

Diego Tarley Ferreira Nascimento
Alécio Perini Martins
Gislaine Cristina Luiz
Regina Maria Lopes
(Organizadores)

CLIMATOLOGIA DO CERRADO

**variabilidades, suscetibilidades e
mudanças climáticas no contexto
do Cerrado brasileiro**

Comissão científica

Prof. Dr. Emerson Galvani – USP

Prof. Dr. Pedro Germano dos Santos Murara – UFFS

Prof. Dr. Cássio Arthur Wollmann – UFSM

Prof. Dr. Aristeu Geovani de Oliveira – UEG

Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Moura – UFPB

Prof. Dr. Arlei Teodoro de Queiroz – IFTM

Prof. Dr. Victor da Assunção Borsato – UNESPAR

Prof. Me. Valdir Specian – UEG

Prof. Dr. João Afonso Zavattini – UNESP (Rio Claro)

Diego Tarley Ferreira Nascimento
Alécio Perini Martins
Gislaine Cristina Luiz
Regina Maria Lopes
(Organizadores)

CLIMATOLOGIA DO CERRADO

**variabilidades, suscetibilidades e
mudanças climáticas no contexto
do Cerrado brasileiro**



GOIÂNIA, GO | 2021

© Autoras e autores – 2021
A reprodução não autorizada desta publicação, por qualquer meio,
seja total ou parcial, constitui violação da Lei nº 9.610/98.
Depósito legal na Biblioteca Nacional, conforme decreto nº 1.825,
de 20 de dezembro de 1907.
Comissão Técnica do Sistema Integrado de Bibliotecas Regionais (SIBRE),
Catalogação na Fonte



C&A ALFA
COMUNICAÇÃO
Presidente
Luiz Carlos Ribeiro
Revisão geral
Jéssica Lopes
Projeto gráfico
Adriana Almeida

Conselho editorial

Andréa Coelho Lastória (USP/Ribeirão Preto)
Carla Cristina Reinaldo Gimenes de Sena (UNESP/Ourinhos)
Carolina Machado Rocha Busch Pereira (UFT)
Denis Richter (UFG)
Eguimar Felício Chaveiro (UFG)
Lana de Souza Cavalcanti (UFG)
Loçandra Borges de Moraes (UEG/Anápolis)
Miriam Aparecida Bueno (UFG)
Vanilton Camilo de Souza (UFG)

Ilustração da capa:

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte (CIP)
(Elaboração: Filipe Reis – CRB 1/3388)

R425 Climatologia do Cerrado [recurso eletrônico] : variabilidades, suscetibilidades e mudanças climáticas no contexto do Cerrado brasileiro / Diego Tarley Ferreira Nascimento ... [et al.]. – Goiânia : C&A Alfa Comunicação, 2021.
272 p. il. color.
Organizadores: Diego Tarley Ferreira Nascimento, Alécio Perini Martins, Gislaine Cristina Luiz e Regina Maria Lopes.
ISBN 978-65-89324-08-9
1. Climatologia do Cerrado. 2. Cerrado brasileiro. 3. Mudanças climáticas. I. Nascimento, Diego Tarley Ferreira.

CDU: 551.58(213.54)

Sumário

7 Apresentação

CAPÍTULO 1

11 Caracterização climática do cerrado

Giuliano Tostes Novais

Sylvia Elaine Marques de Farias

CAPÍTULO 2

51 Dinâmica atmosférica na área Core do Bioma Cerrado

Diego Tarley Ferreira Nascimento

Gustavo Zen de Figueiredo Neves

CAPÍTULO 3

73 Ilhas de calor em cidades do Cerrado brasileiro: uma análise em cidades de pequeno e médio porte

José Ricardo Rodrigues Rocha

Washington Silva Alves

Regina Maria Lopes

CAPÍTULO 4

93 Práticas de extensão e ensino no laboratório de climatologia geográfica e estação meteorológica na Universidade Federal de Jataí

Regina Maria Lopes

José Ricardo Rodrigues Rocha

Ezequiel Pereira da Silva

Germano Albuquerque

CAPÍTULO 5

113 Visitas monitoradas à estação meteorológica: uma proposta metodológica para o ensino de climatologia

Camila Bertoletti Carpenedo

Letícia de Paula e Silva Andrade

Leandro de Oliveira Rabelo

CAPÍTULO 6

145 Os climas do cerrado pelo viés da análise rítmica: a produção sobre Distrito Federal, Goiás e Tocantins

Juliana Ramalho Barros

Lucas Barbosa e Souza

CAPÍTULO 7

172 A influência do período seco no agravamento das doenças respiratórias no pontal do Triângulo Mineiro (MG)

Rildo Aparecido Costa

CAPÍTULO 8

201 O uso das geotecnologias em estudos climáticos no Cerrado brasileiro

Alécio Perini Martins

Diego Tarley Ferreira Nascimento

CAPÍTULO 9

232 Teleconexões no Cerrado brasileiro

Carlos Batista da Silva

Camila Bertoletti Carpenedo

263 Sobre os autores/organizadores

265 Sobre os autores

Apresentação

Este livro representa a primeira “materialização” das discussões de uma década sobre a necessidade da organização de pesquisadores de instituições situadas no Cerrado brasileiro, em grupos e redes de pesquisa sobre o Clima. A ideia foi gestada desde o Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica realizado no ano de 2010, na cidade de Fortaleza, e foi tomando forma nas edições do evento realizadas nas cidades de Manaus (2012), Curitiba (2014) e Goiânia (2016) pelas professoras Dra. Zilda de Fátima Mariano (*in memoriam*) e Dra. Gislaíne Cristina Luiz. Em 2018, durante a realização do XIII SBCG em Juiz de Fora, pesquisadores vinculados a instituições de ensino superior dos estados de Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Tocantins e do Distrito Federal se reuniram e decidiram realizar o I Workshop de Climatologia do Cerrado Brasileiro em outubro de 2019, na cidade de Goiânia (GO).

O 1º Workshop de Climatologia do Cerrado Brasileiro, com a temática “Variabilidades, suscetibilidades e mudanças climáticas no contexto do Cerrado brasileiro”, concebeu um espaço para a socialização, a discussão e a reflexão a respeito das pesquisas realizadas no âmbito das instituições de ensino superior e dos órgãos públicos nacionais e internacionais, subsidiando a interação direta e institucionalizada de pesquisadores, e aprofundando os avanços das bases teóricas e metodológicas na investigação da Climatologia brasileira.

