas agrícolas no Sudeste e Sul do Brasil. Algumas vezes, as frentes frias alcançam latitudes muito baixas sobre o oeste da Amazônia e também ao longo da costa nordeste do Brasil.

Em alguns episódios, quando as frentes frias prosseguem em direção ao equador, elas posicionam-se ao longo do litoral brasileiro, entre os estados de São Paulo e da Bahia, justamente na região de atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Isso causa uma precipitação contínua, que leva várias vezes a inundações e deslizamentos de terra em encostas íngremes localizadas nas serras dessas regiões.

Existem quatro caminhos possíveis de entrada do APS no território brasileiro. O primeiro chega pela costa do Rio Grande do Sul e pode avançar até o litoral nordestino. O segundo caminho, adentra o território gaúcho pelo Uruguai, esfriando as serras gaúcha e catarinense, podendo chegar até o interior de São Paulo. A calha do Rio Paraná serve de caminho para as frentes frias vindas da Argentina, e dependendo da intensidade alcança o planalto central brasileiro. O último caminho de avanço do APS é sobre a região ocidental do território brasileiro, vindo também da Argentina e Paraguai, chegando até o estado do Acre e Amazonas.

De acordo com Cavalcanti et al (2009), o número médio de passagens de frentes frias por ano no território brasileiro varia de 40 no extremo sul a zero (0) na região central da bacia Amazônica e litoral setentrional da Região Nordeste.

Existe uma sazonalidade na ocorrência de passagens de frentes frias no Hemisfério Sul, que são mais frequentes durante maio e setembro e menos frequentes entre dezembro a fevereiro, como diz Cavalcanti et al (2009):

As frentes frias ocorrem em maior número e durante todo o ano entre 25° e 30°S, mas são mais numerosas de maio a outubro. Elas são mais raras ao norte de 20°S durante todo o verão (dezembro a fevereiro). Embora no verão ocorram passagens de frentes frias sobre o sudeste do Brasil que induzem convecção e precipitação nas regiões tropicais e subtropicais da América do Sul e que alimentam a ZCAS. As frentes frias nem sempre satisfazem ao critério considerado para identificação de casos, que levam em conta a queda de temperatura, o aumento da pressão atmosférica e a mudança na direção do vento (2009).

Ainda segundo Cavalcanti et al (2009), a estabilidade do tempo e o declínio da temperatura do ar provocada pelo APS provocam o fenômeno da geada, que é caracterizado como “adverso”, ou seja, trata-se de manifestações mais silenciosas, porém tão devastadoras como a pior das tempestades. O autor afirma que a geada tem formação semelhante ao orvalho, e possui dois tipos de atuação:

As geadas não são de natureza convectiva, mas tem um caráter potencialmente perigoso para a população e para o país. Constituem no depósito de gelo cristalino na superfície do solo, das plantas e dos objetos, e que se forma de maneira semelhante ao orvalho, mas com temperaturas inferiores à de congelamento. A camada de gelo reflete a luz solar, razão pela qual esse tipo de geada é usualmente conhecido como “geada branca”. Porém, em algumas ocasiões, a temperatura do ar nas proximidades do solo é inferior a 0°C, mas não produz a formação de gelo, por causa, principalmente, da baixa umidade ou de vento intenso. Nessas circunstâncias podem ocorrer as chamadas “geadas negras”, que costumam provocar danos muito severos nas plantações, pois permanecem totalmente expostas às temperaturas negativas, pois, no caso das geadas brancas, o gelo depositado garante que a temperatura das folhas não seja inferior ao ponto de congelamento (2009).

No interior da Região Sul do Brasil temos registro de vários casos anuais de formação de geadas, principalmente da combinação de dois fatores principais: a influência de frentes frias e altas pressões migratórias, e a presença de um relevo de topografia complexa de altitudes superiores a 1000 metros. A relação do aumento da pressão atmosférica com as altas elevações da superfície, faz das serras Gaúcha e Catarinense as regiões mais propícias para a formação de geadas no país. Para Cavalcanti et al (2009), elas aparecem principalmente nos meses de inverno (junho a agosto), mas há muitos registros de geadas no início do outono ou no final da primavera, que costumam ser as mais destrutivas do ponto de vista agrônômico (CAVALCANTI ET AL, 2009).

De acordo com Sapucci et al (2018), a atuação do ASAS sobre a Região Sudeste do Brasil é a condição mais favorável a formação de geadas. Esse sistema causa condições de céu claro, o que facilita o resfriamento da superfície por perda radiativa noturna numa eventual passagem do APS.

Conforme Assad (2004) em seu estudo sobre a cultura do café, a região sudoeste de Minas Gerais (inclusive Triângulo Mineiro), e norte dos estados de São Paulo e Paraná possuem riscos climáticos para a agricultura, com probabilidade de ocorrência de geadas.

- Outros sistemas meteorológicos

No mundo inteiro, fortes fluxos atmosféricos, com velocidade máxima do vento na altitude de 2000 metros, são observados na baixa atmosfera ao longo de cadeias montanhosas, como por exemplo na Cordilheira dos Andes; esses fluxos são conhecidos como Jatos de Baixos Níveis (JBN). Cavalcanti et al (2009) diz que a orientação dessas montanhas no sentido Norte-Sul bloqueiam a circulação em baixos níveis no sentido zonal e provocam uma canalização do vento.

Ainda segundo Cavalcanti (2009), na América do Sul o JBN é caracterizado como um componente do sistema de monção, transportando umidade da Amazônica para a bacia hidrográfica do Paraná (Prata). O episódio afeta o transporte de umidade, condicionando tempo severo associado a grandes nuvens convectivas na região de saída do Jato, que podem gerar fortes tempestades e enchentes locais.

De acordo com Marengo et al (2009) o JBN da América do Sul transporta umidade atmosférica oriunda do fluxo dos ventos alísios que passam sobre a Amazônia - adquirindo ainda mais umidade, devido a evapotranspiração na região da floresta -, sofre mudança na direção devido ao bloqueio topográfico e correm paralelamente aos Andes em direção ao norte da Argentina e Sul e Sudeste do Brasil.

A atuação do JBN na dispersão de poluentes no centro-sul do estado de São Paulo foi investigado por Karam (2002). Esse autor afirma que durante noites de céu claro, o JBN ocorre com bastante frequência tanto no inverno quanto no verão, promovendo ventos de intensidade variada (de 8 a 10 m/s) e localizado em torno de 350 metros acima da superfície.

Os ventos alísios são mais fortes no verão, penetrando no continente pela floresta Amazônica até encontrarem a barreira da Cordilheira dos Andes virando bruscamente para sudeste. No inverno, o fluxo vindo dos alísios se enfraquece e intensifica o fluxo de nordeste associado a borda da ASAS, em que seu centro está próximo ao continente. O JBN influencia na precipitação principalmente na região ocidental da área de estudo, ou seja, o Bioma Cerrado.

Ferreira et al (2005) comenta sobre outro sistema meteorológico, os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN):

Os VCAN penetram na região Nordeste do Brasil formando-se no oceano Atlântico, principalmente entre os meses de novembro e março, e sua trajetória normalmente é de leste para oeste, com maior frequência entre os meses de janeiro e fevereiro, conforme demonstrado por Gan e Kousky (1982). O tempo de vida desses sistemas varia em média, entre 7 a 10 dias. Os VCANs são um conjunto de nuvens que,

observado pelas imagens de satélite, têm a forma aproximada de um círculo girando no sentido horário. Na sua periferia há formação de nuvens causadoras de chuva e no centro há movimentos de ar de cima para baixo (subsidiência), aumentando a pressão e inibindo a formação de nuvens (2005; p. 20).

Também para Ferreira et al (2005), as Linhas de Instabilidade são faixas de nuvens cumulonimbus carregadas, dispostas em forma de linha, dando origem ao seu nome. Seu desenvolvimento é fruto da grande quantidade de radiação solar incidente sobre a região tropical, que formam nuvens convectivas no final da tarde e início da noite, quando a ascensão é máxima, e como consequência a precipitação cai. A proximidade da ZCIT nos meses de fevereiro e março, na região Amazônica, também é um fator que contribui para formação das LI.

Conforme Souza et al (1998), aglomerados de nuvens cumulonimbus formados a partir de condições de temperatura, relevo e pressão favoráveis, que provocam chuvas forte de curta duração, são chamados Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs). Esses complexos de nuvens, que geralmente vem acompanhados de fortes rajadas de ventos são típicos da região subtropical, e ocorrem preferencialmente durante os meses de primavera e de verão no hemisfério sul, formando-se no período noturno com um ciclo de vida entre 10 e 20 horas.

2. METODOLOGIA PARA UMA PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA APLICADA AO BIOMA CERRADO

A metodologia dessa classificação é baseada em um mapeamento das unidades climáticas, considerando a temperatura média do mês mais frio (TMMMMF), a quantidade de meses secos, a influência de sistemas atmosféricos e seus efeitos na precipitação pluviométrica, e nas passagens de frentes frias com possibilidade de formação de geadas.

Baseado nos princípios do sensoriamento remoto, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) e os sistemas de Posicionamento Global por Satélite (GPS) fizeram o espaço geográfico ganhar uma importante solução técnica para sua análise. A integração desses sistemas fazem parte dos instrumentos de geoprocessamento.

Para a espacialização dos dados e elaboração cartográfica foi utilizado o programa QGIS, que é um SIG de código aberto e de fácil utilização, sendo executado em Linux, Unix, Mac OSX e Windows. Suporta formatos vetoriais, como raster e banco de dados e é licenciado sob a Licença Pública Geral GNU. O programa permite navegar e criar dados de mapas no computador. Suporta muitos formatos de dados espaciais comuns (por exemplo, ESRI ShapeFile, geotiff). O QGIS é um software gratuito, por isso foi utilizado para elaboração cartográfica desse trabalho.

O modelo digital de elevação oriundo do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), foi usado no mapa da caracterização física da área de estudo, na delimitação de tipos climáticos que tinham seus limites em escarpas de serras, e principalmente nos mapas de temperatura do ar, onde a influência do relevo é direta. Os dados do SRTM estão disponíveis na página do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), para todo o território brasileiro, com resolução espacial de 30 m (VALERIANO, 2004).

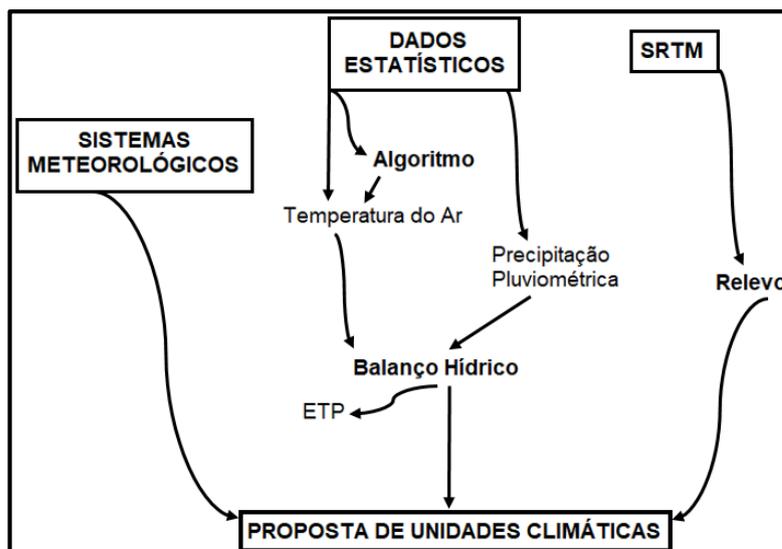
O sistema de classificação climática proposto nessa pesquisa é subdividido em hierarquias, sendo que o *Clima Zonal* está na primeira categoria. Os limites dos Climas Zonais, e de alguns *Domínios Climáticos*, são baseados na temperatura média do mês mais frio (TMMMMF). A distribuição de energia ocasionada pela radiação solar na troposfera se diferencia latitudinalmente, tornando a temperatura o principal elemento climático nessa escala.

Seguindo a hierarquia das unidades climáticas são propostos *Domínios*, *Subdomínios*, *Tipos*, *Subtipos* e *Meso/Topoclimas*. Esses têm influência dos fatores de balanço de energia, como sistemas atmosféricos; da quantidade de meses secos (Precipitação < Evapotranspiração Potencial); e também da localização dentro de um território, ou mesmo em unidades de relevo.

Os sistemas atmosféricos foram utilizados para distinção de *Domínios Climáticos*. A atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) em alguns meses do ano serviu para diferenciar o *Domínio Equatorial* do *Domínio Tropical* nos estados do Piauí, Maranhão e Tocantins. Estações climatológicas no interior desses estados que registraram maiores volumes de precipitação em março, sem queda brusca nos meses de abril e maio, pertenceriam ao *Domínio Equatorial*, se diferenciando dos locais situados no Brasil Central de *Domínio Tropical*, que em abril já estariam entrando numa transição para a estação seca. A partir do rio Araguaia, na divisa do estado de Tocantins com o Pará, o limite desses dois domínios climáticos é a floresta Amazônica, seguindo o modelo de Strahler (1989) e Nimer (1989). A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) respectivamente predominam no período chuvoso e seco na região centro-sul da área de estudo.

O fluxograma a seguir (**Figura 6**), demonstra como foi elaborada a metodologia desse trabalho, a partir dos dados estatísticos, sistemas meteorológicos e modelo digital de elevação (SRTM).

Figura 6: Fluxograma das etapas metodológicas.



Os dados estatísticos de precipitação pluviométrica foram disponibilizados pelo sítio da Agência Nacional de Águas (ANA) em seu programa HidroWeb. O sítio do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) forneceu os dados diários de temperatura do ar durante 30 anos em estações localizadas no centro-sul da área de estudo, importante para a quantificação de dias com temperaturas abaixo de 3,5°C, valor que possibilita a formação de geada. Esse valor se aproxima do encontrado por Sentelhas et al (1995), onde os mesmos analisaram a diferença dos dados de temperatura mínima do ar junto à relva e a temperatura mínima do ar em abrigo meteorológico em dez locais do estado de São Paulo em noites de geada, sendo o valor médio da diferença igual a 4,1°C, variando de 3,3 a 5,7°C.

Os dados térmicos também serviram para validar (testar) o algoritmo utilizado para espacialização da temperatura do ar no Bioma Cerrado.

Para a elaboração do balanço hídrico climatológico foi utilizado o método de Thornthwaite & Mather (1955), pois para a grande área do Cerrado não tínhamos estações climatológicas suficientes para utilizar o método de Penman-Monteith, que usa dados de umidade relativa, evaporação, insolação e velocidade do vento. Os dados de precipitação e temperatura do ar,

juntamente com a posição latitudinal foram inseridos na planilha de BHC, e com isso se obteve a evapotranspiração potencial (ETP), o excedente hídrico e o déficit hídrico.

O valores finais do balanço hídrico são controlados pelos sistemas meteorológicos que atuam em cada parte da área de estudo, e também pela disposição e altitude do relevo local. As imagens de radar do SRTM foram de suma importância para a delimitação das menores unidades climáticas dessa classificação.

2.1. Caracterização física da área de estudo

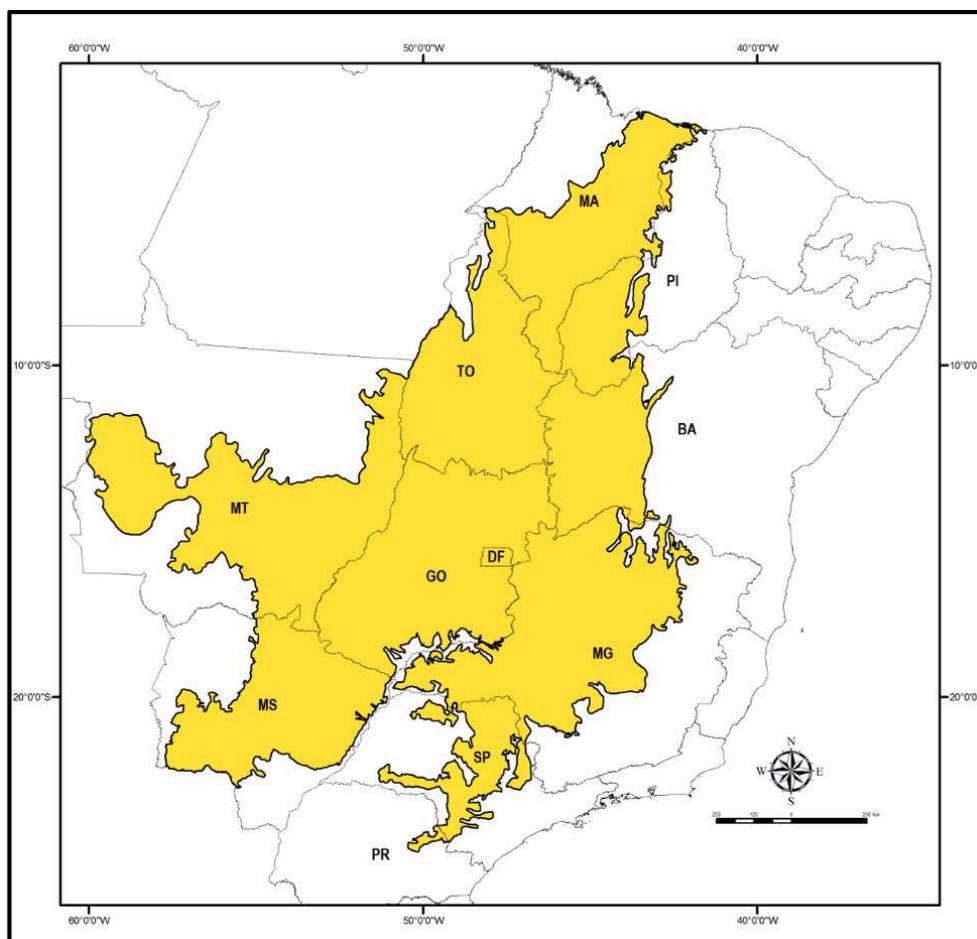
Para esse trabalho utilizamos a área nuclear (contínua) do Bioma Cerrado, localizado entre as coordenadas geográficas de 3° a 25° de latitude Sul e de 42° a 60° de longitude Oeste, englobando a grande região central do Brasil. Sua área abrange os estados do Maranhão, Piauí, Bahia, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Goiás e o Distrito Federal (**Mapa 1**). Segundo o IBGE (2004), é a segunda maior formação vegetal brasileira, com 2,04 milhões de quilômetros quadrados (22% do território nacional). Para Alho & Martins (1995), o Cerrado é composto de um mosaico de vários tipos de vegetação, resultantes da diversidade de solos, de topografia e de climas dessa extensa região.

O bioma Cerrado tem seu limite na porção norte com a floresta Amazônica; a leste e a nordeste, com a vegetação de Caatinga; de leste a sudeste, com a Mata Atlântica; e no extremo sudoeste com o Complexo do Pantanal Matogrossense. Ab'Saber (1971) afirmou que esses limites existem em consequência das chamadas “faixas de transição”, onde espécies de dois ou mais domínios morfoclimáticos se misturam, dando origem a complexos sub-regionais de paisagens.

Ab'Saber (2003) descreve o Cerrado como um de seus domínios morfoclimáticos:

O Cerrado faz parte do domínio morfoclimático denominado de “Chapadões recobertos por Cerrados e penetrados por Florestas-Galeria”. O domínio dos cerrados é um espaço territorial marcadamente planáltico em sua área core. Paradoxalmente, é dotado, em geral, de solos pobres em nutrientes, porém em condições topográficas e climáticas bastante favoráveis à agricultura.

Mapa 1: Limite da área nuclear do Cerrado brasileiro.
Fonte: Brasil, 2015.



A área de estudo possui vários tipos de planaltos, desde os de estrutura complexa, a planaltos sedimentares ligeiramente compartimentados. Para esse trabalho, o primeiro e segundo planalto paraenses, que fazem parte do planalto arenítico-basáltico, é descrito somente como planalto paraense, região onde o Cerrado atinge seu ponto mais meridional (**Mapa 2**).

As principais planícies localizam-se no norte dos estados do Maranhão e Piauí (planície litorânea), e também seguem o fundo do vale dos principais rios, em forma de aluviões. As depressões situam-se entre os planaltos, destacando a grande região situada nos estados do Tocantins, Mato Grosso e norte de Goiás.

Para Cole (1986), a topografia e a geomorfologia são agentes que atuam indiretamente na distribuição dos exemplos de vegetação do bioma, sendo que a ação direta viria das características dos solos locais:

A altura e a estratificação da vegetação são influenciadas principalmente pelas condições de umidade edáficas, enquanto a composição florística, dentro de cada fisionomia, decorreria da disponibilidade de nutrientes dos mesmos (1986; p. 23).

Conforme Ab'Saber (2003), os cerradões, cerrados e campos cerrados aparecem nos divisores de águas (interflúvios) e as florestas-galeria no fundo dos vales. O autor ainda explana sobre o relevo da região:

O domínio dos Cerrados apresenta imponentes padrões de paisagem nas altas escarpas estruturais, onde ocorrem trombas, aparados e tombadores, a par com cânions de diferentes amplitudes e com sítios de águas termais (“águas quentes”).

A área de estudo é caracterizada pela presença de uma estação seca de inverno, e outra úmida de verão. A ocorrência de duas estações bem definidas caracteriza a distribuição concentrada das chuvas em toda a região, com influência direta sobre a vegetação. Essa precipitação abundante em uma época do ano provoca, ao longo do tempo geológico, a lixiviação dos solos, deixando-os pobres em nutrientes essenciais.

Por estar situada na zona tropical do planeta, o Domínio do Cerrado possui uma radiação solar intensa, podendo reduzir-se devido grande quantidade de nuvens nos meses chuvosos de verão. Por essa causa, outubro costuma ser o mês mais quente, ultrapassando os valores térmicos de dezembro e janeiro. Como a estação do inverno é seca, com ausência de nebulosidade, juntamente com a localização em latitudes baixas, a radiação solar nesta época do ano também é intensa. Para Sette (2005), em agosto-setembro esta intensidade pode reduzir-se um pouco em virtude da abundância de névoa seca produzida pelos incêndios e queimadas da vegetação, muito frequentes neste período do ano.

As temperaturas máximas absolutas, que geralmente acontecem a partir de outubro até fevereiro, podem ultrapassar os 40°C na maioria do Cerrado. Já as mínimas absolutas mensais variam bastante, registrando valores acima de 20°C na região setentrional (no início do ano), e atingindo valores próximos ou até abaixo de zero nas áreas mais elevadas da região meridional (na metade do ano), provocando a ocorrência de geadas.

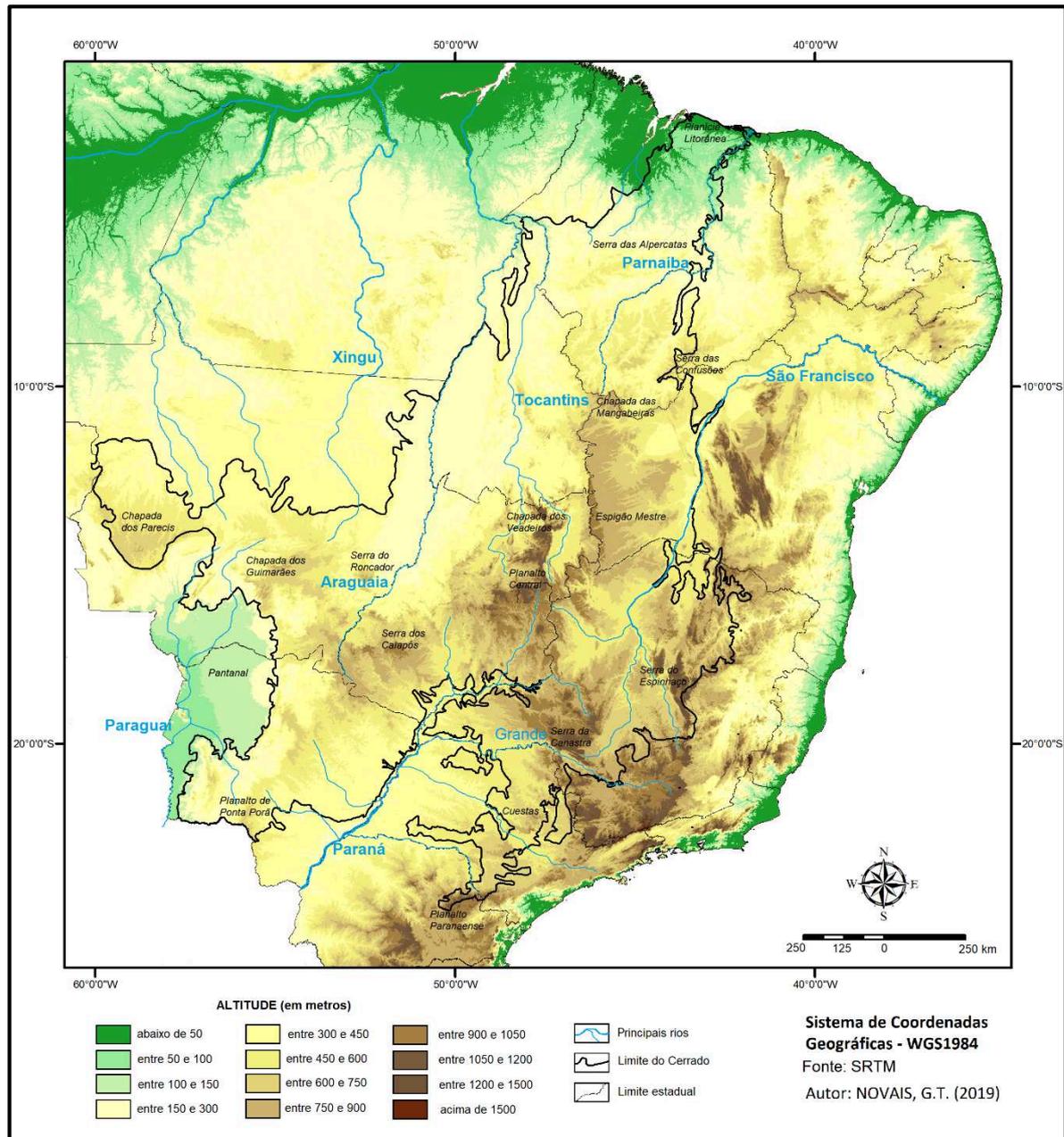
A maioria das drenagens localizadas próximas de suas nascentes desaparecem na estação seca de inverno. Mas sua precipitação média anual é elevada, pelo menos em comparação ao domínio das caatingas, pois a estação de verão é muito úmida. De acordo com Ab'Saber (2003), existe uma espécie de linha d'água subsuperficial que atravessa toda a estação seca no meio do ano, sofrendo variações de poucos metros, alimentando a vegetação lenhosa.

Para Sette (2005) as árvores do bioma Cerrado possui raízes profundas para captação de água no lençol freático:

A água não parece ser um fator limitante para a vegetação do cerrado, em especial para o seu estrato arbóreo-arbustivo. Estas plantas possuem raízes pivotantes profundas, que chegam a 20 metros de profundidade e alcançam as camadas de solo permanentemente úmidas, conseguindo se abastecer mesmo no período mais seco do ano (2005; p. 38)

De acordo com o **Mapa 2**, o Cerrado constitui na área de nascentes das principais bacias hidrográficas do centro brasileiro. Oito regiões hidrográficas possuem drenagens que “correm” pela área de estudo: *Atlântico Nordeste Ocidental* - rios Grajaú, Mearim, e Itapecuru; *Parnaíba* – rios Parnaíba e Gurguéia; *São Francisco* – rios São Francisco, Grande, Corrente, Carinhanha, Verde Grande, Urucuia, Paracatu e das Velhas; *Atlântico Leste* – rios Jequitinhonha e Pardo; *Paraná* – rios Grande, Paranaíba, Paraná, Tietê e Paranapanema; *Paraguai* – rios Paraguai, São Lourenço e Piquiri; *Tocantins-Araguaia* – rios Araguaia e Tocantins; e *Amazônica* – rios Xingu, São Manuel e Juruena.

Mapa 2: Relevo e hidrografia da área nuclear do Cerrado brasileiro. Fonte: SRTM e IBGE.



Segundo Cole (1986), as condições climáticas e edáficas exerceriam os efeitos mais expressivos na fisionomia e na distribuição do Cerrado, seguido da hidrologia, da geomorfologia, do fogo e do pastejo. A textura, a baixa disponibilidade de nutrientes e a pequena profundidade de alguns solos constituem importantes elementos na distribuição das diferentes paisagens dentro das savanas.

Conforme Sano (2008), a textura do solo é de fundamental importância na retenção de umidade. Sua influência também é exercida na capacidade de drenagem e na disponibilidade de nutrientes no solo.

Sette (2005) ainda comenta que a vegetação parece sem vida no período seco, mas a parte interior da planta ainda continua vívida:

Na estação seca o solo resseca apenas em sua parte superficial (1,5 a 2 metros de profundidade). Assim, a deficiência hídrica nesta camada superficial reflete no estrato herbáceo-subarbastivo, cuja parte epigéia se desseca e morre, embora sua parte hipogéia se mantenha viva (2005; p. 39).

2.2. Temperatura do ar

Para delimitação da temperatura do ar usamos as isotermas, que implicam numa homogeneização e interpolação dos dados, o que, somada à escassez de estações meteorológicas das regiões brasileiras mais interiorizadas, notadamente nas Regiões Norte e Centro-Oeste, resulta em uma certa generalização da variação espacial da temperatura no País. A utilização de algoritmos baseados em observações feitas por satélites, como é o caso da CHELSA (Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas) utilizada nesse trabalho, é uma opção para delimitação de isotermas e isoietas. Modelos de elevação ajudam a calibrar os dados observados.

Divisões de classes de temperatura baseadas em médias anuais não dão uma noção de variabilidade térmica perceptível. Temperaturas médias de meses mais frios ou mais quentes, podem ser mais visíveis para o entendimento da temperatura de um local, pois não generalizam o valor.

A temperatura média do mês mais frio (TMMMMF) é a principal variável térmica utilizada no trabalho, pois determina o limite de todos os *Climas Zonais* e da maioria dos *Domínios Climáticos*.

Nesse trabalho, os locais mais setentrionais da área nuclear do Cerrado brasileiro, como o interior do estado do Piauí, registram as maiores temperaturas médias devido principalmente à proximidade da linha do Equador; ao mesmo tempo, nos locais mais ao sul, as temperaturas são as mais baixas da área de estudo.

O relevo também controla a temperatura em decorrência de sua variação de altitude, forma e orientação de suas vertentes.

2.2.1. Algoritmo utilizado para estimativa da temperatura do ar e geração dos mapas térmicos

O *CHELSA - Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas* (Climatologia em alta resolução para as áreas terrestres da Terra), elaborado por Karger et al (2017), é um conjunto de dados climáticos de alta resolução (30 segundos de arco ~1 km) para as áreas de superfície terrestre, atualmente hospedadas pelo Instituto Federal Suíço de Pesquisa de Floresta, Neve e Paisagem WSL. Desenvolvido em cooperação com o Departamento de Geografia da Universidade de Hamburgo, a Universidade de Zurique e a Universidade de Göttingen.

O conjunto de dados usado pelo CHELSA foi extraído da Reanálise ERA-Interim, que combina resultados de modelagem e recuperação de informações coletadas sobre a superfície e oceanos através de navios, aviões, radiossondas e satélites. Inclui a temperatura média mensal e padrões de precipitação para o período de tempo de 1979-2013. A temperatura média diária deriva de dados sinóticos de seis em seis horas, melhorando substancialmente o desempenho da previsão, especialmente no Hemisfério Sul (Rocha et al, 2016).

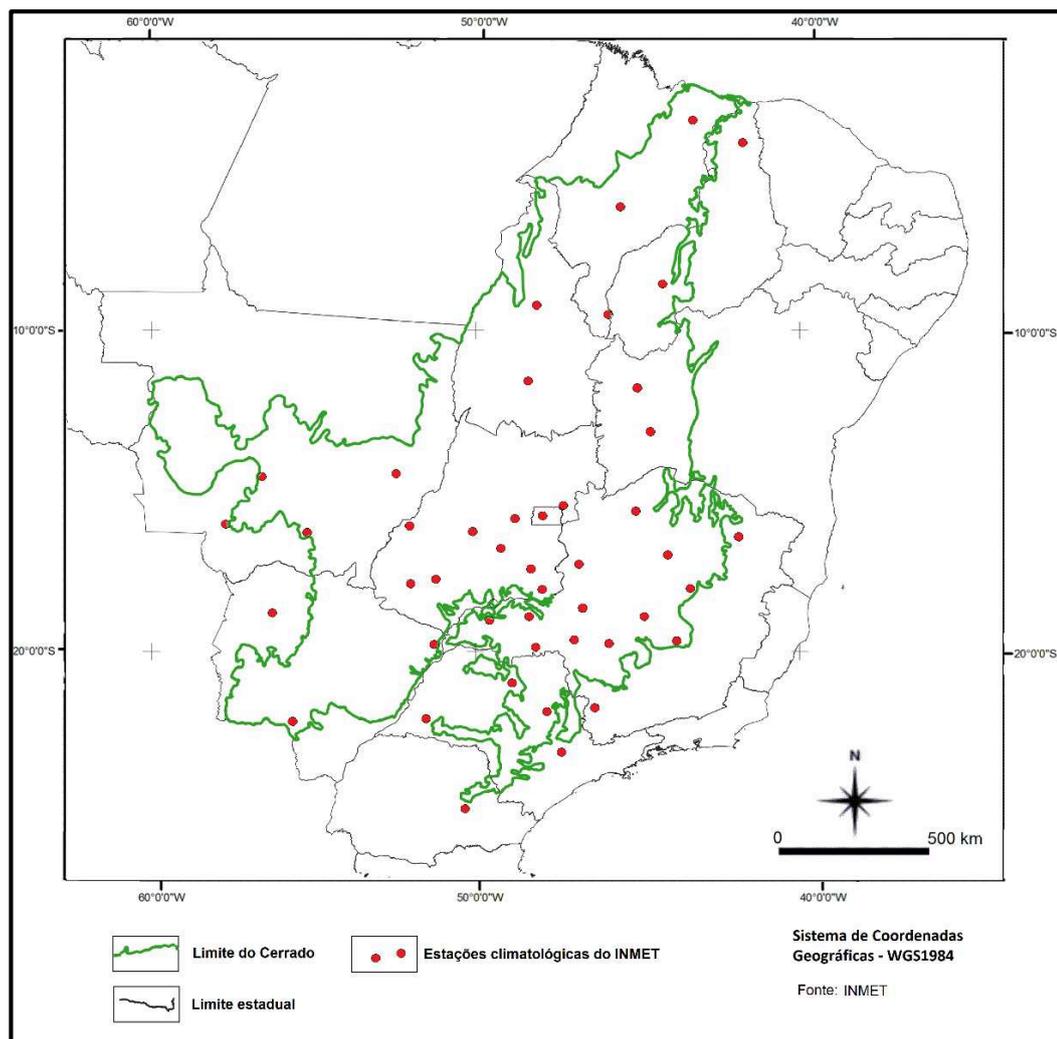
Fazendo uma comparação dos dados derivados de temperatura do algoritmo CHELSA com outros produtos de alta resolução e com resolução temporal sobreposta como o Spectroradiômetro de Imagem de Resolução Moderada (MODIS), os dados climatológicos da CHELSA têm uma precisão semelhante, e podem ser usados para áreas onde a cobertura de estações meteorológicas é escassa.

A metodologia de estimativa da temperatura do ar do algoritmo tem uma correlação direta com as imagens SRTM, derivando em mapas mais próximos da realidade, onde as isotermas acompanham as curvas de nível do terreno. Portanto, o padrão de distribuição de temperatura na atmosfera livre pode ser considerado diretamente relacionado à elevação da superfície.

2.2.2. Estações climatológicas utilizadas

Foram utilizadas 41 estações climatológicas do INMET com medições de temperatura do ar durante o período de 1979 a 2013 (**Mapa 3**). As estações localizadas no centro-sul da área nuclear do Cerrado também forneceram valores de temperatura mínima absoluta, fundamentais para a determinação dos locais onde a possibilidade de formação de geada é real.

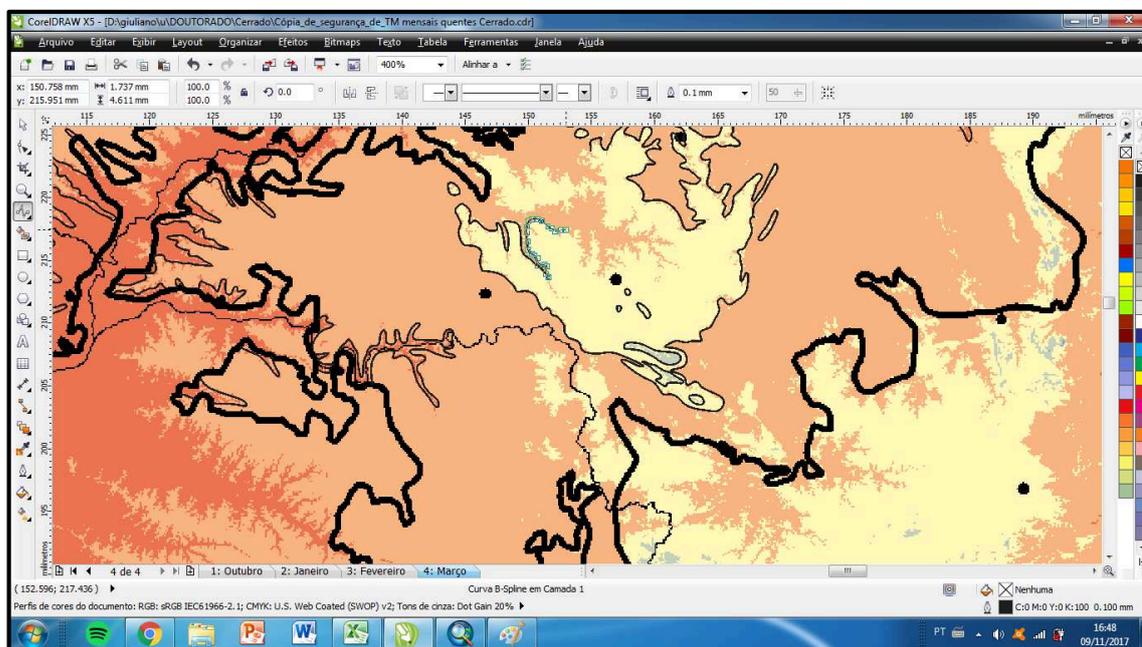
Mapa 3: Localização das estações climatológicas utilizadas no estudo. Fonte: INMET.



2.2.3. *Elaboração cartográfica dos mapas térmicos*

Para elaboração dos mapas térmicos, foi utilizado dados do algoritmo CHELSA. Os limites das isotermas foram suavizados em programa CORELDRAW, utilizando a ferramenta B-Spline, que desenha linhas curvas definindo pontos de controle que formam a curva sem quebrá-las em segmentos (**Figura 7**). Se deixássemos a imagem original iríamos ver quebras de pixels, pois a resolução espacial é de um quilômetro. Como Joly (2013) alerta, para tal generalização, precisamos dotar de um “senso geográfico”, e não eliminarmos detalhes de valor significativo.

Figura 7: Imagem da suavização das curvas das isotermas CHELSA com a ajuda do programa CorelDraw.



A divisão de classes de temperatura nas legendas dos mapas mensais tem um intervalo de $2,5^{\circ}\text{C}$, e mostra os valores extremos registrado no mês. Setembro é o mês com a maior variedade térmica na área nuclear do Cerrado, com oito classes de temperatura média, sendo elas: menor que 15°C ; entre 15° a $17,5^{\circ}\text{C}$; entre $17,5^{\circ}$ a 20°C ; entre 20° a $22,5^{\circ}\text{C}$; entre $22,5^{\circ}$ a 25°C ; entre 25° a $27,5^{\circ}\text{C}$; entre $27,5^{\circ}\text{C}$ a 30°C ; e acima de 30°C . Todos os outros mapas mensais mostram essas mesmas classes térmicas, sendo que em alguns meses, determinados intervalos são suprimidos, pois não englobam nenhuma área. Pegamos o exemplo do mês de janeiro com poucas classes de temperatura, somente cinco, variando de abaixo de 20°C ; entre 20° e $22,5^{\circ}\text{C}$; entre $22,5^{\circ}$ e 25°C ; entre 25° e $27,5^{\circ}\text{C}$; e acima de $27,5^{\circ}\text{C}$. Com essa metodologia, as classes de valores térmicos têm uma melhor visualização de sua abrangência territorial, podendo ser comparados com outros meses, considerando o resfriamento ou aquecimento de porções da área de estudo.

2.3. Precipitação pluviométrica

A pluviosidade de um local recebe influência de fatores geográficos que podem potencializar ou minimizar os atributos climáticos. Dentro de uma mesma zona de circulação atmosférica uma região pode ser mais ou menos chuvosa do que outra, em função de sua posição com relação aos sistemas produtores de chuva, da orientação do relevo ou da proximidade do mar.

De acordo com Marengo et al (2009), grandes áreas florestais também provocam um diferencial na precipitação pluviométrica. Os ventos alísios, quando passam por cima da Amazônia, podem adquirir maior quantidade de umidade por causa da evapotranspiração florestal.