De forma geral, o evento, com realização a cada dois anos, pretende contribuir com a investigação sobre a variabilidade e a

suscetibilidade climática e as implicações sociais, econômicas, ambientais e políticas no plano do Cerrado Brasileiro, em consonância com grande parte das discussões científicas realizadas em nível mundial. Em especial, destacamos a contribuição do evento em prover a socialização de pesquisas realizadas em instituições de ensino superior e órgãos governamentais, nacionais e internacionais, buscando estabelecer parcerias, intercâmbios e redes colaborativas que assegurem o papel relevante do Estado de Goiás na condução destas pesquisas. Goiás, enquanto área core do Cerrado, apresenta características climáticas de forte sazonalidade e preocupantes desdobramentos nas esferas social, econômica e ambiental de toda extensão do bioma, especialmente, no que diz respeito às repercussões negativas, em se tratando do desconforto higratérmico da população, da disponibilidade hídrica para os usos múltiplos, da ocorrência de queimadas e das implicações da deficiência hídrica em alguns meses do ano na agropecuária.

Após dois dias intensos de apresentações de pesquisas e interação entre pesquisadores, os principais “produtos” foram a criação de um Grupo de Pesquisa no diretório do CNPq sobre Climatologia do Cerrado e a elaboração deste livro, que conta com nove capítulos desenvolvidos por pesquisadores docentes, técnicos e discentes de instituições como a Universidade Federal de Goiás (UFG), Universidade Federal de Jataí (UFJ), Universidade Federal de Uberlândia (UFU/Uberlândia e UFU/Pontal), Universidade Federal do Tocantins (UFT) e também a Universidade Estadual de Goiás (Campi Iporá e Formosa).

Entre as temáticas abordadas, ressaltamos a caracterização climática, as teleconexões e as dinâmicas atmosféricas no Cerrado, práticas de ensino e extensão em Climatologia Geográfica, as relações entre Climatologia e Saúde, a ocorrência de ilhas de calor urbanas, além da aplicação de técnicas como análise rítmica e o emprego de geotecnologias em estudos climatológicos.

A partir desta iniciativa, pretendemos fomentar e fortalecer as discussões sobre o Clima do Cerrado brasileiro, consolidando espaços de diálogos de cunho acadêmico, científico e social entre a comunidade universitária (professores, pesquisadores e alunos) e representantes do

Estado e da sociedade civil, de forma a contribuir para avanços teóricos, metodológicos e de conhecimentos. Tencionamos ainda, publicizar pesquisas científicas realizadas com a temática, sobretudo, as pesquisas com financiamento público, com o intuito de mostrar para a sociedade acadêmica e civil, os seus resultados.

Os organizadores
Goiânia e Jataí (GO), outono de 2021

Acervo: Camila Carpenedo (2019)



Último dia do 1º Workshop de Climatologia do Cerrado, para encaminhamento da formalização de uma rede colaborativa de pesquisa em climatologia do cerrado

CAPÍTULO 1

Caracterização climática do cerrado

Giuliano Tostes Novais
Sylvia Elaine Marques de Farias

Resumo: O clima do bioma Cerrado é resultante de teleconexões globais, suas interações entre os distintos níveis da atmosfera e as características da superfície local. Esta complexidade de interações, aliada a fatores e elementos climáticos, condicionam uma circulação atmosférica sazonal, típica das estações seca e úmida. Sob o contexto da sazonalidade, a formação, inibição e atuação dos fenômenos atmosféricos nos distintos níveis da atmosfera caracterizam as diversas unidades climáticas que observamos em superfície. O estudo também sugere uma nova abordagem de mapeamento dessas unidades climáticas para o Cerrado, a partir da temperatura média do mês mais frio (TMMMF), da quantidade de chuva, influenciada pelos sistemas atmosféricos, passagens de frentes frias e possibilidade de formação de geadas. Esse sistema de classificação climática possui uma hierarquia, e foi dividido em Zonas Climáticas, Climas Zonais, Domínios, Subdomínios, Tipos, Subtipos, Mesoclimas e Topoclimas. Dados de reanálise Era-Interim serviram de base para os valores dos elementos climáticos.

Palavras-Chave: Clima, Sazonalidade, Unidades Climáticas, Reanálise, Novais.

Introdução

Considerado um dos *hotspots* mundiais de biodiversidade, segundo maior bioma da América do Sul, o Cerrado vem mostrando

excepcional perda de área efetiva (MMA, 2020). As diferentes populações que sobrevivem de seus recursos naturais marcam a sua importância sob a ótica social, ambiental e econômica. Economicamente, sua relevância despontou a partir da década de 1970, com o advento da modernização da agropecuária. Como consequência, ocorreu a transformação da vegetação natural em produção de *commodities* agrícolas (FERREIRA *et al.*, 2008; TERRACCLASS, 2015) e contribuição significativa para o Produto Interno Bruto brasileiro (CNA/CPEA, 2020). Concomitante ao ritmo do desmatamento, os serviços ecossistêmicos principais, como a regulação do clima e do ciclo hidrológico tem sido prejudicado (TERRACCLASS, 2015). Mediante a este contexto, o debate sobre os usos e ocupação das áreas de Cerrado na sociedade e na academia se faz presente. Este, diz respeito a sustentabilidade econômica e ambiental no bioma. No arcabouço de tal discussão, se insere a sustentabilidade hídrica que apoia todas as atividades humanas e o clima, potencial provedor de recarga hídrica no ambiente. São vários os estudos inerentes ao Clima e sobre este bioma sócio, ambientalmente e economicamente complexo. Dentre estes, as possibilidades e perspectivas de satélites para o monitoramento das chuvas (FARIAS, 2016), importante fator de desenvolvimento socioeconômico, mediante uma rede pluviométrica de superfície escassa.

A complexidade do sistema climático terrestre é resultante da interação entre a energia solar, a atmosfera e o oceano. Especificamente, é o contraste de energia térmica entre os polos e o Equador que impulsionam, em escala planetária, circulações característica tanto na atmosfera quanto nos oceanos. São essas circulações que distribuem calor e umidade para todo o planeta, condicionando o clima e o tempo local. Por sua vez, a circulação atmosférica nos hemisférios é caracterizada por movimentos tanto horizontais quanto verticais. Os movimentos horizontais atuam sobre extensas áreas da superfície e podem interagir por períodos de dias a meses. Enquanto que os movimentos verticais, como correntes de ar ascendente e descendente, são necessários para a troca de calor e umidade entre as distintas camadas atmosféricas e, para

manter o equilíbrio térmico do sistema climático (CLIMANÁLISE, 1986; SATYAMURTY *et al.*, 1998).

A classificação climática pode ser feita com base em vários critérios, dos quais a paisagem natural e os índices climáticos são os mais empregados. Para Assad *et al.* (2008), o objetivo principal é identificar, em grandes áreas (como o Cerrado), as zonas com características climáticas relativamente homogêneas. As classificações climáticas mais utilizadas são as de Köppen, Strahler e Thorntwaite.

A pouca produção de modelos de classificações climáticas na atualidade (surgidas no século XXI) foi um dos motivos para Novais (2019) elaborar sua tese. O mesmo, cria um sistema que classifica os climas a partir da grande quantidade de dados de reanálise disponíveis e também por modelagem, ajustando os limites das unidades climáticas de acordo com a escala climática adotada. O detalhamento das unidades climáticas feito por Novais (2019) tem uma resolução de 1 km, fornecendo subsídios para novos estudos regionais, com apresentação de dados de forma mais didática para o ensino e aprendizagem dessa ciência. Esse sistema auxilia também as atividades antrópicas, que visam um melhor planejamento das condições ambientais de cada localidade estudada. As escalas climáticas desse trabalho abrangem desde as escalas superiores (zonal, global e regional), até as escalas inferiores (sub-regional, local e topoclimático) que compreendem a Climatologia de Detalhe.

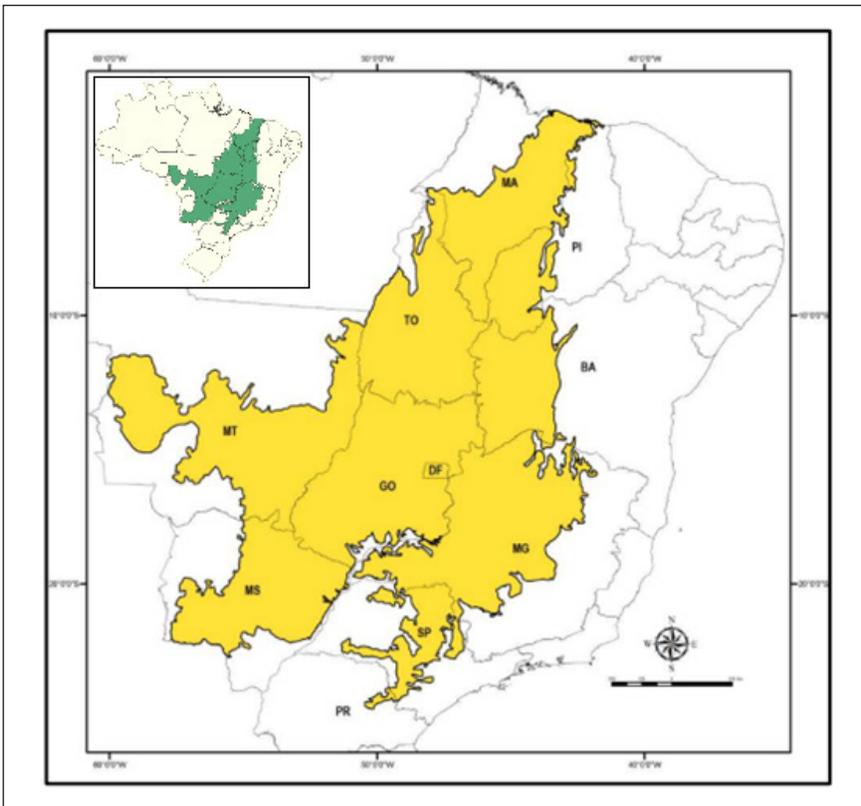
Este estudo tem por objetivo compreender como se caracteriza o clima no bioma Cerrado. Quais sistemas meteorológicos influenciam o clima e o tempo. Assim como, identificar os principais fenômenos meteorológicos característicos das estações seca e úmida, distribuição termo higrométrica e as resultantes unidades climáticas observadas e perceptíveis em superfície.

Material e Métodos

Área de Estudo

Para esse trabalho utilizamos a área nuclear (contínua) do bioma Cerrado, localizada 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 (Figura 1). Segundo o IBGE (2004), é a segunda maior formação vegetal brasileira, com 2,04 milhões de quilômetros quadrados (22% do território nacional).