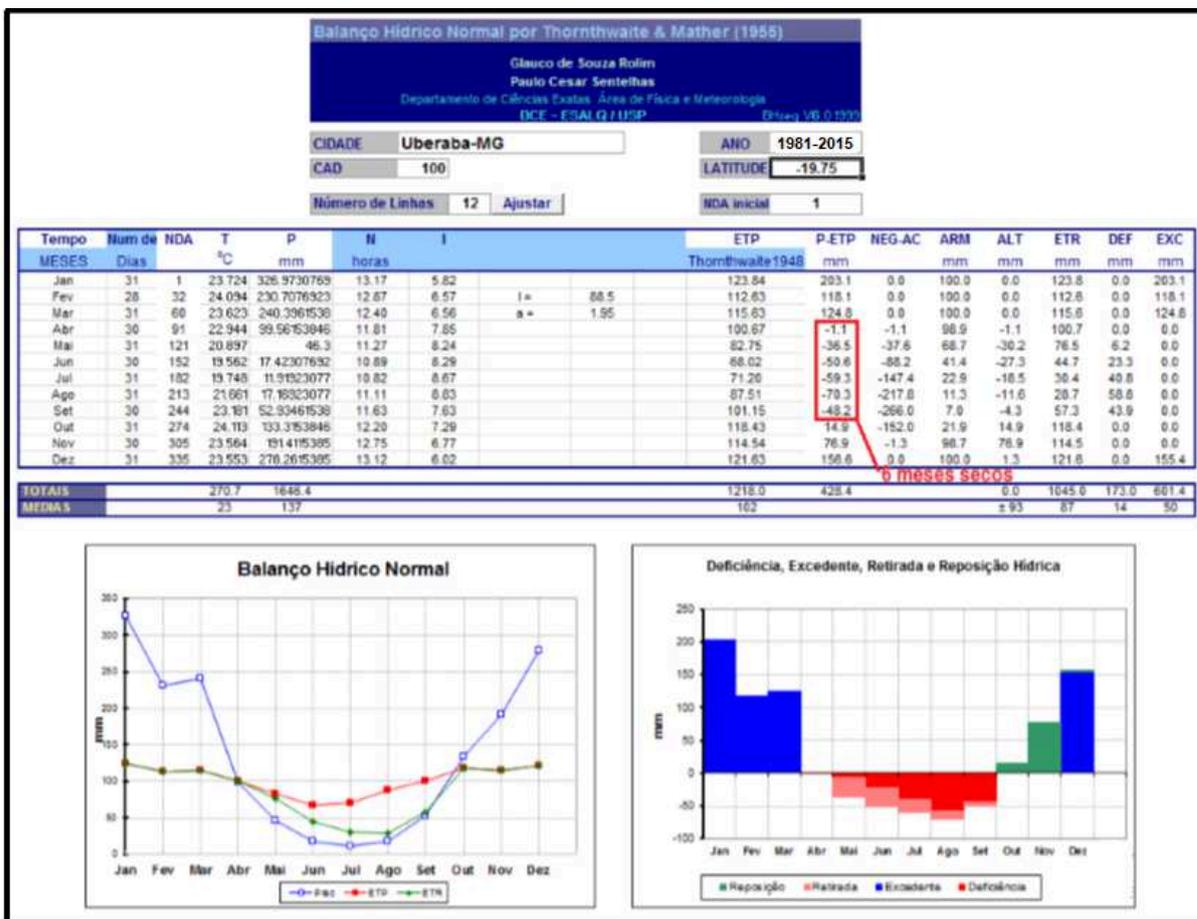
2.3.1. Balanço hídrico e evapotranspiração

Os valores de temperatura e precipitação pluviométrica mensais, de cada localidade climática da área de estudo, foram inseridos numa planilha de Balanço Hídrico Normal por Thornthwaite & Mather (1955) elaborada por Sentelhas et al (1998), onde foram calculadas a ETP e a quantidade de meses secos, parâmetros necessários para a subdivisão das primeiras hierarquias na classificação climática dessa tese. A metodologia para determinação de mês seco consiste na diferença entre a precipitação pluviométrica e a ETP. Se a precipitação for menor que a ETP, o mês é seco.

Apesar de não ter grande importância para a pesquisa, foi adotado o valor de 100 mm para a Capacidade de Água Disponível no solo (CAD), pois para fins climatológicos e de caracterização da disponibilidade hídrica regional é muito comum a adoção de valores de CAD variando de 75 a 125 mm (CARVALHO et al., 2008).

No **Gráfico 1**, é mostrado um exemplo do cálculo do BH em Uberaba-MG. Pode-se notar a diferença entre a precipitação e a ETP no meio do ano, totalizando seis meses secos.

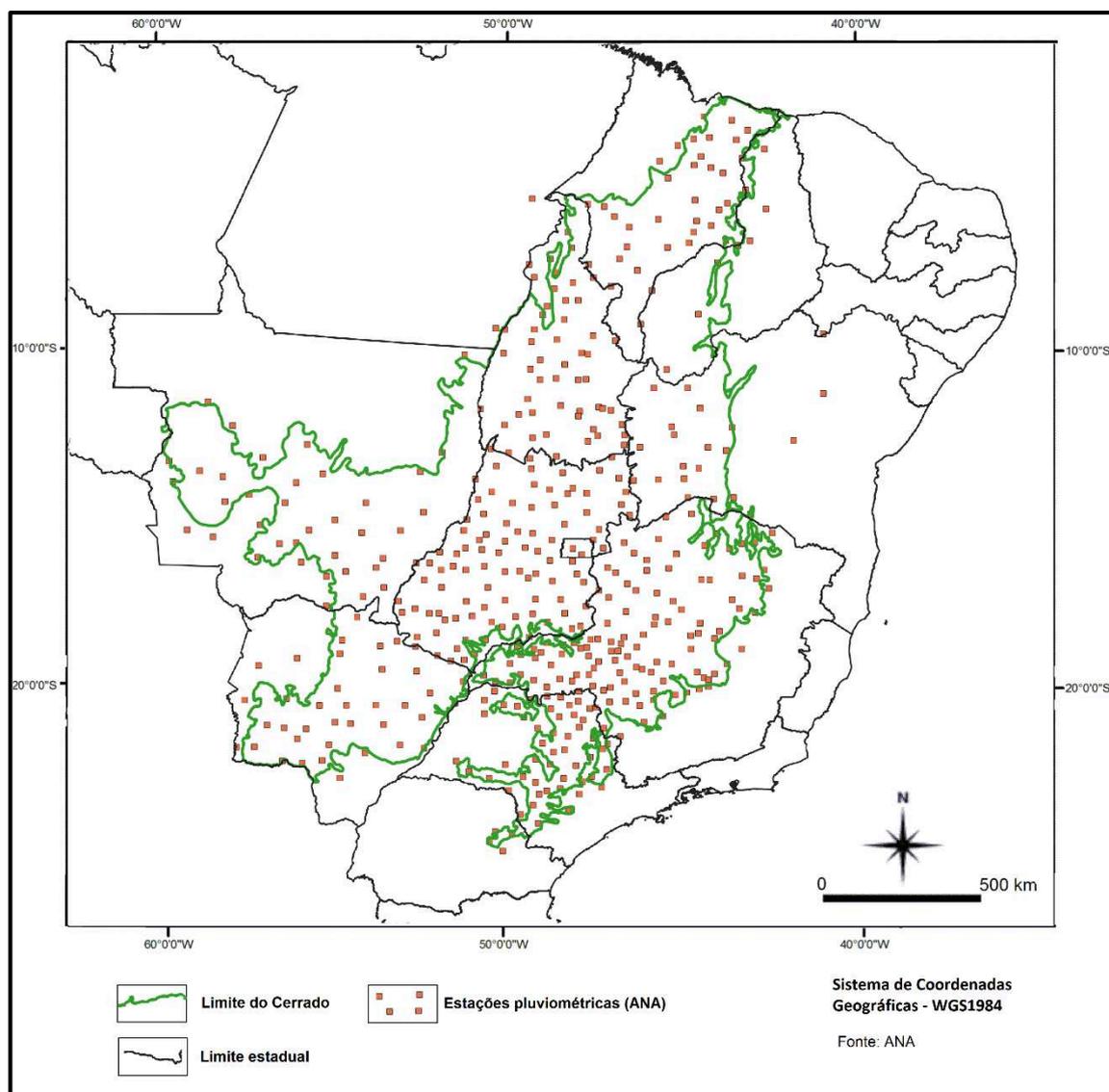
Gráfico 1: Extrato do balanço hídrico para a cidade de Uberaba (MG). Dados de 1981-2015.
 Fonte: Sentelhas et al (1998).



2.3.2. Estações pluviométricas utilizadas

Foram utilizados dados de 456 pluviômetros (**Mapa 4**) disponíveis no sítio da Agência Nacional de Águas (ANA) na plataforma do HidroWeb, sendo o período de análise de 1981 à 2015.

Mapa 4: Estações pluviométricas utilizadas na pesquisa. Fonte: ANA.



No banco de dados pluviométricos, os dados mensais estimados pela ANA foram considerados, mas os duvidosos foram descartados. Nos anos onde a quantidade de meses descartados foi superior a dois, a metodologia utilizada para preencher as falhas foi a da ponderação regional. Esse método visa a homogeneização do período de informações e à análise estatística das precipitações. Para um grupo de postos no entorno, foram selecionados três que possuam medições dentro do período analisado (1981-2015). Para um posto Y que apresenta falhas, as mesmas foram preenchidas com base na seguinte equação:

$$Y = 1/3[x_1/X_{m1} + x_2/X_{m2} + x_3/X_{m3}] * Y_m$$

Onde Y é a precipitação do posto Y a ser estimada; x_1 , x_2 e x_3 = as precipitações correspondentes ao mês desejado a ser preenchido, observadas em três estações vizinhas; y_m = a precipitação média do posto Y ; X_{m1} , X_{m2} e X_{m3} = as precipitações médias nas três estações circunvizinhas. Os postos vizinhos escolhidos devem estar numa região climatológica semelhante ao posto a ser preenchido (Tucci, 2004). Um exemplo dos valores estimados para esse método é exposto na **Tabela 1**.

Tabela 1: Precipitações do ano de 2014 na região de Jataí (GO). Fonte: ANA.

Mês/2014	Benjamim Barros	INMET Jataí	Bom Jardim	Serranópolis
Janeiro	230,6	140,1	98,6	217,7
Fevereiro	158,0*	175,6	180,9	199,0
Março	222,5*	249,3	244,0	273,8
Abril	192,3*	242,9	148,1	185,5
Mai	0,0	1,0	24,1	37,0
Junho	10,0	9,0	11,7	8,3
Julho	45,0	56,3	51,1	100,2
Agosto	0,0	0,0	0,0	0,0
Setembro	57,6	90,7	7,1	78,7
Outubro	125,4	150,0	131,9	120,2
Novembro	193,9	277,5	180,9	195,8
Dezembro	250,1	309,2	241,6	215,9

(*) valores estimados.

Foram elaborados vários quadros com informações de todas as localidades climáticas utilizadas nesse trabalho, contendo dados mensais de temperatura, precipitação pluviométrica e evapotranspiração potencial, e também dados de excedente e déficit hídrico, quantidade de meses secos, possibilidade de formação de geada, principais sistemas atmosféricos atuantes e tipologia climática.

2.3.3. *Elaboração cartográfica dos mapas pluviométricos*

Para a elaboração dos mapas de precipitação foram utilizados dados de 456 estações pluviométricas da ANA distribuídos pelos estados do Maranhão, Piauí, Bahia, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Goiás e no Distrito Federal; abrangendo toda a área de estudo.

O modelo de interpolação utilizado foi a Ponderação pelo Inverso da Distância (IDW). A interpolação IDW é baseada na distância ponderada de um ponto amostral. É atribuída a pontos amostrais através da utilização de um coeficiente que controla como a influência da ponderação irá diminuir a medida que a distância a partir do ponto desconhecido aumenta. Aumentando o coeficiente, o valor do ponto desconhecido será mais próximo ao valor dos pontos vizinhos observados. O método discreto foi aplicado no IDW para suavização das superfícies em relação a outros métodos como o exato e o linear. O coeficiente de potência usado foi igual a oito. O referencial geodésico utilizado foi o WGS-1984, com projeção geográfica (lat/long).

As classes de precipitação pluviométrica dos mapas foram divididas de acordo com o mês abordado. Para valores acima de 100 mm mensais o intervalo é de 75 mm. Já para valores abaixo de 100 mm, o intervalo varia de 50 mm (de 50 a 100 mm) a 25 mm (de 25 a 50 mm; e abaixo de 25 mm); assim, a distribuição das isoietas no período seco fica mais visível, pois nessa época praticamente toda a área está abaixo de 100 mm mensais.

Para uma melhor compreensão dos períodos secos e chuvosos, foram confeccionados mapas pluviométricos mensais e de cada estação do ano.

Seguindo o mesmo modelo de interpolação utilizado nos mapas pluviométricos, foram elaborados mapas de evapotranspiração potencial (ETP) mensal e anual, déficit e excedente hídricos anuais, quantidade de meses secos, possibilidade de formação de geada e os mapas das unidades climáticas.

2.4. Sistemas meteorológicos utilizados na classificação climática

Uma questão que “atormentava” essa classificação climática era como poderíamos separar o clima Equatorial do Tropical, se os mesmos possuíam valores de temperatura e precipitação semelhantes. Para resolver esse imbróglio, determinamos que o limite do *Domínio Climático*

Equatorial com o *Domínio Climático Tropical* no norte da área core do Cerrado seria a quantidade de precipitação nos meses de março, abril e maio em estações meteorológicas dos estados do Piauí, Maranhão e Tocantins. Essas regiões são afetadas pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), fazendo o volume de chuva ser maior nesses meses do ano se comparado ao mesmo período no Brasil Central.

A formação da ZCAS e da ZCOU favorece o acúmulo de precipitação pluviométrica no período chuvoso no centro-sul da área de estudo. Já a ASAS tem um papel fundamental no período seco dessa mesma porção.

A grande influência do Anticiclone Polar Sul (APS) no centro-sul da área de estudo, principalmente na possibilidade de formação de geada em pelo menos um dia durante o período climatológico de 30 anos, delimita o *tipo climático meridional*; esse mesmo fenômeno acontecendo anualmente, também separa o *Domínio Climático Tropical* do *Domínio Climático Subtropical* como cita Novais (2017-b). A quantidade de passagens de frentes frias contribui na diferenciação dos *tipos e subtipos climáticos*.

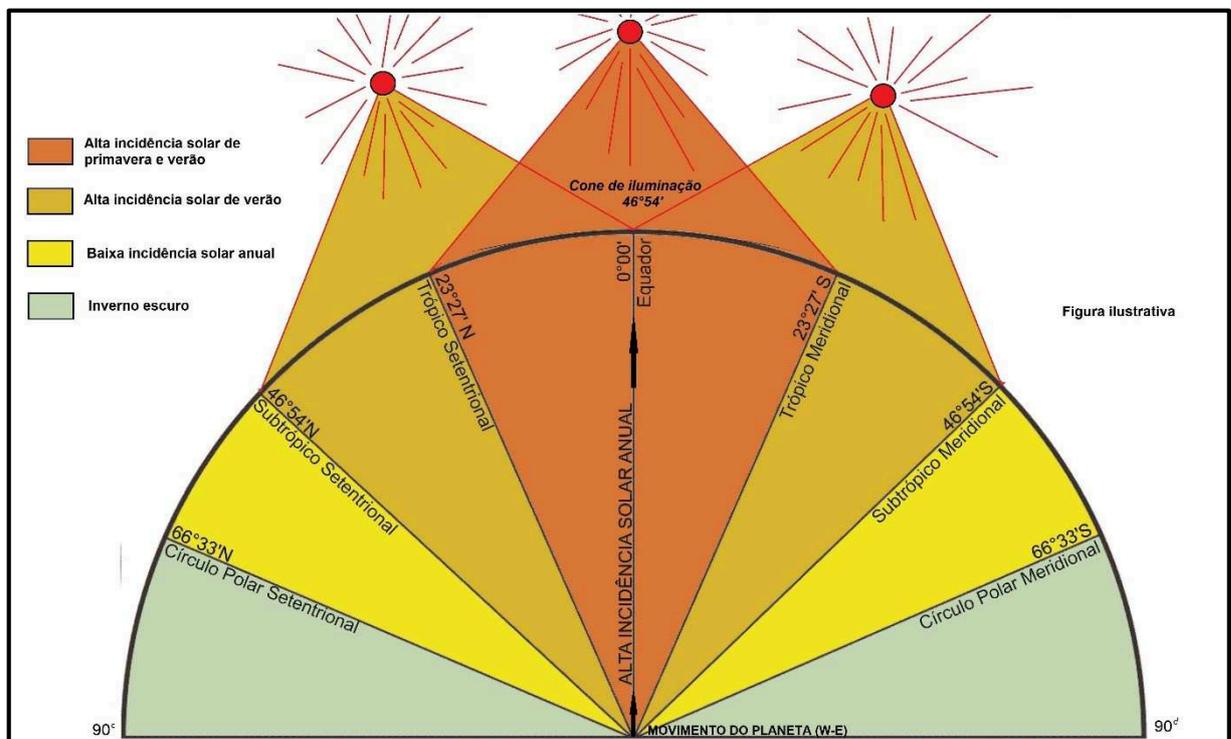
2.5. Delimitação das unidades climáticas

A emissão constante de energia solar que chega ao topo da atmosfera é afetada por quatro fatores: emissão solar, distância entre o Sol e a Terra, altura solar e duração do dia.

Um aspecto astronômico que influencia diretamente as unidades climáticas de abrangência Zonal e Global é o ângulo que o Sol faz com o zênite local. Essa altura meridiana (incidência) solar afeta a quantidade de radiação solar que a superfície do planeta recebe. Quanto maior a altura do Sol, mais concentrada será a intensidade da radiação por unidade de área na superfície da Terra. Para Barry (2013), os principais fatores que determinam a altura solar são a latitude do local, a hora do dia e a estação.

A região com a mais alta incidência de raios solares no globo é a intertropical. A altura do Sol nos equinócios produz um cone de iluminação com vértice no Sol, e uma base de $46^{\circ}54'$ de latitude na superfície terrestre (**Figura 8**). Novais (2017 a) propôs uma linha de alta incidência solar no verão para as latitudes médias, em torno dos paralelos de $46^{\circ}54'$ Norte e Sul. Essa linha imaginária, denominada de *Subtrópico* (Setentrional no Hemisfério Norte e Meridional no Hemisfério Sul) serve de limite entre a *Zona Climática Moderada* e *Zona Climática Fria*, determinando os locais onde a incidência solar no verão é mais alta.

Figura 8: Incidência solar no planeta.



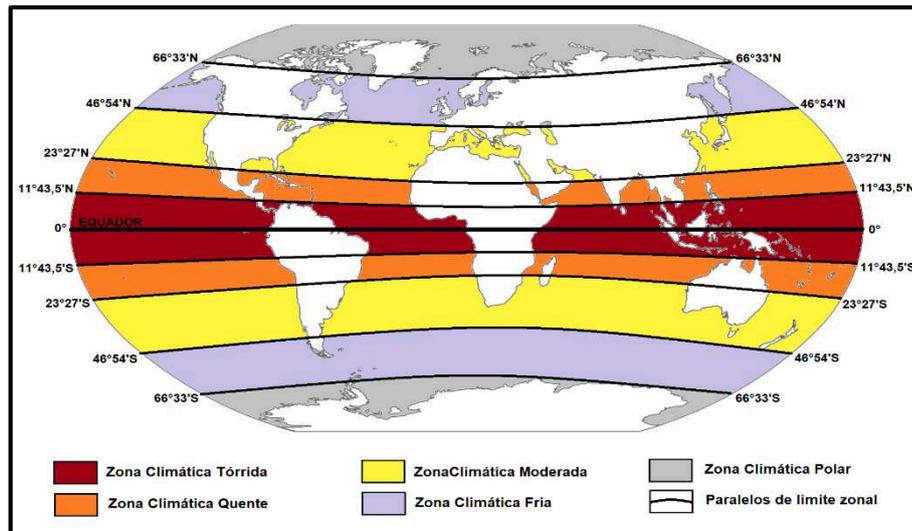
A partir do *Subtrópico* em direção aos polos a altura solar fica cada vez mais distante do zênite se aproximando do horizonte na maior parte do ano, causando um inverno frio e escuro ao Norte do *Círculo Polar Setentrional* ($66^{\circ}33' N$), e ao Sul do *Círculo Polar Meridional* ($66^{\circ}33' S$).

De acordo com Strahler (1989), em qualquer lugar da Terra, a quantidade de energia solar recebida em um dia dependerá, basicamente, de três fatores: 1) o ângulo solar sobre a superfície; 2) o fotoperíodo ou tempo de duração da exposição dos raios solares e, 3) a cobertura de nuvens.

Esses fatores variam com a latitude e conseqüentemente, com a mudança das estações do ano, que faz variar a trajetória do Sol no firmamento.

A partir da insolação no planeta foram sugeridas *Zonas Climáticas* fixas e distribuídas em faixas latitudinais, determinadas por linhas imaginárias de altura solar (**Figura 9**).

Figura 9: O globo e as divisões das zonas climáticas.



A *Zona Climática Tórrida* é situada sobre o equador e se entende até a metade da distância aos trópicos, nos dois hemisférios, na latitude de $11^{\circ}43'30''$ (*Linha do Subequador*). Nessa zona a insolação durante o ano é intensa, e a duração do dia e da noite é aproximadamente igual. O Sol fica a pino duas vezes por ano, com distância máxima do zênite de $35^{\circ}10'30''$ Norte ou Sul.

Já as *Zonas Climáticas Quentes*, se estendem desde os $11^{\circ}43'30''$ aos $23^{\circ}27'$ de latitude Norte e Sul. Nessa zona, o Sol segue uma trajetória próxima do zênite no solstício de verão, e apreciavelmente mais baixa no solstício oposto. Por essa razão, existe um ciclo estacional marcante, porém, combinado com uma insolação anual potencialmente intensa. O Sol fica a pino ao menos uma vez por ano, e tem uma distância máxima do zênite de $46^{\circ}54'$ norte ou sul.

Imediatamente depois das zonas quentes tropicais, em direção aos polos, se encontram as *Zonas Climáticas Moderadas*. Constituem regiões em que a trajetória média do Sol varia em limites relativamente amplos, de maneira que os contrastes estacionais, no que diz respeito à energia

solar, são notáveis. O Sol não atinge o zênite local em nenhuma época do ano, e existem diferenças marcantes, durante as estações, na duração do dia e da noite comparados com as zonas quente e tórrida. As *Zonas Climáticas Moderadas* são delimitadas pelos trópicos ($23^{\circ}27'$ de latitude norte ou sul) e por uma linha imaginária em torno dos paralelos de $46^{\circ}54'$ norte e sul (*Linha do Subtrópico*), ou seja, até o limite da alta incidência solar durante o verão, quando o Sol está a apenas $23^{\circ}27'$ do zênite local nessa estação do ano. Para se ter uma ideia, a altura solar no verão nessa linha imaginária ($46^{\circ}54'$) tem a mesma distância angular do zênite que o Sol faz em relação a linha dos trópicos nos equinócios. Como dito, o Sol tem uma distância mínima de $23^{\circ}27'$ do zênite, chegando ao máximo de $70,5^{\circ}$ durante o inverno, nos paralelos de $46^{\circ}54'$.

Seguindo em direção aos polos a próxima é a *Zona Climática Fria*, que se estende desde o *Subtrópico Setentrional* ou *Meridional*, até os Círculos Polares ($66^{\circ}33'$ norte ou sul). Essa é uma zona de transição entre as Zonas Moderadas e Polares. Sobre os círculos polares a variação anual da duração do dia e da noite é extremamente grande, existindo enormes contrastes de energia solar de solstício a solstício. O Sol fica a uma distância mínima de 43° do zênite, chegando ao máximo de 90° durante o primeiro dia do inverno nas regiões dos círculos polares, onde o Astro Rei não aparece na linha do horizonte, estabelecendo 24 horas de escuridão.

As *Zonas Climáticas Polares* são regiões circulares compreendidas entre os círculos polares e os polos. Aqui predomina o regime solar de seis meses de dia e seis meses de noite, tendo os máximos contrastes possíveis de entrada de energia solar. O Sol fica a uma distância mínima de $66^{\circ}33'$ do zênite. Durante os equinócios ele fica próximo ao horizonte, e chega a $23^{\circ}27'$ abaixo da linha do horizonte no primeiro dia do inverno nos polos. Portanto a iluminação direta do Sol nos polos acontece somente seis meses por ano (primavera e verão), durante o outono e o inverno a escuridão é total.

As *Zonas Climáticas* são diferentes dos *Climas Zonais* que tem sua delimitação baseada na temperatura média do mês mais frio (TMMMMF). A distribuição de energia ocasionada pela radiação solar na troposfera se diferencia latitudinalmente, tornando a temperatura o principal elemento climático nessa escala. Esse parâmetro também demonstra o máximo deslocamento de massas polares atingindo as regiões de baixas latitudes. No caso das regiões de clima moderado, frio e polar, essa condição de temperatura influencia na quantidade de dias frios, ou até mesmo, de dias com cobertura de neve e congelamento total do solo.

O *Clima Zonal* pode ultrapassar os limites de sua própria *Zona Climática*, alterando as condições térmicas em outras *Zonas Climáticas*. A exceção é o *Clima Zonal Polar* que é restrito a *Zona Climática Polar*, por influência da baixa incidência solar.

Novais (2017 a), afirma que no *Clima Zonal Tórrido* a temperatura de 22,5°C no mês mais frio faria o limite com o *Clima Zonal Quente*, devido à grande sensibilidade ao frio de populações que vivem nessa região do planeta (uma média dos valores encontrados por Köppen para populações que vivem sobre o clima equatorial). Entre o *Clima Zonal Quente* e o *Clima Zonal Moderado* foi estabelecida a isoterma de 15°C para delimitar os dois climas; essa temperatura correlaciona com pelo menos um dia de geada no mês mais frio como demonstrado no artigo de Novais (2017-b), e também afasta a possibilidade de desenvolvimento e proliferação da maioria dos vetores de enfermidades tropicais. Já a isoterma de 0°C para a temperatura média do mês mais frio (TMMMMF) separa o *Clima Zonal Moderado* do *Clima Zonal Frio*; que segundo Köppen (1948), para os norte americanos essa temperatura é suficientemente baixa para produzir uma cobertura de neve que se estende por várias semanas na estação de inverno. O *Clima Zonal Polar* tem o limite em sua TMMMMF de -15°C, valor que propicia um congelamento do solo na maior parte do ano.

Os limites específicos de cada clima zonal não são absolutos, mas servem para estabelecer uma terminologia conveniente que seja útil. A **Figura 10** mostra a distribuição média dos Climas Zonais no Globo.

Três climas zonais aparecem no território brasileiro: *Tórrido, Quente e Moderado*. O primeiro abrange a região equatorial amazônica, sertão nordestino, e regiões baixas do centro do Brasil. O *Clima Zonal Quente* é o de maior extensão no país e é limitado ao norte pelo *Clima Zonal Tórrido* e ao sul pelo *Clima Zonal Moderado*. Esse último avança desde a Região Sul até as áreas serranas da Mantiqueira e Espinhaço em Minas Gerais, onde as temperaturas médias do mês mais frio ficam abaixo de 15°C, provocadas pelas altitudes topográficas acima de 2000 metros.

O território brasileiro situa-se numa zona de alta incidência solar durante o ano, com mais intensidade na estação do verão. Entre climas que vão do tórrido ao moderado, com domínios equatoriais, tropicais e subtropicais. Esses domínios climáticos podem ser subdivididos em tipos, subtipos e até em mesoclimas e topoclimas, dependendo do geossistema onde se situa (NOVAIS, 2017 a).

O *Clima Zonal Tórrido* tem origem na *Zona Climática Tórrida* e possui uma temperatura média no mês mais frio (TMMMMF) superior a 22,5°C. Caracterizado por temperaturas elevadas o ano todo sem queda aparente em nenhuma estação, possui uma evidente ascensão de ar úmido por meio de convecção, provocado por baixas pressões atmosféricas equatoriais. Esse clima pode avançar por regiões da *Zona Climática Quente*, mas não chega a transpor a Zona Moderada.

Com TMMMMF entre 15°C e 22,5°C, o *Clima Zonal Quente* abrange grande parte das *Zonas Climáticas Tórrida e Quente*. As temperaturas são elevadas durante a maior parte do ano, com pequena queda na estação de inverno, sendo mais perceptível na região de transição com o *Clima Zonal Moderado*. Em torno dos trópicos, nas regiões ocidentais dos continentes, há uma subsidência do ar, tornando essas regiões secas, por influência da alta pressão atmosférica. O *Clima Zonal Quente* avança para a latitude da *Zona Climática Tórrida* pelas regiões serranas, onde o resfriamento adiabático do ar provoca a queda da temperatura média no mês mais frio a

valores inferiores a 22,5°C, e também pelo litoral, onde o ar mais “fresco” do oceano ameniza a temperatura. Esse clima também avança a linha dos trópicos, atingindo a *Zona Climática Moderada* pelo litoral, favorecido pela menor amplitude térmica provocada pelos oceanos.

A partir dos trópicos, com direção aos polos, fica o *Clima Zonal Moderado*, com TMMMF entre 0°C e 15°C. As geadas são frequentes e anuais, devido à queda brusca de temperatura no inverno, mas a incidência solar ainda é alta no verão, provocando temperaturas elevadas nessa estação do ano. Vertentes íngremes localizadas ao sul do Trópico de Capricórnio e ao norte do Trópico de Câncer não recebem diretamente a luz solar, por estarem situadas fora da região tropical, ou seja, onde o Sol nunca estará no zênite local. Esse clima zonal pode avançar para a região tropical através de regiões serranas e montanhosas, onde o resfriamento adiabático do ar é provocado pelas altas elevações. E também atinge a *Zona Climática Fria* pelo litoral, favorecido pela menor amplitude térmica provocada pelos oceanos.

Novais (2017 a) afirma que fora território brasileiro aparecem outros Climas Zonais como o *Frio*, o *Polar* e também um clima fora do padrão de zonas, o *Azonal*.

Os *Domínios Climáticos* fazem parte da segunda hierarquia da classificação climática proposta por esse trabalho. Essa hierarquia pertence a dimensão da escala regional, que segundo Sant’Anna Neto (2013), é mais complexa do que a escala global (Climas Zonais), resultando de uma combinação de dinâmicas e processos atmosféricos, tanto da ação da circulação geral, quanto da circulação secundária.

Os *Domínios* podem pertencer a mais de um *Clima Zonal*. A TMMMF é de suma importância na sua caracterização, mas também são controlados por sistemas meteorológicos como zonas de convergência de ventos e umidade, atuação de anticiclones, frentes frias e a possibilidade de formação de geada.

Os *Domínios* são divididos em *Subdomínios*, com critério de duração dos meses secos, podendo variar de: *úmido* (zero a três meses secos); *semiúmido* (quatro a cinco meses secos); *semiseco* (seis a sete meses secos); e *seco* (oito a onze meses secos). O *Domínio Árido* possui 12 meses secos e não tem subdomínios (esse Domínio Climático aparece no interior do polígono das secas no sertão nordestino, não atingindo a área de estudo).

A metodologia para determinação de mês seco consiste na diferença entre a precipitação pluviométrica e a evapotranspiração potencial (ETP). Se a precipitação for menor que a ETP, o mês é seco. Para o cálculo da ETP foi utilizada a planilha de balanço hídrico climatológico elaborada por Sentelhas et al (1998), a partir do método proposto por Thornthwaite & Mather (1955), tendo a latitude e a temperatura média como parâmetros meteorológicos.

Seguindo a hierarquia dessa classificação as próximas unidades climáticas são os *Tipos*, que mostram a localização dos Domínios e Subdomínios no território brasileiro, podendo ser expandidos para o continente. Podem ser delimitados pelo relevo, pela vegetação ou pela quantidade de meses secos, sendo controlados também por sistemas meteorológicos que ali atuam e modificam o tempo drasticamente. Os *Tipos Climáticos* que aparecem no território brasileiro são: *setentrional*, *meridional* (área de maior incursão de sistemas meteorológicos que provocam frentes frias e geadas esporádicas), *central*, *ocidental*, *amazônico* (de influência da Floresta Amazônica), *nordestino* e *litorâneo* (planície litorânea até escarpas de planaltos ou serras - em alguns locais podendo chegar a centenas de quilômetros).

Para esse trabalho, temperaturas mínimas absolutas abaixo de 3,5°C são consideradas propícias para a formação de geada e os dados das estações do INMET no sul do domínio do Cerrado já acusaram esse valor em dezenas de anos num período climatológico (30 anos). Esse fenômeno meteorológico é um dos parâmetros para delimitação do *Tipo Climático Meridional* no território brasileiro. Também foi utilizado o mapa de passagem de frentes frias e ocorrência de

geada e neve no território brasileiro (Novais, 2016) para verificar se algumas áreas enquadram-se nesse tipo climático.

Os *Subtipos Climáticos* também são delimitados por sua localização, mas em escala menor, recebendo muitas vezes nomenclaturas de cunho geomorfológico (morfoesculturas e formas de relevo); mas também podem coincidir com a localização de pequenos estados e mesorregiões geográficas oficiais. O componente estrutural geomorfológico, fato diretamente ligado à dinâmica climática atual e pretérita, serve para demarcar essas unidades climáticas, demonstrando, claramente, o papel da superfície – topografia – e sua relação com os sistemas atmosféricos. O mapa geomorfológico do Triângulo Mineiro, elaborado por Baccaro et al (2001), ajudou na delimitação de Subtipos Climáticos no artigo de Novais et al (2018), onde os mesmos separaram as unidades climáticas do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba a partir da proposta dessa classificação.

Numa última categoria hierárquica aparecem os *Mesoclimas* e/ou *Topoclimas* (meso/topoclimas), delimitados por elementos geomorfológicos de pequenos táxons, formas de relevo de grande destaque na paisagem e também por grandes aglomerações urbanas (metrópoles).

Conforme Ribeiro (1993), o relevo é uma das principais características fisiográficas responsáveis pela modificação da circulação regional da atmosfera, criando situações de barlavento e sotavento. Por outro lado, as diferenças de altitude tem um papel de destaque na distribuição da radiação líquida, na retenção do vapor d'água e no armazenamento de calor sensível. A atuação conjunta desses parâmetros é suficiente para provocar variações no clima regional, gerando feições dos climas locais. Há uma relação direta entre as unidades climáticas de menor hierarquia com as unidades morfoesculturais do relevo.

O *Mesoclima* apresenta significativas variações em seu interior devido a ação de determinadas feições geográficas ou antrópicas que interferem no fluxo energético ou no transporte de massa da circulação regional, diferenciando subsistemas de circulação secundária.

Ribeiro (1993) explica como o *topoclima* é formado, e dá exemplos no território brasileiro:

O Topoclima corresponde a uma derivação do Mesoclima devido à rugosidade do terreno, que tem como consequência a energização diferenciada do terreno, durante o período diurno para as diversas faces de exposição a radiação solar. As diferenças de exposição introduzem grandes contrastes entre as vertentes numa mesma latitude e altitude. No Centro-Sul do Brasil são conhecidas as vertentes noruegas voltadas para o sul e as soalheiras, voltadas para o norte, estas muito mais valorizadas tanto para edificações como para a agricultura. Em regiões serranas essa diferença na quantidade de energia disponível é mais visível. Durante a noite, principalmente na influência de anticiclones (céu claro e ausência de ventos), a rugosidade do terreno provoca drenagem do ar frio em direção aos fundos de vale, chegando a provocar um padrão de circulação terciária. A ocorrência de geadas e nevoeiros no Centro-Sul do Brasil em função da drenagem e acúmulo de ar frio constituem fenômenos de natureza topoclimática (1993; p.5).

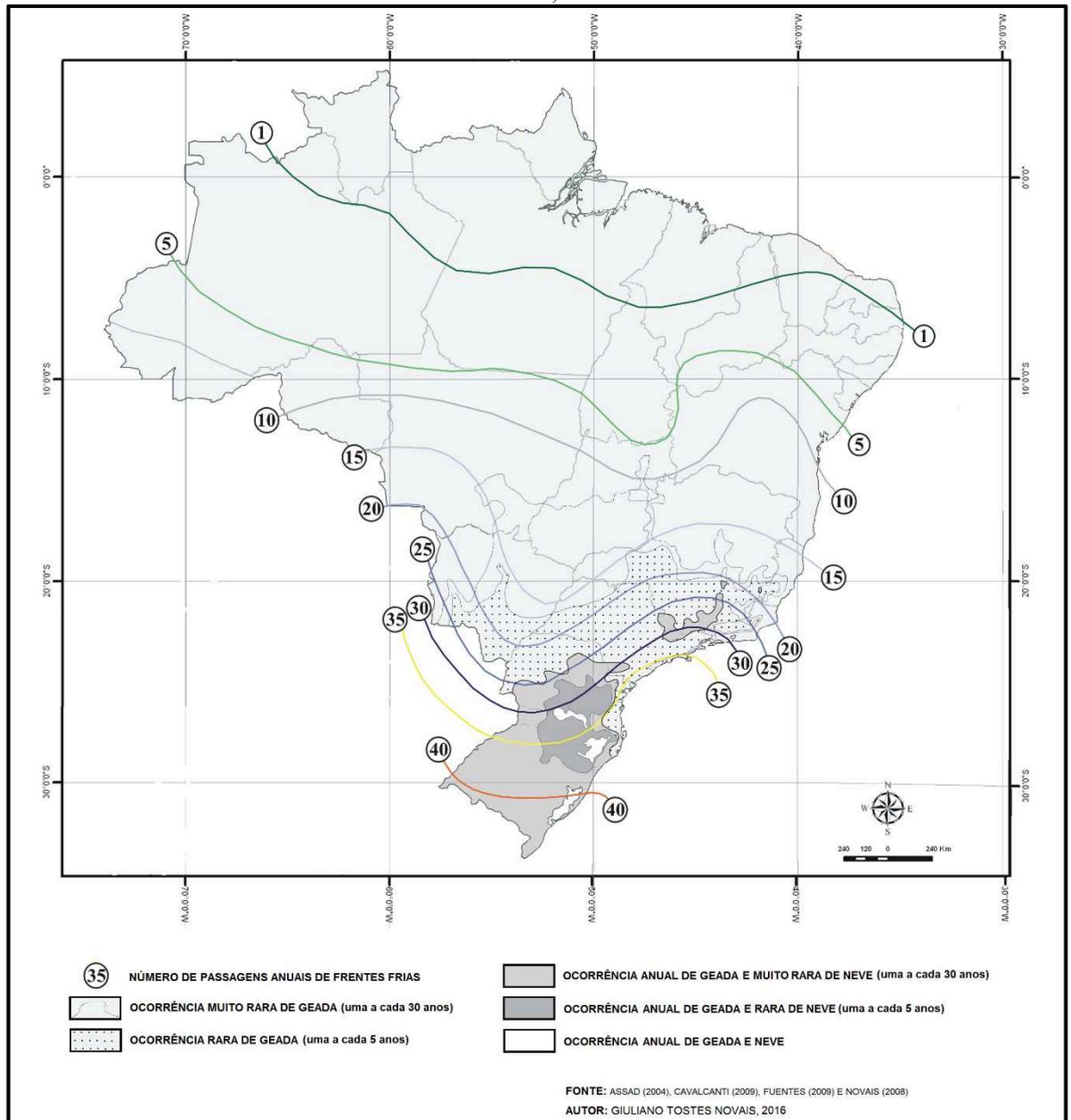
Por existirem inúmeros locais possíveis para a delimitação dos *Meso/Topoclimas* na paisagem continental brasileira, esse nível climático tem a possibilidade de ser estudado por muitos anos ainda, tanto regionalmente, quanto localmente.

Dessa forma, a partir da metodologia proposta, sugerimos o desenvolvimento de estudos específicos em nível de bacias hidrográficas intraregionais, sub-bacias e microbacias, por exemplo, para a elaboração de trabalhos para cada subdomínio e meso/topoclimas, apresentando-os separadamente, ajudando a entender a diferenciação climática de cada área do território estudado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

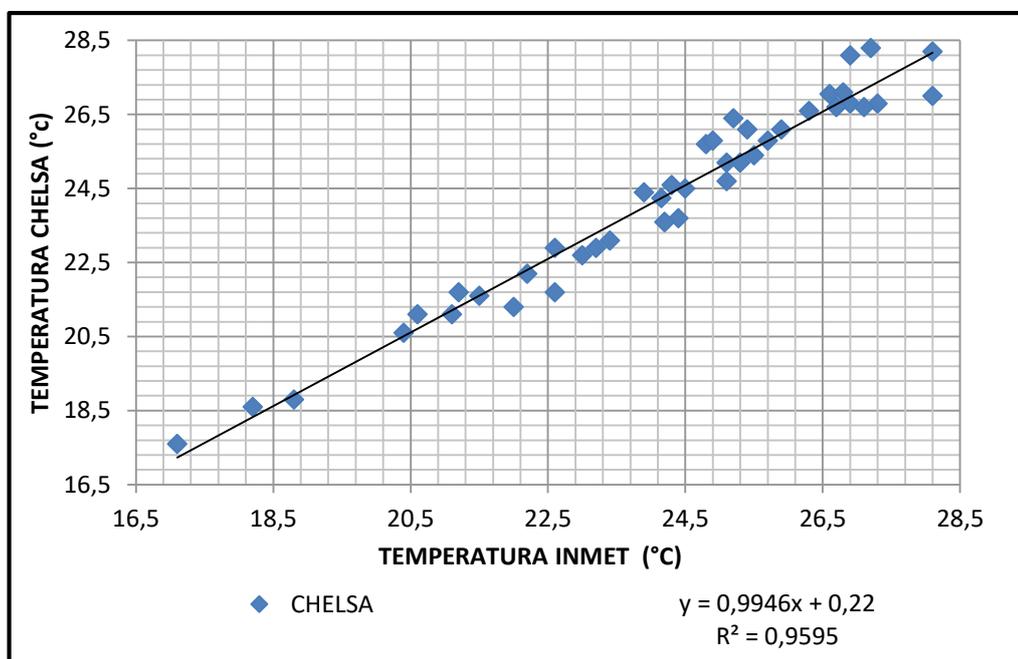
Um dos primeiros resultados dessa pesquisa foi o mapa de passagens de frentes frias e possibilidade de ocorrência de geada e neve no território brasileiro (**Mapa 1**), elaborado a partir de informações de Assad (2004), Cavalcanti (2009) e Fuentes (2009). Essa representação serviu de base para as primeiras caracterizações das unidades climáticas propostas por essa classificação.

Mapa 1: Passagem de frentes frias e ocorrência de geada e neve no território brasileiro.
Autor: NOVAIS, 2016.



Para avaliar o desempenho do algoritmo utilizado para definição das temperaturas do ar no Bioma Cerrado, foram feitas comparações entre a temperatura média anual do CHELSA, durante o período de 1979 a 2013, com 41 estações do INMET espalhadas por toda a área de estudo. Em mais de 90% das análises, a diferença da temperatura foi menor que 1°C; e em 73% menor que 0,5°C. Esse erro foi considerado aceitável, pois como visto no **Gráfico 2**, o coeficiente de determinação (R^2) se ajustou ao modelo linear em 0,9595.

Gráfico 2: Comparação da temperatura média anual das estações do INMET na área de estudo, com o algoritmo CHELSA, durante os anos de 1979 a 2013



O CHELSA obteve as maiores falhas nas áreas mais quentes, onde superestimou as temperaturas médias em até 1,2°C, como no Piauí e norte de Tocantins. Para o restante da área de estudo todos os valores foram considerados válidos e aceitáveis.

3.1. Distribuição espacial dos aspectos climáticos no Bioma Cerrado

A temperatura do ar e a precipitação pluviométrica são as variáveis climáticas que possuem a maior influência na transformação da paisagem e do meio ambiente. Portanto essas variáveis serão analisadas em mapas que mostram sua distribuição temporal e espacial. A

evapotranspiração potencial (ETP) e o balanço hídrico climatológico (aqui mostrado sob a forma de excedente e déficit hídrico) também serão avaliados nesse capítulo, sendo parâmetros essenciais para o entendimento das unidades climáticas.

3.1.1. Variação da temperatura no tempo e no espaço

A temperatura média mensal tem grande diferenciação espacial na área de estudo. Os meses de junho e julho são os mais frios na região centro-meridional. A partir do Planalto Central brasileiro indo em direção norte, os meses mais frios, ou menos quentes, são os que tem uma nebulosidade maior e consequentemente uma maior precipitação pluviométrica.

A **Figura 11** é composta de um conjunto de mapas que mostra a distribuição espacial da temperatura média nos meses de janeiro, fevereiro, março e abril na área nuclear do Cerrado brasileiro.