Figura 1 – Localização da área nuclear do Bioma Cerrado no Brasil



Dados

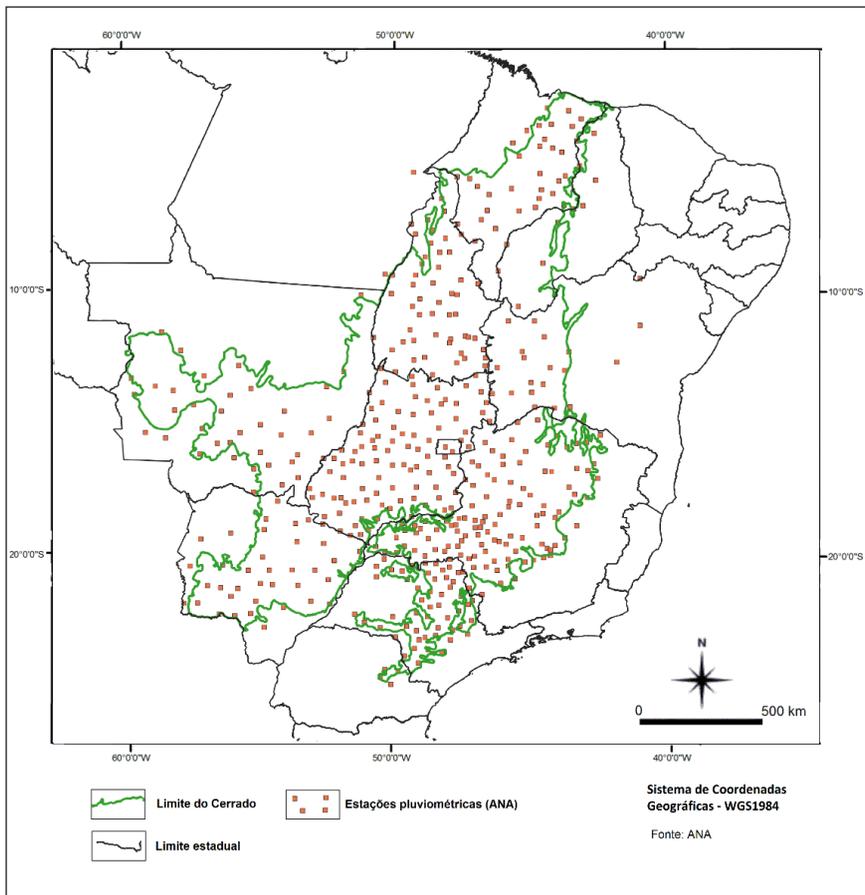
Foram utilizadas as reanálises do projeto ERA-Interim (BERRISFORD *et al.*, 2011; DEE *et al.*, 2011) de 1982 a 2012, em pontos de latitude e longitude de 1,0°. Consideramos o geopotencial e as linhas de corrente em 250,0 hPa e para os níveis de pressão atmosférica e as componentes zonais e meridionais do vento, 950,0 hPa, necessários para diagnosticar e mostrar a configuração climatológica dos níveis atmosféricos. Quanto as análises de validação das chuvas, foram utilizadas as estimativas do produto 3B43 do satélite TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) nos períodos entre 1998 a 2014, e as medidas de observações em superfície mediante um compilado de dados da sua rede pluviométrica do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), ANA (Agência Nacional de Águas) e EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), referente ao período climatológico, totalizando 1.227 estações. Outros dados de reanálise ERA-Interim, também foram utilizados na elaboração dos mapas de temperatura do ar, como o modelo CHELSA (*Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas*), com pixels de alta resolução espacial de aproximadamente 1 km (KARGER *et al.*, 2017).

Ao todo, 41 estações climatológicas do INMET foram usadas para a coleta de dados de temperatura do ar durante o período de 1979 a 2013. 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. 456 pluviômetros serviram para a interpolação dos dados de precipitação disponíveis no sítio da Agência Nacional de Águas (ANA), na plataforma do HidroWeb, sendo o intervalo de análise de 1981 a 2015 (Figura 2). No banco de dados pluviométricos, as informações mensais estimadas pela ANA foram consideradas, mas as classificadas como duvidosas foram descartadas.

Os valores de temperatura e precipitação pluviométrica mensais, de cada localidade climática da área de estudo, foram inseridos em uma planilha de Balanço Hídrico Normal criada por Thorntwaite e Mather (1955), e elaborada por Sentelhas *et al.* (1998), onde foram calculadas a

Evapotranspiração Potencial (ETP) e a quantidade de meses secos, parâmetros necessários para a subdivisão das primeiras hierarquias na classificação climática utilizada por esse trabalho. 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. Foi adotado então 100 mm para a Capacidade de Água Disponível no solo (CAD), valor muito comum para fins climatológicos e de caracterização da disponibilidade hídrica regional, que varia de 75 a 125 mm, segundo Carvalho *et al.* (2008).

Figura 2 – Estações pluviométricas utilizadas no Bioma Cerrado



Fonte: ANA.

Metodologia

Para este estudo foi realizada uma revisão bibliográfica referente aos principais sistemas meteorológicos que organizam a sazonalidade do clima quanto as escalas global, regional e local. Para o diagnóstico dos principais fenômenos atmosféricos e respectivos níveis das camadas atmosféricas, as reanálises do projeto ERA-Interim foram compiladas e empregadas para a representação gráfica com *software* GrADS. As reanálises ERA-Interim subsidiaram e validaram as análises sazonais dos fenômenos nas diferentes escalas climáticas. A validação entre satélite e estações meteorológicas, conforme a quantificação e avaliação da variabilidade espacial e temporal das chuvas, foram avaliadas por diferentes testes estatísticos, com mais detalhes em Farias (2016).

O Sistema de Classificação Climática utilizado para o referente estudo é o de Novais (2019), que em sua tese, aplicou-a para o bioma Cerrado. A classificação mescla modelos empíricos e genéticos, e possui uma hierarquia de unidades climáticas. Essa hierarquia é controlada pelos Climas de Escalas Superiores, como as Zonas Climáticas, Climas Zonais e Domínios Climáticos, e associa-se aos climas de Escalas Inferiores em um intercâmbio de informações, que aborda tanto os valores observados do tempo e do clima, quanto a influência dos sistemas meteorológicos. Pimenta (2019) resume as unidades climáticas de Novais para o território brasileiro, como visto a seguir:

- 1) *Clima Zonal* – regulado pela Temperatura Média do Mês mais Frio (TMMMMF), exemplos: *Tórrido* (TMMMMF acima de 22,5°C); *Quente* (TMMMMF entre 15° e 22,5°C) e; *Moderado* (TMMMMF entre 0° e 15°C).
- 2) *Domínio Climático* – controlado pela TMMMMF e por Sistemas Atmosféricos que atuam no continente, sendo eles: *Equatorial*, TMMMMF igual ou acima de 22,5°C, influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) em pelo menos um mês no ano; *Equatorial Ameno*, TMMMMF entre 18° e 22,4°C, influência da ZCIT em pelo menos um mês no ano; *Tropical*,

TMMMF igual ou acima de 18°C, sem influência da ZCIT, atuação dos sistemas atmosféricos Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS); *Tropical Ameno*, TMMMF entre 15° e 17,9°C, sem influência da ZCIT, atuação da ZCAS e ASAS, e de resfriamento adiabático do ar (altitude); *Subtropical*, TMMMF entre 10° e 14,9°C, influência do Anticiclone Polar Sul (APS), ASAS, resfriamento adiabático provocado pela altitude e possibilidade de ocorrência de geada (TMínima absoluta < 3,5°C) pelo menos em um dia no ano; *Subtropical Frio*, TMMMF entre 0° e 9,9°C, com influência do APS, ASAS, resfriamento adiabático provocado pela altitude com vários episódios de geada (TMínima absoluta < 3,5°C) durante o mês mais frio; *Semiárido*, com quantidade de meses secos igual a doze e precipitação pluviométrica acima de 500 mm e; *Árido*, com quantidade de meses secos igual a doze e precipitação pluviométrica abaixo de 500 mm.