Janeiro é marcado por temperaturas elevadas, característica típica da estação de verão. A média das temperaturas ficam acima de 27,5°C no baixo vale do Parnaíba, e chega a 28°C em Duque Bacelar-PI; influenciado pela falta de nebulosidade, que deverá retornar ainda no final do mês (janeiro) quando a ZCIT atinge o litoral maranhense. Temperaturas médias entre 25° e 27,5°C são comuns nesse mês do ano, e aparecem desde o Maranhão ao estado do Mato Grosso do Sul, seguindo os vales dos principais rios. Valores abaixo de 25° marcam os planaltos típicos do Cerrado, também abrangendo desde o Maranhão mas indo até o segundo planalto paranaense. Os terrenos mais elevados dos planaltos do Cerrado apresentam temperatura média no mês de janeiro entre 18,9° e 22,5°C, sendo a estação climatológica mais fria a de Serra do Salitre-MG com 21°C.

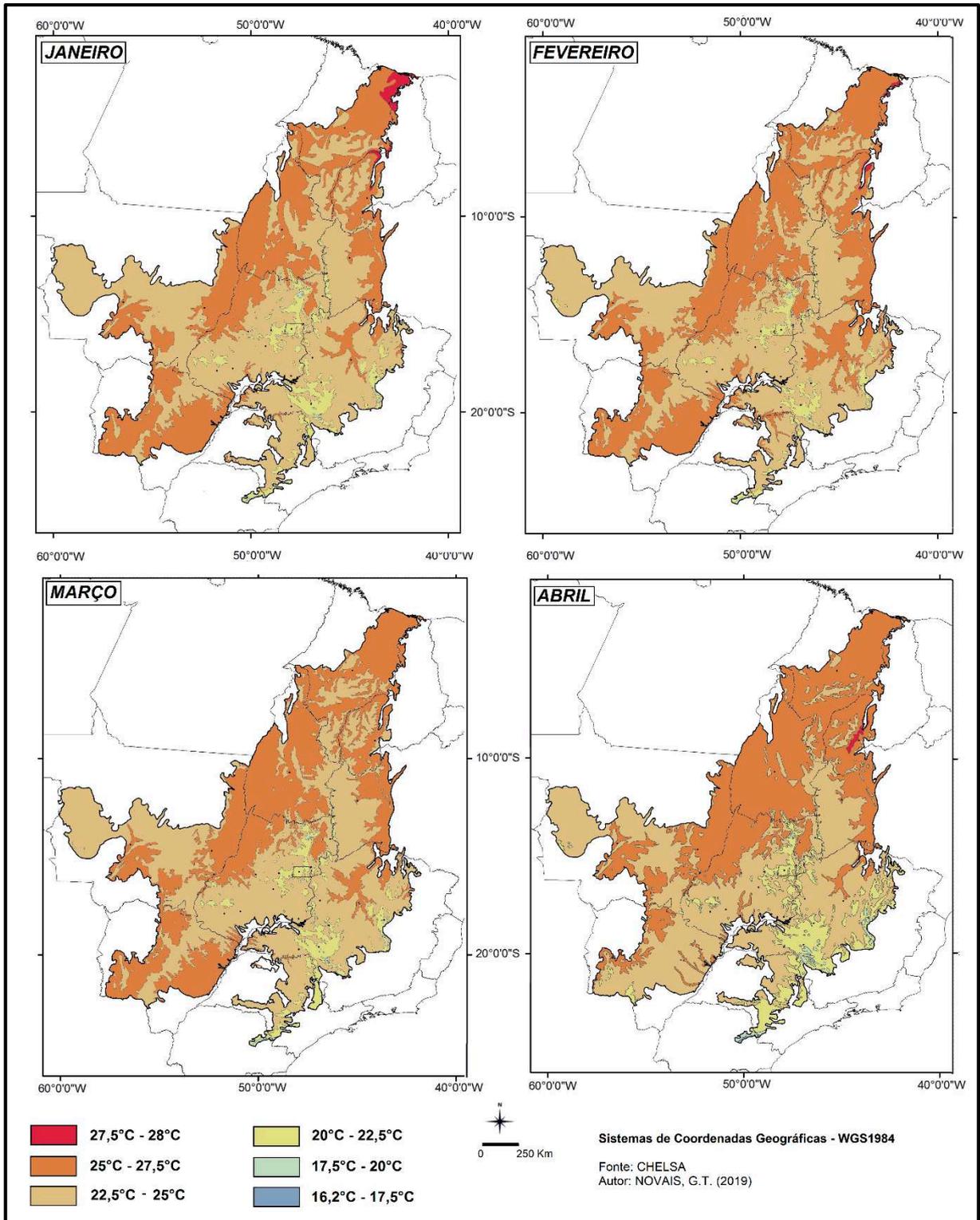
Os maiores valores de temperatura média no mês de fevereiro situam-se próximo da foz do rio Parnaíba, subindo seu talvegue até a confluência com o rio Gurguéia, sendo a cidade de Duque Bacelar-PI a mais quente da área de estudo com 27,4°C. Na maior parte da área nuclear do

Cerrado as temperaturas médias ficam entre 22,5° e 27,5°C. Os menores valores são registrados na Chapada dos Veadeiros (Goiás), serras da Canastra e do Espinhaço em Minas Gerais, e no primeiro planalto paranaense.

Duque Bacelar-PI continua sendo, no mês de março, a estação mais quente de todo o Cerrado com 27°C, mas na cidade março é o mês mais frio e mais chuvoso de todo o ano, por influência direta da ZCIT. O restante da área de estudo caracterizada por planaltos registram valores bem semelhantes ao mês de fevereiro (abaixo de 25°C). Os locais mais frios são as topografias mais elevadas desse planaltos, Serra do Salitre-MG é a estação climatológica com menor valor (20,8°C).

A chegada das frentes polares no mês de abril altera bruscamente a temperatura no sul da área de estudo. A estação climatológica que tem a média mensal mais baixa é a de Ventania-PR com 19,3°C, mas nas áreas de topo do primeiro planalto paranaense as médias caem abaixo de 17,5°C. A temperatura média do mês de abril fica abaixo de 20°C desde o planalto de Ponta Porã até o Espigão Mestre na Bahia. A partir do centro-norte da área nuclear do Cerrado brasileiro variam entre 22,5°C (planaltos) a 27,5°C (planícies interioranas e litorânea). Os valores mais altos são obtidos no médio vale do rio Gurguéia no Piauí, com temperaturas acima de 27,5°C.

Figura 11: Temperatura Média do ar durante os meses de janeiro, fevereiro, março e abril no Bioma Cerrado.
 Fonte: CHELSA e INMET.



Na **Figura 12** é mostrada a distribuição espacial da temperatura média nos meses de maio, junho, julho e agosto no bioma Cerrado.

O mês de maio é caracterizado pela influência da ASAS sobre o centro-sul da área de estudo, diminuindo as temperaturas médias principalmente as mínimas da madrugada. A cidade de Jaguariaíva-PR tem em média temperaturas entorno de 14,7°C, mostrando já a característica de um domínio climático subtropical (TMMMF abaixo de 15°C). As áreas mais elevadas dos planaltos do centro-sul do Cerrado já registram valores abaixo de 17,5°C. Os vales dos rios Araguaia e Tocantins parecem não sofrer influência do avanço da frente polar pois as médias para o mês ficam acima de 25°C. Os locais com a maior temperatura média para o mês de maio são: Barão de Grajaú-Ma e Jurumenha-PI, ambos com 27,8°C.

No mês de junho, as temperaturas médias abaixo de 20°C predominam nos planaltos do centro-sul do Cerrado, agora atingindo as altitudes menos elevadas. Nas áreas mais altas dos planaltos como o paranaense, o ocidental paulista, da Canastra e do Espinhaço (Minas Gerais), a temperatura média fica abaixo de 15°C, e a possibilidade de formação de geada é real, principalmente com a estabilidade do ar provocada pela ASAS. O menor valor entre as localidades climáticas analisadas é em Ventania-PR com 14,4°C. Temperaturas entre 20°e 25°C são comuns na maioria da área de estudo, mas em todo o vale do rio Parnaíba e do rio Gurguéia os valores ficam mais elevados (entre 25° e 28°C), devido ao afastamento da ZCIT para o oceano. A maior temperatura média no mês é em Duque Bacelar-PI e Jurumenha-PI, com 27,9°C.

A menor temperatura média mensal do ano é registrada em julho na localidade de Ventania-PR com 14,2°C. O grande resfriamento provocado pelo maior valor da distância zenital solar e também pela presença do APS com frequente entrada das frentes frias fazem os valores mensais caírem abaixo de 13°C no Paraná. É nesse mês que as geadas são comuns no planalto

paranaense, e dependendo da força do APS pode provocar temperaturas negativas no interior paulista e nas serras mineiras. As temperaturas mínimas absolutas são as mais baixas do ano nos meses de junho e julho em todo o centro-sul do Bioma Cerrado, e valores abaixo de 10°C são frequentes. No centro-norte do bioma Cerrado acontece o inverso, as temperaturas começam a aumentar devido ao ar seco característico da ASAS (no centro da área de estudo) e do afastamento total da ZCIT da costa brasileira (no norte da área de estudo). Nos vales dos rios Parnaíba e Gurguéia os valores da temperatura média mensal atingem 28,2°C.

A característica mais marcante observada no mês de agosto é o grande aquecimento do centro-norte do bioma Cerrado, devido ao auge da atuação do anticiclone ASAS, inibindo a formação de nebulosidade. Os valores entre 27,5°C e 29,1°C de temperatura média no mês vão desde Aruanã-GO (no rio Araguaia) até o litoral maranhense. No centro-sul do Bioma, temperaturas abaixo de 20°C ficam restritas as áreas mais elevadas dos planaltos, chegando em Ventania-PR a 15,8°C.

A distribuição espacial da temperatura média nos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro é mostrada na **Figura 13**.

A maior diferença de temperatura média na área nuclear do Cerrado acontece no mês de setembro. Enquanto no planalto paranaense a temperatura fica abaixo de 15°C, pois ainda estamos na estação do inverno, em Francisco Ayres, vale do rio Gurguéia (Piauí), o valor chega a 30,8°C. Nos estados do Tocantins, Mato Grosso e centro-norte do estado de Goiás setembro é o mês mais quente do ano. Nas áreas mais elevadas dos planaltos a temperatura média não atinge 22,5°C, e em Jaguariaíva-PR ainda faz frio, com temperatura média de 17,1°C.

O mês de outubro é o mais quente em quase toda área de estudo. Os altos valores são provocados pela incidência solar direta (altura do Sol próxima do zênite) e pela falta de nebulosidade (ASAS). A temperatura média fica próxima de 31°C seguindo o talvegue do rio Parnaíba.

Valores acima de 25°C tomam conta de toda a área nuclear do Cerrado, desde o extremo sudoeste (Mato Grosso do Sul) até os locais mais elevados do Maranhão e Piauí. Temperaturas abaixo de 20°C somente nas serras do Espinhaço e da Canastra (Minas Gerais) e no planalto paranaense. Em outubro, as temperaturas máximas absolutas atingem valores acima de 35°C em grande parte do Bioma Cerrado, desde o interior paulista até o Maranhão. Valores absolutos acima de 40°C acontecem todo o ano nos vales dos principais rios do centro-norte da área de estudo, atingindo 46°C no centro do estado do Piauí.

O início da formação de episódios de ZCOU e ZCAS, e principalmente o afastamento da ASAS para seu local de origem, o oceano Atlântico Sul, faz o mês de novembro ser bem diferente do mês anterior, com predominância de uma maior nebulosidade no centro do Brasil e diminuição das temperaturas. Os maiores valores (entre 30° e 30,6°C) continuam sendo registrados no baixo vale do rio Paranaíba, se consolidando como o local mais quente da área de estudo. No do entorno do Pantanal a temperatura média de novembro é a mais alta do ano, sendo Miranda-MS o local mais quente dessa região com 27,4°C. Temperaturas entre 22,5° e 27,5°C predominam em quase toda área nuclear do Cerrado. Jaguariáiva-PR registra o menor valor com 20,4°C.

O canto inferior direito da **Figura 13** mostra as temperaturas médias no mês de dezembro, onde se vê um menor aquecimento na região setentrional da área de estudo, com valores não ultrapassando os 30°C. Na maior parte do Cerrado brasileiro as temperaturas ficam entre 22,5° e 27,5°C. Os valores extremos são registrados em Duque Bacelar-PI (29,7°C) e Serra do Salitre-MG (20,5°C).

Figura 12: Temperatura Média do ar durante os meses de maio, junho, julho e agosto no Bioma Cerrado.
 Fonte: CHELSA e INMET.

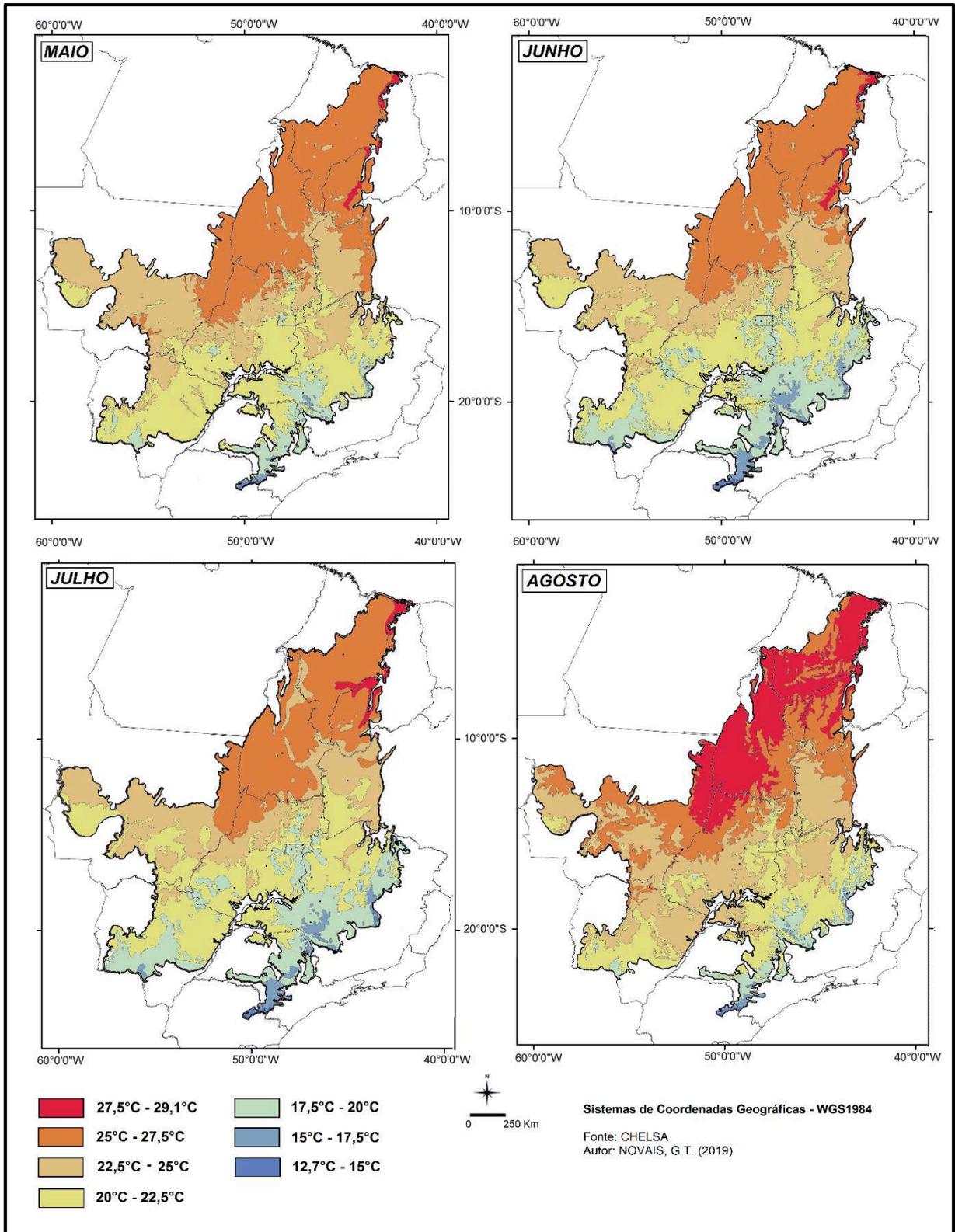
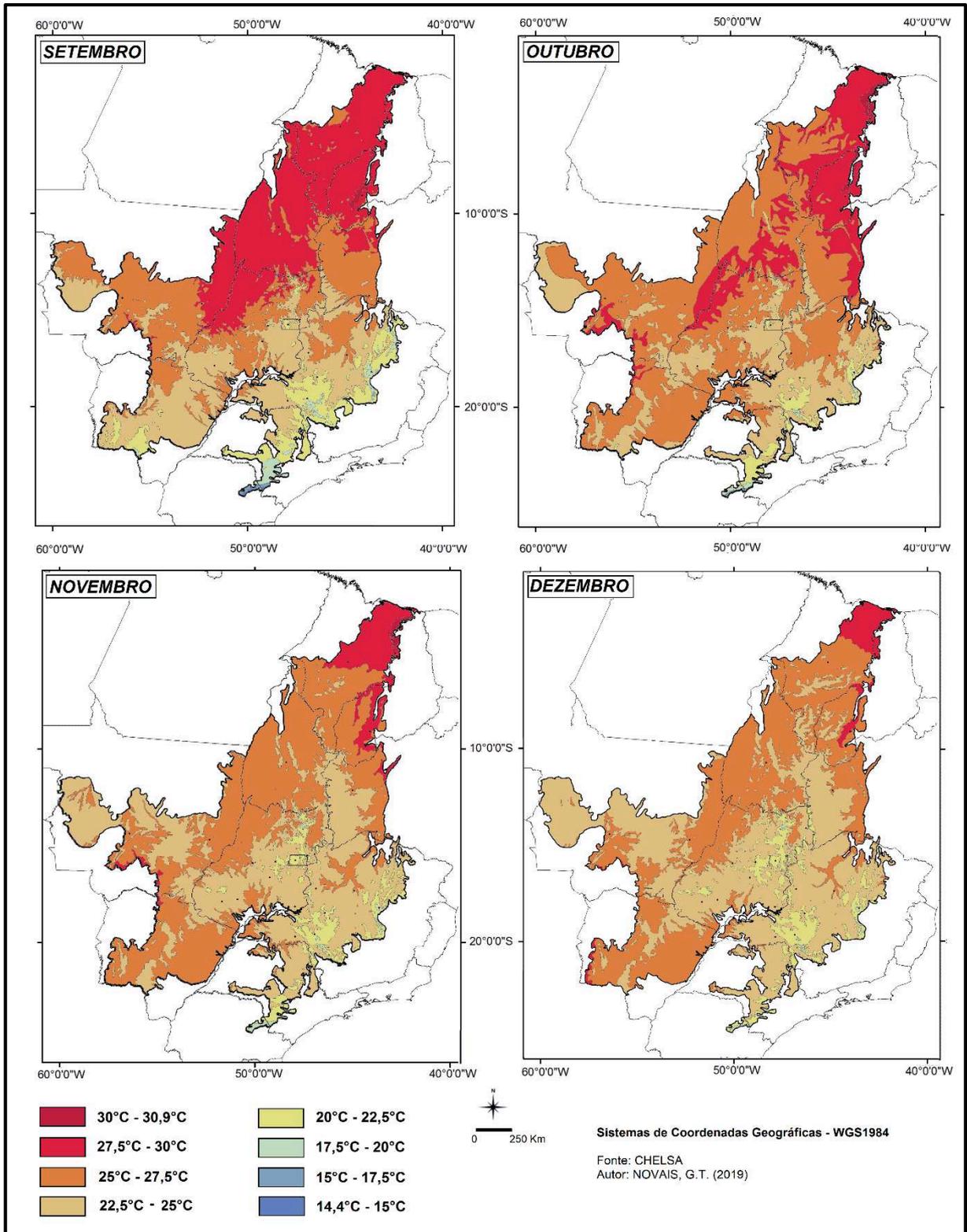


Figura 13: Temperatura Média do ar durante os meses de setembro, outubro, novembro e dezembro no Bioma Cerrado. Fonte: CHELSA e INMET.



No mapa de temperatura média anual (**Mapa 6**) as escalas de temperatura variam de dois em dois graus.

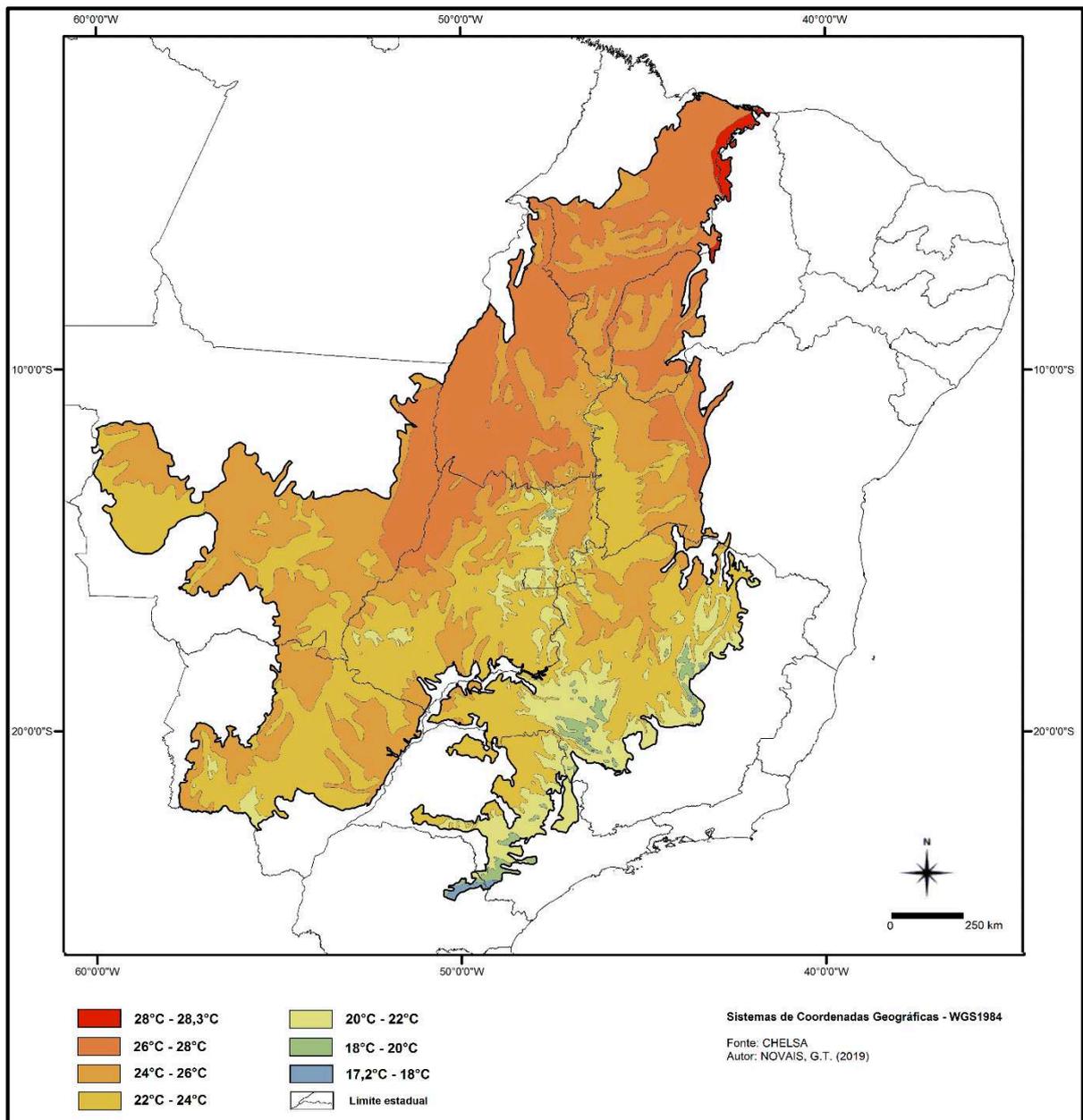
O menor valor (abaixo de 18°C) aparece no planalto do estado do Paraná e nos topos das Serras da Canastra e Espinhaço em Minas Gerais, influenciado pela latitude (Paraná) e pelo resfriamento adiabático do ar no alto das serras (Minas Gerais).

Já no baixo vale do rio Parnaíba, na divisa entre o Maranhão e Piauí, registra-se a maior temperatura média anual (valores acima de 28°C) provocada pela proximidade da linha do Equador (altura solar próxima do zênite) e pela grande quantidade de meses secos e sem nebulosidade, gerando um aquecimento exagerado da superfície.

Valores entre 24° e 28°C seguem quase o limite do Clima Zonal Tórrido, por todo o centro-norte da área nuclear do Cerrado brasileiro, mas também as regiões mais quentes do centro-sul da área de estudo, como o limite com o Pantanal mato-grossense e vales dos rios Paraná, Parnaíba e São Francisco.

A maioria dos planaltos nos estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Minas Gerais e Bahia tem valores entre 20° e 24°C, provocados pela influência da altitude na temperatura. Nas serras do Espinhaço e Alto Parnaíba (Minas Gerais), topos de reverso de cuesta em São Paulo, e na Chapada dos Veadeiros (Goiás) registram valores entre 18° e 20°C.

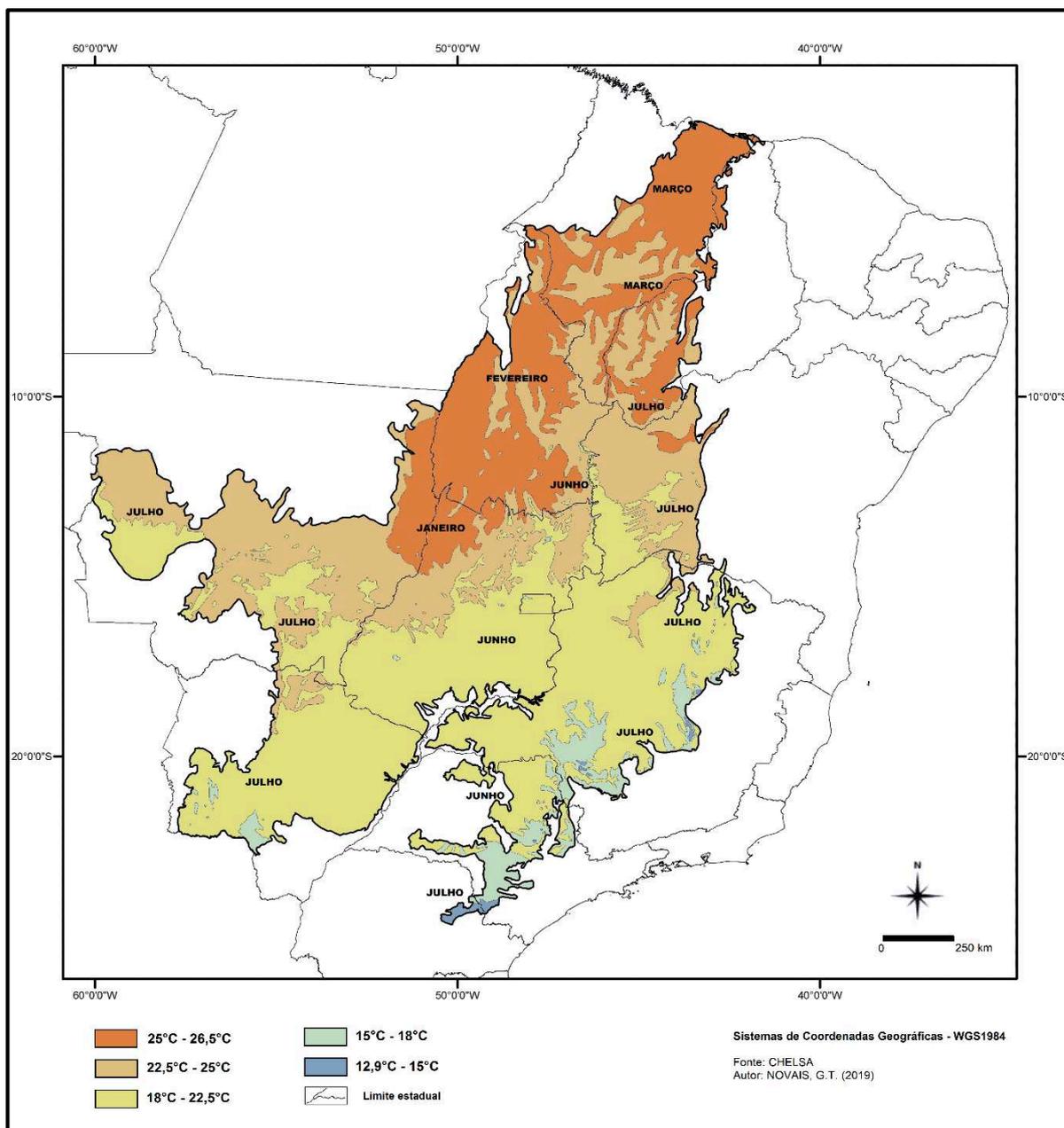
Mapa 6: Temperatura Média Anual (°C) – Bioma Cerrado. Fonte: CHELSA e INMET.



A temperatura média do mês mais frio (TMMMF) é um dos principais parâmetros de limite das unidades climáticas desse trabalho. O **Mapa 7** foi dividido em classes de temperatura de acordo com limites empregados na divisão de Climas Zonais e Domínios Climáticos. Temperaturas abaixo de 15°C (mês de julho) aparecem, na área de estudo, no estado do Paraná, região de Itararé-SP e nos pontos mais altos das Serras da Canastra e Espinhaço em Minas Gerais. Valores entre 15° e 18°C (meses de junho e julho) estão presentes nos patamares da borda oriental da

depressão periférica paulista; Alto Paranaíba, entorno da Serra da Canastra e Serra do Espinhaço em Minas Gerais; planalto de Ponta Porã e Serras de Maracaju e Bodoquena no Mato Grosso do Sul; e regiões mais elevadas da Serra dos Caiapós, Chapada dos Veadeiros e do Planalto Central em Goiás e no Distrito Federal. O Clima Zonal Quente faz limite com o Clima Zonal Tórrido a partir da isoterma de 22,5°C, valores entre 18° e 22,5°C compreendem grande parte do centro-sul da área nuclear do Cerrado brasileiro, coincidindo com a área de atuação das frentes polares na estação de inverno. O Clima Zonal Tórrido aparece com TMMMF acima de 22,5°C e abrange o centro-norte da área de estudo. Os valores acima de 25°C são os mais altos da escala adotada por esse mapa, compreendendo as regiões mais baixas do relevo no centro-norte do Cerrado, desde a planície dos rios Araguaia-Tocantins até o litoral maranhense. Nesses locais os meses mais frios não são os do meio do ano, mas sim janeiro, fevereiro e março, quando a nebulosidade e a precipitação pluviométrica aumentam, impedindo que a radiação solar chegue a superfície diretamente.

Mapa 7: Temperatura Média do mês mais frio (TMMM) – Bioma Cerrado. Fonte: CHELSA e INMET.



O **Mapa 8** mostra a possibilidade de ocorrência de geada na área de estudo. Para tal condição, a temperatura mínima absoluta deverá ser abaixo de 3,5°C dentro do período de análise desse trabalho (1981-2015).

Esse parâmetro é medido nas estações climatológicas do INMET, sendo interpolado para as áreas que não possuíam estações, e as imagens de radar do SRTM foram muito úteis nesse caso.

Como podemos verificar, no bioma Cerrado, a geada pode acontecer na região de atuação do anticiclone polar, do sudoeste de Mato Grosso do Sul ao centro do país.

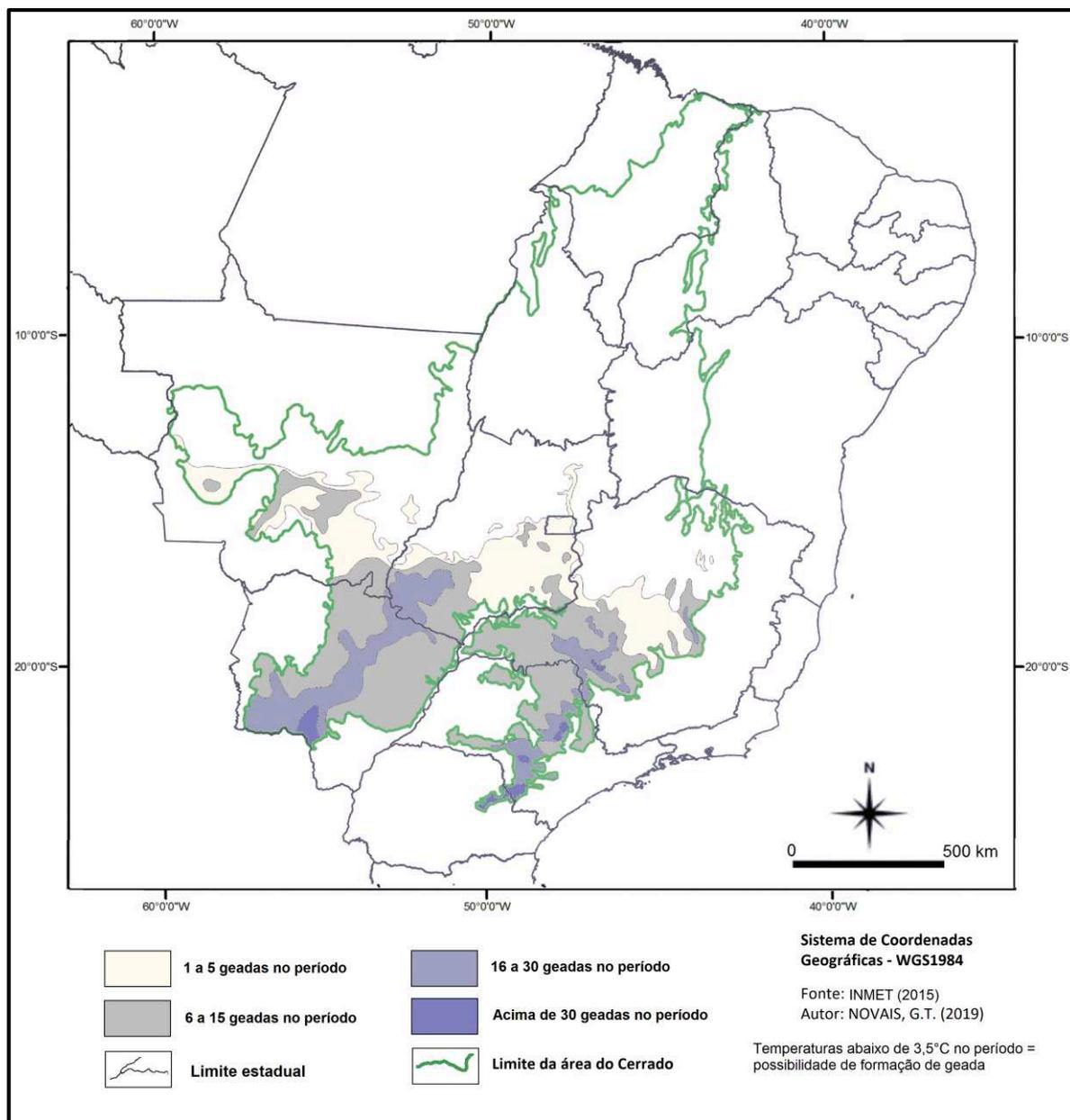
Essa informação vai de encontro com uma das justificativas desse trabalho, pois alerta para prejuízos ocasionados pela geada. Esse evento deve acontecer na porção centro-sul do bioma, em algum momento dentro do período climatológico.

Os maiores valores para a ocorrência estão nos locais de latitudes mais elevadas e também nas maiores altitudes do centro-sul. No planalto paranaense, a possibilidade de geada é anual (acima de 30 geadas no período), típica de um domínio climático *Subtropical*. Em Castro-PR, estação climatológica base para as interpolações na região do Cerrado paranaense, foram registradas temperaturas abaixo de 3,5°C em 411 episódios durante o período analisado.

Os outros locais subtropicais da área de estudo também tem a possibilidade de geadas anuais, como no planalto de Ponta Porã-MS (35 episódios), topos dos reversos de cuesta no estado de São Paulo (região de Itirapina com 30 episódios) e serra da Canastra em Minas Gerais (30 episódios).

Além dos Domínios Subtropicais, alguns locais de Domínios Tropicais Amenos também registraram temperaturas propícias a formação de geada, sendo eles: a serra dos Caiapós no sudoeste goiano com até 28 episódios; Alto Paranaíba (até 18 episódios) e serra do Espinhaço (até 15 episódios) em Minas Gerais.

Mapa 8: Possibilidade de formação de geada no período climatológico (30 anos) dentro do Bioma Cerrado.
 Fonte: INMET.



3.1.2. *Variação da precipitação pluviométrica no tempo e no espaço*

Em estudos de precipitação pluviométrica, é necessário o conhecimento sobre as chuvas da região, que podem ser observadas através de séries históricas coletadas diariamente utilizando estação pluviométrica previamente instalada. A qualidade dos resultados esperados nas estimativas está intrinsecamente ligada à disponibilidade de dados de precipitação e a qualidade destes, bem como sua distribuição espacial (Costa et al, 2012). Os dados obtidos pelas

localidades climáticas desse trabalho foram disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA) em seu portal na internet, sendo aproveitados somente os locais onde o período temporal contemplasse os anos de 1981 a 2015.

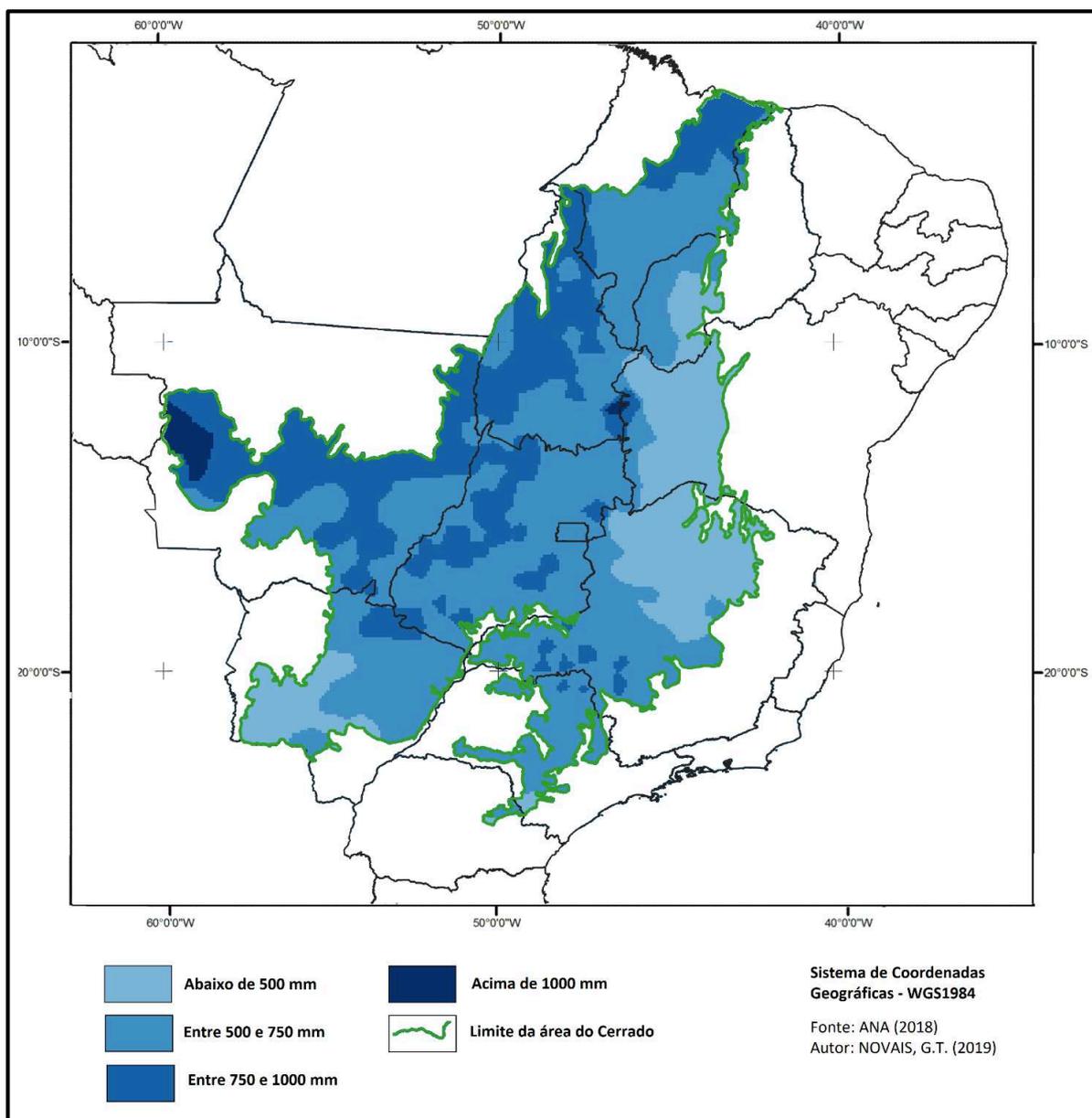
Em termos de precipitação pluviométrica, são observados altos valores por quase todo o bioma Cerrado durante a estação de verão, relacionados ao forte aquecimento radiativo da superfície, permitindo o desenvolvimento de atividades convectivas. Conforme Reboita et al (2010; 2012), parte desses sistemas convectivos está relacionada à dinâmica do escoamento dos Jatos de Baixos Níveis (JBN), vindos da Amazônia, os quais podem integrar a circulação do ASAS, promovendo aumento de nebulosidade e de precipitações intensas na região de estudo (Zona de Convergência de Umidade - ZCOU e Zona de Convergência do Atlântico Sul - ZCAS).

A chegada da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) na costa maranhense, a partir do mês de fevereiro, provoca circulações atmosféricas perturbadas, aumentando os valores de chuvas acumuladas no verão.

Curtos períodos de seca, denominados de veranicos, ocorrem em meio a estação das chuvas, provocados por entradas de anticiclones que bloqueiam a atuação das baixas pressões atmosféricas.