- 3) *Subdomínio Climático* – determinado pela quantidade de meses secos (precipitação menor que evapotranspiração potencial), sendo: *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).
- 4) *Tipo Climático* – localização dos domínios ou subdomínios no território brasileiro, delimitados muitas vezes pelo relevo, podendo ser influenciados por sistemas meteorológicos que ali atuam e que modificam o tempo drasticamente. Podem coincidir também com grandes áreas de vegetação. São exemplos no território brasileiro: *Setentrional*, *Meridional*, *Central*, *Amazônico*, *Nordestino*, *Litorâneo*, *Ocidental* e *Oriental*.
- 5) *Subtipo Climático* – pertence às escalas climáticas sub-regional e local, e é delimitado por sua localização, mas com um maior detalhamento em relação ao tipo, recebendo assim, nomenclaturas de unidades geomorfológicas. Sua delimitação pode ocorrer também pela área urbana contínua de

grandes regiões metropolitanas (como São Paulo e Rio de Janeiro). Utilização detalhada para análises socioambientais, caracterização física de uma área de estudo, etc. Evidencia as características climáticas (TMMMF, meses secos, *déficit* e excedentes hídricos) existentes nos tipos, subdomínios e domínios climáticos.

- 6) *Mesoclima* – de escala climática local, são delimitados por feições geográficas ou antrópicas de destaque na paisagem, que interferem no fluxo energético (serras, linhas de cumeada, topos de planaltos, vales abertos e encaixados, áreas de mata, zonas urbanas, etc.).
- 7) *Topoclima* – última categoria hierárquica, derivada do Mesoclima, abrange pequenos táxons geomorfológicos. Essa unidade climática é influenciada pelo aquecimento desigual de vertentes, localização em escarpas, pontos culminantes de relevo acidentado, e origem de chuvas orográficas.

Resultados e discussão

Como já mencionado, o sistema climático terrestre é complexo. Sua complexidade resulta da interação entre a energia solar, a atmosfera (um meio instável que muda rapidamente), o oceano (muito lento termicamente) que regula as variações da atmosfera e, a superfície, com as suas particularidades. A conversão de energia térmica, entre os Polos e o Equador, em energia cinética que produz movimento, impulsiona as circulações simétricas na atmosfera e nos oceanos em escala planetária. Inerente a circulação atmosférica, ocorrem movimentos horizontais que interagem sobre grandes áreas e podem persistir por períodos de alguns dias a vários meses. Porém, movimentos verticais não tão perceptíveis, como o ar ascendente e descendente são necessários para a troca de calor e umidade entre as distintas camadas atmosféricas e para manter o equilíbrio térmico do sistema climático (CLIMANÁLISE, 1986; SATYAMURTY *et al.*, 1998).

As teleconexões e o clima regional

A efeito de uma escala global, os oceanos têm um papel fundamental sobre o clima na porção central da América do Sul (AS). A alternância térmica entre as porções tropicais e extratropicais dos oceanos Atlântico e Pacífico, atuam sobre a variabilidade do clima da América do Sul. Tais influências remotas são observadas mediante os resultados do Índice de Oscilação Sul (IOS), El Niño ou La Niña, em episódios que podem perdurar de seis a dezoito meses.

Há também a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), que é um fenômeno que ocorre nas latitudes médias do Pacífico Norte, a cada período de aproximadamente vinte anos, e a Oscilação Interdecadal do Pacífico (OIP), que tem sua atuação estendida para além do hemisfério Norte, e perdura de quinze a trinta anos.

A ODP e a OIP influenciam diretamente na frequência e na intensidade de episódios de El Niño e La Niña. Em fase positiva, causa maior aquecimento na porção tropical e maior resfriamento na porção Norte do Pacífico. Em fase negativa, ocorre a inversão desse padrão, induzindo trópicos mais frios e regiões mais quentes ao Norte (ANDREOLI *et al.*, 2016; ANDREOLI; KAYANO, 2005).

Estes fenômenos remotos, também denominados de teleconexões, induzem mudanças na pressão atmosférica, na temperatura da superfície do mar e na direção e velocidade do vento, que podem perdurar de semanas a décadas, dependendo da oscilação. Estas forçantes de grande escala modificam a circulação sobre a região tropical da AS, e assim, contribuem para a duração, o início e o término da estação chuvosa. Da mesma maneira, modificam a qualidade da estação chuvosa, favorecendo precipitação acima ou abaixo da normal climatológica (ANDREOLI; KAYANO, 2005; ARAÚJO *et al.*, 2012; WANG *et al.*, 2014; GARCIA, 2010; ANDREOLI *et al.*, 2016; VIEGAS *et al.*, 2019).

Fenômenos atmosféricos atuantes em uma escala regional de altos níveis

Sob uma escala regional, em altos níveis, a aproximadamente 10,3 km de altitude, o contraste termodinâmico de temperatura e pressão entre os oceanos tropicais adjacentes, Atlântico e Pacífico, o continente Sul-Americano e a Antártida, induzem fenômenos de tempo, de origem tropical e extratropical (CLIMANÁLISE, 1986), organizando uma circulação sazonal, nos altos e baixos níveis da atmosfera, condicionando o principal cenário para a atuação de complexos sistemas climáticos característicos, que atuam sobre as bordas e o interior do bioma.

O intenso aquecimento superficial do platô boliviano alimenta uma circulação anticiclônica na alta troposfera, chamada de Alta da Bolívia (AB) (SILVA DIAS *et al.*, 1983; DE MARIA, 1985; JONES; HOREL, 1990; SATYAMURTY *et al.*, 1998). Este sistema de alta pressão, cuja variabilidade em seu posicionamento e intensidade, interage e organiza outros sistemas sinóticos atuantes sobre o continente. Durante o verão, está associado ao início da estação chuvosa, aos elevados índices e intensidade de precipitação, e a penetração de sistemas frontais (SATYAMURTY *et al.*, 1998; SETTE, 2005; REBOITA *et al.*, 2010).

Oposto ao posicionamento da AB, o Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) é uma região de baixa pressão, caracterizada por uma circulação de sentido horário. Funciona transportando o ar seco dos níveis superiores para as camadas mais baixas da atmosfera. Em superfície, as regiões influenciadas pelo centro do sistema, devido ao movimento de subsidência, apresentam céu com pouca ou nenhuma nebulosidade. Contudo, as regiões sob a ação de suas bordas devido ao movimento ascendente se apresentam encobertas e, algumas vezes, com grandes quantidades de precipitação. Quando adentram no continente, ao longo do verão, induzem precipitações persistentes sobre a parte Centro-Leste do Cerrado (SATYAMURTY *et al.*, 1998; FERREIRA *et al.*, 2009; REBOITA *et al.*, 2010).

Outro sistema existente no cenário climatológico é o Jato de Altos Níveis (JAN) que indicam para a intensificação e o desenvolvimento de

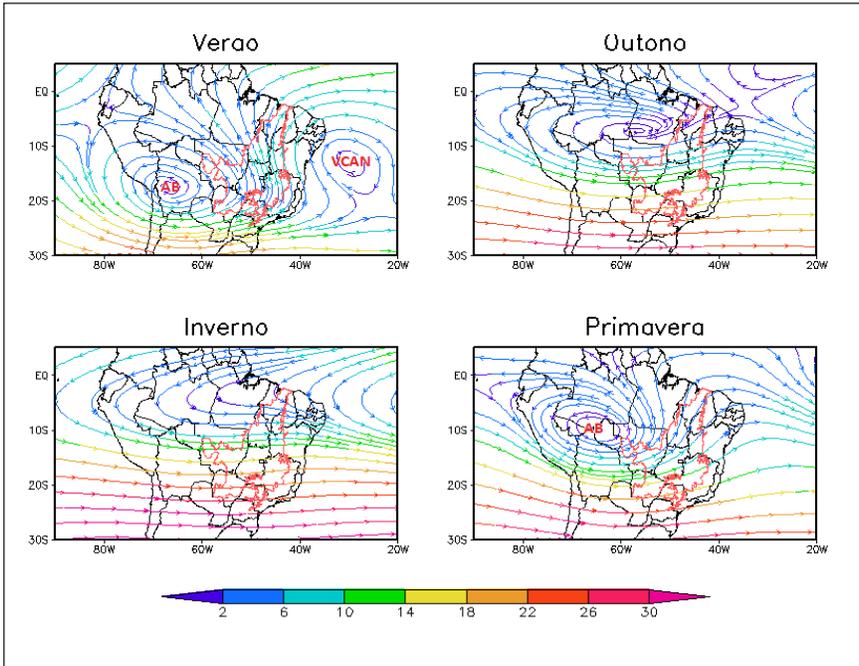
atividade convectiva na atmosfera tropical. Seu posicionamento, sinaliza a entrada de frentes frias sobre o Cerrado (CAVALCANTE *et al.*, 2009). São caracterizados por um corredor de ventos intensos, nos altos níveis da atmosfera. Posicionado entre 20°S a 30°S, e entre 10.0 km a 16.0 km de altitude, são mais intensos durante o verão.

A configuração sazonal da Climatologia é apresentada na Figura 3. No verão, esta configuração de circulação atmosférica é caracterizada por dois sistemas meteorológicos transientes marcantes, a Alta da Bolívia (AB) e o Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN), que atuam estruturando a circulação atmosférica. No outono, a circulação é organizada por um anticiclone localizado sobre o Sul dos estados do Amazonas e Pará, conduzindo os ventos no sentido Oeste para Leste. Os ventos variam de pouco menos de 2.0 m.s⁻¹ a Norte, a até 26.0 m.s⁻¹ no Sul do Cerrado.

O sentido da circulação se mantém no inverno, porém a intensidade dos ventos aumenta, como pode ser observado nos estados de Goiás e Mato Grosso do Sul. As estações do outono e do inverno representam o final e o auge da estação seca. Em decorrência dessa circulação em altos níveis a estabilidade da atmosfera é favorecida, e como consequência, as frentes frias e secas que adentram no continente potencializam a baixa umidade do ar e a ausência de chuvas.

Na primavera, o centro de alta pressão da AB volta a atuar na parte Noroeste da América do Sul, entre os estados do Acre e Rondônia, sistematizando a circulação sobre o continente. A circulação tende para o sentido Nordeste, com ventos mais fortes na porção Centro-Sul, variando entre 6.0 m.s⁻¹ a 22.0 m.s⁻¹. A formação e o posicionamento da AB, na primavera, condiciona o início da estação chuvosa que incide sobre o Cerrado.

Figura 3 – Configuração característica da Climatologia para a circulação sazonal ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) na América do Sul em altos níveis (250 hPa) a aproximadamente 10,3 km de altitude, com destaque para a Alta da Bolívia (AB) e o Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN). As velocidades variam entre $2,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (azul) próximo ao Equador a até mais que $30,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (vermelho), próximo ao Trópico de Capricórnio



Fonte: Farias (2016).

Vale ressaltar que uma anomalia de alta pressão persistente em altos e médios níveis, localizada em torno de 30° de latitude, desvia o escoamento da circulação Oeste-Leste para Norte-Sul. Este sistema é conhecido como Bloqueio Atmosférico, observado comumente no inverno. O desvio da circulação para Norte-Sul desfavorece os sistemas sinóticos transientes, como as frentes frias e os ciclones, causando baixa umidade do ar, altas temperaturas e ausência de chuvas (DAMIÃO *et al.*, 2020).