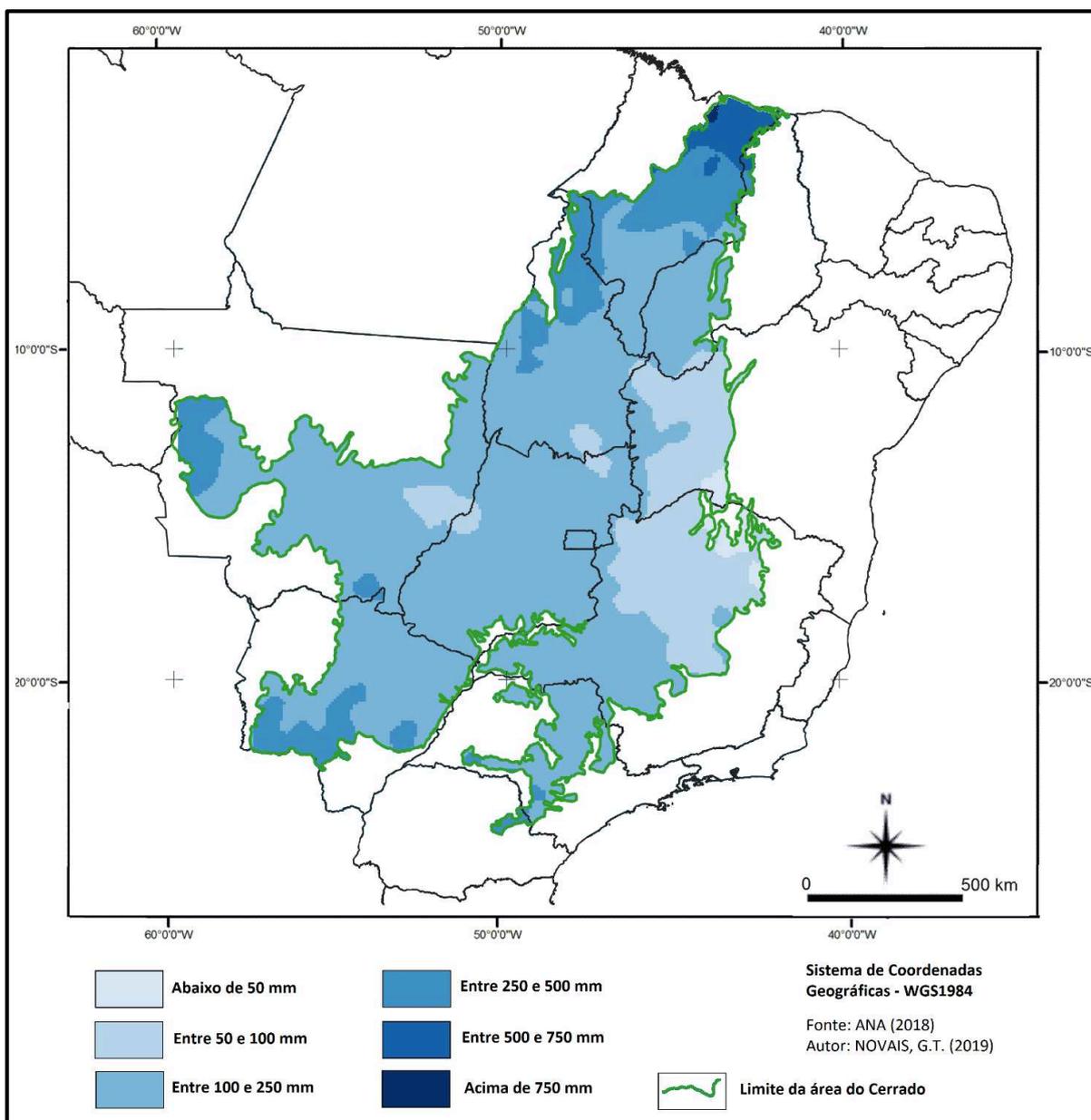
Como é mostrado no **Mapa 9**, a precipitação média no verão (JAN-FEV-MAR) ficou abaixo de 500 mm no leste da área, limite com a caatinga nordestina, e também no limite com o pantanal mato-grossense, a sudoeste. O menor valor acumulado médio foi em Porteirinha-MG (276,5 mm). Na maioria da área a precipitação pluviométrica fica entre 500 e 1000 mm, com destaque para Sapezal-MT na divisa de Mato Grosso com Rondônia, que registrou a média de 1081,1 mm, e Ponte Alta do Bom Jesus-TO, com 1004 mm.

Mapa 9: Pluviosidade Média na estação do Verão – Bioma Cerrado. Fonte: ANA e INMET.



O **Mapa 10** mostra o fim da atuação da ZCOU e da ZCAS, juntamente com o início das investidas do ASAS no centro do Bioma Cerrado fazendo a precipitação pluviométrica diminuir a uma quantidade inferior a 250 mm na estação de outono (ABR-MAI-JUN). Os menores valores acumulados ficaram no norte de Minas e Vale do Jequitinhonha, com Porteirinha-MG registrando 30,3 mm. A atuação da ZCIT nos litorais do Maranhão e Piauí durante os meses de abril e maio influencia na grande quantidade de chuva acumulada no centro-norte maranhense, com média acima de 500 mm, chegando a 649,5 mm em Catanhede-MA.

Mapa 10: Pluviosidade Média na estação do Outono – Bioma Cerrado. Fonte: ANA e INMET.



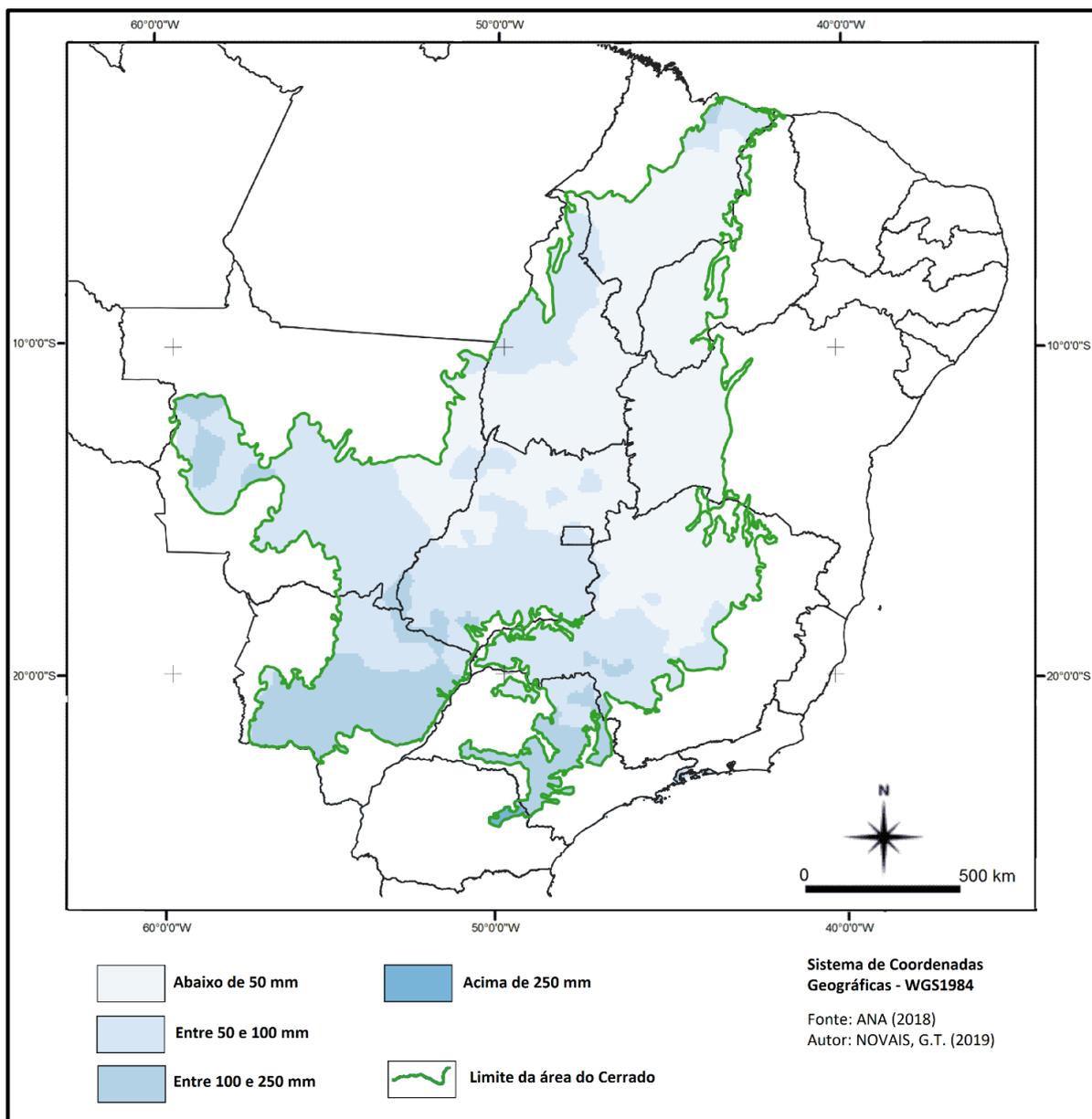
A rápida passagem das frentes frias (linhas de instabilidade) e a longa permanência do ASAS sobre a região central do país na estação de inverno (JUL-AGO-SET), dificulta a formação de sistemas convectivos contribuindo para a redução dos níveis de umidade do ar sobre a área de estudo. Logo, a permanência desse sistema acaba por influenciar na duração do período seco da tropicalidade regional (em média, de abril a setembro). Na região setentrional do Cerrado, o

afastamento da ZCIT para o oceano diminui a precipitação pluviométrica, mas ainda influencia com valores acima de 100 mm para a estação.

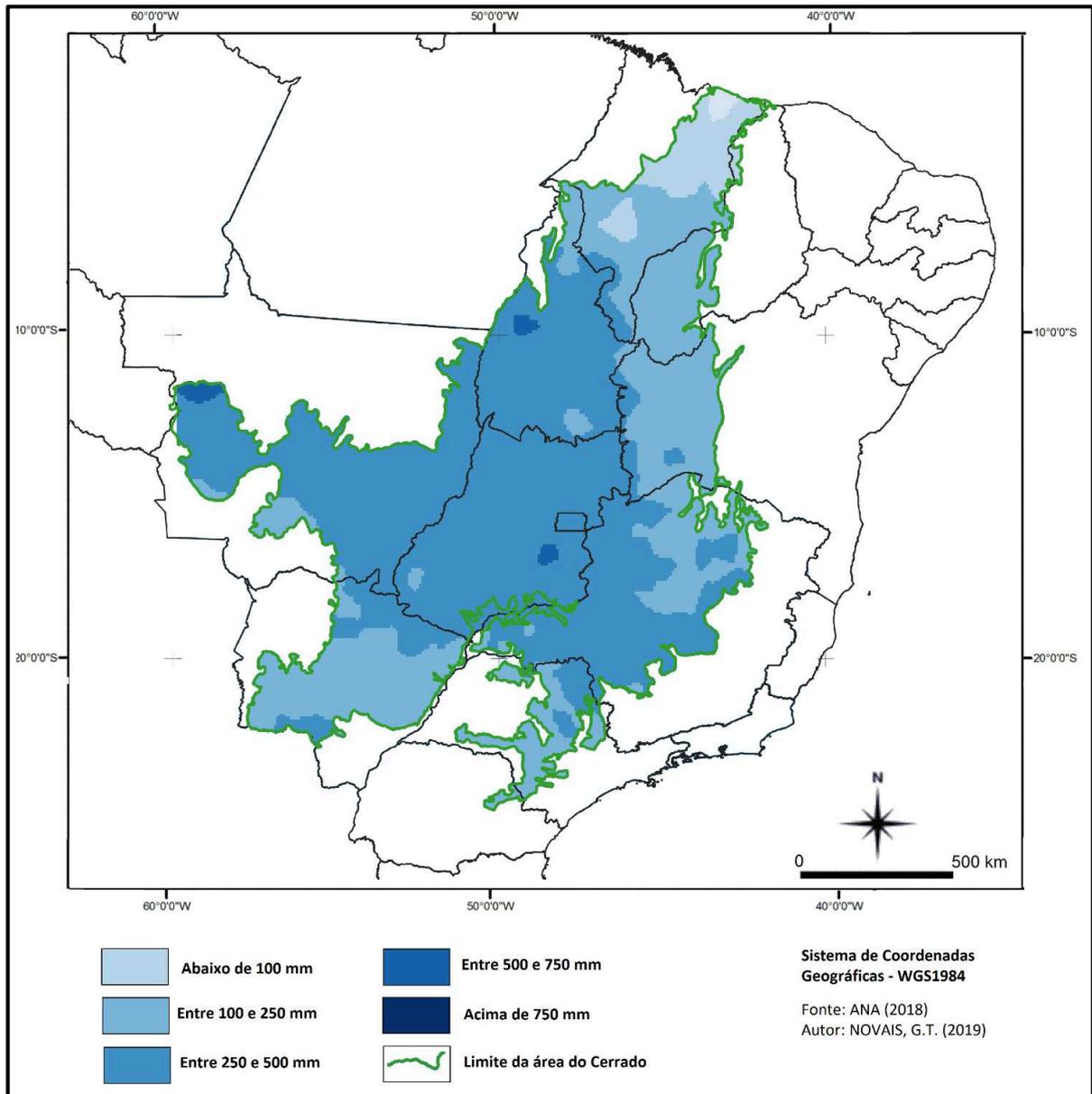
O **Mapa 11** mostra bem a atuação do anticiclone no Brasil Central, a precipitação média no inverno fica abaixo de 50 mm no centro-leste do bioma Cerrado, com o mínimo novamente em Porteirinha, no norte de Minas Gerais, acumulando apenas 8,3 mm em toda a estação. Já no noroeste de Mato Grosso, chapadas sul mato-grossenses e goianas, serras do Triângulo Mineiro e em praticamente todo o estado de São Paulo a precipitação média acumulada no inverno fica entre 100 e 250 mm. Devido a frequente passagem de frentes frias trazendo umidade, o planalto paranaense registra os maiores acumulados de chuva na estação de inverno (acima de 250 mm), e Tibagi é o local com o maior valor (307,5 mm).

Com a migração da ZCIT para o Hemisfério Norte, a região do litoral maranhense registra os menores valores acumulados de chuva na estação de primavera (OUT-NOV-DEZ) (**Mapa 12**), com 84,3 mm em Urbano Santos-MA. Na maioria da área de estudo a precipitação pluviométrica começa a aumentar (entre 500 e 750 mm acumulados) devido a formação de bandas de nuvens de orientação NW-SE, ou seja, as ZCOU e ZCAS retornam a região central do Brasil e o ASAS enfraquece sua atuação. Valores acima de 750 mm aparecem em três locais específicos, em Abreulândia-TO (779,6 mm), Vianópolis-GO (763,2 mm) e Juína-MT (752,5 mm).

Mapa 11: Pluviosidade Média na estação do Inverno – Bioma Cerrado. Fonte: ANA e INMET.



Mapa 12: Pluviosidade Média na estação da Primavera - Bioma Cerrado. Fonte: ANA e INMET.



A distribuição espacial da pluviosidade média nos meses de janeiro, fevereiro, março e abril é mostrada na **Figura 14**. No mês de janeiro a média dos pluviômetros utilizados nesse trabalho ficou acima de 250 mm na região de atuação das ZCOU/ZCAS, de noroeste (limite com a floresta Amazônica) a sudeste (região da serra da Canastra-MG), atingindo valores acima de 325 mm em áreas específicas como Sapezal-MT (390,6 mm), Ponte Alta do Bom Jesus-TO (366,7 mm), Faina-GO (364,1 mm) e Zelândia-MG (359,6 mm). Valores abaixo de 175 mm

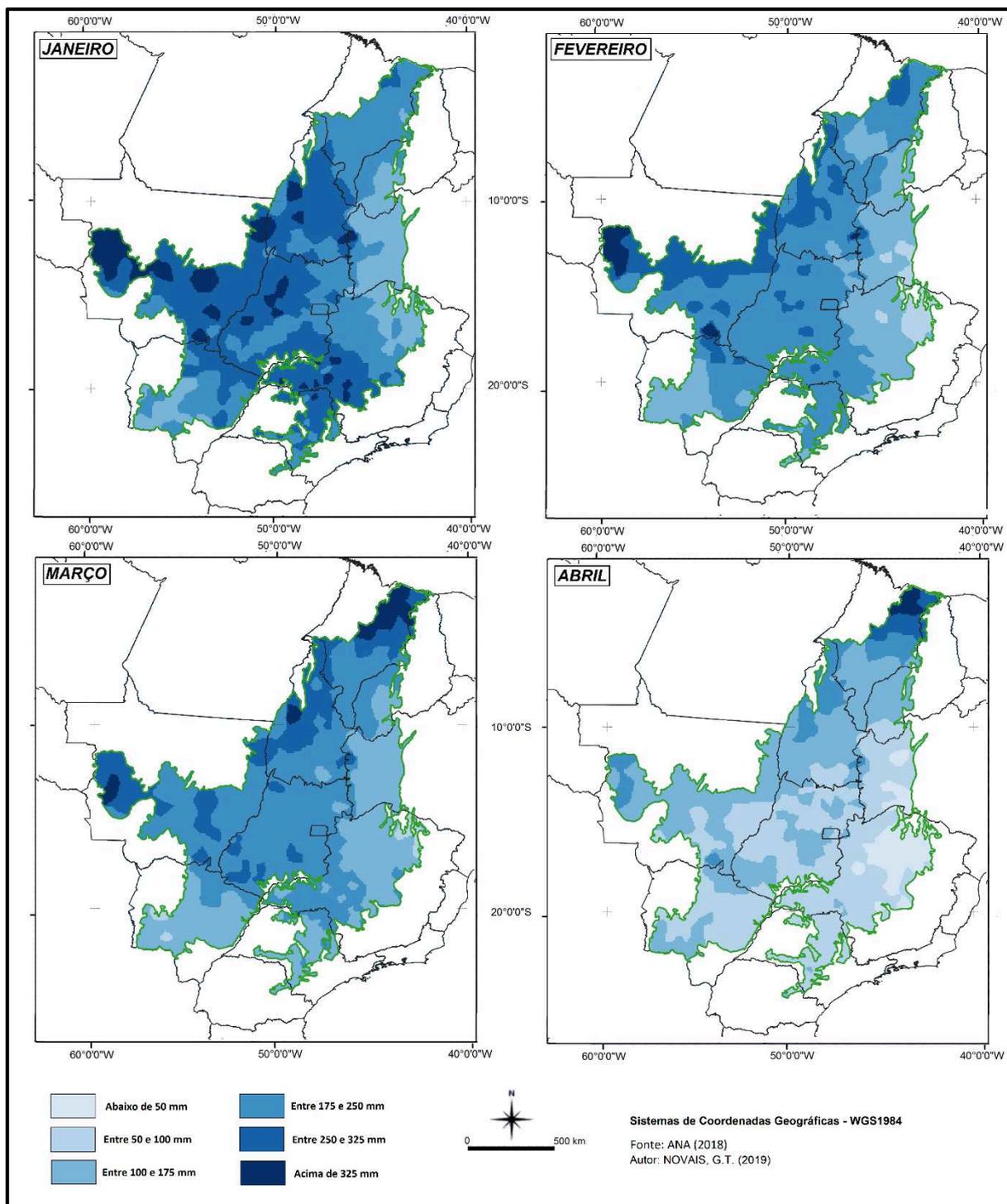
aparecem em duas regiões distintas da área de estudo, o entorno do Pantanal mato-grossense e a leste no limite com a caatinga, chegando em Rio Pardo de Minas-MG a 107,2 mm.

A chegada da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) na costa setentrional é nitidamente visível no mês de fevereiro, com o aumento da precipitação no centro do estado do Maranhão, com valores acima de 250 mm. Sapezal-MT continua sendo o local com o maior volume acumulado de chuva no mês de fevereiro registrando 362,9 mm. As menores precipitações pluviométricas (abaixo de 100 mm) ficam no norte do estado de Minas Gerais seguindo o vale do rio São Francisco na Bahia, sendo Urandi-BA o local com o menor valor 68,8 mm.

A ZCIT continua atuando sobre os estados do Maranhão e Piauí durante o mês de março, valores acima de 325 mm são comuns nessa área como em Cantanhede-MA (387,9 mm), Vargem Grande-MA (366,1 mm) e Lago da Pedra (366,1 mm). A chuva de março ainda é elevada em termos acumulados no centro-sul do bioma Cerrado com valores acima de 175 mm. No limite com o Pantanal-Sul, e no norte de Minas e Vale do Jequitinhonha a precipitação pluviométrica fica abaixo de 100 mm, chegando a 79,1 mm em Araçuaí-MG.

Podemos observar, no mês de abril, uma mancha azul escura indicando forte acúmulo de precipitação pluviométrica no norte maranhense provocada pela atuação da ZCIT, sendo o local mais chuvoso de todo o Cerrado (acima de 325 mm). A ASAS começa a influenciar na quantidade de chuva na área de estudo, sua circulação anticiclônica inibe a formação de nebulosidade diminuindo os valores para menos de 100 mm em grande parte do centro-sul do Cerrado. Em praticamente todo o vale do rio São Francisco desde Minas Gerais a Bahia, temos chuva abaixo de 50 mm, onde em Porteirinha-MG registrou-se 24,1 mm, o menor valor da área de estudo.

Figura 14: Pluviosidade Média durante os meses de janeiro, fevereiro, março e abril no Bioma Cerrado.
 Fonte: ANA.



A **Figura 15** mostra a distribuição espacial da pluviosidade média nos meses de maio, junho, julho e agosto. O mês de maio é marcado pela influência do ASAS sobre a área central do Brasil, com precipitação maior somente na região meridional do Mato Grosso do Sul e no

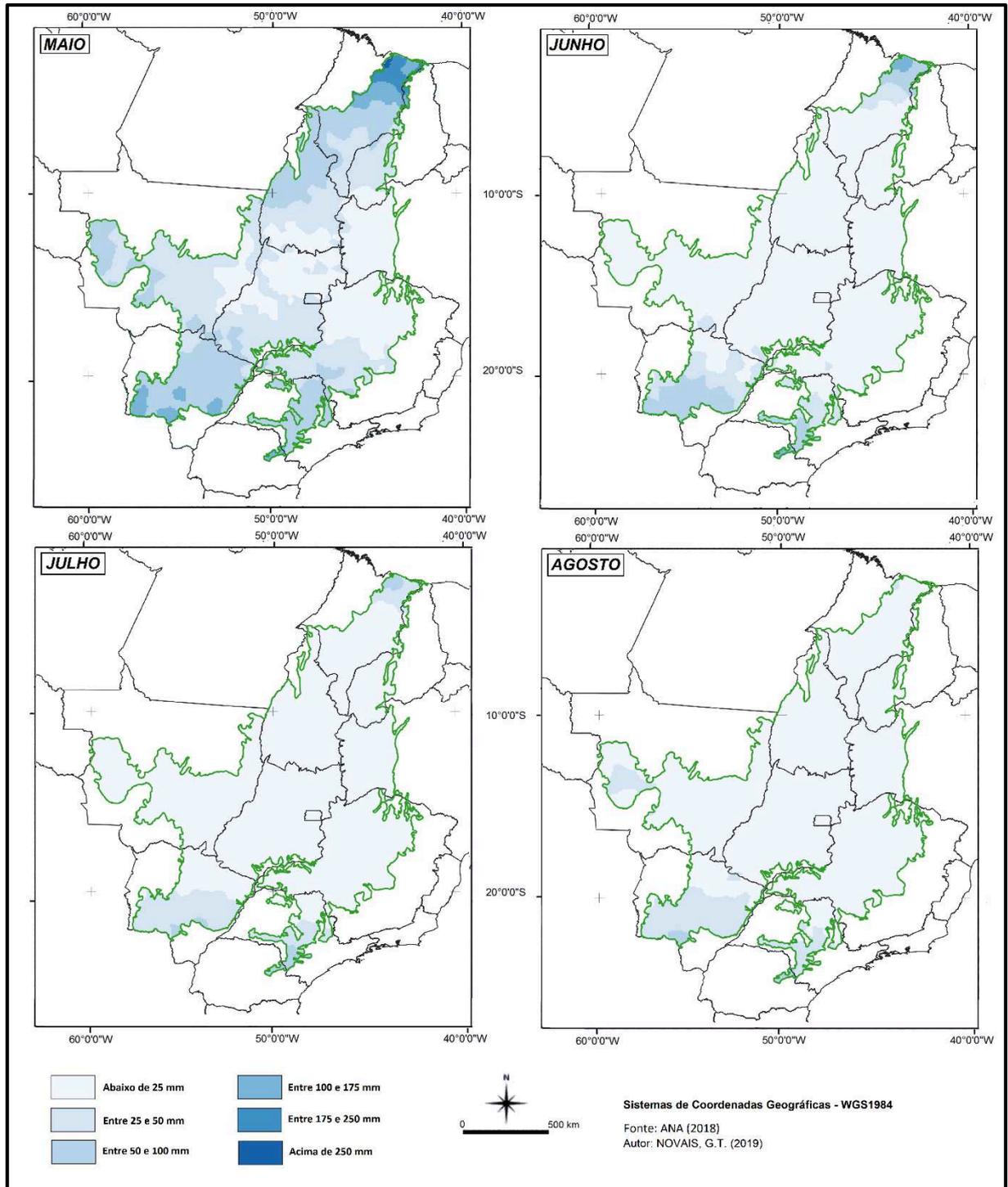
Paraná (acima de 100 mm), onde as frentes polares provocam acumulados maiores de chuva. No extremo norte da área nuclear do Cerrado, a ZCIT continua atuar como principal fonte de pluviosidade com totais acumulados para o mês ultrapassando os 175 mm, chegando a 225,7 mm em Catanhede-MA. A menor precipitação média da área de estudo fica em Urandi-BA com 3,1 mm.

O acumulado mensal de chuva cai abaixo de 25 mm na maioria do bioma Cerrado no mês de junho, característica da estação de inverno. Em alguns locais a média da precipitação acumulada durante todo o período chega próximo a zero como em Paranã-TO e Jaíba-MG (0,6mm). As áreas com maior quantidade de chuva no mês de junho continua sendo o litoral maranhense por influência da ZCIT que ainda afeta a costa mesmo estando no oceano Atlântico, e o extremo sul da área de estudo, por conta da frequente entrada das frentes frias que provocam chuvas acumuladas acima de 100 mm. De acordo com o Anexo, os locais mais chuvosos são: Tibagi-PR (110,5 mm) e Urbano Santos-MA (103,1 mm).

A atuação da ASAS é máxima durante o mês de julho no Bioma do Cerrado. O anticiclone continua impedindo a formação de nuvens de chuva por quase toda a área de estudo, chegando a zero no limite com a caatinga. Não temos acumulados significantes, somente nos dois extremos do mapa, Tibagi-PR com 93,0 mm e Urbano Santos-MA com 52,1 mm.

No mês de agosto, valores acima de 25 mm são raros, como nos estados do Paraná, São Paulo, no centro-sul de Mato Grosso do Sul e no extremo oeste de Mato Grosso. Os maiores valores acumulados de chuva são em Tibagi-PR (74,9 mm) e Antônio João-MS (57,4 mm).

Figura 15: Pluviosidade Média durante os meses de maio, junho, julho e agosto no Bioma Cerrado. Fonte: ANA.



A **Figura 16** mostra a distribuição espacial da pluviosidade média nos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro. A formação de linhas de instabilidade vindas da Amazônia (Mato Grosso e Tocantins) juntamente com a influência das frentes frias no sul da área de estudo

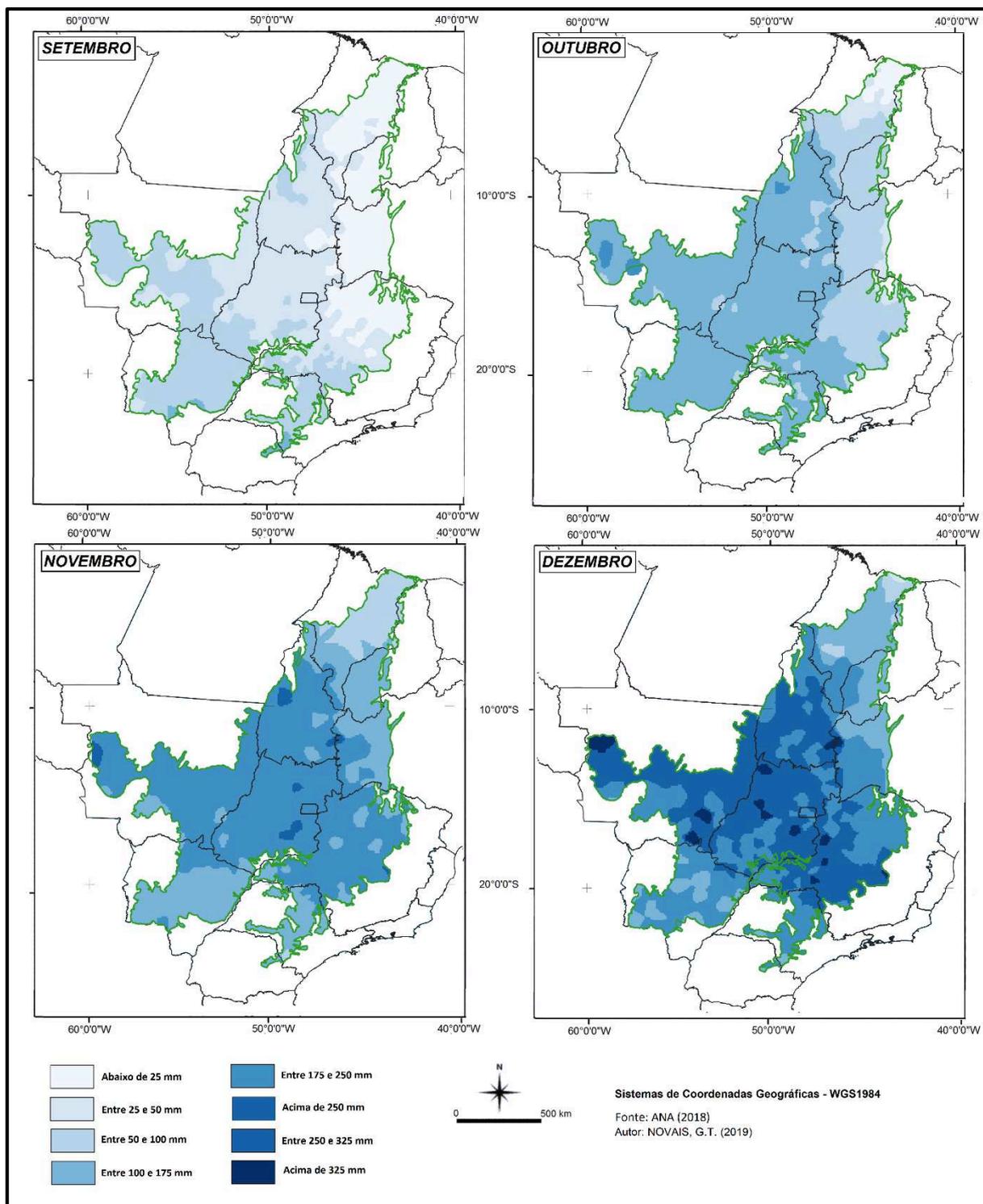
começam a aumentar a nebulosidade e conseqüentemente os acumulados de chuva. A atuação do anticiclone ainda é grande no centro-leste (abaixo de 25 mm), mas chuvas acima de 50 mm no total do mês de setembro já aparecem desde o Mato Grosso até o sul de Minas Gerais. Os maiores valores continuam sendo em Tibagi-PR com 139,5 mm.

O mês de outubro é marcado pela transição do período seco para o chuvoso em praticamente todo o Cerrado. O anticiclone começa a se afastar para o oceano Atlântico sul e os primeiros episódios (pós seca) das ZCOU/ZCAS começam a aparecer em forma de tempestades. Os menores acumulados de chuva no mês estão próximos do litoral maranhense, em Urbano Santos-MA registra-se 7,1 mm. Em todo o centro-oeste da área de estudo as precipitações ultrapassam os 100 mm, com o máximo ocorrendo em Abreulândia-TO (201,3 mm) e Sapezal -MT (187,9 mm).

A precipitação pluviométrica aumenta no mês de novembro, muito desse acumulado se deve a formação das ZCOU/ZCAS, típicas do período chuvoso de verão. Os acumulados mensais de chuva ficam acima de 175 mm na maioria da área de estudo, principalmente no corredor noroeste-sudeste (área de atuação das ZCOU/ZCAS). Os maiores valores aparecem em Vianópolis-GO (269,3 mm), Ponte Alta do Bom Jesus-TO (266,0 mm) e Abreulândia-TO (258,6 mm). No centro-norte do estado do Maranhão a precipitação acumulada em novembro fica abaixo de 100 mm, e em Mata Roma-MA chega a 21,5 mm.

O mês de dezembro é o mais chuvoso no centro da área nuclear do Cerrado brasileiro, e os maiores acumulados médios estão em Morro do Pilar-MG (349,7 mm), Paracatu-MG (334,8 mm) e Vianópolis-GO (334,5 mm). O auge do período seco no norte do Maranhão acontece no mês de dezembro com precipitação abaixo de 50 mm no litoral, na localidade climática de Urbano Santos-MA foi registrado o menor valor com 48,7 mm.

Figura 16: Pluviosidade Média durante os meses de setembro, outubro, novembro e dezembro no Bioma Cerrado. Fonte: ANA.



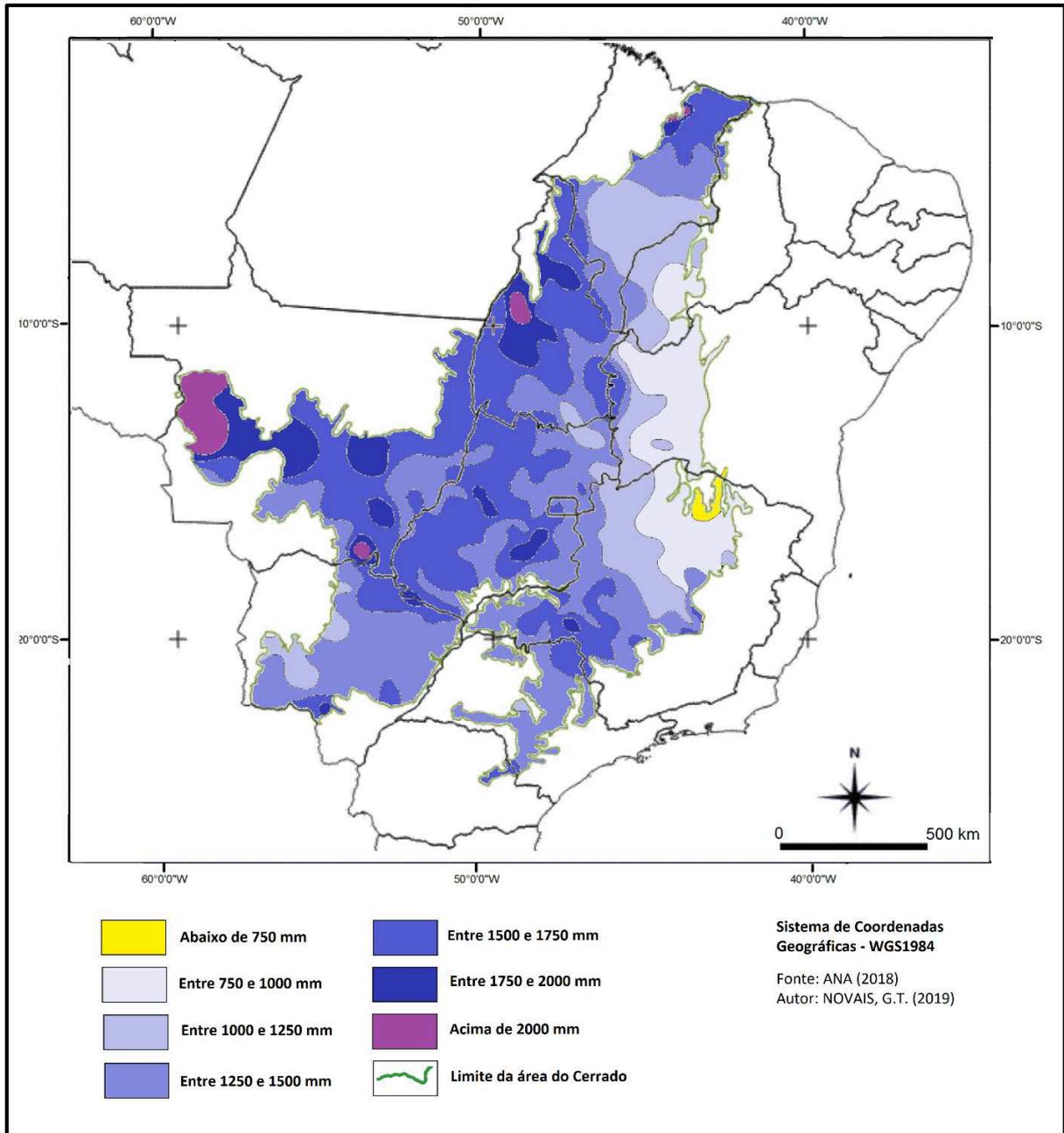
De acordo com o **Mapa 13**, a precipitação pluviométrica média no período de 1981 a 2015 é caracterizada por uma variabilidade sazonal em um período muito chuvoso e outro seco, típico da climatologia tropical, com influência dos sistemas meteorológicos ZCIT, ZCOU, ZCAS, JBN e ASAS.

A maior quantidade média de chuva é registrada no contato do Cerrado com a Floresta Amazônica, sendo Sapezal-MT com 2187 mm, Abreulândia-TO com 2133 mm, e Juína-MT com 2123 mm os locais com os maiores valores.

Na maior parte da área do Cerrado as precipitações acumuladas ficam entre 1250 e 2000 mm, comprovando a grande quantidade de água que esse bioma recebe anualmente, principalmente se comparado ao bioma da Caatinga.

Os menores valores médios acontecem na transição com a Caatinga, principalmente no norte de Minas Gerais, com precipitação abaixo de 750 mm, destacando o município de Porteirinha-MG com 659 mm.

Mapa 13: Pluviosidade Média Anual no Bioma Cerrado.
Fonte: ANA e INMET.



3.1.3. *Variação da evapotranspiração potencial no tempo e no espaço*

A evapotranspiração é controlada a grosso modo pela temperatura e pela precipitação. Se relaciona com a altitude, de modo geral, é inversamente proporcional a esta.

A **Figura 17** mostra a distribuição espacial da evapotranspiração potencial (ETP) média nos meses de janeiro, fevereiro, março e abril no Bioma Cerrado. A ETP média para janeiro na

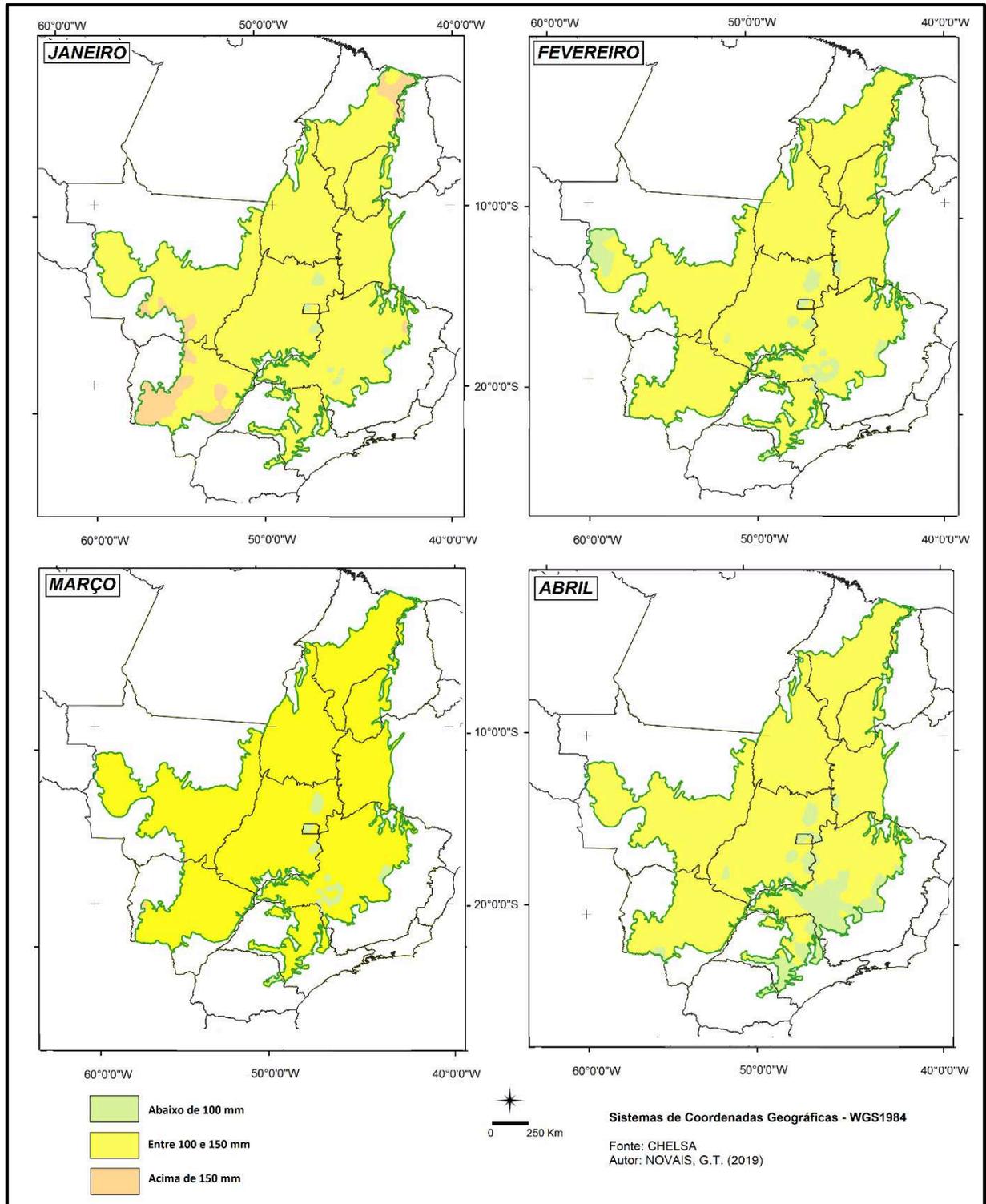
maior parte da área de estudo, possui valores entre 100 e 150 mm. A maior ETP para o mês encontra-se em três locais distintos, no limite com o Pantanal à sudoeste; no extremo norte da área de estudo (vale do rio Parnaíba); e numa pequena mancha no vale do Jequitinhonha; todos com mais de 150 mm. O menor valor é mostrado nas áreas mais elevadas do Planalto Central e serras do Alto Paranaíba em Minas Gerais (abaixo de 100 mm), atingindo 97,3 mm em Serra do Salitre-MG.

A ETP média para fevereiro possui dois valores distintos; um menor que 100 mm nas regiões mais elevadas e também na transição com a floresta Amazônica em Mato Grosso; e outro maior que 100 mm no restante da área de estudo. A maior ETP situa-se em Porto Murtinho-MS com 147,8 mm, e o menor valor em Alto Paraíso de Goiás-GO com 83,0 mm.

No mês de março a ETP média se diferencia do mês anterior somente nos menores valores, o limite com a floresta Amazônica passa a ficar com mais de 100 mm, restando apenas as regiões mais elevadas abaixo de 100 mm. O maior valor é em Porto Murtinho-MS (152,7 mm) e o menor em Serra do Salitre-MG com 90,1 mm.

Com o início do resfriamento do ar provocado pelas entradas de frentes polares no mês de abril em todo o centro-sul da área nuclear do Cerrado brasileiro, as regiões com ETP menor que 100 mm aumentam, aparecendo desde o Paraná, passando por grande parte do estado de São Paulo, Alto Paranaíba e serra do Espinhaço em Minas Gerais, e chegando a Chapada dos Veadeiros em Goiás. O menor valor encontra-se em Jaguariaíva-PR com 73,0 mm. Valores maiores que 100 mm de ETP abrangem a maior parte da área de estudo, tendo o seu máximo valor deslocado do Mato Grosso do Sul para o Maranhão, em Duque Bacelar a média para o mês de abril fica em 141,1 mm.

Figura 17: Evapotranspiração Potencial (ETP) durante os meses de janeiro, fevereiro, março e abril no Bioma Cerrado. Fonte: ANA e CHELSA.