Fenômenos meteorológicos atuantes nos baixos níveis atmosféricos próximos a superfície e suas influências

A dinâmica da atmosfera em altos níveis governa a circulação nos níveis mais baixos. Aliada à atuação dos anticiclones do Atlântico e do Pacífico, soma-se a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Ela é caracterizada por uma região de baixa pressão em razão da convergência dos alísios nos baixos níveis. É o principal mecanismo gerador de chuvas nas regiões tropicais, mais especificamente, no Norte do bioma. Sua influência, sobretudo durante o verão, ocorre devido ao seu deslocamento para o interior do continente que injeta umidade nos níveis mais baixos da atmosfera. Sua localização varia ao longo do ano, conforme a variabilidade da circulação atmosférica e da temperatura na superfície dos oceanos. Encontra-se mais ao Norte, em torno de 14°N, no inverno do hemisfério Sul, entre julho a outubro. No verão, está mais ao Sul, entre janeiro e abril, podendo chegar à posição máxima de 5°S a 6°S (SATYAMURTY *et al.*, 1998; SETTE, 2005).

Nos oceanos Atlântico e Pacífico a circulação na atmosfera é organizada segundo os centros de alta pressão, quase estacionários, localizados a aproximadamente 30°S – 20°W e 25°S – 100°W. Esses padrões de alta pressão atmosférica sobre os oceanos são conhecidos como Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e Anticiclone Subtropical do Pacífico Sul (ASPS).

Essas configurações variam sazonalmente quanto a sua intensidade, avançando ou recuando, injetando ou atenuando a entrada de umidade e precipitação sobre o continente (NIMER, 1989; SATYAMURTY *et al.*, 1998; SETTE, 2005). Tais variações, ora potencializam, ora inibem a atuação de massas de ar com diferentes características que condicionam a sazonalidade climática.

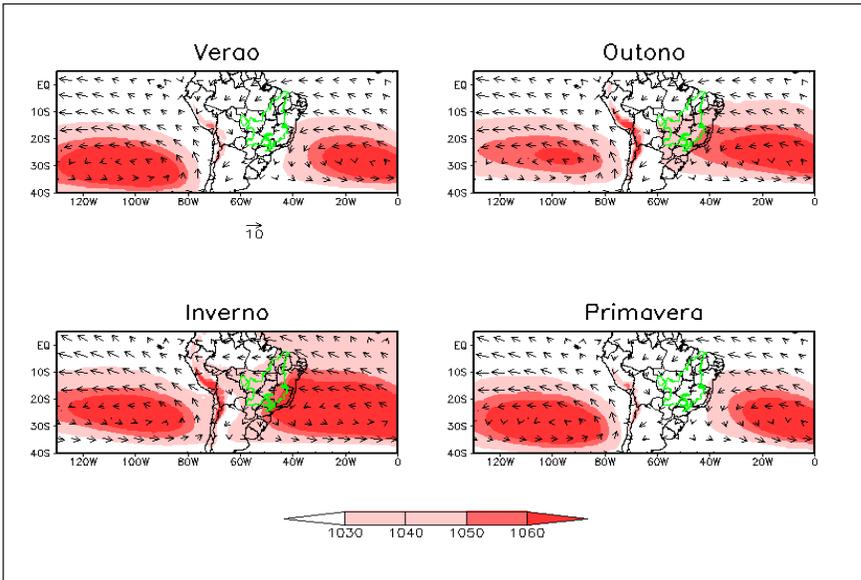
A Massa Tropical Continental, sistema atmosférico de baixa pressão, é responsável pelos veranicos na porção central da região do Cerrado brasileiro (ASSAD *et al.*, 1994). Já a Massa de Ar Polar Atlântica atua com maior frequência durante o inverno (SETTE, 2005; NIMER,

1989), sendo responsável pelo período seco em grande parte do Cerrado. Em decorrência do contraste entre as massas de ar, fenômenos transientes, como as frentes com características distintas, adentram no interior do continente modificando as condições iniciais de temperatura e umidade do ar e do solo (REBOITA *et al.*, 2010)

A configuração da circulação nos níveis mais baixos da atmosfera, em aproximadamente 540,0 metros de altitude, está representada na Figura 4. A variação da direção e intensidade do vento (vetores) é mais evidente entre os meses de inverno e verão, sobre o continente. Os ventos mais intensos no inverno são superiores a $5,0 \text{ m.s}^{-1}$ e avançam até o centro do bioma. Estes, se enfraquecem atingindo velocidades menores que $5,0 \text{ m.s}^{-1}$ tendendo para o Sul, próximo a 25° S . No outono (abril), os ventos que se concentram no continente persistem na direção Sul, porém, menos intensos.

Os ventos mais intensos sobre o Atlântico durante o inverno, invadem o continente em sentido oeste, próximo a 10° S , e incidem na mesma direção até a Bolívia. Situação contrária à observada no verão, onde ocorre mudança na direção e na intensidade do vento. A circulação volta a se organizar na primavera, quando os ventos vindos de Leste se enfraquecem e mudam de direção, persistindo nesta configuração até a mudança de estação para o verão.

Figura 4 – Configuração climatológica característica da circulação sazonal sobre a América do Sul próxima a superfície (950hPa,) a aproximadamente 540.0 m de altitude. Direção e velocidade do vento (m.s^{-1}) são representadas pelos vetores, e seu tamanho padrão refere-se a $10,0 \text{ m.s}^{-1}$. A área colorida representa os centros de alta pressão em hPa sobre os oceanos, variando entre 1.030,0hPa a 1.060,0hPa



Fonte: Farias (2016).

Parte da umidade da Amazônia que se desloca a Leste dos Andes é levada por fluxos intensos, observados próximos a superfície, em aproximadamente 2.0 km de altura. Esse fenômeno é denominado de Jatos de Baixos Níveis (JBN). Tal fluxo, está associado à circulação de grande escala sobre extensas áreas montanhosas. As montanhas andinas atuam bloqueando a circulação nos baixos níveis no sentido zonal, Leste-Oeste, canalizando o vento úmido até distribuí-lo em parte do Centro-Sul do Cerrado e em parte do Nordeste da Argentina (MARENGO *et al.*, 2006; VERA *et al.*, 2006).

Quando a circulação do JBN de Noroeste converge com a circulação de Nordeste dos ventos alísios, induzida pelo ASAS, resulta em intensa convergência de umidade. Em alguns dias durante o verão, mais frequentemente em dezembro e janeiro, é recorrente sobre o continente

a formação de uma banda de nebulosidade no sentido Noroeste-Sudeste, desde a Amazônia, passando pelo Sudeste do Brasil até o Oceano Atlântico Sul.