A **Figura 18** mostra a distribuição espacial da ETP média para os meses de maio, junho, julho e agosto no Bioma Cerrado. A ETP média para o mês de maio sofre grande variação dentro da

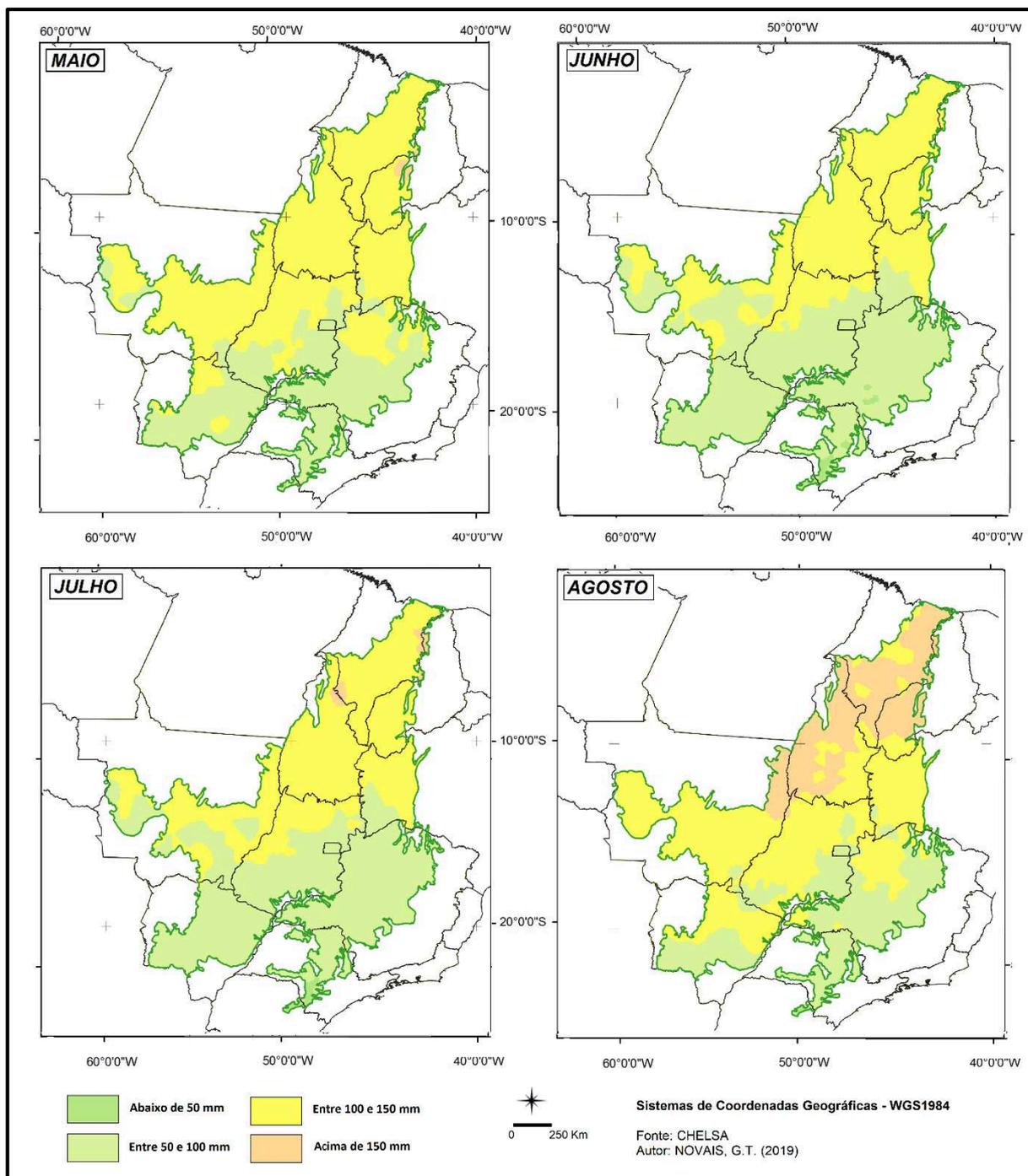
área de estudo. Por causa da aproximação da estação do inverno, as temperaturas caem e influenciam no potencial de evapotranspiração, principalmente no centro-sul da área nuclear do Cerrado brasileiro, onde os valores não ultrapassam os 100 mm. No planalto paranaense a ETP no mês fica abaixo de 50 mm, atingindo 48,4 mm em Ventania. No restante da área de estudo os valores ficam entre 100 e 150 mm, mas no vale do rio Gurguéia no Piauí esse valor sobe para mais de 150 mm, onde em Francisco Ayres-PI chega a 151,7 mm.

A estação do inverno chega para diminuir as temperaturas no centro-sul do Cerrado, com isso a ETP cai para valores inferiores a 50 mm desde o planalto paranaense, passando pelas áreas mais elevadas de São Paulo e do Alto Paranaíba e serra da Canastra em Minas Gerais. O menor valor para o mês fica em Jaguariaíva-PR com 38,0 mm. No centro-norte da área de estudo a ETP fica acima de 100 mm, atingindo 147,0 mm em Duque Bacelar-PI.

No mês de julho a atuação do anticiclone ASAS influencia na falta de nebulosidade e maior radiação solar direta na superfície, aquecendo o ar e conseqüentemente aumentando a ETP. Valores acima de 150 mm já aparecem no vale do rio Parnaíba e também no norte do estado de Tocantins, na divisa com o Maranhão. O maior valor fica na capital do Piauí, Teresina, com 155,8 mm. ETP menor que 100 mm ainda abrange grande parte do centro-sul da área de estudo, mas valores abaixo de 50 mm ficam restritos a região meridional, atingindo 37,9 mm em Jaguariaíva-PR.

Os valores acima de 150 mm de ETP média para o mês de agosto aumentam na área nuclear do Cerrado, espalhando desde o Piauí até o vale do rio Araguaia, entre o Mato Grosso e Goiás. O máximo valor continua sendo em Teresina com 170,9 mm. Abaixo de 100 mm de ETP ficam os planaltos

Figura 18: Evapotranspiração Potencial (ETP) durante os meses de maio, junho, julho e agosto no Bioma Cerrado. Fonte: ANA e CHELSA.



A distribuição espacial da ETP média para os meses de setembro, outubro, novembro e dezembro no Bioma Cerrado é mostrada na **Figura 19**. No mês de setembro os valores acima de 150 mm se expandem para o noroeste goiano e extremo noroeste baiano, com máximo em Barão de Grajaú-MA (178,6 mm). A ETP com menos de 100 mm aparece nos altos do Planalto

Central, centro-sul de Minas Gerais e São Paulo, e nos planaltos de Ponta Porã-MS e do Paraná.

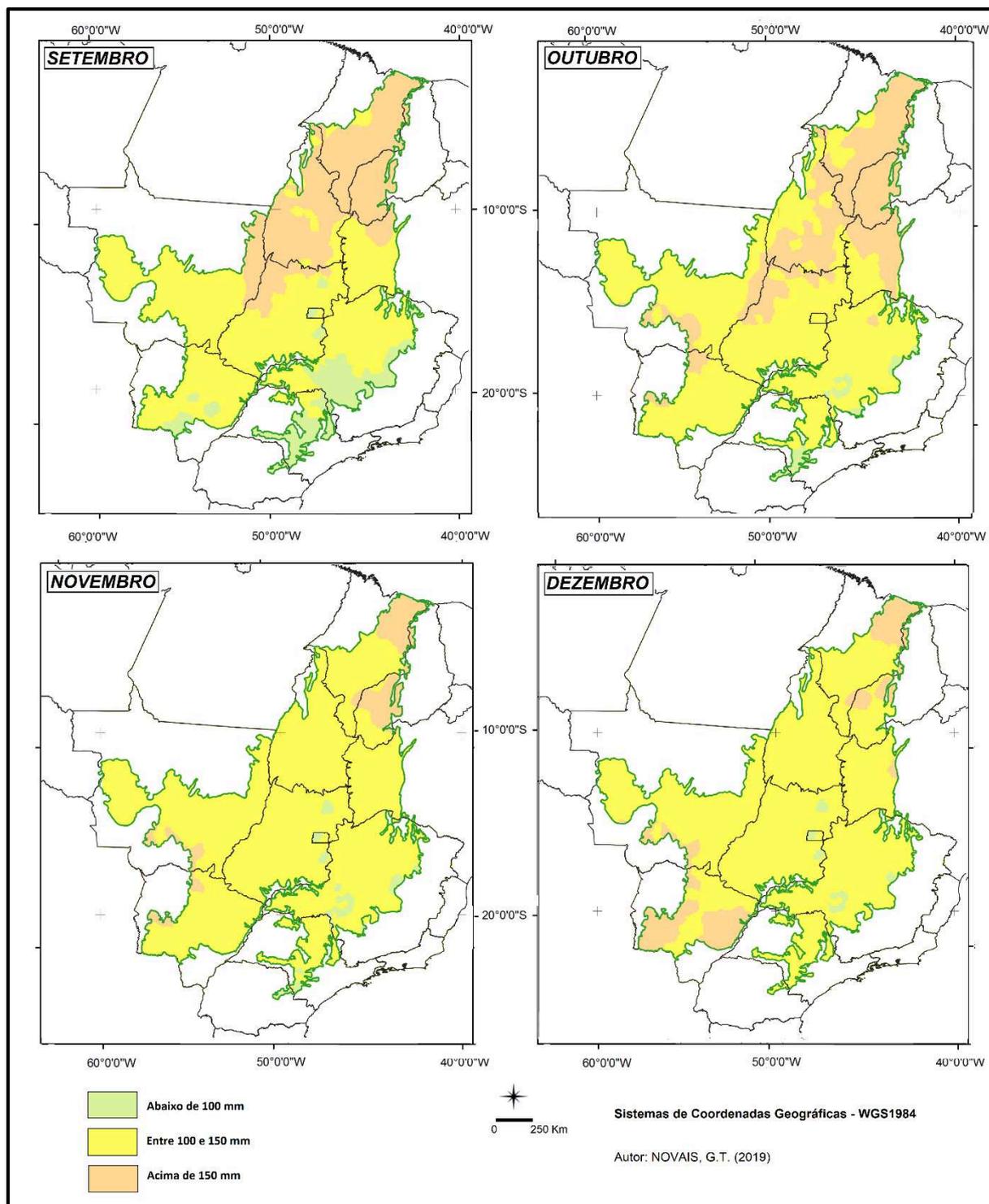
O menor valor de ETP é registrado em Jaguariaíva-PR com 55,4 mm.

A maior ETP mensal acontece no mês de outubro, onde metade da área de estudo está acima de 150 mm, chegando até o limite com o Pantanal mato-grossense. O maior valor está em Barão de Grajaú-MA com 188,7 mm. Valores abaixo de 100 mm ficam restritos as partes mais elevadas do Alto Paranaíba, serra da Canastra e serra do Espinhaço em Minas Gerais, centro-sul de São Paulo e no estado do Paraná. Jaguariaíva-PR continua sendo o local com menor ETP também no mês de outubro com 75,5 mm.

Com a formação das ZCOU/ZCAS por todo o centro da área de estudo, desde o noroeste de Mato Grosso até o sudoeste de Minas Gerais, a nebulosidade aumenta diminuindo a ETP no mês de novembro. Valores acima de 150 mm aparecem somente no entorno do Pantanal mato-grossense e na região setentrional da área nuclear do Cerrado brasileiro. O maior valor está em Mata Roma-MA com 173,3 mm. ETP abaixo de 100 mm só nos topos dos planaltos do centro-sul, como em Serra do Salitre-MG com 88,8 mm.

A chegada do verão aumenta a radiação solar sobre o sul da área de estudo no mês de dezembro. Os valores de ETP acima de 150 mm expandem-se por toda área mais baixa do estado do Mato Grosso do Sul, chegando ao vale do rio Paraná, e continua por todo o vale do rio Parnaíba no Maranhão e no Piauí. Seu máximo acontece em Duque Bacelar-PI (178,1 mm). Os menores valores aparecem somente nas porções mais elevadas do Planalto Central e das serras de Minas Gerais, tendo seu mínimo em Serra do Salitre-MG com 92,5 mm.

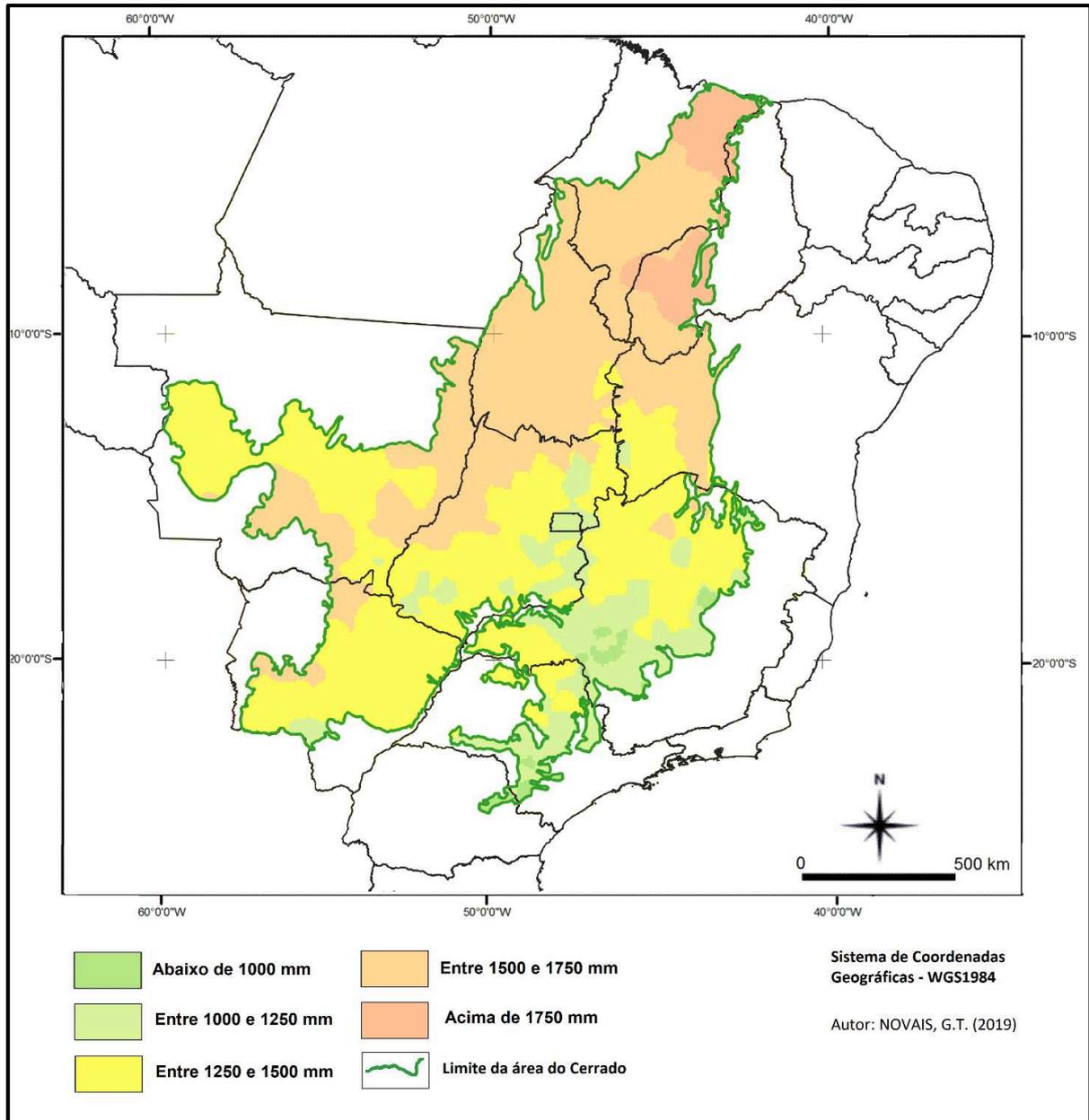
Figura 19: Evapotranspiração Potencial (ETP) durante os meses de setembro, outubro, novembro e dezembro no Bioma Cerrado. Fonte: ANA e CHELSA.



A ETP Média Anual é acima de 1750 mm nos estados do Maranhão e Piauí, por influência da alta temperatura provocada pela radiação solar excessiva próxima a linha do Equador. Os

maiores valores foram registrados em Duque Bacelar-PI e na capital Teresina, com 1923 mm e 1889 mm respectivamente. Entre 1500 e 1750 mm de ETP Média Anual estão as regiões próximas ao Pantanal mato-grossense, vale do rio Araguaia, praticamente todo o estado do Tocantins e vale do rio São Francisco na Bahia. Grande parte do centro-sul da área nuclear do Cerrado brasileiro fica entre 1250 e 1500 mm de ETP Média Anual, excetuando as regiões dos planaltos de Goiás, Minas Gerais, São Paulo e de Ponta Porã-MS, onde os valores ficam entre 1000 e 1250 mm. Os menores valores da área de estudo estão nos pontos mais elevados do Alto Paranaíba, Serra do espinhaço e Serra da Canastra em Minas Gerais e no planalto paranaense com ETP Média Anual inferior a 1000 mm, sendo Tibagi-PR e Jaguariaíva-PR registrando 853 mm e 867 mm respectivamente. Como se sabe, a ETP diminui com a temperatura, sendo assim, os locais mais altos e localizados em latitudes proporcionam ETP menores (**Mapa 14**).

Mapa 14: Evapotranspiração Potencial Anual – Bioma Cerrado.
Fonte: ANA e INMET.



3.1.4. *Variação do balanço hídrico climatológico para o Cerrado*

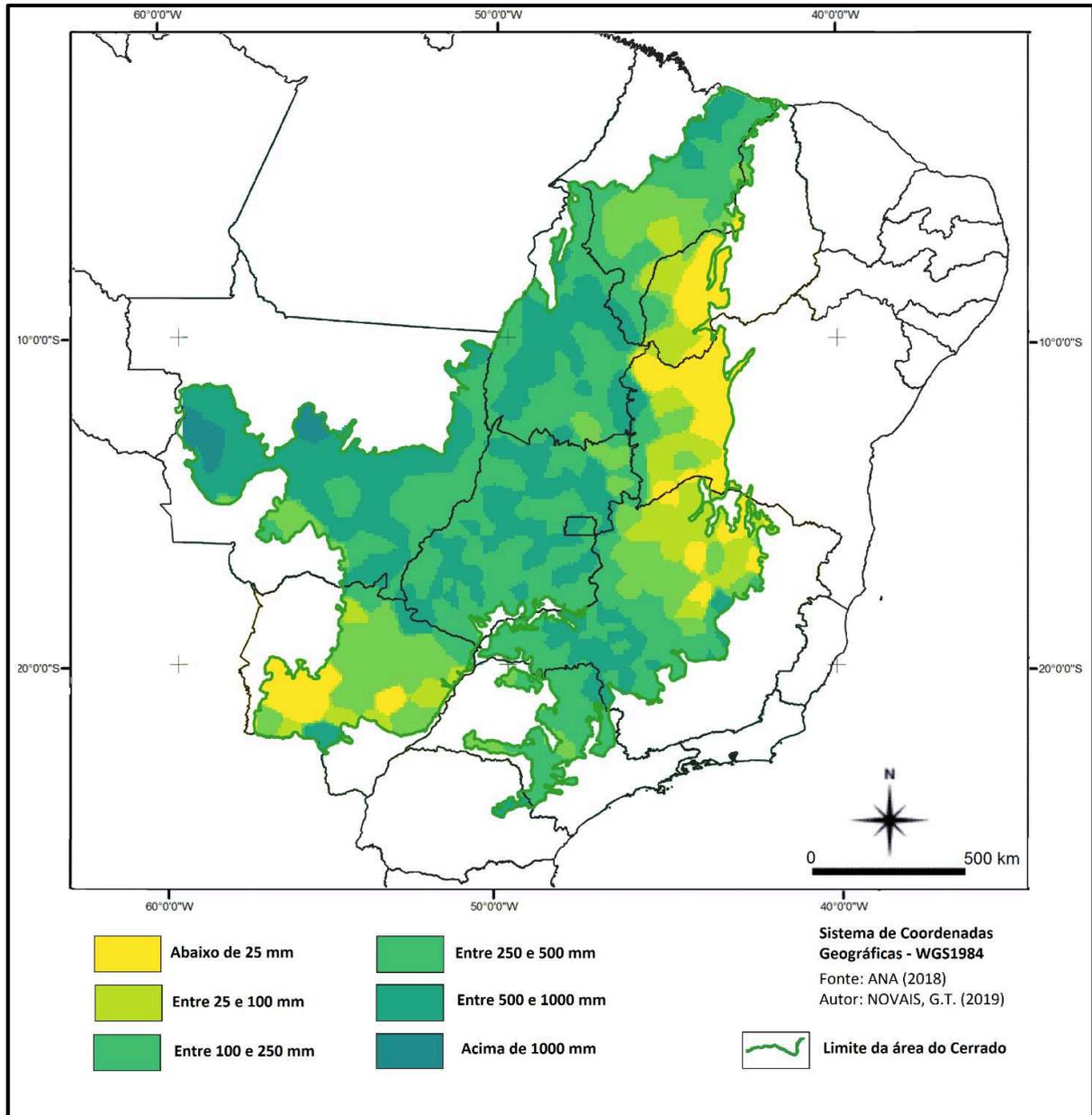
Conhecer a disponibilidade da água no solo para um futuro planejamento é a base para executar o seu uso racional. A quantidade disponível de água numa região pode ser medida pelo balanço hídrico climatológico, que mostra as variações temporais dos excedentes e das deficiências hídricas, relacionando as entradas e saídas de água numa condição de controle, principalmente

a precipitação pluvial e a evapotranspiração potencial (ETP). O balanço hídrico mostrado nesse trabalho leva em consideração somente o excedente e o déficit hídrico.

O excedente hídrico anual é mostrado no **Mapa 15**, que é caracterizado em sua maior parte por valores acima de 250 mm, demonstrando a grande quantidade de água disponível no Cerrado. O bioma é responsável pelas nascentes dos principais rios do Brasil, sendo indiscutível a preservação de suas matas galerias/ciliares.

Os maiores valores estão no limite com a Floresta Amazônica em Teles Pires e Sapezal, no estado de Mato Grosso, com 1101,3 mm e 1072,4 mm respectivamente. Ao contrário o menor excedente hídrico é registrado a leste da área de estudo, ficando abaixo de 25 mm e atingindo zero em várias localidades, desde Cristino Castro-PI, passando por todo o vale são franciscano da Bahia (Santa Rita de Cássia, Cotegipe, Ibotirama e Sítio do Mato) e chegando ao norte de Minas Gerais e vale do Jequitinhonha (Porteirinha, Janaúba, Buenópolis e Araçuaí). No sudoeste de Mato Grosso do Sul também é verificado ausência de excedente hídrico anual em Miranda, Bonito e Jardim.

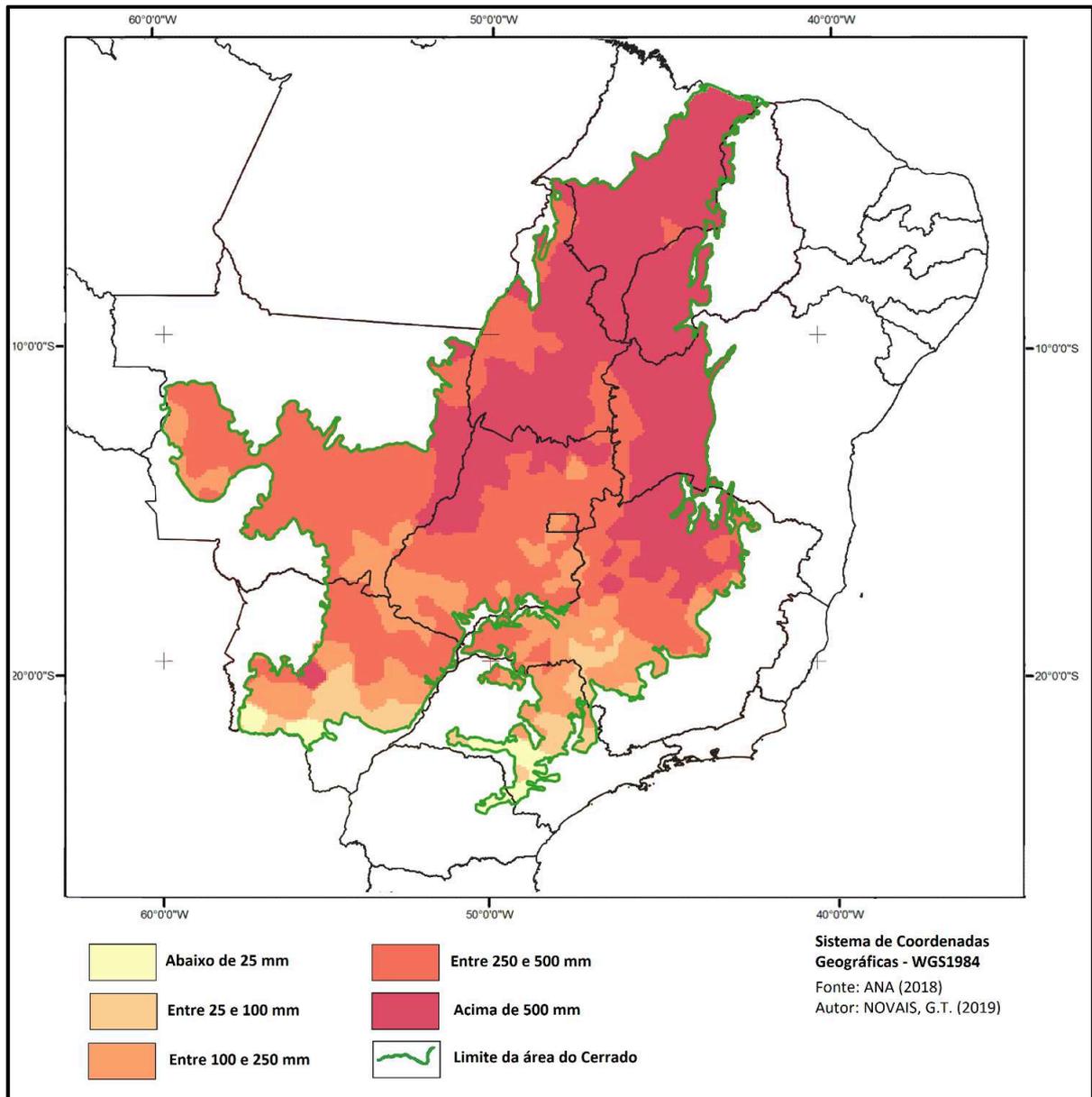
Mapa 15: Excedente Hídrico Anual – Bioma Cerrado.
Fonte: ANA e INMET.



O **Mapa 16** demonstra o déficit hídrico anual, que é grande (acima de 500 mm) no centro-nordeste da área de estudo, devido à grande evapotranspiração potencial ocasionada pelas elevadas temperaturas durante o ano. Os menores valores (abaixo de 100 mm) estão nas regiões mais elevadas do Triângulo Mineiro (Tapira 46,5 mm), grande parte do estado de São Paulo (Assis 15,0 mm; Piracicaba 26,4 mm), sul do Mato Grosso do Sul (Antônio João 0,9 mm; Porto

Murtinho 11,0 mm; Maracaju 34,5 mm), e no planalto do Paraná onde não existe déficit hídrico anual.

Mapa 16: Déficit Hídrico Anual – Bioma Cerrado.
Fonte: ANA e INMET.



3.1.5. Quantidade de meses secos

A duração dos meses secos é atribuída a diferença da precipitação pluviométrica com a evapotranspiração potencial. Se essa diferença for negativa o mês é considerado seco. Esse

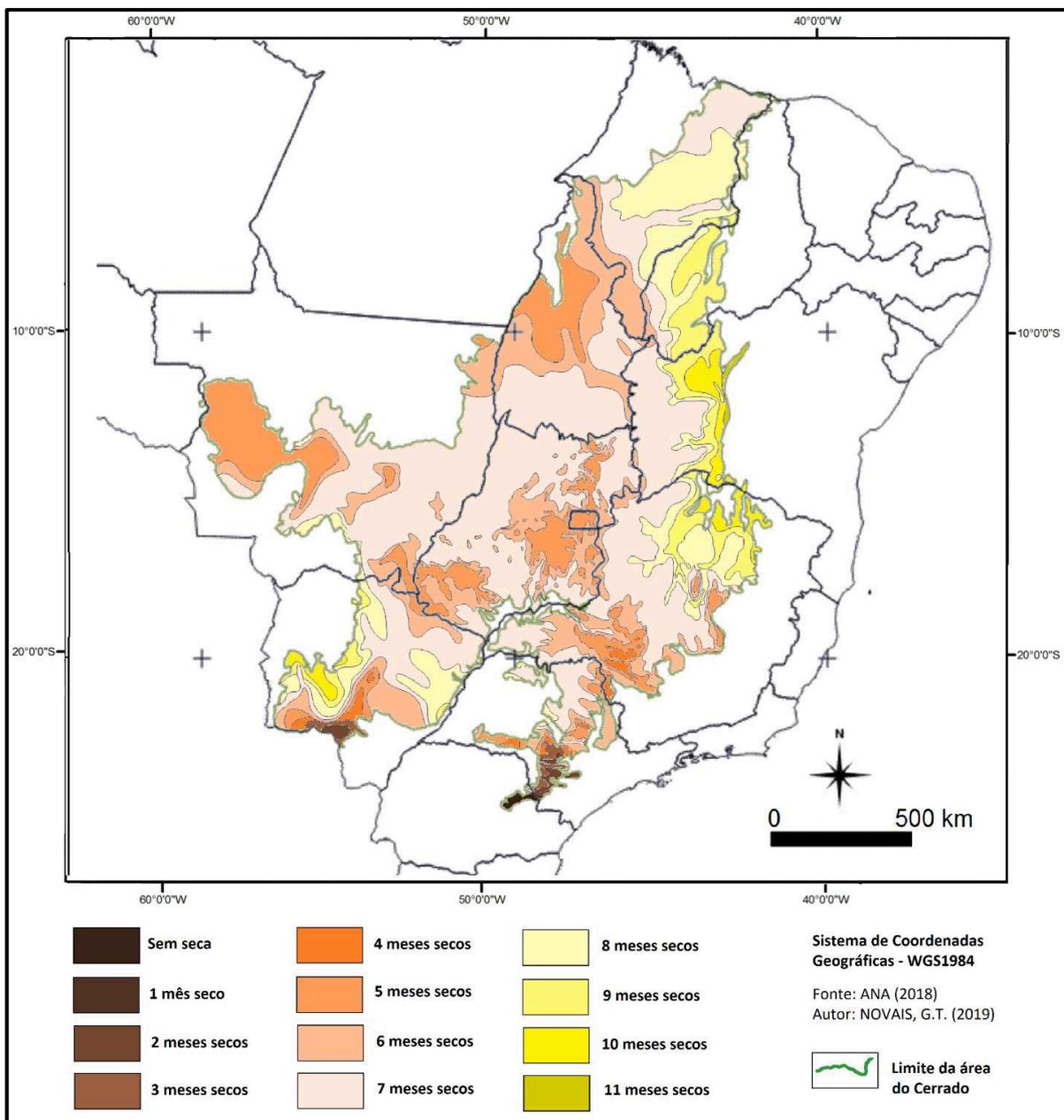
parâmetro é essencial para delimitação dos subdomínios climáticos desse trabalho, ou seja: *subdomínio úmido* (de 0 a 3 meses secos), *subdomínio semiúmido* (de 4 a 5 meses secos), *subdomínio semiseco* (de 6 a 7 meses secos) e *subdomínio seco* (de 8 a 11 meses secos).

Como critério para o mês não se tornar seco, no período mais quente do ano, a precipitação tem de ser em maior quantidade para compensar a evaporação e manter uma precipitação efetiva equivalente.

No **Mapa 17** podemos verificar que a quantidade de meses secos inferiores a quatro aparece exclusivamente na região meridional da área nuclear do Cerrado, próximo ao Trópico de Capricórnio, influenciada principalmente pela latitude e pela temperatura mais amena durante o ano, o que faz a evapotranspiração potencial mensal ficar mais baixa. A maior parte da área de estudo está sob 4 a 7 meses secos, característica principal do bioma, ou seja, um período úmido de verão e outro seco de inverno (na porção setentrional o auge do período seco é na primavera). No limite com a Caatinga e com o Pantanal, estão as regiões mais secas do Cerrado, com quantidade acima de oito, chegando a onze no médio vale do São Francisco na Bahia.

É curioso e até surpreendente observar que a região do Pantanal matogrossense seja tão seca. Não temos registro em nenhum mapa de classificação climática adotado para o território brasileiro essa condição semi-árida no Pantanal, nem Koppen, nem Strahler e nem Nimer mostram isso em seus mapas. Isso acontece por causa da metodologia adotada por ambos. Koppen classifica como Aw, Strahler como Tropical, e Nimer até coloca a região como Megatérmica Quente e Úmida. Isso também foi verificado fora do Cerrado, por exemplo na região dos Lagos Fluminense, onde a quantidade de meses secos ultrapassa oito.

Mapa 17: Quantidade de meses secos (Precipitação < ETP) no Bioma Cerrado.
 Fonte: ANA, INMET e CHELSA.



3.2. Proposta de Unidades Climáticas para o Bioma Cerrado

Dois paralelos cruzam a área de estudo separando as Zonas Climáticas *Tórrida*, *Quente* e *Moderada*; o *Subequador Meridional* em 11°43'30" de latitude sul (limite entre a Zona Climática *Tórrida* e *Quente*) e o *Trópico de Capricórnio* (limite entre a Zona Climática *Quente* e *Moderada*). Esses paralelos são delimitados pela incidência solar ou altura solar (ângulo do

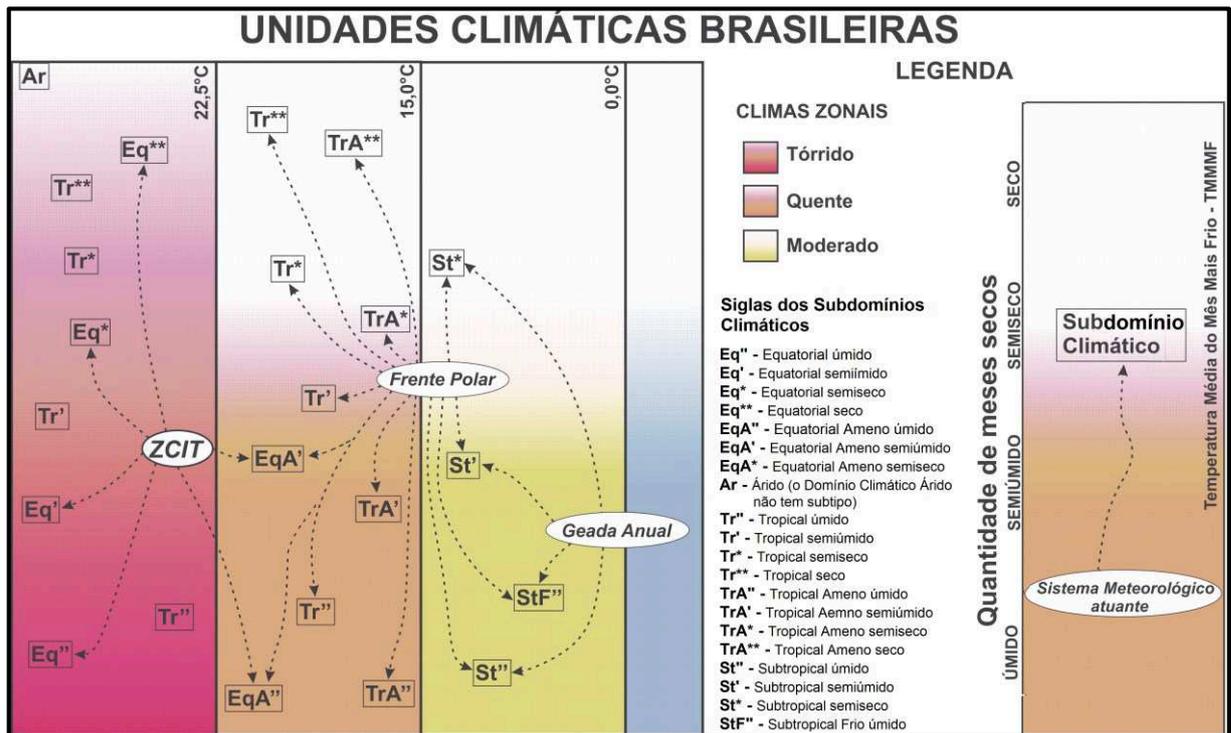
Sol em relação ao zênite local), afetando a quantidade de radiação solar que a superfície recebe **(Mapa 18)**.

Na Zona Climática Tórrida a altura solar durante todo o ano fica próxima do zênite. Já na Zona Climática Quente a incidência é alta na primavera e no verão. Ao sul do Trópico de Capricórnio, ou seja, na Zona Climática Moderada, a incidência solar é alta somente no verão.

As unidades climáticas apresentadas nesse trabalho seguem uma hierarquia que vai desde os *Climas Zonais*, passando pelos *Domínios*, *Subdomínios* e *Tipos Climáticos*.

A **Figura 20**, sintetiza a proposta de Unidades Climáticas para o território brasileiro, mostrando a classificação da primeira hierarquia (Climas Zonais) a terceira hierarquia (Subdomínios Climáticos com nomenclaturas associadas ao Domínio Climático de origem). A ZCIT (sistema meteorológico diferenciador dos domínios Equatorial e Tropical) e o Anticlone Polar (sob a forma de frentes frias e de geadas anuais) aparecem como os principais sistemas meteorológicos atuantes em cada subdomínio climático. O ASAS influencia quase a totalidade das unidades climáticas nas regiões dos Climas Zonais Tórrido e Quente, e dois subdomínios do Clima Zonal Moderado, o Subtropical semiúmido e o Subtropical semiseco.

Figura 20: Unidades climáticas brasileiras, da primeira a terceira hierarquia.



3.2.1. Climas Zonais do Cerrado

A primeira hierarquia na classificação climática é o *Clima Zonal*, sendo três na área de estudo, o *Tórrido*, o *Quente* e *Moderado* (**Mapa 18**).

Nimer (1989) afirma que no território brasileiro há uma necessidade de se reconhecer mais variedades de clima quente, levando-se em conta o maior ou menor grau de temperatura. Sendo assim, os Climas Zonais conseguem realizar essa subdivisão térmica na área nuclear do Cerrado.

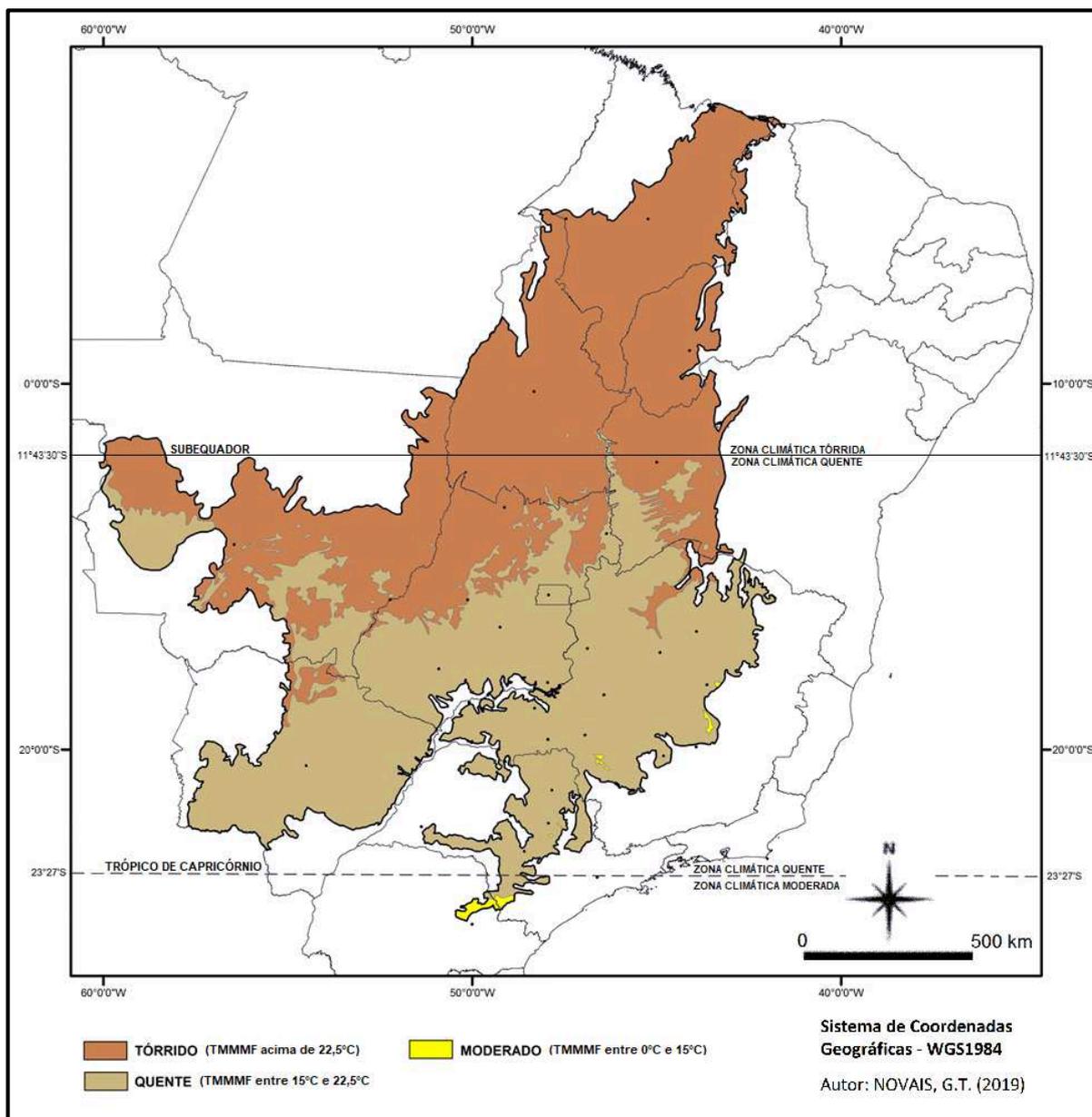
O *Clima Zonal Tórrido* tem origem na *Zona Climática Tórrida* e possui temperatura média no mês mais frio (TMMMF) superior a 22,5°C. Caracterizado por temperaturas elevadas o ano todo sem queda aparente em nenhuma estação. Aparece desde o entorno do Pantanal mato-grossense, passando pelos vales dos rios Araguaia, Tocantins e São Francisco até os estados do Maranhão e Piauí.

Com TMMMF entre 15°C e 22,5°C, o *Clima Zonal Quente* abrange a região centro-sul da área de estudo. As temperaturas são elevadas durante a maior parte do ano, com pequena queda na estação de inverno, sendo mais perceptível na região de transição com o Clima Zonal Moderado.

O *Clima Zonal Moderado* tem TMMMF entre 0° C e 15°C. As geadas são frequentes e anuais, devido à queda brusca de temperatura no inverno, mas a incidência solar ainda é alta no verão, provocando temperaturas elevadas nessa estação do ano. Esse Clima Zonal avança para a região tropical através das regiões serranas, onde o resfriamento adiabático do ar é provocado pelas altas elevações. É o caso da serra da Canastra e do topo da serra do Espinhaço (pico do Itambé) em Minas Gerais.

Com o passar dos anos, novos dados meteorológicos poderão se somar aos antigos, e novos períodos climatológicos surgirão. Portanto, as bordas dos Climas Zonais, ou seja, seus limites arbitrários, irão variar com o tempo.

Mapa 18: Climas Zonais do Bioma Cerrado.

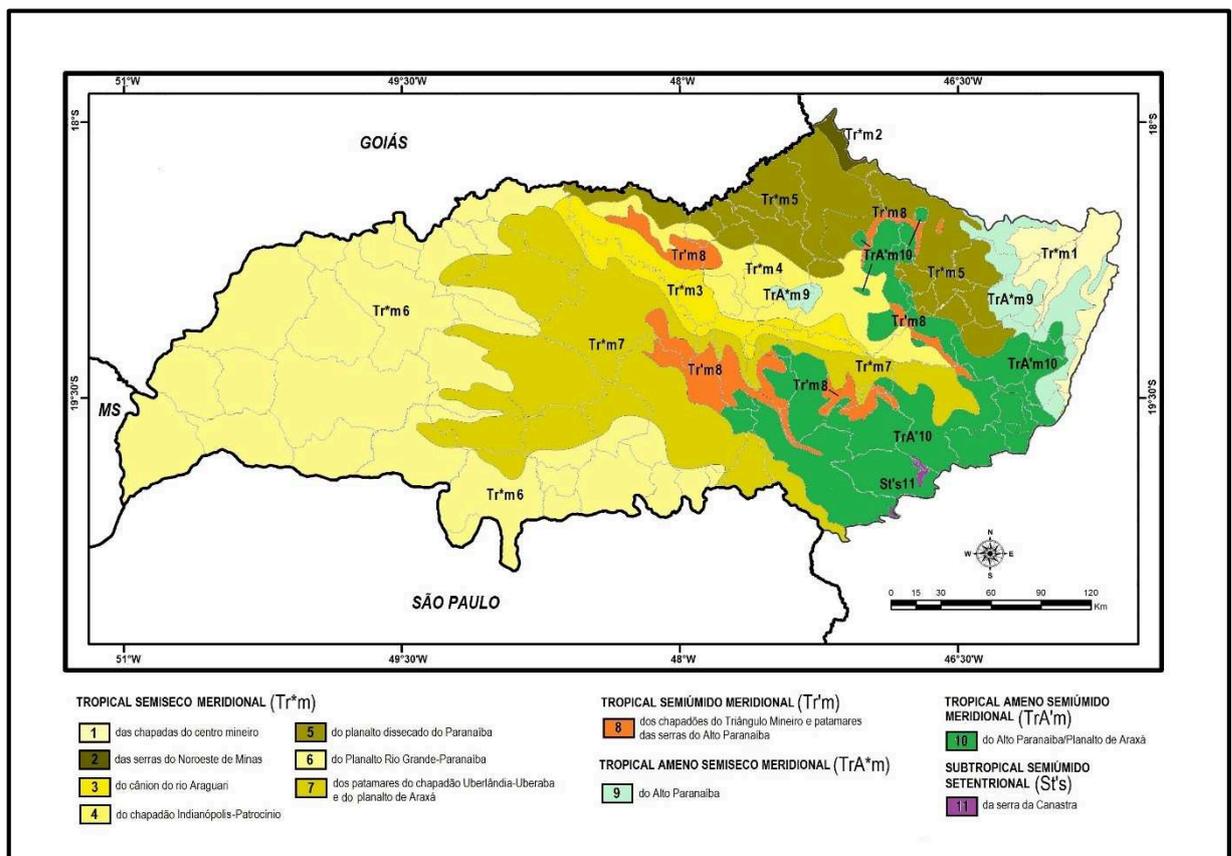


3.2.2. Domínios, subdomínios e tipos climáticos do Cerrado

Como o Bioma Cerrado é muito grande (mais de dois milhões de quilômetros quadrados), não temos a possibilidade de delimitar os *Subtipos* e *Meso/Topoclimas* nesse trabalho, pois o número de unidades climáticas seria superior a quatro dígitos. Dessa forma, a partir da metodologia proposta, sugerimos o desenvolvimento de estudos específicos em nível de bacias hidrográficas intraregionais, sub-bacias e microbacias, por exemplo, para a elaboração de

trabalhos para cada subdomínio, apresentando-os separadamente, como feito por Novais et al (2018), onde os mesmos utilizaram essa classificação climática para determinar os Subtipos Climáticos do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, em Minas Gerais (**Mapa 19**). Portanto, para esse trabalho resolvemos classificar o clima até a quarta hierarquia, ou seja, até os Tipos Climáticos.

Mapa 19: Unidades climáticas do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba-MG. Autor: NOVAIS et al, 2018.



O **Quadro 5** demonstra a proposta de unidades climáticas para o território brasileiro subdividida da segunda a quarta hierarquia (Domínios Climáticos, Subdomínios Climáticos e Tipos Climáticos).

Quadro 5: Unidades climáticas brasileiras.

Domínio Climático	Subdomínio Climático	Tipo Climático
Equatorial	Úmido Semiúmido Semiseco Seco	Amazônico Litorâneo Nordestino
Equatorial Ameno	Úmido Semiúmido Semiseco	Amazônico Nordestino
Tropical	Úmido Semiúmido Semiseco Seco	Central Litorâneo Meridional Nordestino Ocidental Setentrional
Tropical Ameno	Úmido Semiúmido Semiseco Seco	Central Litorâneo Meridional Nordestino
Subtropical	Úmido Semiúmido Semiseco	Litorâneo Meridional Setentrional
Subtropical Frio	Úmido	Meridional Setentrional
Árido	-	Nordestino

No bioma Cerrado, os Domínios Climáticos (segunda hierarquia atrás apenas dos Climas Zonais) são em número de quatro, sendo eles: *Equatorial*, *Tropical*, *Tropical Ameno* e *Subtropical* (**Mapa 20**).

O *Domínio Equatorial* abrange a porção setentrional da área de estudo, e foi delimitado pela influência da ZCIT nas localidades climáticas. A alta precipitação pluviométrica nos meses de

outono é uma das características principais desse domínio climático. Outros autores delimitam a região desse domínio somente na área de floresta Amazônica como é o caso de Strahler (1989) – clima Equatorial Úmido; Koeppen (1948) – clima Am; e Nimer (1972) – Megatérmico Úmido. Bernardes (1951) coloca o norte de Tocantins e centro-norte dos estados do Maranhão e Piauí como parte do clima zonal Tropical da Zona Equatorial, utilizada também pelo atual mapa de climas do IBGE.

Sem a influência da ZCIT e compreendendo a maior parte da área nuclear do Cerrado, o *Domínio Tropical* aparece desde o estado do Tocantins até os estados de Mato Grosso do Sul e São Paulo. Strahler (1989) o classifica como clima Tropical alternadamente seco e úmido; Koeppen (1948) considera essa região como Aw; e Nimer (1972) como Megatérmico Semi-úmido.

O *Domínio Tropical Ameno* localiza-se nas áreas mais elevadas do centro do país, e nos planaltos meridionais da área de estudo, onde a TMMMF fica abaixo de 18°C. Esse Domínio faz a transição térmica do Tropical para o Subtropical, sendo descrito por Strahler como Tropical de Altitude, apesar de algumas áreas não estarem a altitudes elevadas que provocam algum efeito adiabático, como apresentada por Simielli (2013) em seu Geoatlas. Para Koeppen esse domínio climático concorda exatamente com a sua classificação Cwa, onde a temperatura do mês mais frio também é abaixo de 18°C. Para Nimer (1972) o domínio Tropical Ameno faz parte do clima Subquente.

A possibilidade anual de formação de geada e TMMMF abaixo de 15°C são as condicionantes que tornam o *Domínio Subtropical* o mais frio do Cerrado. Ele é restrito ao planalto paranaense, locais mais elevados das serras da Canastra e do Espinhaço em Minas Gerais e nos topos dos reversos de cuesta no centro do estado de São Paulo. Para Strahler (1989) esse clima fica confinado ao sul do Trópico de Capricórnio tendo a denominação de Subtropical Úmido.

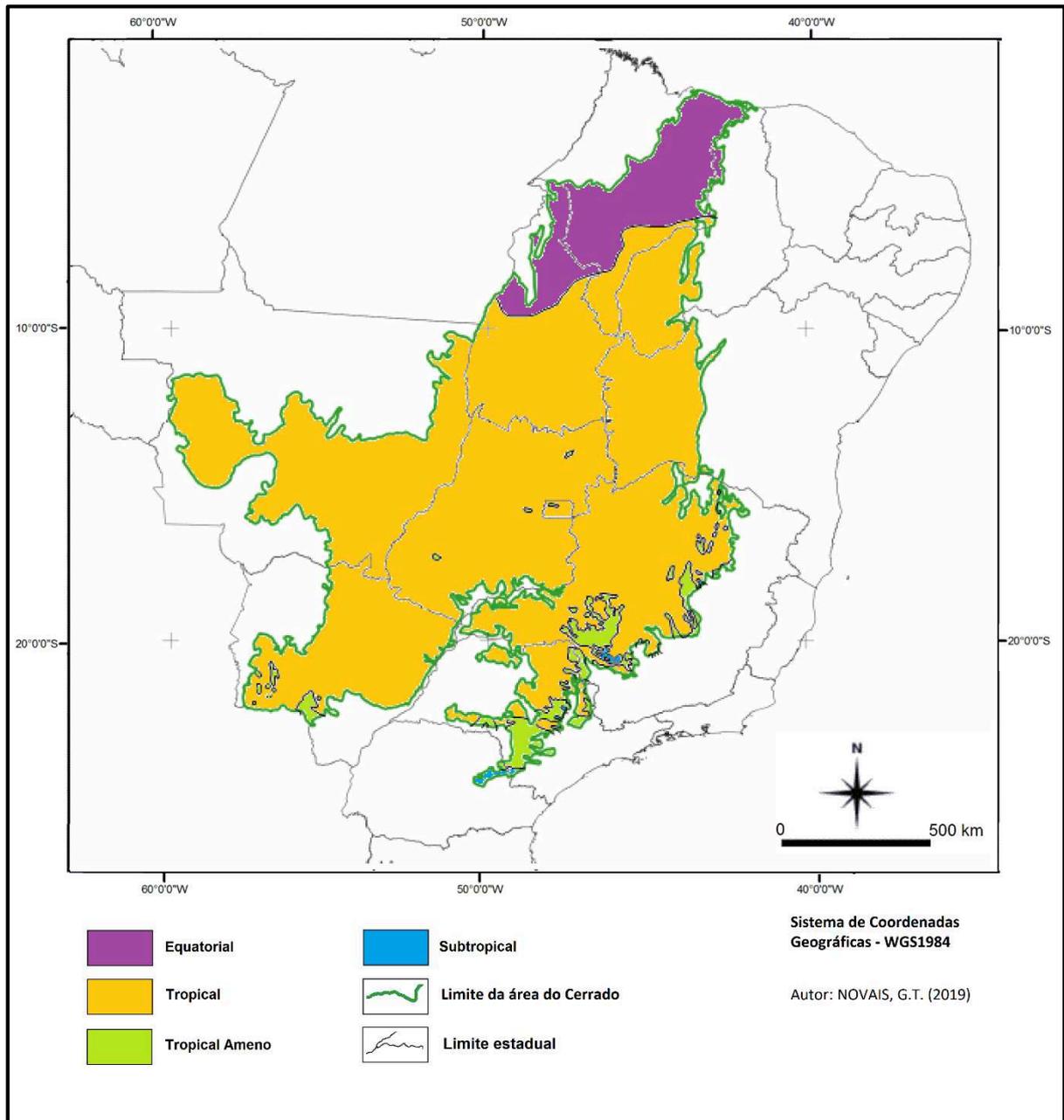
Koppen (1948) já o classifica como Cfa e Cfb, e Nimer (1972) o coloca como Mesotérmico Brando, também não ultrapassando a região do trópico.

No **Quadro 6**, Novais (2017 b) mostra a quantidade anual de valores abaixo de 3,5°C (temperatura do ar propícia para a ocorrência de geada) em estações meteorológicas localizadas no Domínio Subtropical e seu entorno, associando com sua TMMMF abaixo de 15°C.

Quadro 6: Dados das estações meteorológicas do INMET localizadas no Domínio Subtropical e seu entorno. Fonte: NOVAIS (2017 b).

LOCALIDADE-ESTADO	ALTITUDE (m)	LATITUDE (°)	LONGITUDE (°)	TMMMF (°C)	POSSIBILIDADE DE GEADA (dias/ano)	QUANTIDADE DE MESES SECOS (P<ETP)	SUBDOMÍNIO CLIMÁTICO
DIAMANTINA-MG	1296	-18,23	-43,64	16,0	0,1	5	Tropical Ameno semiúmido
CAPARAÓ-MG	843	-20,51	-41,90	16,0	0,6	6	Tropical Ameno semiseco
FRANCA-SP	1026	-20,58	-47,36	18,3	0,3	6	Tropical semiseco
BARBACENA-MG	1126	-21,25	-43,76	15,6	0,7	5	Tropical Ameno semiúmido
POÇOS DE CALDAS-MG	1150	-21,91	-46,38	14,1	14,1	3	Subtropical úmido
SÃO CARLOS-SP	856	-21,96	-47,86	17,1	0,7	5	Tropical Ameno semiúmido
SÃO LOURENÇO-MG	953	-22,10	-45,01	14,9	5,7	4	Subtropical semiúmido
PATY DOS ALFERES-RJ	507	-22,35	-43,41	16,8	0,9	7	Tropical Ameno
PRESIDENTE PRUDENTE-SP	436	-22,11	-51,38	19,7	0,4	7	Tropical semiseco
CAMPOS DO JORDÃO-SP	1642	-22,75	-45,60	10,8	29,2	0	Subtropical úmido
SÃO PAULO-SP	792	-23,50	-46,61	16,8	0,2	1	Tropical Ameno úmido
CAMPO MOURÃO-PR	616	-24,05	-52,36	15,7	4,7	0	Tropical Ameno úmido
CASTRO-PR	1009	-24,78	-50,00	12,4	14,0	0	Subtropical úmido
PARANAGUÁ-PR	5	-25,03	-48,51	17,3	0,0	0	Tropical Ameno úmido
CHAPECÓ-SC	679	-27,11	-52,61	14,5	7,7	0	Subtropical úmido
FLORIANÓPOLIS-SC	2	-27,58	-48,56	16,5	0,1	0	Tropical Ameno úmido
SÃO JOAQUIM-SC	1415	-28,30	-49,93	9,5	34,5	0	Subtropical Frio úmido
SÃO LUIZ GONZAGA-RS	245	-28,40	-55,01	14,7	6,7	0	Subtropical úmido
CAXIAS DO SUL-RS	760	-29,16	-51,20	12,1	11,7	0	Subtropical úmido
TORRES-RS	5	-29,35	-49,73	14,3	1,5	1	Subtropical úmido
SANTA MARIA-RS	95	-29,70	-53,70	13,4	10,4	0	Subtropical úmido
URUGUAIANA-RS	62	-29,75	-57,08	12,8	14,8	1	Subtropical úmido
PORTO ALEGRE-RS	47	-30,05	-51,16	13,9	3,0	4	Subtropical semiúmido
PELOTAS-RS	13	-31,78	-52,41	12,3	11,4	3	Subtropical úmido
SANTA VITÓRIA DO PALMAR-RS	24	-33,51	-53,35	11,1	12,8	3	Subtropical úmido

Mapa 20: Domínios Climáticos do Bioma Cerrado.



Os *Subdomínios Climáticos* fazem parte da terceira hierarquia climática adotada por esse trabalho. Eles são definidos pela quantidade de meses secos, ou seja, a diferença entre a precipitação pluviométrica e a ETP mensal.

Essa metodologia é considerada mais didática e de melhor entendimento, pois se a ETP excede a precipitação, quer dizer que há falta de água na entrada do sistema, tornando o mês seco. Em

outras classificações climáticas, como por exemplo a de Nimer, adotada pelo IBGE, para ser considerado mês seco, a precipitação pluviométrica não deve ser menor do que o dobro da média da temperatura do mês. Essa fórmula nos causa uma dúvida, pois a temperatura não se relaciona com a precipitação, sendo dois elementos climáticos distintos.

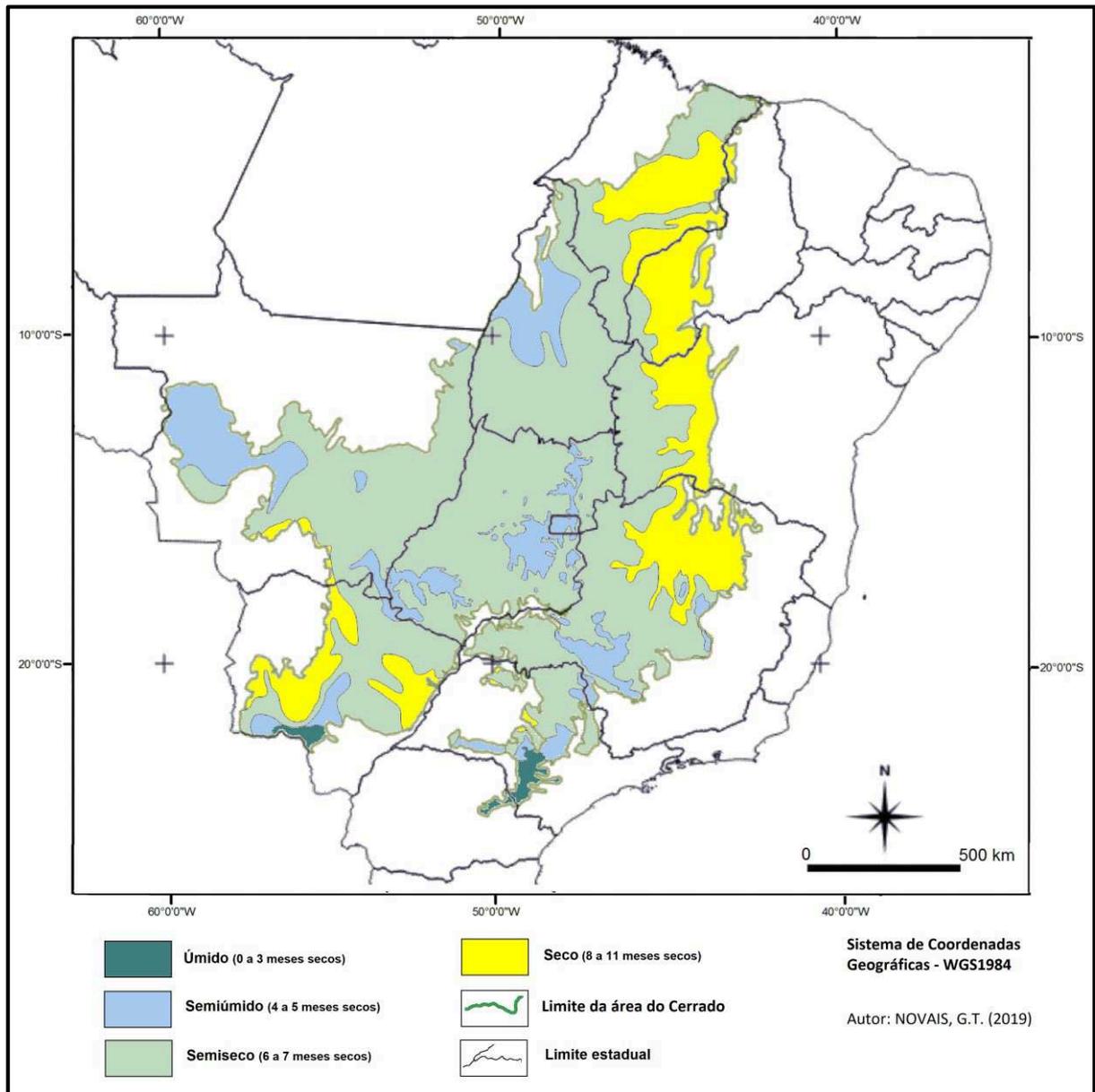
No **Mapa 21**, o Subdomínio *Úmido* (de zero a três meses secos) aparece no extremo sul da área de estudo, nos planaltos paranaense e de Ponta Porã-MS. Nesses locais, a ETP é menor por causa da baixa temperatura média provocada pela posição latitudinal de entrada das frentes polares e também pela altitude dos planaltos, com isso, o valor da precipitação excede o da ETP tornando o mês sem seca.

O Subdomínio *Semiúmido* (com quatro a cinco meses secos) localiza-se nas porções mais elevadas dos planaltos do centro-sul da área nuclear do Cerrado, e também no contato com as regiões mais úmidas da floresta Amazônica (Mato Grosso e Tocantins).

A área de atuação do Subdomínio *Semiseco* (com seis a sete meses secos) é a maior do Cerrado, caracterizada por uma sazonalidade típica do bioma, uma estação chuvosa e outra seca (onde a precipitação não excede a ETP).

Quando a quantidade de meses secos fica entre oito e onze, o subdomínio é o *Seco*. Nesses locais a ETP é maior que a precipitação em grande parte do ano, ocorrendo principalmente na área de transição entre o Cerrado e a Caatinga, mas também no entorno do Pantanal mato-grossense e vale do rio Paraná (MS/SP).

Mapa 21: Subdomínios Climáticos do Bioma Cerrado.



A quarta hierarquia dessa classificação climática é constituída pelos *Tipos Climáticos* (**Mapa 22**). São unidades que demonstram a localização dos *Domínios e Subdomínios Climáticos* dentro território brasileiro.

Essa metodologia de delimitação dessa unidade climática melhora a diferenciação de climas de mesma nomenclatura localizados em diferentes porções do território, como por exemplo: um *Subdomínio Climático* localizado no litoral brasileiro tem características diferentes devido a

influência do oceano, dos sistemas meteorológicos, de correntes marítimas, e do relevo que atuam nesse local, se comparado ao mesmo Subdomínio localizado no interior do país.

Na área de estudo, o *Tipo Litorâneo* aparece na planície litorânea dos estados do Maranhão e Piauí, estendendo-se pelo interior até os patamares setentrionais da serra das Alpercatas, onde a altitude ultrapassa os 150 metros.

A área de transição entre o Cerrado e a floresta Amazônica, no norte do estado do Tocantins e oeste do Maranhão, é denominada de *Tipo Climático Amazônico*; caracterizando-se pela atuação máxima da ZCIT no interior da área de estudo, fazendo o limite entre os *domínios Equatorial e Tropical*.

O *Tipo Setentrional* é marcado pela alta pluviosidade média da porção norte do *Domínio Tropical*, tendo seus limites a nordeste pela Floresta Amazônica e a leste no *Subdomínio Semiseco*. As escarpas da chapada das Mangabeiras (MA/TO/PI) e do Espigão Mestre (na Bahia) delimitam a porção sudeste desse tipo climático. O *Tipo Climático Setentrional* também se aplica ao *Domínio Subtropical*, abrangendo áreas localizadas ao norte do Trópico de Capricórnio, como nas Serras da Canastra e do Espinhaço em Minas Gerais, e nos locais mais elevados do Planalto Ocidental Paulista.

O *Tipo Climático Nordestino* estende-se desde o Maranhão até o centro-norte do estado de Minas Gerais, tendo como característica principal a transição entre o Cerrado e a Caatinga. Abrange todo o *Subdomínio Seco* que aparece na porção oriental da área de estudo, delimitando com o *Tipo Central* nas cabeceiras dos principais afluentes do rio São Francisco nos estados da Bahia e Minas Gerais.

A região do *Tipo Climático Central* é marcada pela sazonalidade típica do Cerrado proporcionada pelo domínio *Tropical* e seus principais *Subdomínios*, o *Semiúmido* e o *Semiseco*. Engloba todo o Planalto Central, vale do rio Araguaia (Goiás e Mato Grosso) e sul

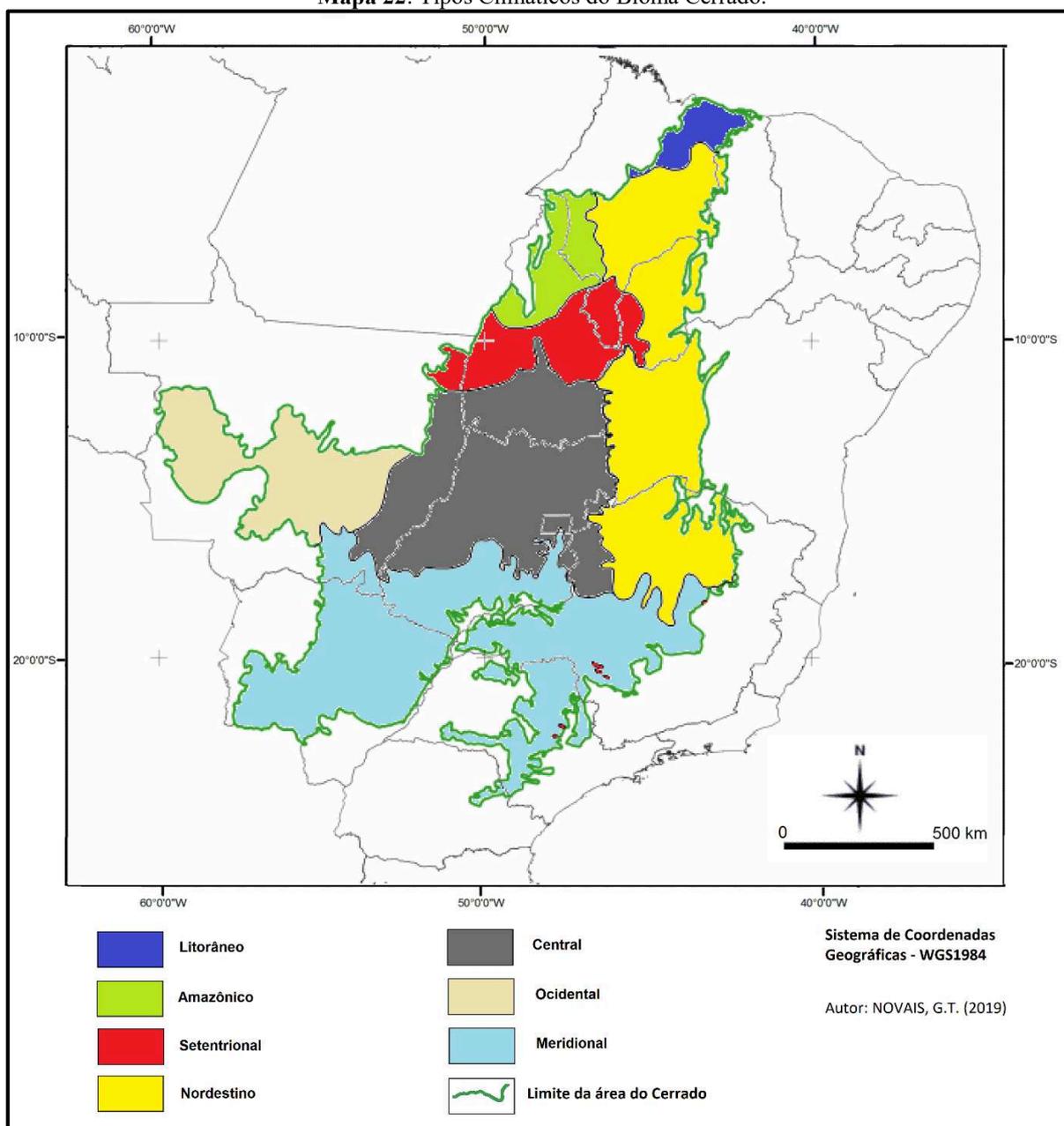
do Tocantins. Ao sul, o limite com o *Tipo Meridional* se faz nos locais onde há possibilidade de formação de geada no período climatológico (30 anos).

O *Tipo Climático Ocidental* localiza-se no estado do Mato Grosso, porção mais oeste da área de estudo. Os *subdomínios* que aparecem nessa unidade climática são o *semiúmido* (alcançando a floresta Amazônica no extremo oeste), *Semiseco* na maior parte e *seco* no contato com o Pantanal. Também faz limite com o *Tipo Central* a leste da serra do Roncador, e com o *Tipo Meridional* a sul da serra de São Vicente, no planalto dos Alcantilados.

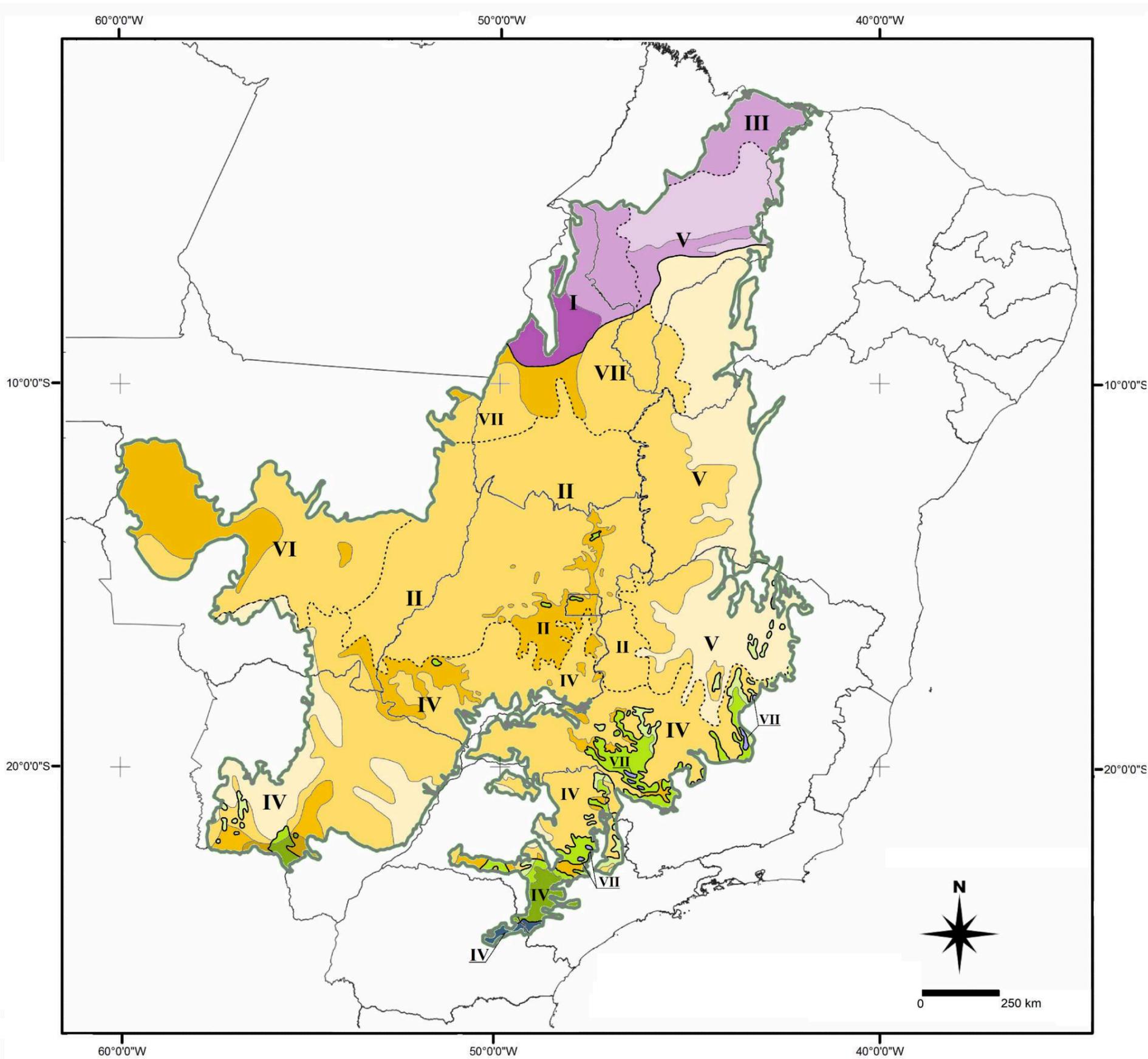
Área de predominância do anticiclone polar na estação do inverno, e com possibilidade de formação de geada em pelo menos um dia no período climatológico (30 anos de observações), são as características principais para a delimitação do *Tipo Climático Meridional*. Essa unidade climática aparece desde o sul dos estados do Mato Grosso e Goiás, passando pelo centro de Minas Gerais e se estende até o Paraná.

Os *Tipos Climáticos* identificados no Bioma Cerrado podem ser prolongados para todo o território brasileiro, observando as características de cada local para delimitação de seus limites. O *Tipo Amazônico* também engloba as regiões da floresta equatorial de outros países, como a Colômbia e o Peru por exemplo. Outros tipos climáticos poderão ser criados no continente sul-americano, não se restringindo somente ao território brasileiro.

Mapa 22: Tipos Climáticos do Bioma Cerrado.



A sobreposição dos *Domínios*, *Subdomínios* e *Tipos Climáticos* formam as unidades climáticas da área de estudo, apresentada no **Mapa 23**. Os *Domínios* aparecem nas cores lilás (*Equatorial*), laranja (*Tropical*), verde (*Tropical Ameno*) e azul (*Subtropical*). Os tons dessas mesmas cores demonstram o *Subdomínio Climático*, indo do mais escuro (*Úmido*) ao mais claro (*Seco*). As áreas tracejadas, com a identificação em numerais romanos, mostram em qual *Tipo Climático* os *Domínios* e *Subdomínios* estão localizados.



Domínio Climático	EQUATORIAL	TROPICAL	TROPICAL AMENO	SUBTROPICAL	Tipos Climáticos
Subdomínio Climático	<ul style="list-style-type: none"> semiúmido semiseco seco 	<ul style="list-style-type: none"> úmido semiúmido semiseco seco 	<ul style="list-style-type: none"> úmido semiúmido semiseco 	<ul style="list-style-type: none"> úmido semiúmido 	
LIMITES <ul style="list-style-type: none"> Domínio climático Subdomínio climático Tipo climático Cerrado 					

Sistemas de Coordenadas Geográficas - WGS1984

Autor: NOVAIS, G.T. (2019)

Mapa 23: Unidades climáticas da área nuclear do Cerrado brasileiro.

Todas as unidades climáticas do Bioma Cerrado serão apresentadas a seguir. Os *Domínios climáticos* são divididos em *Subdomínios* e *Tipos climáticos*, apresentados em quadros com seus parâmetros principais, tais como a temperatura do mês mais frio (TMMMF), principais sistemas meteorológicos e quantidade de meses secos. Imagens da paisagem, com influência de cada *Subdomínio Climático*, também são mostradas para uma melhor visualização do ambiente. As unidades climáticas descritas em cada *Domínio* fazem parte da interação de todas as hierarquias apresentadas nesse trabalho, com nomenclatura indo até o *Tipo Climático*. Para auxílio em futuras delimitações climáticas na quinta categoria e uma melhor compreensão da metodologia, são feitas sugestões de *Subtipos*, pois para a área de estudo seria inviável a distribuição espacial dessas unidades, ultrapassando a quantidade de quatro dígitos, não podendo ser descritos em um trabalho somente.

3.2.3. *Domínio Equatorial*

Domínio climático afetado pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que ocasiona chuvas convectivas. No verão e no outono a ZCIT avança até o norte do Tocantins e interior do Mato Grosso, com máximo de penetração no continente sul-americano no outono.

O Domínio Climático Equatorial proposto para esse trabalho abrange desde a Floresta Amazônica até o Nordeste Setentrional – nesse ponto coincidindo com o clima tropical da zona equatorial de Bernardes (1951), aplicado pelo IBGE em sua classificação climática.

Pertence ao Clima Zonal Tórrido, com temperatura média do mês mais frio (TMMMF) acima de 22,5°C. A ZCIT atua durante uma parte do ano. Dentro do Bioma Cerrado, no contato com a Floresta Amazônica, a média da precipitação pluviométrica anual fica em torno de 2000 mm; já no interior do estado do Piauí a média cai para 1000 mm. É dividido em três subdomínios no Cerrado: *semiúmido* (de quatro a cinco meses secos), *semiseco* (de seis a sete meses secos), e *seco* (de oito a onze meses secos) (**Imagens 1, 2 e 3**).

Imagem 1: Subdomínio Equatorial semiúmido (08°15'48"S, 49°15'26"W – 148m).
Praia no Rio Araguaia em Conceição do Araguaia (PA).
Fonte: Cunha, W.A. (2019) – disponível em: www.earth.google.com

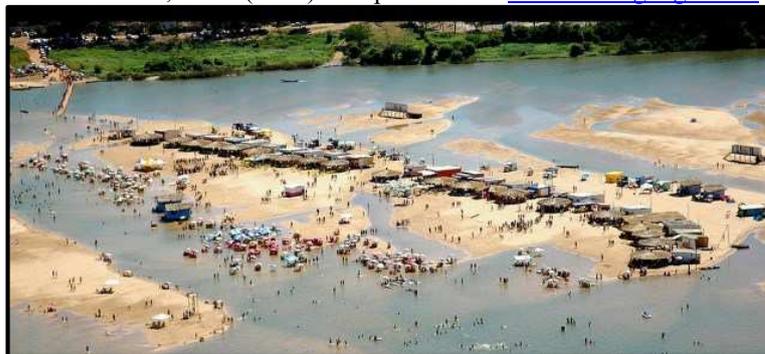


Imagem 2: Subdomínio Equatorial semiseco (02°42'04"S, 42°50'47"W – 18 m).
Vegetação de Cerrado em Barreirinhas (MA).
Fonte: Novais, G.T. (fev-2013).



Imagem 3: Subdomínio Equatorial seco (06°17'14"S, 45°27'53"W – 482 m).
Vista da Serra das Alpercatas em Mirador (MA).
Fonte: Silva, D. (2019) – disponível em: www.earth.google.com



Esses subdomínios estão localizados em três tipos climáticos: *amazônico*, *litorâneo* e *nordestino*. Algumas sugestões de subtipos climáticos dentro da área de estudo: *Equatorial semiúmido amazônico do baixo vale do rio Araguaia*; *Equatorial semiseco litorâneo dos Lençóis Maranhenses*.

O **Quadro 7** mostra as características do Domínio Climático Equatorial e suas subdivisões, dentro da área nuclear do Cerrado.

As unidades climáticas pertencentes ao Domínio Equatorial, dentro do Bioma Cerrado, serão apresentadas a seguir, com nomenclatura indo até tipo climático.

- Equatorial semiúmido amazônico

Esta unidade abrange as áreas localizadas no limite com a floresta amazônica, ao norte do estado de Tocantins. Com altimetrias variando de 170 a 540 metros na área de estudo.

De Clima Zonal Tórrido, tem influência da ZCIT no mês de março. Seu subdomínio é o semiúmido, com cinco meses secos (maio a setembro). O tipo climático é o amazônico, com raras incursões de frentes frias (uma a duas por ano) e sem possibilidade de formação de geadas.

A TMMMF (janeiro) varia de 24,5° a 26°C. O total pluviométrico anual fica entre 1700 e 2100 mm (o maior valor dentro todas as unidades climáticas da área de estudo), sendo os meses mais chuvosos março, janeiro e fevereiro. Grande excedente hídrico anual, variando de 500 a 900 mm. Déficit hídrico entre 300 e 600 mm.

Quadro 7: Características do Domínio Climático Equatorial, e suas subdivisões, no Cerrado.

Subdomínio Climático	Tipos Climáticos	TMMMF (°C)	Principais Sistemas Meteorológicos que afetam o tempo durante o ano	Quantidade de meses secos (Precipitação < ETP)
Equatorial semiúmido	amazônico	Entre 24,5 e 26	ZCIT (fev-mai), média de uma a duas frentes frias por ano	cinco
Equatorial semiseco	amazônico,	Entre 24,5 e 26	ZCIT (fev-mai), média de uma frente fria por ano	seis a sete
	litorâneo	Entre 25 e 27	ZCIT (fev-mai), sem passagem de frentes frias	sete
	nordestino	Entre 24,5 e 26	ZCIT (fev-mai), média de uma a 3 frentes frias por ano	sete
Equatorial seco	nordestino	Entre 24,5 e 26,5	ZCIT (fev-mai), sem passagem de frentes frias	oito

- Equatorial semiseco amazônico

Unidade climática do centro-oeste maranhense e extremo nordeste tocantinense, também no limite com floresta amazônica que se localiza a noroeste. O último trecho do rio Tocantins, antes de entrar na floresta amazônica, situa-se nessa unidade climática. A altimetria varia de 100 a 650 metros dentro da área de estudo.

De Clima Zonal Tórrido, tem influência da ZCIT no mês de março. Seu subdomínio é o semiseco, de seis a sete meses secos (maio a outubro-novembro). O tipo climático é o amazônico, com raras incursões de frentes frias (uma por ano) e sem possibilidade de formação de geadas.

A TMMMF (fevereiro) varia de 24,5° a 26°C. A precipitação pluviométrica anual fica entre 1100 e 1900 mm, com os meses de março, fevereiro e janeiro sendo os mais chuvosos respectivamente. Grande déficit hídrico (acima de 600 mm), e excedente hídrico entre 100 e 600 mm.

- Equatorial semiseco litorâneo

A influência oceânica é a principal característica dessa unidade climática, que se localiza numa região de planície no nordeste do estado do Maranhão e baixo vale do Parnaíba piauiense. Os Lençóis Maranhenses e o delta do Parnaíba ficam nessa unidade climática, que abrange também grande parte da Mata dos Cocais (vegetação de palmeiras, com babaçus e carnaúbas). A variação altimétrica vai de zero (nível do mar) a 150 metros dentro da área do Cerrado.

O Clima Zonal é o Tórrido, com influência direta da ZCIT nos meses de março e abril. Seu subdomínio é o semiseco, com sete meses secos (junho a dezembro). O tipo climático é o litorâneo, sem passagens de frentes frias e sem possibilidade de formação de geadas.

A TMMMF (março) varia de 25° a 27°C (o maior valor dentre todas as unidades climáticas da área de estudo). A precipitação pluviométrica anual fica entre 1300 e 2000 mm, sendo os meses mais chuvosos março, abril e fevereiro. Grande déficit hídrico anual entre 500 e 850 mm. Excedente hídrico anual acima de 400 mm, podendo chegar a 800 mm próximo do litoral.

- Equatorial semiseco nordestino

O Cerrado, nessa unidade climática, faz a transição entre a Floresta Amazônica a noroeste, com a Caatinga, já na margem direita do rio Parnaíba. Abrange toda a região serrana do Itapecuru e das Alpercatas (MA), ao sul do subdomínio mais seco da área de estudo, o *Equatorial seco*, e ao norte do subdomínio climático *Tropical seco*. É o limite meridional de atuação da ZCIT nos estados do Maranhão e Piauí. A altimetria varia de 100 a 650 metros na área de estudo.

De Clima Zonal Tórrido, tem influência da ZCIT nos meses de março e abril. Seu subdomínio é o semiseco, com sete meses secos (maio a novembro). O tipo climático é o nordestino, com raras incursões de frentes frias (uma a três por ano) e sem possibilidade de formação de geadas.

A TMMMF (março) varia de 24,5° a 26°C. A precipitação pluviométrica anual fica entre 1100 e 1450 mm, sendo os meses de março, janeiro e fevereiro os mais chuvosos. Déficit hídrico anual de 400 a 600 mm, e excedente hídrico anual entre 100 e 400 mm.

- Equatorial seco nordestino

Unidade climática equatorial mais seca da área de estudo. Abrange todo o centro-leste Maranhense, e ultrapassa o rio Parnaíba até a capital Teresina (PI). A Mata dos Cocais faz o limite do Cerrado com a Caatinga nessa região. A altimetria varia de 60 a 650 metros dentro na área de estudo.

De Clima Zonal Tórrido, tem grande influência da ZCIT nos meses de março e abril. Seu subdomínio é o seco, com oito meses secos (maio a dezembro). O tipo climático é o nordestino, sem passagens de frentes frias e sem possibilidade de formação de geadas.

A TMMMF (março) varia de 24,5° a 26,5°C. A precipitação pluviométrica anual fica entre 950 e 1350 mm, sendo os meses de março, janeiro e fevereiro os mais chuvosos. Grande déficit hídrico anual entre 600 e 900 mm, e excedente hídrico anual entre 150 e 300 mm.

3.2.4. *Domínio Tropical*

Adaptado tanto ao *Clima Zonal Tórrido* quanto ao *Clima Zonal Quente*, a área de atuação do *Domínio Climático Tropical* abrange todo o centro do Brasil, desde o sul do Maranhão, até o interior paulista. Não tem a presença da ZCIT, típica dos *Domínios Equatoriais*, em nenhum mês do ano. Os Sistemas Meteorológicos que mais atuam são as Zonas de Convergência de Umidade (ZCOUs), juntamente com a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), e o Anticiclone Polar Sul (APS). Seu mês mais frio possui temperatura média acima de 18°C.

A variação das temperaturas no *Domínio Climático Tropical* é determinada principalmente pela posição geográfica e pelo relevo, variando desde regiões com baixa altitude, que registram temperaturas elevadas, até regiões altas, como as serras e chapadas dos estados de Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul, que registram temperaturas mais baixas.

A formação e a intensificação de frentes frias são mais presentes na porção sul e sudeste dessa grande área, onde respondem por quedas expressivas de temperatura.

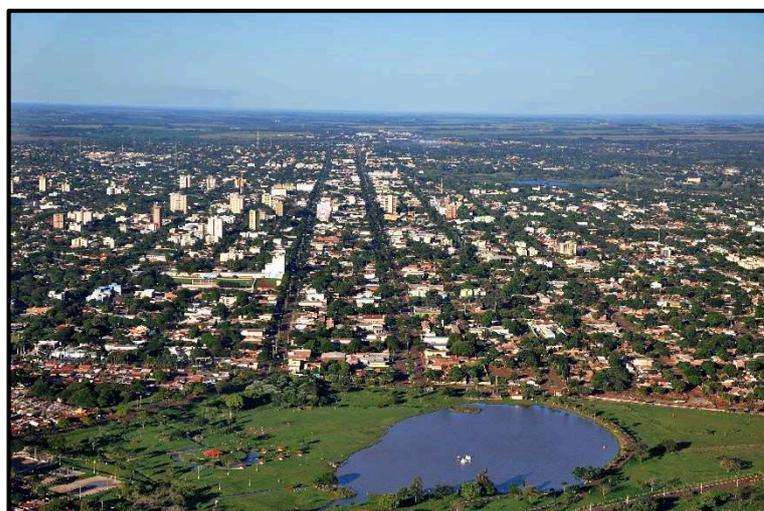
A penetração do Anticiclone Polar Sul (APS) possui uma variabilidade bem distinta conforme se trata do verão ou do inverno. Para Nimer (1989), durante o verão, o aprofundamento e expansão do centro de baixa do interior do continente (depressão do Chaco), dificulta ou impede a invasão do anticiclone polar (provocador de chuvas frontais) ao norte do planalto Central. No

inverno, e em grande parte do outono e da primavera, o ASAS invade com frequência a região do *Domínio Climático Tropical*, provocando a estabilidade do tempo. As passagens do APS, também deixam o céu limpo, pouca umidade específica e forte declínio da temperatura com resfriamento radiativo, durante geralmente dois dias.

O regime de precipitação dos *subdomínios climáticos Tropical semiúmido e Tropical semiseco*, na área central brasileira, possui a mais explícita característica do Bioma do Cerrado, uma variação sazonal com duas estações bem definidas: uma seca de inverno, em sua grande parte; e outra chuvosa no verão.

O *Domínio Climático Tropical* é dividido em quatro *subdomínios* dentro do Cerrado: *úmido* (três meses secos), *semiúmido* (de quatro a cinco meses secos), *semiseco* (de seis a sete meses secos), e *seco* (de oito a onze meses secos) (**Imagens 4, 5, 6 e 7**).

Imagem 4: Subdomínio Tropical úmido (22°13'55"S, 54°47'33"W – 411m).
Vista da cidade de Dourados (MS).
Fonte: www.dourados.ms.gov.br (2019).



***OBS.:** A cidade de Dourados não se localiza no Bioma Cerrado, e sim, na sua borda sul.

Imagem 5: Subdomínio Tropical semiúmido ($15^{\circ}46'49''\text{S}$, $48^{\circ}50'39''\text{W}$ – 1190 m).
Planalto Central em Pirenópolis (GO).
Fonte: Novais, G.T. (2017).

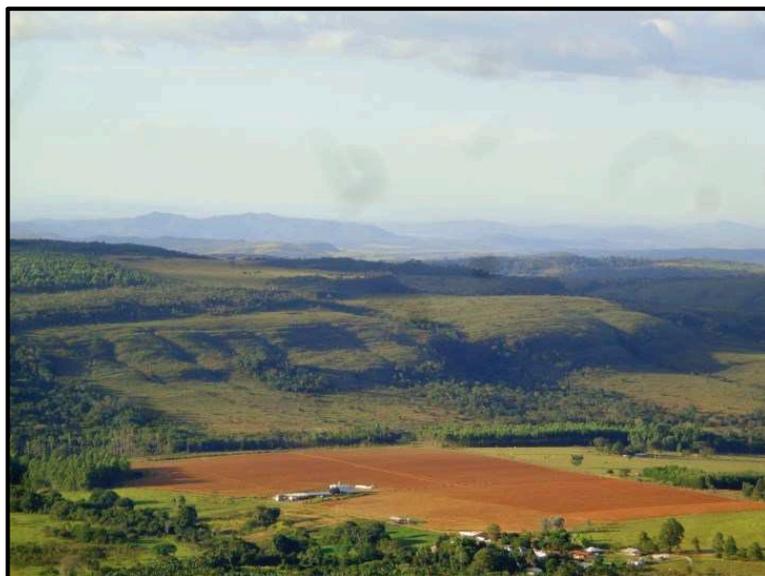
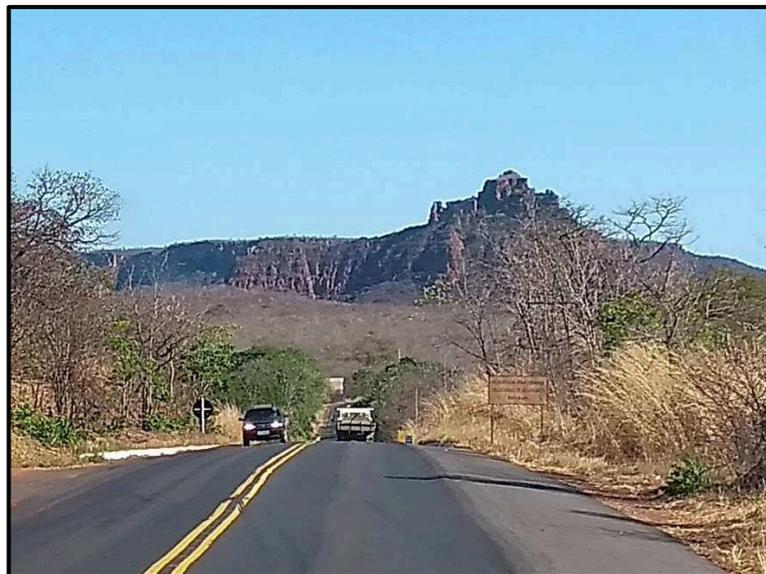


Imagem 6: Subdomínio Tropical semiseco ($19^{\circ}27'24''\text{S}$, $49^{\circ}13'30''\text{W}$ – 671 m).
Vista da Serra da Boa Vista, Prata (MG). Fonte: Novais, G.T. (2008).



Imagem 7: Subdomínio Tropical seco (10°29'21''S, 45°11'14''W – 482m).
Aspecto da paisagem em Corrente (PI). Fonte: Novais, G.T. (2018).



Esses *subdomínios* estão localizados em cinco *tipos climáticos*: *central*, *meridional*, *nordestino*, *ocidental* e *setentrional*. Novais et al (2018) já utilizaram essa metodologia e delimitaram *subtipos climáticos* dentro da área de estudo, como é o caso do *Tropical semiseco meridional do Planalto Rio Grande-Paranaíba*, e do *Tropical semiúmido meridional dos chapadões do Triângulo Mineiro e do entorno das serras do Alto Paranaíba*. Outras sugestões de subtipos climáticos para a área de estudo: *Tropical semiseco central do Vão do Paranã*; *Tropical seco nordestino do oeste baiano*.

O **Quadro 8** apresenta as características do Domínio Climático Tropical e suas subdivisões, dentro da área nuclear do Cerrado.

As unidades climáticas pertencentes ao Domínio Tropical, dentro do Bioma Cerrado, serão apresentadas a seguir, com nomenclatura indo até tipo climático.

- Tropical úmido meridional

A área dessa unidade climática é restrita a porção do entorno do domínio climático *Tropical Ameno*, no sul do Mato Grosso do Sul, fronteira com o Paraguai. O tipo meridional é caracterizado pela possibilidade de formação de pelo menos um episódio de geada durante o período climatológico de 30 anos. A altimetria varia de 150 a 500 metros na área de estudo.

De Clima Zonal Quente, tem influência da ASAS no período seco e esporadicamente da ZCAS e ZCOU nos meses mais úmidos (de outubro a março). Seu subdomínio é o úmido com três meses secos (junho a agosto). O tipo climático é o meridional, com incursões de frentes frias periódicas (vinte e cinco a trinta por ano) e formação frequente de geadas (vinte e cinco a cada 30 anos).

A TMMMF (julho) varia de 18° a 18,5°C. A precipitação pluviométrica anual fica entre 1450 e 1750 mm, sendo os meses de dezembro, novembro e janeiro os mais chuvosos. Praticamente não existe déficit hídrico anual (valores abaixo de 10 mm), e o excedente hídrico anual fica entre 400 e 600 mm.

Quadro 8: Características do Domínio Climático Tropical, e suas subdivisões, no Cerrado.

Subdomínio Climático	Tipos Climáticos	TMMMF (°C)	Principais Sistemas Meteorológicos que afetam o tempo durante o ano	Quantidade de meses secos (Precipitação < ETP)
Tropical úmido	meridional	Entre 18 e 18,5 - julho	ASAS (jun-set); ZCAS/ZCOUs (primavera-verão); média de 25 a 30 frentes frias por ano; possibilidade de formação de 25 geadas no período de 30 anos	três
Tropical semiúmido	central	Entre 18 e 20 - junho	ASAS (mai-set); ZCAS/ZCOUs (primavera-verão); média de 12 frentes frias por ano; possibilidade de formação de uma a 6 geadas (no limite meridional) no período de 30 anos	cinco
	meridional	Entre 18 e 19,5 - junho ou julho	ASAS (jun-set); ZCAS/ZCOUs (primavera-verão); média de 12 a 20 frentes frias por ano; possibilidade de formação de uma a 30 geadas no período de 30 anos	cinco
	ocidental	Entre 19 e 24 - julho	ZCAS/ZCOUs (primavera-verão); ASAS (jun-ago); média de 10 a 20 frentes frias por ano; possibilidade de formação de uma a 6 geadas no período de 30 anos	cinco
	setentrional	Entre 23 e 25,5 - janeiro	ZCAS/ZCOUs (primavera-verão); ASAS (jun-ago); média de uma a duas frentes frias por ano	cinco

Quadro 8 (continuação): Características do Domínio Climático Tropical, e suas subdivisões, no Cerrado.

Tropical semiseco	central	Entre 18 e 24 – janeiro ou junho	ASAS (mai-set); ZCAS/ZCOUs (primavera-verão); média de 5 a 20 frentes frias por ano; possibilidade de formação de uma geada (no limite meridional) no período de 30 anos	seis a sete
	meridional	Entre 18 a 22,5 – junho ou julho	ASAS (jun-set); ZCAS/ZCOUs (primavera-verão); média de 12 a 25 frentes frias por ano; possibilidade de formação de uma a 20 geadas no período de 30 anos	seis a sete
	nordestino	Entre 19 e 26	ASAS (abr-set); ZCAS/ZCOUs (primavera-verão); média de 5 a 15 frentes frias por ano; possibilidade de formação de uma geada (no limite meridional) no período de 30 anos	seis a sete
	ocidental	Entre 19,5 a 24	ZCAS/ZCOUs (primavera-verão); ASAS (jun-ago); média de 10 a 20 frentes frias por ano; possibilidade de formação de uma a 6 geadas no período de 30 anos	seis a sete
	setentrional	Entre 22,5 e 25,5	ZCAS/ZCOUs (primavera-verão); ASAS (jun-ago); média de uma a 5 frentes frias por ano	seis a sete
Tropical seco	meridional	Entre 21,5 a 23	ASAS (jun-set); ZCAS/ZCOUs (primavera-verão); média de 20 a 25 frentes frias por ano; possibilidade de formação de uma a 6 geadas no período de 30 anos	oito a dez
	nordestino	Entre 19,5 a 26	ASAS (abr-set); ZCAS/ZCOUs (primavera-verão); média de 10 frentes frias por ano; possibilidade de formação de uma geada (nos pontos mais elevados) no período de 30 anos	oito a onze

- Tropical semiúmido central

Unidade climática que domina o Planalto Central brasileiro e abrange as duas principais capitais do Cerrado, Brasília e Goiânia. As altitudes superiores a 1000 metros diminuem a temperatura média dos meses, portanto os valores da ETP também caem, aumentando o excedente no balanço hídrico. A altimetria varia de 800 a 1250 metros na área de estudo.

De Clima Zonal Quente, tem influência da ZCAS e ZCOU nos meses mais úmidos (de outubro a março) e da ASAS nos meses mais secos. Seu subdomínio é o semiúmido, com cinco meses secos (maio a setembro). O tipo climático é o central, com média de 12 passagens de frentes frias por ano, e possibilidade rara de formação de geadas (uma a seis a cada 30 anos) em alguns pontos no limite com o tipo meridional.

A TMMMF (junho) varia de 18° a 20°C. A precipitação pluviométrica anual fica entre 1450 e 1850 mm, sendo os meses de dezembro, janeiro e fevereiro os mais chuvosos. Excedente hídrico anual entre 400 e 600 mm, e déficit hídrico anual entre 150 e 250 mm.

- Tropical semiúmido meridional

Essa unidade climática está separada em porções dentro da área de estudo. Aparece desde o sudoeste goiano, na região da serra dos Caiapós, passando pelos chapadões do Triângulo Mineiro, interior paulista e chegando até o centro do Mato Grosso do Sul, na capital Campo Grande. A altimetria varia de 850 a 1050 metros na área de estudo.

De Clima Zonal Quente, tem influência da ZCAS e ZCOU nos meses mais úmidos (de outubro a março) e da ASAS no meio do ano. Seu subdomínio é o semiúmido, com cinco meses secos (maio a setembro). O tipo climático é o meridional, com incursões de frentes frias periódicas (doze a vinte por ano) e possibilidade rara a frequente de formação de geadas (de uma a trinta a cada 30 anos).

A TMMMMF (junho ou julho) varia de 18° a 19,5°C. A precipitação pluviométrica anual fica entre 1400 e 1650 mm, sendo os meses de dezembro, janeiro e fevereiro os mais chuvosos. Os valores de excedente hídrico anual variam muito, de 100 mm (MS) a 650 mm (MG); mas o déficit hídrico anual é considerado baixo, de 25 mm a 200 mm.

- Tropical semiúmido ocidental

Unidade climática que abrange o Cerrado matogrossense até as proximidades de Vilhena (RO). Aqui se localizam as chapadas dos Guimarães e a dos Parecis, além do alto curso do rio Paraguai. A altimetria varia de 170 a 850 metros na área de estudo.

Pode ser tanto de Clima Zonal Tórrido quanto de Clima Zonal Quente, com influência da ZCAS e ZCOU nos meses mais úmidos (de outubro a março). Seu subdomínio é o semiúmido, de quatro a cinco meses secos (maio a agosto-setembro). O tipo climático é o ocidental, com incursões de frentes frias periódicas (dez a vinte por ano), e possibilidade rara de formação de geadas (uma a seis a cada 30 anos) em alguns pontos no limite com o tipo meridional.

A TMMMMF (julho) varia de 19° a 24°C. A precipitação pluviométrica anual fica entre 1250 a 2100 mm, sendo os meses de janeiro, fevereiro e dezembro os mais chuvosos. O excedente hídrico anual tem os maiores valores da área de estudo, de 600 a 1100 mm. O déficit hídrico anual varia de 200 a 300 mm.

- Tropical semiúmido setentrional

A grande precipitação pluviométrica e a proximidade com a floresta amazônica são características marcantes dessa unidade climática, que abrange o centro-norte do estado do Tocantins e nordeste do Mato Grosso. A altimetria varia de 200 a 650 metros na área de estudo. De Clima Zonal Tórrido, tem influência da ZCAS e ZCOU nos meses mais úmidos (de outubro a março). Seu subdomínio é o semiúmido, com cinco meses secos (maio a setembro). O tipo

climático é o setentrional, com raras incursões de frentes frias (uma a duas por ano) e sem possibilidade de formação de geadas.

A TMMMF (janeiro) varia de 23° a 25,5°C. A precipitação pluviométrica anual fica entre 1750 e 2000 mm, sendo os meses de dezembro, janeiro e fevereiro os mais chuvosos. O excedente hídrico anual varia de 600 a 800 mm, e o déficit hídrico fica entre 400 e 600 mm.

- Tropical semiseco central

Um das maiores unidades climáticas de toda a área nuclear do Cerrado brasileiro. Pela extensão Oeste-Leste, abrange desde a serra do Roncador (MT), passando pelo médio vale dos rios Araguaia e Tocantins, até as escarpas da Serra Geral de Goiás, divisa com a Bahia. Já de Norte a Sul, vai desde a capital Palmas (TO) até o alto curso do rio São Francisco, em Minas Gerais. A altimetria varia de 200 a 1100 metros na área de estudo.

Pode ser tanto de Clima Zonal Tórrido (porção norte) quanto de Clima Zonal Quente (porção sul), com influência da ZCAS e ZCOU nos meses mais úmidos (de novembro a março) e da ASAS nos período seco. Seu subdomínio é o semiseco, de seis a sete meses secos (abril-maio a outubro). O tipo climático é o central, com incursões de frentes frias periódicas (cinco a vinte por ano). Há possibilidade de registro de pelo menos uma geada, no período de 30 anos, em alguns pontos no limite com o tipo meridional.

A TMMMF (junho-sul e janeiro-norte) varia de 18° a 24°C. A precipitação pluviométrica anual fica entre 1200 e 1700 mm, sendo os meses de dezembro, janeiro e novembro os mais chuvosos. Possui um excedente hídrico anual que varia de 100 a 700 mm, e déficit hídrico anual entre 300 e 600 mm.

- Tropical semiseco meridional

Grande unidade climática que afeta a porção sul do Cerrado brasileiro, indo desde o centro dos estados de Goiás e Minas Gerais, norte de São Paulo até o sul do Mato Grosso do Sul. Abrange cidades como Uberlândia (MG) e Ribeirão Preto (SP), centros de grandes áreas de produção agrícola. A altimetria varia de 200 a 1100 metros na área de estudo.

De Clima Zonal Quente, com influência da ZCAS e ZCOU nos meses mais úmidos (de novembro a março) e da ASAS no período seco do meio do ano. Seu subdomínio é o semiseco, de seis a sete meses secos (abril-maio a outubro). O tipo climático é o meridional, com incursões de frentes frias periódicas (doze a vinte e cinco por ano) e possibilidade rara a frequente de geadas (de uma a vinte a cada 30 anos).

A TMMMF (junho ou julho) varia de 18° a 22,5°C. A precipitação pluviométrica anual fica entre 1000 a 2000 mm, sendo os meses de janeiro, dezembro e fevereiro os mais chuvosos. Tem uma grande variação de excedente hídrico anual, com valores de 25 a 500 mm; o déficit hídrico anual também varia muito, de 50 a 400 mm.

- Tropical semiseco nordestino

Unidade climática que abrange desde o oeste da Bahia até o norte do estado de Minas Gerais. Ocupa as cabeceiras dos principais afluentes do centro-norte da bacia do rio São Francisco, tendo sua altimetria variando de 300 a 1000 metros na área de estudo.

Pode ser tanto de Clima Zonal Tórrido quanto de Clima Zonal Quente, com influência da ZCAS e ZCOU nos meses mais úmidos (de novembro a março) e da ASAS nos meses mais secos. Seu subdomínio é o semiseco, de seis a sete meses secos (abril-maio a outubro). O tipo climático é o nordestino, com incursões de frentes frias periódicas (cinco a quinze por ano). Há

possibilidade de registro de pelo menos uma geada, no período de 30 anos, em alguns pontos no limite com o tipo meridional.

A TMMMF (junho ou julho) varia de 19° a 26°C. A precipitação pluviométrica anual fica entre 750 a 1350 mm, sendo os meses de dezembro, janeiro e fevereiro os mais chuvosos. Possui a mais alta variação de excedente hídrico anual variando de 10 a 300 mm, sendo o déficit hídrico anual entre 400 e 700 mm.

- Tropical semiseco ocidental

Unidade climática que abrange o centro do estado de Mato Grosso, transição dos biomas de Cerrado, Pantanal e Floresta Amazônica. Aqui localiza-se a maior área de produção de soja do país. A altimetria varia de 100 a 600 metros na área de estudo.

Pode ser tanto de Clima Zonal Tórrido quanto de Clima Zonal Quente, com influência da ZCAS e ZCOU nos meses mais úmidos (de novembro a março) e da ASAS nos meses mais secos. Seu subdomínio é o semiseco, de seis a sete meses secos (abril-maio a outubro). O tipo climático é o ocidental, com incursões de frentes frias periódicas (dez a vinte por ano). Há possibilidade de registro de pelo menos uma geada, no período de 30 anos, em alguns pontos no limite com o tipo meridional.

A TMMMF (junho ou julho) varia de 19,5° a 24°C. A precipitação pluviométrica anual fica entre 1300 a 1900 mm, sendo os meses de fevereiro, janeiro e dezembro os mais chuvosos. O Excedente hídrico anual varia de 300 a 900 mm, e o déficit hídrico anual tem valores entre 250 e 500 mm.

- Tropical semiseco setentrional

Unidade climática que abrange duas porções da área de estudo, separadas pelo subdomínio semiúmido: a primeira faz limite com floresta amazônica desde o Mato Grosso até o centro do

Tocantins; e a segunda do Tocantins ao sul do Piauí, passando pela chapada das Mangabeiras (TO/MA/PI/BA). A altimetria varia de 150 a 900 metros na área de estudo.

De Clima Zonal Tórrido, com influência da ZCAS e ZCOU nos meses mais úmidos (de novembro a março) e da ASAS no meio do ano. Seu subdomínio é o semiseco, de seis a sete meses secos (maio a outubro-novembro). O tipo climático é o setentrional, com raras incursões de frentes frias (uma a cinco por ano) e sem possibilidade de formação de geadas.

A TMMMF (janeiro) varia de 22,5° a 25,5°C. A precipitação pluviométrica anual fica entre 1000 e 1600 mm, sendo os meses de dezembro, janeiro e fevereiro os mais chuvosos. O excedente hídrico anual tem grande variação de 25 a 500 mm, e o déficit hídrico anual de 300 a 700 mm.

- Tropical seco meridional

Unidade climática que envolve a área do Pantanal Matogrossense até a capital Cuiabá, aparecendo também no vale do rio Paraná em Mato Grosso do Sul, avançando pelo vale do Tietê no interior paulista. A altimetria varia de 100 a 450 metros na área de estudo.

Pode ser tanto de Clima Zonal Tórrido quanto de Clima Zonal Quente, com influência da ZCAS e ZCOU nos meses mais úmidos (de outubro a março). Seu subdomínio é o seco, de oito a dez meses secos (fevereiro-março a outubro-novembro). O tipo climático é o meridional, com incursões de frentes frias periódicas (vinte a vinte e cinco por ano) e possibilidade rara de formação de geadas (de uma a seis a cada 30 anos).

A TMMMF (julho) varia de 21,5° a 23°C. A precipitação pluviométrica anual fica entre 1000 e 1400 mm, sendo os meses de dezembro, janeiro e fevereiro os mais chuvosos. Não há um excedente hídrico anual na maior parte do ano, podendo chegar no máximo a 100 mm. O déficit hídrico anual fica entre 25 e 300 mm.

- Tropical seco nordestino

Unidade climática mais seca da área de estudo, abrangendo todo o contato do Cerrado com a Caatinga nos estados do Maranhão, Piauí, Bahia e Minas Gerais. A altimetria varia de 400 a 750 metros na área de estudo.

Pode ser tanto de Clima Zonal Tórrido quanto de Clima Zonal Quente, com influência da ZCAS/ZCOUs nos meses mais úmidos (dezembro a março), e da ASAS nos meses mais secos. Seu subdomínio é o seco, de oito a onze meses secos (fevereiro-março a outubro-dezembro). O tipo climático é o nordestino, com média de 10 passagens de frentes frias por ano. Há possibilidade de registro de pelo menos uma geada, no período de 30 anos, em alguns pontos da Serra do Espinhaço, no limite com o tipo meridional.

A TMMMF (julho) varia de 19,5° a 26°C. A precipitação pluviométrica anual fica entre 700 e 1200 mm, sendo os meses de dezembro, novembro e janeiro os mais chuvosos. Não possui excedente hídrico anual na maior parte da área de abrangência, podendo chegar no máximo a 50 mm. O déficit hídrico anual é um dos maiores da área de estudo variando de 400 a 900 mm.

3.2.5. *Domínio Tropical Ameno*

Esse domínio climático difere do *Tropical* na temperatura média do mês mais frio (TMMMF), sendo mais baixa, entre 15° e 18°C (equivalente ao clima Cwa de Koeppen, e Subquente de Nimer). Também não tem a presença da ZCIT em nenhum mês do ano. Os Sistemas Meteorológicos que mais atuam são a ASAS e APS, as Zonas de Convergência de Umidade (ZCOUs), juntamente com a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). O anticiclone polar, acompanhado da frente polar, tem incidência maior nesse domínio climático, sendo que as temperaturas mínimas absolutas caem tanto, ao modo de ocorrer no mínimo uma geada no período climatológico (30 anos).

Em sua maioria, esse domínio climático ocorre nos locais mais elevados dos planaltos do centro-sul do Cerrado, onde o resfriamento adiabático faz a temperatura ficar mais baixa em comparação com sua área de entorno.

O *Domínio Climático Tropical Ameno* é dividido em três subdomínios na área nuclear do Cerrado brasileiro: *úmido* (de zero a três meses secos), *semiúmido* (de quatro a cinco meses secos), e *semiseco* (de seis a sete meses secos) (**Imagens 8, 9 e 10**). Esses subdomínios estão localizados em três tipos climáticos: *central*, *meridional* e *nordestino*. Alguns subtipos climáticos sugeridos dentro da área de estudo: *Tropical Ameno semiúmido meridional*, do Alto Paranaíba; *Tropical Ameno semiseco nordestino*, da Serra do Espinhaço (MG).

Imagem 8: Subdomínio Tropical Ameno úmido (23°00'02"S, 48°19'17"W – 837 m).
Vista do alto da Serra de Botucatu (SP).
Fonte: Silva, D. (2019) – disponível em: <https://www.tripadvisor.com.br>

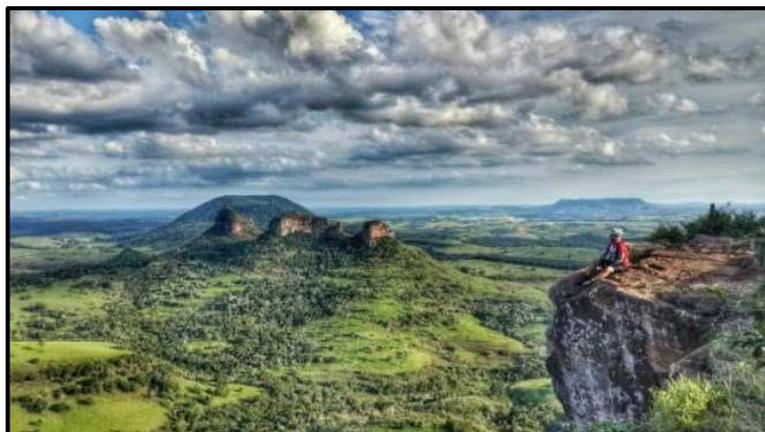


Imagem 9: Subdomínio Tropical Ameno semiúmido (14°09'17"S, 47°38'47"W – 1205 m).
Chapada dos Veadeiros em Alto Paraíso de Goiás (GO). Fonte: Novais, G.T. (mai-2017).

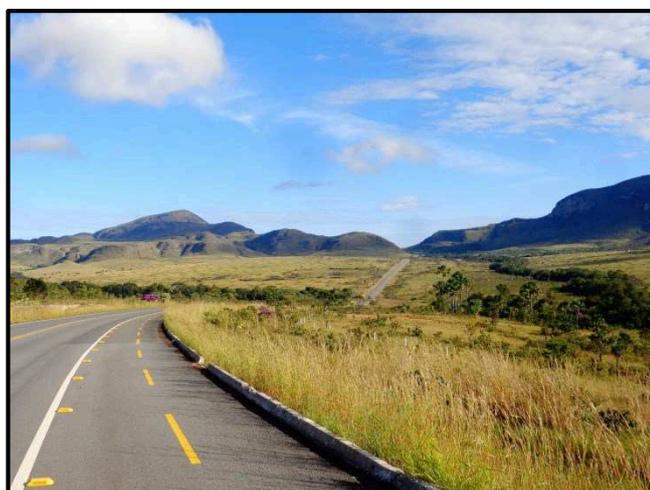


Imagem 10: Subdomínio Tropical Ameno semiseco (18°16'13"S, 43°36'26"W – 1276 m).
Estrada Real na Serra do Espinhaço, Diamantina (MG).
Fonte: Torres, G. (2019) – disponível em: <https://www.tripadvisor.com.br>



O **Quadro 9** apresenta as características do Domínio Climático Tropical Ameno e suas subdivisões, dentro da área nuclear do Cerrado.

As unidades climáticas pertencentes ao Domínio Tropical Ameno, dentro do Bioma Cerrado, serão apresentadas a seguir, com nomenclatura indo até tipo climático.

- Tropical Ameno úmido meridional

Unidade climática dividida em duas porções na área de estudo; uma no planalto de Ponta Porã no sul do Mato Grosso do Sul, fronteira com o Paraguai; e outra nas cabeceiras do rio Paranapanema no centro sul do estado de São Paulo. As temperaturas mais amenas são influenciadas pelas frequentes passagens do APS, pois o local é uma das “portas de entrada” desse sistema meteorológico no país. As altimetrias variam de 650 a 750 metros.

De Clima Zonal Quente, tem influência da ASAS no período seco e esporadicamente da ZCAS e ZCOU nos meses mais úmidos (de outubro a março). Seu subdomínio é o úmido de dois a três meses secos (junho-julho a agosto). O tipo climático é o meridional, com incursões de frentes frias periódicas (vinte e cinco a trinta por ano) e possibilidade frequente de formação de geadas (de vinte e cinco a trinta a cada 30 anos).

A TMMMMF (julho) varia de 16° a 17°C. A precipitação pluviométrica anual fica entre 1500 e 1800 mm, sendo os meses de janeiro, fevereiro e dezembro os mais chuvosos. Praticamente inexistente um déficit hídrico anual, com valores indo de 1 a 50 mm. O excedente hídrico anual varia de 150 a 400 mm.

Quadro 9: Características do Domínio Climático Tropical Ameno, e suas subdivisões no Cerrado.

Subdomínio Climático	Tipos Climáticos	TMMMMF (°C)	Principais Sistemas Meteorológicos que afetam o tempo durante o ano	Quantidade de meses secos (Precipitação < ETP)
Tropical Ameno úmido	meridional	De 16 a 17	ASAS (jun-set); ZCAS/ZCOUs (primavera-verão); média de 25 a 30 frentes frias por ano; possibilidade de formação de 25 geadas no período de 30 anos	dois a três
Tropical Ameno semiúmido	central	De 16,5 a 18	ASAS (mai-set); ZCAS/ZCOUs (primavera-verão); média de 12 frentes frias por ano; possibilidade de formação de uma a 6 geadas (no limite meridional) no período de 30 anos	cinco
	meridional	De 15 a 17,5	ASAS (jun-set); ZCAS/ZCOUs (primavera-verão); média de 15 a 30 frentes frias por ano; possibilidade de formação de 6 a 30 geadas no período de 30 anos	quatro a cinco
Tropical Ameno semiseco	meridional	De 15 a 17,5	ASAS (jun-set); ZCAS/ZCOUs (primavera-verão); média de 15 a 20 frentes frias por ano; possibilidade de formação de uma a 20 geadas no período de 30 anos	seis a sete
	nordestino	De 16 a 18	ASAS (abr-set); ZCAS/ZCOUs (primavera-verão); média de 15 frentes frias por ano; possibilidade de formação de uma geada no período de 30 anos	seis a sete

- Tropical Ameno semiúmido central

Unidade climática influenciada pelo resfriamento adiabático provocado pelas maiores elevações do Planalto Central brasileiro. É dividida em três “manchas”; a primeira sobre a região da Serra dos Pirineus, no centro goiano; a segunda na Chapada do Rodeador, ponto culminante do Distrito Federal; e a terceira nas altitudes mais elevadas da Chapada dos Veadeiros, no norte do estado de Goiás. As altimetrias variam de 1150 a 1650 metros.

Fica dentro do Clima Zonal Quente, com influência da ZCAS e ZCOU nos meses mais úmidos (outubro-março) e da ASAS nos meses mais secos. Seu subdomínio é o semiúmido, com cinco meses secos (maio a setembro). O tipo climático é o central, com média de 12 passagens de frentes frias por ano e possibilidade rara de formação de geadas (de uma a seis a cada 30 anos).

A TMMMF (junho) varia de 16,5° a 18°C. A precipitação pluviométrica anual fica entre 1400 e 1500 mm, sendo os meses de novembro, dezembro e janeiro os mais chuvosos. O excedente hídrico anual varia de 600 a 700 mm, e o déficit hídrico anual tem valores entre 150 e 250 mm.

- Tropical Ameno semiúmido meridional

Essa unidade climática, como a maioria do *Domínio Tropical Ameno* em território brasileiro, também é influenciada pelo resfriamento adiabático provocado pelas maiores elevações do relevo na área do Cerrado em Minas Gerais e Mato Grosso do Sul. Nos estados de São Paulo e do Paraná, atinge as regiões no entorno dos *Domínios Climáticos Subtropicais*. As altimetrias variam de 700 a 1250 metros.

Fica dentro do Clima Zonal Quente, com influência da ZCAS e ZCOU nos meses mais úmidos (outubro-março) e da ASAS no período seco do meio do ano. Seu subdomínio é o semiúmido, de quatro a cinco meses secos (maio a agosto-setembro). O tipo climático é o meridional, com

incursões de frentes frias periódicas (de quinze a trinta por ano) e possibilidade rara a frequente de formação de geadas (seis a trinta a cada 30 anos).

A TMMMMF acontece em junho (Alto Paranaíba e Serra do Espinhaço-MG) e em julho (Serra da Canastra, SP e PR), variando de 15,0° a 17,5°C. A precipitação pluviométrica anual fica entre 1300 e 1900 mm, sendo os meses de janeiro, dezembro e fevereiro os mais chuvosos. Seu excedente hídrico anual varia de 500 a 900 mm, e o déficit hídrico anual fica entre 25 e 100 mm.

- Tropical Ameno semiseco meridional

Essa unidade climática abrange o Alto Paranaíba e escarpas da Serra do Espinhaço, em Minas Gerais, e os planaltos residuais do sudoeste do estado de Mato Grosso do Sul como a serra da Bodoquena. Possui altimetrias variando de 900 a 1150 metros.

Está incluso no Clima Zonal Quente, com influência da ZCAS e ZCOU no período chuvoso (outubro-março) e da ASAS no período seco. Seu subdomínio é o semiseco, de seis a sete meses secos (abril a setembro-outubro). O tipo climático é o meridional, com incursões de frentes frias periódicas (quinze a vinte por ano) e possibilidade rara a frequente de geadas (uma a vinte a cada 30 anos).

A TMMMMF acontece em junho (Minas Gerais) e em julho (Mato Grosso do Sul), variando de 15,0° a 17,5°C. A precipitação pluviométrica anual fica entre 1250 a 1400 mm, sendo os meses de janeiro, dezembro e fevereiro os mais chuvosos. O excedente hídrico anual fica entre 300 e 600 mm, e seu déficit hídrico anual de 100 e 250 mm.

- Tropical Ameno semiseco nordestino

No Bioma Cerrado, é a unidade climática que tem sua área de abrangência em “manchas” na Serra do Espinhaço, no norte do estado de Minas Gerais. A altimetria varia de 1150 a 1400 metros na área de estudo.

Está incluso no Clima Zonal Quente, com influência da ZCAS e ZCOU no período chuvoso (outubro-março) e da ASAS no período seco. Seu subdomínio é o semiseco, de seis a sete meses secos (abril a setembro-outubro). O tipo climático é o nordestino, com média de 15 passagens de frentes frias por ano e possibilidade muito rara de geadas (uma a cada 30 anos).

A TMMMF (julho) varia de 16° a 18°C. A precipitação pluviométrica anual fica entre 750 e 1250 mm, sendo os meses de dezembro, novembro e janeiro os mais chuvosos. O excedente hídrico anual varia de 50 a 150 mm, tendo um déficit hídrico anual entre 250 e 500 mm.

3.2.6. *Domínio Subtropical*

Nessa nova abordagem sobre classificações climáticas dentro do território brasileiro, o *Domínio Climático Subtropical* é ampliado para as regiões serranas ao norte do Trópico de Capricórnio, como por exemplo, a Serra da Mantiqueira (inclusive Serra da Canastra) e Serra do Espinhaço em Minas Gerais. Também está presente no topo do relevo de cuevas no centro do estado de São Paulo. Esses locais possuem um clima bem parecido ao verificado no interior da Região Sul do Brasil, com enclaves de Mata de Araucária e Campos Rupestres. Naturalmente esse domínio climático aparece no planalto paranaense próximo a Castro, ponto extremo meridional do Cerrado brasileiro. A entrada das massas polares no inverno, logo após a passagem das frentes frias, faz a TMMMF cair abaixo de 15°C, provocando geadas em pelo menos um dia no ano, inclusive ao norte do trópico, devido ao resfriamento radiativo do ar nas altitudes mais elevadas.

A distribuição da precipitação pluviométrica é mais desigual em relação à temperatura. Na parte mais setentrional (principalmente em Minas Gerais) a duração dos meses secos é maior, chegando a quatro meses. Conforme Novais (2017-b), essas regiões mais secas são caracterizadas por vegetação campestre similar à observada na Campanha Gaúcha, que também é caracterizada por pequeno período seco anual.

O *Domínio Climático Subtropical* é dividido em dois subdomínios na área de estudo: *úmido* (sem seca), e *semiúmido* (de quatro a cinco meses secos) (**Imagens 11 e 12**). Esses subdomínios estão localizados em dois tipos climáticos: o *meridional* e o *setentrional* (**Quadro 9**). Algumas sugestões de subtipos climáticos dentro da área de estudo: *Subtropical úmido meridional, do Segundo Planalto Paranaense*; *Subtropical semiúmido setentrional, da Serra da Canastra (MG)*.

Imagem 11: Subdomínio Subtropical úmido – Paisagem em Jaguariaíva (PR).
Fonte: Guedes, R. (2019) – disponível em: www.earth.google.com



Imagem 12: Subdomínio Subtropical semiúmido - Vegetação de Campo Rupestre na Serra da Canastra, São Roque de Minas (MG). Fonte: Novais, G.T. (ago-2010).



Quadro 9: Características do Domínio Climático Subtropical, e suas subdivisões no Cerrado.

Subdomínio Climático	Tipos Climáticos	TMMMF (°C)	Principais Sistemas Meteorológicos que afetam o tempo durante o ano	Quantidade de meses secos (Precipitação < ETP)
Subtropical úmido	meridional	De 12,5 a 15	APS; ASAS (jun-set); ZCAS/ZCOUs (primavera-verão); média de 30 frentes frias por ano; possibilidade de formação anual de geadas (acima de 300 episódios no período de 30 anos)	sem seca
Subtropical semiúmido	setentrional	De 13,5 a 15	ASAS (jun-set); ZCAS/ZCOUs (primavera-verão); APS; média de 20 a 25 frentes frias por ano; possibilidade de formação anual de geadas (de 30 a 45 no período de 30 anos)	quatro

As unidades climáticas pertencentes ao Domínio Subtropical, dentro do Bioma Cerrado, serão apresentadas a seguir, com nomenclatura indo até tipo climático.

- Subtropical úmido meridional

Considerada a unidade climática típica do interior da Região Sul do Brasil, abrange exclusivamente o extremo sul do Cerrado brasileiro, no estado do Paraná. A temperatura mínima absoluta abaixo de 0°C no inverno e a distribuição da precipitação durante o ano (sem estação seca) são características marcantes dessa unidade climática. A altimetria varia de 1000 a 1270 metros na área de estudo.

De Clima Zonal Moderado, tem influência de Frentes Frias (provocadas pelo avanço periódico do anticiclone polar), da ASAS no meio do ano, e da ZCAS e ZCOU nos meses mais úmidos (de outubro a março). Seu subdomínio é o úmido, sem seca. O tipo climático é o meridional (ao sul do Trópico de Capricórnio), com frequentes incursões de frentes frias (trinta por ano), formação anual de geadas e possibilidade muito rara de ocorrência de neve (uma a cada 30 anos).

A TMMMF (julho) varia de 12,5° a 15°C. A precipitação pluviométrica anual fica entre 1500 e 1550 mm, sendo os meses de dezembro, janeiro e fevereiro os mais chuvosos. O déficit hídrico anual é ausente, e o excedente hídrico ultrapassa os 700 mm.

- Subtropical semiúmido setentrional

Essa unidade climática abrange áreas ao norte do Trópico de Capricórnio, principalmente os pontos mais elevados do reverso de cuesta em São Paulo, serra da Mantiqueira (inclusive a Serra da Canastra) e serra do Espinhaço, em Minas Gerais. É caracterizada principalmente pelas temperaturas mais baixas durante boa parte do ano. Possui altimetrias variando de 1400 a 1700 metros.

Está incluso no Clima Zonal Moderado, com influência da ZCAS e ZCOU no período chuvoso (outubro-março) e da ASAS no meio do ano. Seu subdomínio é o semiúmido, com quatro meses

secos (maio a agosto). O tipo climático é o setentrional (ao norte do Trópico de Capricórnio, diferentemente do tipo setentrional do domínio *Tropical* – limite com a floresta Amazônica), com incursões de frentes frias periódicas (de vinte a vinte e cinco por ano) e possibilidade de formação anual de geadas.

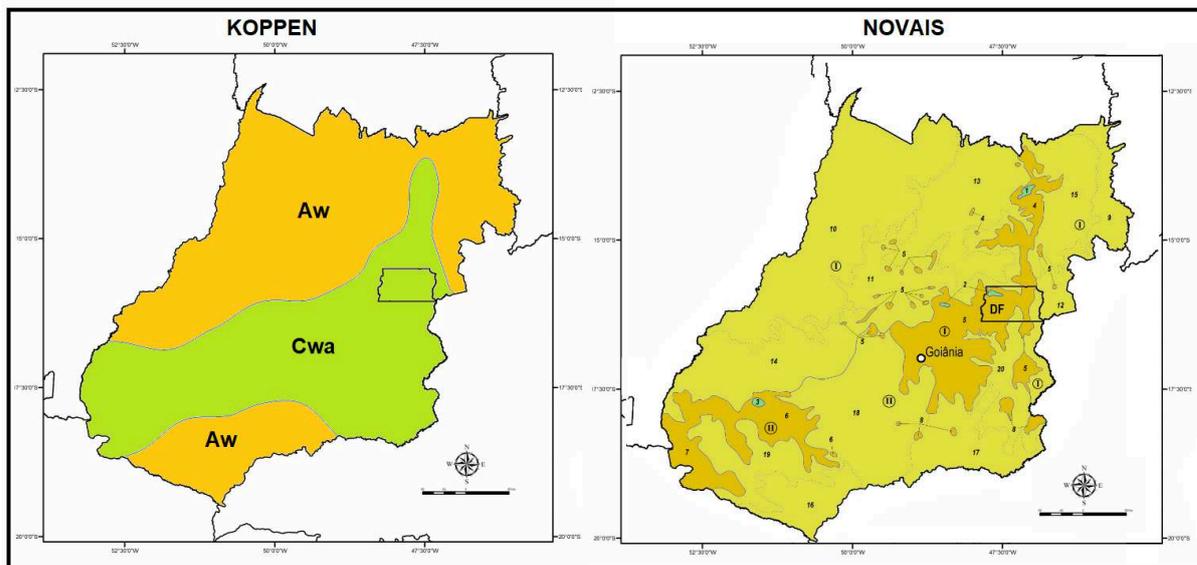
A TMMMF (julho) varia de 13,5° a 15°C. A precipitação pluviométrica anual fica entre 1300 e 1700 mm, sendo os meses de janeiro, dezembro e fevereiro os mais chuvosos. O déficit hídrico anual fica abaixo de 25 mm, e o excedente hídrico anual entre 400 e 800 mm.

3.3. Comparação das principais classificações climáticas utilizadas com a proposta desse trabalho

A classificação de Köppen aplicada a área de estudo possui os seguintes grupos e subgrupos climáticos: Aw (Quente o ano todo com chuvas de verão), Bsh (Seco e quente o ano todo), Cwa (Verão quente e chuvoso), Cwb (Verão moderado e chuvoso) e Cfa (Úmido o ano todo com verão quente).

A classificação de Köppen não fornece informações sobre a quantidade de meses secos, usando muito critérios de estações do ano. Na **Figura 21**, temos a comparação das duas classificações climáticas, a de Köppen e a dessa proposta (nomeada de Novais) para o estado de Goiás. Podemos verificar que na proposta de Novais, temos uma melhor delimitação das unidades climáticas e também uma maior diversidade dos climas.

Figura 21: Comparação das classificações climáticas de Koppen e Novais para o estado de Goiás.



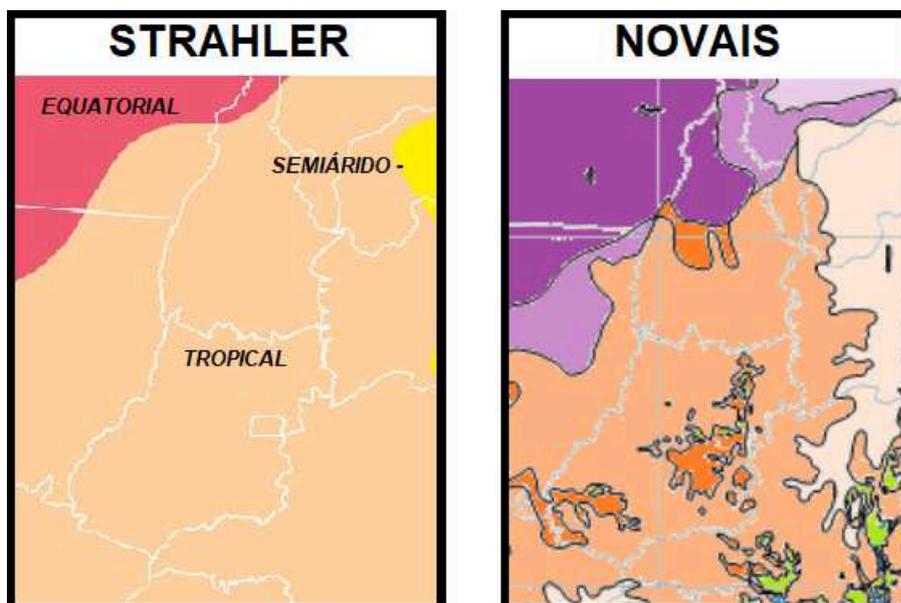
Strahler classifica o clima, em sua maior parte como Tropical úmido-seco, Equatorial Úmido no norte do Tocantins, Tropical Semi-árido na porção leste e Subtropical Úmido no Paraná.

Pela classificação climática de Strahler, a mais usada no país, o clima subtropical ao atingir a linha do Trópico de Capricórnio muda de denominação para Tropical (Conti denomina de Tropical de Altitude), e, no entanto as terras altas que avançam pelo clima tropical mantêm características semelhantes, ou até registram temperaturas menores. Novais (2008) afirma que:

O clima subtropical em outras classificações climáticas, como no caso de Strahler, fica confinado ao sul do Trópico de Capricórnio. “Essa muralha do trópico tem de ser ultrapassada”. O Sol que fica no zênite nessa região é ocultado pelas serras durante o dia na maior parte do ano. As vertentes voltadas para o sul, onde nas serras da Canastra e Mantiqueira podem chegar a centenas de quilômetros, não recebem diretamente a luz solar de fevereiro a outubro, diminuindo a temperatura em seu vale abaixo. Portanto, pela metodologia proposta, o clima subtropical avança para as regiões serranas do Sudeste até o Pico do Itambé, em Minas Gerais.

A **Figura 22**, compara a classificação de Strahler com a de Novais para o centro do Brasil. Nota-se a grande diferença na diversificação climática, Strahler praticamente coloca toda a área dentro de um clima somente, o Tropical.

Figura 22: Comparação das classificações climáticas de Strahler e Novais para o centro brasileiro.



A classificação climática de Nimer para a área nuclear do Cerrado brasileiro possui três climas genéticos: Tropical do Brasil Central, Tropical da Zona Equatorial e Temperado. Sendo subdivididos em Quente e úmido, Quente e semiúmido, Quente e semiárido, Subquente superúmido, Subquente úmido, Subquente semiúmido e Mesotérmico brando superúmido.

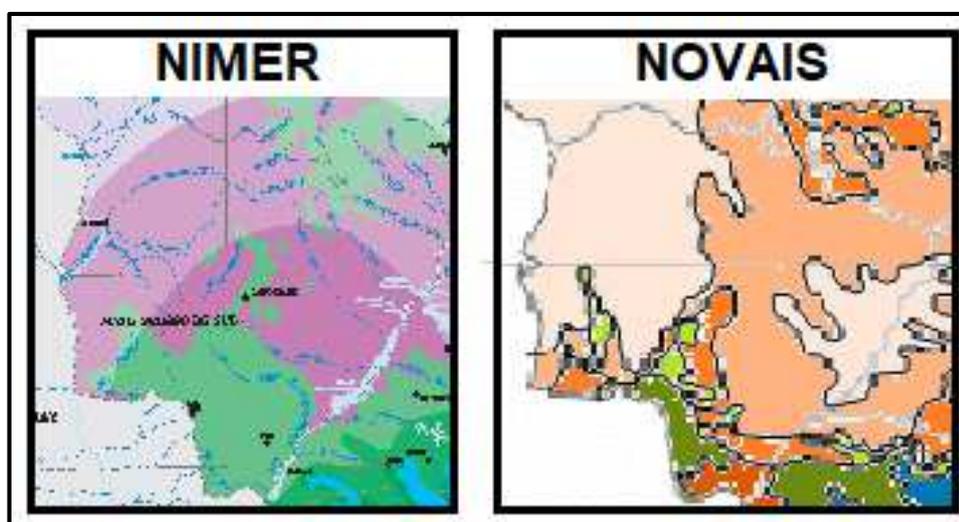
Nimer (1989) alerta que “no território brasileiro há uma necessidade de ser reconhecer mais variedades do clima quente, levando-se em conta o maior ou menor grau de temperatura”. Ao contrário do que acontece no clima denominado mesotérmico, que possui diversas variedades em seu critério classificatório. A delimitação dos Climas Zonais dentro da área de estudo contribuiu para essa necessidade de que Nimer cita.

Uma das maiores críticas em relação a classificação de Nimer é a metodologia da quantidade de meses secos. O autor usa a fórmula de Gaussen & Bagnouls (1953) para determinar mês seco, quando a precipitação pluviométrica for menor do que o dobro da temperatura média desse mês.

A **Figura 23**, mostra as duas classificações climáticas aplicadas ao estado do Mato Grosso do Sul, em que podemos visualizar uma inversão de umidade na região do Pantanal e do vale do

rio Paraná. Pela classificação de Nimer as áreas aparecem na cor lilás, demonstrando um clima úmido. Já na classificação adotada por esse trabalho as áreas são consideradas secas (cor laranja claro), levando em consideração a grande evapotranspiração e o baixo índice de precipitação pluviométrica. Podemos notar também a distribuição do clima úmido em forma de círculo no primeiro quadro, já no segundo a delimitação do clima seco segue a topografia da depressão do Pantanal.

Figura 23: Comparação das classificações climáticas de Nimer e Novais para o estado do Mato Grosso do Sul.



Para Koeppen foram utilizadas as Regiões Climáticas e seus tipos; para Strahler foi usado as classes existentes dentro das Zonas Climáticas; Nimer utiliza o critério de seu segundo e terceiro sistema classificatório, que emprega as frequências médias de valores extremos de temperatura; e para Novais utilizou-se os Domínios e subdomínios climáticos.

Koeppen e Strahler possuem cinco unidades climáticas que se aplicam ao Bioma Cerrado. Já na classificação de Nimer a quantidade aumenta para sete. Mas pela proposta desse trabalho, denominada de Novais, as unidades climáticas são em número de doze, mostrando um maior detalhamento do clima regional, devido a uma maior disponibilidade de dados analisados.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As unidades climáticas identificadas nesse trabalho mostraram a importância dos sistemas meteorológicos que atuam sobre a área nuclear do Cerrado brasileiro, sobretudo, a atuação da ZCIT, do ASAS e de sua dinâmica associada a formação das ZCOU, da ZCAS, do papel do ASAS influenciando nas condições de ocorrência da Temperatura Média do Mês mais Frio (TMMMMF), bem como na quantidade de meses secos para a sua delimitação. A duração do Anticiclone Polar Sul (APS) influencia na passagem de frentes frias, e juntamente com o ASAS, promove a possibilidade de ocorrência de geadas na porção centro-sul da área de estudo.

A temperatura média anual no Cerrado varia de 17,2° a 28,3°C, ficando acima dos 28°C no vale do rio Parnaíba (MA/PI) e registrando valores abaixo de 18°C nos planaltos de Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná. A TMMMMF também varia muito na área de estudo, atingindo valores acima de 25°C nos meses de janeiro, fevereiro e março na porção centro-norte, e valores abaixo de 18°C nos meses de junho e julho na porção centro-sul. Nas áreas mais elevadas da porção meridional valores abaixo de 15°C fazem com que a ocorrência de geadas seja anual.

Na maior parte da área de estudo, a precipitação média anual fica entre 1250 e 1750 mm. Ao contrário da temperatura, a precipitação média mensal apresenta uma grande estacionalidade. Na porção centro-sul a estação chuvosa concentra-se nos meses de primavera e verão, e na porção centro-norte concentra-se no verão e no outono. Conforme metodologia, a estação seca varia de 5 a 7 meses de duração, tornando a maior parte da área de estudo sob influência dos subdomínios semiúmido e semiseco.

A ETP média anual varia de 1250 a 1750mm na maior parte da área de estudo, atingindo valores acima de 1750 no interior do Piauí e Maranhão, e valores abaixo de 1250 nos planaltos do centro-sul do Cerrado.

O excedente hídrico anual é caracterizado em sua grande parte por valores acima de 100 mm, demonstrando a grande quantidade de água disponível no Cerrado em comparação com os biomas vizinhos de Caatinga e Pantanal, em que o excedente pode chegar a zero. O déficit hídrico é zero nas áreas de latitudes mais altas, como é o caso do planalto paranaense.

Nessa tese optou-se por subdividir as unidades até o nível de tipos climáticos ampliando as tradicionais propostas de classificações climáticas, detalhando melhor sua localização espacial no território brasileiro. Por sua vez, caso a classificação adotasse os níveis escalares dos subtipos e meso/topoclimas, sua quantidade ultrapassaria os quatro dígitos, não podendo ser descritos em um trabalho somente. Dessa forma, a partir da metodologia proposta, sugerimos o desenvolvimento de estudos específicos em nível de compartimentos e subcompartimentos geomorfológicos, bacias hidrográficas intraregionais, sub-bacias e microbacias, por exemplo, para a elaboração de trabalhos para cada subtipo, apresentando-os separadamente.

A área de estudo é cortada pelas linhas imaginárias do Subequador ($11^{\circ}43'30''S$) e do Trópico Meridional ($23^{\circ}27'S$). O Clima Zonal Tórrido abrange todo o centro-norte do bioma Cerrado, onde a TMMMF fica acima de $22,5^{\circ}C$. O Clima Zonal Quente tem a TMMMF entre $15^{\circ}C$ e $22,5^{\circ}C$, e abrange toda a porção central e áreas mais elevadas do norte do Cerrado. Já o Clima Zonal Moderado restringe-se aos locais mais elevados da Serra da Canastra, Serra do Espinhaço, Cuestas do Planalto Ocidental Paulista e no Planalto Paranaense, onde a TMMMF fica abaixo de $15^{\circ}C$.

A segunda hierarquia dessa classificação climática é formada pelos Domínios Climáticos. O Domínio Equatorial é caracterizado pela influência da ZCIT, compreendendo desde o norte do Tocantins até o litoral do Maranhão. O Domínio Tropical é o de maior abrangência dentro do bioma, não tendo influência da ZCIT, sendo o ASAS e as ZCOU/ZCAS os principais sistemas meteorológicos que controlam esse domínio climático. O Domínio Tropical Ameno aparece

nas áreas mais elevadas dos planaltos do centro-sul da área de estudo, onde a TMMMF fica entre 15°C e 18°C. Já o Domínio Subtropical ocupa a mesma área do Clima Zonal Moderado, ou seja, os locais mais frios do bioma Cerrado.

Os Domínios são divididos em Subdomínios Climáticos, e variam no espaço pela quantidade de meses secos. O subdomínio úmido é restrito ao extremo sul do Mato Grosso do Sul, porção meridional do estado de São Paulo e cerrado paranaense; nesses locais a quantidade de meses secos fica abaixo de três, proporcionada pela localização em planaltos com ação direta das frentes frias, declinando a temperatura média e fazendo cair a ETP. Os subdomínios semiúmido e semiseco são típicos da área do Cerrado, sendo o primeiro (semiúmido) localizado nas regiões mais altas dos planaltos do centro-sul da área de estudo ou em locais onde a precipitação pluviométrica é elevada; já o semiseco abrange as regiões com seis a sete meses secos. O subdomínio seco localiza-se na faixa de transição entre o Cerrado e a Caatinga, e também no contato com o Pantanal Matogrossense; são as áreas com o maior déficit hídrico do bioma. Os Tipos Climáticos mostram a localização dos Domínios ou Subdomínios Climáticos dentro do território brasileiro, no Cerrado são divididos em: Litorâneo, Amazônico, Setentrional, Nordeste, Central, Ocidental e Meridional.

Para essa classificação climática, os modelos empíricos e genéticos puderam se associar em um intercâmbio de informações, e geraram um padrão que aborda tanto os valores observados do tempo e do clima, quanto a influência dos sistemas meteorológicos.

Não queremos que essa classificação seja uma obra incontestável, longe disso, ela é passível de crítica, pois temos problemas na distribuição espacial dos dados climáticos disponíveis, tanto em termos de cobertura na superfície, como em termos da duração e confiabilidade dos dados nas estações climatológicas. No entanto, as variações encontradas estão dentro do limite do intervalo de classe. A adoção de um algoritmo de temperatura contribuiu para melhorar os

dados devido a deficiente distribuição das estações climatológicas dentro do território brasileiro.

Sendo o clima dinâmico, ele irá flutuar e variar com o decorrer do tempo. Portanto, não se pode encerrar esse trabalho por aqui, com o surgimento de novos dados essa classificação poderá ser melhorada, principalmente em seus limites climáticos.

A delimitação das unidades climáticas propostas por essa pesquisa permite não só estabelecer os indicadores do potencial do meio físico para a região em estudo, mas também conhecer áreas homogêneas sob o ponto de vista socioeconômico, contribuindo para o planejamento e desenvolvimento de atividades sustentável e viável na região. Numa análise ambiental, a caracterização física da área de estudo é fundamental para o planejamento das atividades, e essa proposta detalha melhor o clima de uma região estudada.

Esse novo sistema de classificação climática é aperfeiçoado, devido à grande quantidade de fonte de dados históricos utilizados, os recursos técnicos para sua proposição (ambiente SIG) podem ser usados em análises ambientais, didáticas e agrícolas, em nível detalhado de escalas espaciais.

5. REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A.N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.
- ALMEIDA, R.S. **A geografia física no IBGE 1938-1998**. Revista de C. Humanas, Vol. 9, Nº 1, p. 55-66, Jan./Jun. Viçosa, 2009.
- ALVARES C.A., STAPE J.L., SENTELHAS P.C., DE MORAES GONCALVES J.L., SPAROVEK G., 2013: **Köppen's climate classification map for Brazil**. *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 22, No. 6, 711–728. DOI 10.1127/0941-2948/2013/0507. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- ARAGÃO, J.O. R. **O Impacto do ENSO e do Dipolo do Atlântico no Nordeste do Brasil**. Bull Inst. Fr. Études Andines, v.27, n.3, p. 839-844, 1998.
- ARENS, K. **O Cerrado como vegetação oligotrófica**. Boletim da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas/Botânica. São Paulo, Edusp, 224, n.15, 1958. <https://doi.org/10.11606/issn.2318-5988.v15i0p59-77>
- ASSAD, E.D. [et al]. **Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil**. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004001100001>
- BACCARO, C.A.D.; FERREIRA, I.V.; ROCHA, M.R.; RODRIGUES, S.C. **Mapa geomorfológico do Triângulo Mineiro: uma abordagem morfoestrutural-escultural**. In: Revista Sociedade & Natureza. Uberlândia, 13 (25): 115-127, 2001.
- BALLING, R.C. **Classification in climatology**. In GAILE, G. L. AND WILLMOTT, C.J. (Ed). **Spatial statistics and models**. Hingham, MA: D. Reidel Publishing, 1984. p.81-108. https://doi.org/10.1007/978-94-017-3048-8_5
- BARRY, R.G; CHORLEY, R.J. **Atmosfera, tempo e clima**. 9.ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- BASTOS, C.C.; FERREIRA, N.J. **Análise climatológica da Alta Subtropical do Atlântico Sul**. Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia. Rio de Janeiro. P.612-619. 2000.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Instituto Nacional de Geografia e Estatística (IBGE). Rio de Janeiro, 2005.

- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Mapeamento do uso e cobertura do Cerrado**. Projeto TerraClass Cerrado. Brasília:MMA, 2015.
- BUETTNER, M.I. **Human aspects of bioclimatological classification**. Biometeorology, Pergamon, Oxford and London. 1962. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-009683-4.50026-7>
- CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. **Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial**. *Bragantia*: Campinas, 59(2), 125-137, 2000. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052000000200002>
- CARPENEDO, C.B. **Atividade convectiva associada às anomalias de temperatura da superfície do mar no Atlântico tropical e impactos climáticos no estado de Minas Gerais**. *Revista Brasileira de Climatologia*, Curitiba, Ano 14 – Edição Especial Dossiê Climatologia de Minas Gerais – NOV 2018. <https://doi.org/10.5380/abclima.v1i0.60355>
- CARVALHO, L. M. V., JONES, C., LIEBMANN, B. **Extreme precipitation events in southeastern South America and large-scale convective patterns in the South Atlantic convergence zone**. *J. Climate*, 15, 2377–2394. 2002. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2002\)015<2377:EPEISS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015<2377:EPEISS>2.0.CO;2)
- CARVALHO, L. M. V., JONES, C., LIEBMANN, B. **The South Atlantic convergence zone: Intensity, form, persistence, relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall**. *J. Climate*, 17, 88–108. 2004. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)017<0088:TSACZI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017<0088:TSACZI>2.0.CO;2)
- CARVALHO, L.G.; OLIVEIRA, M.S.; ALVES, M.C.; VIANELLO, R.L; SEDIYAMA, G.C; NETO, P.C.; DANTAS, A.A.A; *Clima*. In: SCOLFORO, J.R.S.; CARVALHO, L.M.T.; OLIVEIRA, A.D. **Zoneamento ecológico-econômico do Estado de Minas Gerais: componentes geofísico e biótico**. Lavras: Editora UFLA, 2008.
- CASTRO, J.F.M. **História da cartografia e cartografia sistemática**. Belo Horizonte: Ed. PUC Minas, 2012.
- CAVALCANTI, I.F.A. [et al]. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- CHRISTOPHERSON, R.W. **Geossistemas: uma introdução à geografia física**. Porto Alegre: Bookman, 2012.
- COLE, M.M. **The savannas: biogeography and geobotany**. London: Academy Press, 1986.

- DANTAS, A. A. A. et al. **Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG**. Revista Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v.31, n.6, p. 1862-1866, nov./dez. 2007. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000600039>
- DAVIS, W.M. **Elementary Meteorology**. Ginn & Co., Boston, MA, 1894.
- DE MELO, A.B.C.; NOBRE, P.; DE MELO, M.L.D.; SANTANA, S.C. **Estudo climatológico da posição da ZCIT no Atlântico Equatorial e sua influência sobre o Nordeste do Brasil**. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12. Foz do Iguaçu: SBMET, 2002.
- DUBREUIL, V.; FANTE, K.P.; PLANCHON, O.; SANT'ANNA NETO, J.L. **Os tipos de climas anuais no Brasil : uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015**. *Confins* [Online], 37 | 2018, posto online no dia 11 outubro 2018, consultado o 12 julho 2019. <https://doi.org/10.4000/confins.15738>
- EITEN, G. **The use of the term “savana”**. *Tropical Ecology*. v.27. n.1. p.10-23, 1986.
- FERREIRA, A.G.; MELLO, N.G.S. **Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a Região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da Região**. *Revista Brasileira de Climatologia*, v.1, n.1. 2005.
- FERREIRA, N. S. **Zona de Convergência Intertropical**. *Climanálise Especial*. Edição Comemorativa de 10 anos. FUNCEME. 136 – 139. 1996. <https://doi.org/10.5380/abclima.v1i1.25215>
- FERRI, M.G. **Contribuição ao conhecimento de ecologia do Cerrado e da Caatinga**. Simpósio sobre o Cerrado. São Paulo: Edusp, 1963.
- FIGUEROA, S.N.; SATYAMYRTY, P.; SILVA-DIAS, P.L. **Simulations of the summer circulation over the South American region with an ETA coordinate model**. *J. Atmos. Sci.* , 52 , 1573 – 1584. 1995. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1995\)052<1573:SOTSCO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1995)052<1573:SOTSCO>2.0.CO;2)
- FITZ, P.R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.
- FUENTES, M.V. **Dinâmica e Padrões da precipitação de neve no sul do Brasil**. Tese de doutorado apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.
- GALVANI, E.; AZEVEDO, T.R. **A frente polar atlântica e as características de tempo associadas**. *Textos do Laboratório de Climatologia e Biogeografia – Departamento de Geografia / FFLCH / USP – Série TA – Texto 018*. 2015.

GALVANI, E.; DE LIMA, N.G.B.; FALCÃO, R.M. **Ocorrência de inversão térmica no perfil topoclimático do Pico da Bandeira, Parque Nacional do Caparaó, Brasil.** VI Seminário Latino Americano de Geografia Física II Seminário Ibero Americano de Geografia Física Universidade de Coimbra, Maio de 2010.

GALVÃO, M.V. **Regiões bioclimáticas do Brasil.** Revista Brasileira de Geografia. Rio de Janeiro. v.29. n.1 1967.

GAN, M.A; KOUSKY, V.E. **Um Estudo Observacional sobre as Baixas Frias da Alta Troposfera nas Latitudes Subtropicais do Atlântico Sul e Leste do Brasil.** INPE, São José dos Campos, SP. 25 págs, 1982.

GAN, M. A., KOUSKY, V. E., ROPELEWSKI, C. F. **The South America monsoon circulation and its relationship to rainfall over west-central Brazil.** *J. Climate*, **17**, 47–66. 2004. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)017<0047:TSAMCA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017<0047:TSAMCA>2.0.CO;2)

GARCÍA, F. F.; MARTILI, A. **El clima urbano: aspectos generales y su aplicación en el área de Madrid.** Revista Índice. Madrid, n. 50. ene/2012.

GAUSSEN, H.; BAGNOULS, F. **Saison sèche et indice xéothermique.** Soc. Hist. Nat. de Toulouse, França: Université de Toulouse, Faculté des Sciences, 88. p. 193-240. 1953.

HASTENRATH, S. **Climate and Circulation of the Tropics.** D. Reidel Pub. Co. Boston, 1985. 455pp. - and LAMB, P. **Climate Atlas of the Tropical Atlantic and Eastern Pacific Oceans.** University of Wisconsin Press, Madison, WI. 1977.

HASTENRATH, S.; Heller, L. **Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil.** Quarterly Journal Royal Meteorological Society 103 (435), 77-92, January, 1977. <https://doi.org/10.1256/smsqj.43504>

HELPERICH, G. **O Cosmos de Humboldt: Alexander von Humboldt e a viagem à América Latina que mudou a forma que vemos o mundo.** Rio de Janeiro: Objetiva, 2005.

HUERTAS, D.M. **Da fachada atlântica à imensidão amazônica: fronteira agrícola e integração nacional.** São Paulo: Annablume, 2009.

JOLY, F. **A cartografia.** Campinas: Papirus, 2013.

KARGER, D.N., CONRAD, O., BÖHNER, J., KAWOHL, T., KREFT, H., SORIA-AUZA, R.W., ZIMMERMANN, N.E., LINDER, H.P., KESSLER, M. **CHELSEA - Dados de Climatologia em alta resolução para as áreas terrestres.** In: Dryad Digital Repository. 2017.

KLINK, C.A.; MOREIRA, A.G. **Past and current human occupation, and land use.** In: OLIVEIRA, P.S.; MARQUIS, R.J. (Ed.). Nova Iorque: Columbia University Press, p.69-88. 2002. <https://doi.org/10.7312/oliv12042-006>

KODAMA, Y. **Large-Scale Common Features of Subtropical Precipitation Zones (The Baiu Frontal Zone, The SPCZ and The SACZ), Part I: Characteristics of Subtropical Precipitation Zones.** J. Met. Soc. Japan, 70: 813-836. 1993. https://doi.org/10.2151/jmsj1965.70.4_813

KOEPPEL, W. **Climatologia: con un studio de los climas de la tierra.** 1º edición em español. México: Fondo de Cultura Económica, 1948.

LIEBMANN, B., KILADIS, G. N., VERA, C. S., SAULO, A. C., CARVALHO, L. M. V. **Subseasonal variations of rainfall in South America in the vicinity of the low-level jet east of the Andes and comparison to those in the South Atlantic convergence zone.** *J. Climate*, 17, 3829–3842. 2004. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)017<3829:SVORIS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017<3829:SVORIS>2.0.CO;2)

MATHER, J.R. **Preface.** Centerton, N.J., 1958, p. 247-248. (Publications in Climatology, v. XI, n.3).

MARENGO, MENDONÇA, F. **Aquecimento global e saúde: uma perspectiva geográfica — notas introdutórias.** Revista Terra Livre, São Paulo, nº 20, p. 205-221, 2003.

MARENGO, J.A.; JONES, R.; ALVES, L.M.; VALVERDEA, M.C. **Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system.** International Journal of Climatology, v.29, p.2241-2255, 2009. <https://doi.org/10.1002/joc.1863>

MELO, L.M. **A oscilação Madden e Julian (MJO) e sua influencia sobre a Região Centro-Oeste.** XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia. Florianópolis, 2006.

MENDONÇA, F. [et al]. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil.** São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MOLION, L.C.B. **Climatologia dinâmica da região amazônica: mecanismos de precipitação.** Revista Brasileira de Meteorologia. São José dos Campos. v. 2, p. 107-117. São José dos Campos, 1987.

MOLION, L.C.B., 1993: **Amazonian rainfall and its variability**. In: Hydrology and Water Management in the Humid Tropics, Ed., p.p. 99-111, Cambridge University Press, Cambridge.
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511564468.012>

MONTEIRO, C. A. **A frente polar atlântica e as chuvas de inverno na fachada sul-oriental do Brasil**. In Série Teses e Monografias, n.1. Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo. 10 Textos do Laboratório de Climatologia e Biogeografia – Departamento de Geografia / FFLCH / USP – Série TA – Texto 018 11. 1969.

MONTEIRO, C. A. **A Dinâmica Climática e as Chuvas no Estado de São Paulo**. Instituto de Geografia - USP, São Paulo. 1973.

MOURA, A.D.; SHUKLA, J. **On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model**. J. Atmos. Sci., 38, 2653-2675. 1981.

[https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1981\)038<2653:OTDODI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1981)038<2653:OTDODI>2.0.CO;2)

MUZA, M. N.; CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. **Intraseasonal and Interannual Variability of Extreme Dry and Wet Events over Southeastern South America and the Subtropical Atlantic during Austral Summer**. J Climate, v. 22, p. 1682-1699, 2009. <https://doi.org/10.1175/2008JCLI2257.1>

NASCIMENTO, D. T. F.; LUIZ, G. C.; OLIVEIRA, I. J. **Panorama dos sistemas de classificação climática e as diferentes tipologias climáticas referentes ao estado de Goiás e ao Distrito Federal**. *Élisée, Rev. Geo. UEG – Porangatu*, v.5, n.2, p.59-86, jul./dez. 2016.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 1989.

NIMER, E. **Ensaio de um novo método de classificação climática: contribuição à climatologia intertropical e subtropical, especialmente do Brasil**. Boletim de Geografia. Rio de Janeiro, v. 31, n.277: pp.141-153, mar/abril, 1972.

NOBRE, C. A., CITEAU, J.; UVO, C. R. B. **A note on ITCZ migration in the tropical Atlantic and rainfall anomalies in Northeast Brazil**. Manuscrito de 1989.

NOBRE, P.; MALAGUTTI, M.; CHAVES, R.R.; SANCHES, M.B. **Modulações da ZCAS pelas temperaturas da superfície do mar no Atlântico Sudoeste**. Anais do XII Congresso Brasileiro de Meteorologia. p. 3520-3527. Foz de Iguaçu-PR, 2002.

- NOBRE, P., SHUKLA, J. **Variations of sea surface temperature, wind stress and rainfall over the tropical Atlantic and South America.** *Journal of Climate*, v.9, p.2464-2479, 1996. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1996\)009<2464:VOSSTW>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1996)009<2464:VOSSTW>2.0.CO;2)
- NÓBREGA, J.N.; DOS SANTOS, C.A.C.; GOMES, O.M.; BEZERRA, B.G.; BRITO, J.I.B. **Eventos extremos de precipitação nas mesorregiões da Paraíba e suas relações com a TSM dos oceanos tropicais.** *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.29, n.2, 197 - 208, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862014000200005>
- NÓBREGA, R.S. **Um pensamento crítico sobre classificações climáticas: de Köppen até Strahler.** *Revista Brasileira de Geografia Física* 03. p.18-22. Recife, 2010. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v3i1.232646>
- NOGUÉS-PAEGLE, J.; MO, K.C. **Alternating wet and dry conditions over South America during summer.** *Mon. Wea. Rev.*, **125**, 279–291. 1997. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1997\)125<0279:AWADCO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1997)125<0279:AWADCO>2.0.CO;2)
- NOVAIS, G.T.; PEREIRA, K.G.O. **A subtropicalidade nas serras mineiras: uma proposta de classificação climática para o Sudeste brasileiro.** *Anais do VIII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica*. Alto Caparaó, 2008.
- NOVAIS, G.T. **Condições climáticas em três cidades do clima tropical semiúmido: estudos preliminares de uma nova classificação climática.** *Anais do XII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica*. Goiânia, 2016.
- NOVAIS, G.T. **Distribuição média dos Climas Zonais no Globo: estudos preliminares de uma nova classificação climática.** *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v.10, n.5, p. 1614-1623, 2017. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v.10.5.p1614-1623>
- NOVAIS, G.T. **Os domínios subtropicais brasileiros: do Rio Grande do Sul ao Centro-Sul de Minas Gerais.** ENANPEGE. Porto Alegre, 2017.
- NOVAIS, G.T. BRITO, J.L.S., SANCHES, F.O. **Unidades climáticas do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba-MG.** *Revista Brasileira de Climatologia*, Curitiba, v.23, p. 223-243, jul/dez 2018. <https://doi.org/10.5380/abclima.v23i0.58520>
- PALLOTTA, M.; NAKAZATO, R.Y. **Caracterização de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Zona de Convergência de umidade (ZCOU) em janeiro e fevereiro de 2010.** In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 16, 2010, Belém, Anais do XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2010.

PEREIRA, A. R. et al. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

QUADRO, M.F.L. **Estudo de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul**. São José dos Campos: INPE, 1994.

RATISBONA, L.R. **The climate of Brazil**, in W. Schwerdtfeger. Ed., World Survey of Climatology, Vol. 12. Climates of Central and South America, Elsevier, Amsterdam. 1976.

REBOITA, M.S.; GAN, M.A.; DA ROCHA, R.P.; AMBRIZZI, T. **Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica**. Revista Brasileira de Meteorologia. São José dos Campos: v.5. n.2. p. 185-204. 2010. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862010000200004>

RIBEIRO, A.G. **As escalas do clima**. Boletim de Geografia Teorética. Rio Claro: v23(46-46):288-294, 1993.

RIBEIRO, A. G. **Radiação solar**. Maringá: Departamento de Geografia da Universidade Estadual de Maringá, 1990. (Série Textos Básicos, Climatologia, n.2).

ROCHA, F.B.; ARAVÉQUIA, J.A.; RIBEIRO, B.Z. **Estudo de Ciclones e de Padrões de Circulação Atmosférica no Oceano Atlântico Sul Próximo à Costa das Regiões Sul e Sudeste do Brasil Usando Dados da Reanálise do Era-Interim**. Revista Brasileira de Meteorologia, vol.31, n.º.2 São Paulo Abr./Jun 2016. <https://doi.org/10.1590/0102-778631220140151>

ROLIM, G.S.; CAMARGO, M.B.P.; LANIA, D.G.; MORAES, J.F.L. **Sistema de Classificação Climática de Koppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de Zonas Agroclimática para o estado de São Paulo**. Revista Bragantia. V.66, n.4, p.711-720. Campinas, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052007000400022>

ROSSATO, M.S. **Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidades, tendências e tipologia**. Porto Alegre: UFRGS, 2011.

SACRAMENTO NETO, O. B.; ESCOBAR, G. C. J.; SILVA, P. E. D. **Método objetivo para identificar episódios de Zonas de Convergência de Umidade (ZCOU) no ambiente operacional do Centro de Previsão de Tempo e Estados Climáticos - CPTEC**. XVI Congresso de Meteorologia, 2010.

SAKAMOTO, M.S.; SILVA DIAS, M.A.F. **Análise da variação temporal da convergência de massa em mesoescala num período chuvoso**. In: VI Congresso Brasileiro de Meteorologia. Salvador, 1990.

SAMPAIO, M.S.; ALVES, M.C.; CARVALHO, L.G.; SANCHES, L. **Uso de Sistema de Informação Geográfica para comparar a classificação climática de Koppen-Geiger e de Thornthwaite.** Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, p.8858, 2011.

SANCHES, F.; SILVA, R.V.; FERREIRA, R.V.; CAMPOS, C.A.A. **Climate change in the Triângulo Mineiro region - Brazil.** Revista Brasileira de Climatologia, v. 1, p. 570-587, 2017. <https://doi.org/10.5380/abclima.v21i0.51867>

SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P.; RIBEIRO, J.F. **Cerrado: ecologia e flora.** Brasília: Embrapa Cerrados, 2008.

SANO, E.E.; ROSA, R.; BRITO, J.L.S.; FERREIRA, L.G. **Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.43, n.1, p.153-156, jan. 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008000100020>

SANT'ANNA NETO, João Lima. **Escalas geográficas do clima: mudança, variabilidade e ritmo.** In: Margarete C. de Costa Trindade Amorim; João Lima Sant'Anna Neto; Ana Monteiro (org.). Climatologia Urbana e Regional: questões teóricas e estudos de caso. 1ª edição. São Paulo: Outras Expressões, 2013.

SAPUCCI, C.R.; REBOITA, M.S.; CARVALHO, V.S.B.; MARTINS, F.B. **Condições meteorológicas associadas com a ocorrência de geadas na serra da Mantiqueira, Região Sudeste do Brasil.** Revista Brasileira de Climatologia. Edição Especial Dossiê Climatologia de Minas Gerais, 2018. <https://doi.org/10.5380/abclima.v1i0.60948>

SATYAMURTY, P.; DA COSTA, C.P.W.; MANZI, A.O. **Moisture source for the Amazon Basin: a study of contrasting years.** Theoretical and applied climatology. Springerwien. New York. v.91. n.1-4. 2008.

SCARAMUZZA, C.A.M.; SANO, E.E.; ADAMI, M.; BOLFE, E.L.; COUTINHO, A.C.; ESQUERDO, J.C.D.M.; MAURANO, L.E.P.; NARVAES, I.S.; FILHO, F.J.B. O.; ROSA, R.; SILVA, E.B.; VALERIANO, D.M. VICTORIA, D.C.; BAYMA, A.P.; OLIVEIRA, G.H.; BAYMA-SILVA, G. **Land-use and land-cover mapping of the brazilian cerrado based mainly on LandSat-8 Satellite Images.** Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro, Nº 69/6, p. 1041-1051, Jun/2017.

SENTELHAS, P.C.; ORTOLAN, A.A.; PEZZOPANE, J.R.M. **Estimativa da temperatura mínima de relva e da diferença de temperatura entre o abrigo e a relva em noites de geadas.** Revista Bragantia. v.54. n.2. 1995. <https://doi.org/10.1590/S0006-87051995000200023>

SENTELHAS, P.C., ROLIM, G.S., BARBIERI, V. **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, Santa Maria, v. 6, n.1, p133-137, 1998.

SETTE, D.M. **Os climas do cerrado do Centro-Oeste.** Revista Brasileira de Climatologia, v.1. n.1, 2005. <https://doi.org/10.5380/abclima.v1i1.25225>

SETTE, D.M.; TARIFA, J.R. **A produção do espaço e a problemática ambiental em Rondonópolis – MT.** VI congresso Brasileiro de Geógrafos – AGB – Goiânia. 2004.

SIGAUD, J.F.X. **Do clima e das doenças do Brasil ou estatística médica deste império.** Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2009.

SILVA, F.A.M.; ASSAD, E.D; EVANGELISTA, B.A. **Caracterização climática do bioma Cerrado.** In: Cerrado: Ecologia e Flora. Embrapa Cerrados: Brasília, 2008.

SIMIELLI, M.E.R. **Geoatlas.** 34 edição. São Paulo: Ática, 2013.

SOUZA, A.P.; MOTA, L.L.; ZAMADEI, T.; MARTIM, C.C.; DE ALMEIDA, F.T.; PAULINO, J. **Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado do Mato Grosso.** Revista Nativa, Sinop, v. 01, n. 01, p. 34-43, out./dez., 2013. <https://doi.org/10.14583/2318-7670.v01n01a07>

SOUZA, E.B., ALVES, J.M.B.; REPELLI, C.A. **Um Complexo Convectivo de Mesoescala Associado à Precipitação Intensa sobre Fortaleza-CE.** Rev. Bras. de Meteor., v. 13, n. 2, 01-14. 1998.

STEADMAN, R.G. **A universal scale of apparent temperature.** Appl. Met. 1984. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1984\)023<1674:AUSOAT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1984)023<1674:AUSOAT>2.0.CO;2)

STRAHLER, A. N. **Geografia Física.** Barcelona: Ed. Omega, 1989.

TARIFA, J. R. **Fluxos polares e as chuvas de primavera-verão no Estado de São Paulo.** In Série Teses e Monografias. Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo. 1975.

TERASSI, P.M.B.; SILVEIRA, H. **Aplicação de sistemas de classificação climática para a bacia hidrográfica do rio Pirapó-PR.** Revista Formação, Volume 1, Número 20, Ano 2013 – p. 111-128, Presidente Prudente, 2013.

- TERJUNG, W.H. **Physiologic climates of the conterminous United States: a bioclimatological classification based on man.** Assn. Amer. Geogr. (1966).
<https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.1966.tb00549.x>
- TREWARTHA, G.T. **An Introduction to Climate.** New York: McGraw-Hill, 1954. 402p.
- TREWARTHA, G.T. **The Earth's Problem Climates.** University of Wisconsin Press, Madison, WI. 1961.
- TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F.J.L. **Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras.** São Paulo: Nobel, 1980.
- TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** 3 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2004.
- TYRON, R. C. **Cluster Analysis.** Ann Arbor, MI: Edwards Brothers.1939. 422p.
- VALERIANO, M. M. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul.** São José dos Campos, SP: INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-10550-RPQ/756). 72p., 2004.
- VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações.** Viçosa: Imprensa Universitária/UFV, 1991. 449 p.
- WALTER, H. **Vegetação e zonas climáticas: tratado de ecologia global.** São Paulo: Pedagógica e Universitária, 1986.
- ZAVATINI, J.A. **A dinâmica climática no Mato Grosso do Sul.** Geografia, Rio Claro, v.17, n.2, 1992.