A configuração desta banda de nebulosidade é efeito da interação em altos níveis do acoplamento entre a AB e VCAN do Nordeste, aliado aos JBN, às frentes frias e aos ventos oriundos do ASAS (KOUSKY, 1988; KODAMA, 1992; LENTERS; COOK, 1995). Quando a precipitação por conta da atuação dessa banda de convergência de umidade, atua durante seis ou mais dias, passa a ser denominada de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), responsável pelos elevados totais de precipitação sobre a região em que está atuando (CUNNINGHAM; CAVALCANTE, 2006; GRIMM, 2009; CAVALCANTE *et al.*, 2009).

Outro mecanismo indutor de precipitação, também observado, são os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM). Esses se configuram como um grande conglomerado de nuvens arredondadas e localizadas que produzem chuvas intensas e persistentes. São responsáveis por enchentes e aguaceiros nos centros urbanos localizados nas partes Leste e Sudoeste do Cerrado (SATYAMURTY *et al.*, 1998; GAN; MOSCATI, 2003; FERREIRA *et al.*, 2004; CARVALHO; JONES, 2009; REBOITA *et al.*, 2010).

As chuvas na região do Cerrado têm como marcante característica, a intensidade e a distribuição sazonal concentrando o período chuvoso entre os meses de outubro a março e, o período seco, entre os meses de abril a setembro (ASSAD *et al.*, 1992; GAN; MOSCATI, 2003; FERREIRA *et al.*, 2004; CARVALHO; JONES, 2009; REBOITA *et al.*, 2010). Este mecanismo caracteriza a variabilidade hídrica sazonal da precipitação como o sistema de monções da América do Sul (ZHOU; LAU, 1998; GAN *et al.*, 2004; GAN *et al.*, 2006; VERA *et al.*, 2006; BOMBARDI; CARVALHO, 2008; REBOITA *et al.*, 2010; GARCIA, 2010).

Na porção Centro-Leste do bioma, a circulação do vento, próximo a superfície, muda sazonalmente de Sudeste no verão, para Noroeste em julho, no inverno austral. Tal mudança da circulação em superfície

está associada na Alta Troposfera, ao acoplamento entre a Alta da Bolívia e o Vórtice Ciclônico de Altos Níveis do Nordeste, e nos níveis mais baixos, interagem com a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), devido ao transporte de ar quente e úmido da região Amazônica pela Corrente de Jato de Baixos Níveis (CJBN). Uma das características desta circulação monçônica corresponde a formação e posicionamento climatológico da ZCAS sobre o bioma, que podem ser relacionados com fenômenos remotos no hemisfério Norte (GRIMM, 2009; CUNNINGHAM; CAVALCANTE, 2006).

A validação de dados satelitários indicam que os totais médios anuais de precipitação são contrastantes entre a porção Leste, mais seca, e a Oeste, mais chuvosa. Na parte Leste, a fronteira com o semiárido lhe proporciona médias anuais entre 900.0 mm.ano⁻¹ a 1,100 mm.ano⁻¹. Enquanto na parte Oeste, os totais anuais pluviométricos são maiores, entre 1,750 mm.ano⁻¹ e 2,001 mm.ano⁻¹ na fronteira com a região Amazônica. O centro é mais homogêneo e apresenta os totais pluviométricos entre 1,100 mm.ano⁻¹ e 1,750 mm.ano⁻¹. Na parte Norte do bioma, nota-se uma pequena área com totais pluviométricos variando entre 1,100 mm.ano⁻¹ a 2,001 mm.ano⁻¹.

A atuação das monções sobre o Cerrado condiciona chuvas inferiores a 25,0 mm.mês⁻¹ observadas entre os meses secos. Tal constatação induz um *déficit* hídrico de aproximadamente 5,0 mm.mês⁻¹, observado durante o trimestre de maio a julho, mais especificamente na porção Norte e Oeste do bioma. Nos meses chuvosos, o excedente hídrico máximo varia a até 240,0 mm.mês⁻¹. As comparações entre estimativas por área e observações pontuais são significativas. O satélite tende a subestimar o período chuvoso e superestimar o período seco (FARIAS, 2016).

Sob uma escala local, a dinâmica micro climatológica da circulação nas camadas mais baixas da atmosfera, aliada aos processos de solo-vegetação-atmosfera, induz as diferentes condições de temperatura e umidade do ar e precipitação. Na transição entre as estações chuvosas e secas, são observados fenômenos extremos de tempo, como

tempestades, granizo, ventos fortes e precipitação decorrentes de fenômenos atmosféricos transientes. E, no período chuvoso é recorrente a formação de nuvens tipo cumulonimbus que favorecem chuvas intensas e centralizadas, após períodos secos e com temperaturas elevadas (CPTEC, 2018; INMET, 2019). Sobre os centros urbanos, densamente povoados, com o assoalho impermeabilizado e elevada quantidade de material particulado no ambiente, a convecção de calor e umidade, pode potencializar as tempestades ao final do dia, como observado em um estudo de caso por Farias *et al.* (2014).

Como observado, o clima do Cerrado é resultante da interação entre o balanço da energia solar entre a atmosfera, a biosfera, a hidrosfera, a litosfera e a criosfera. Estas interações, sob um imbricado conjunto de aspectos (Latitude, Longitude, Altitude/Relevo, continentalidade, maritimidade, correntes marítimas, albedo, vegetação, ação antrópica) condicionam variações biofísicas dos elementos (temperatura, pressão atmosférica, umidade, vento, precipitação), remotamente e localmente, interagindo entre cada camada distinta da atmosférica, caracterizando os diferentes climas do Cerrado como se percebe, se observa e se sente, nos primeiros 1,5 km desde a superfície.

Distribuição da precipitação pluviométrica e da temperatura do ar no Cerrado

Em grande parte do bioma Cerrado são constatados grandes acumulados de chuva durante a estação do verão, relacionados ao forte aquecimento radiativo da superfície, que permite o desenvolvimento de atividades convectivas. Conforme Reboita *et al.* (2010, 2012), parte desses sistemas convectivos está relacionado à dinâmica do escoamento dos Jatos de Baixos Níveis (JBN), vindos da Amazônia, que 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 ao verão, provocados por entradas de anticiclones que bloqueiam a atuação das baixas pressões atmosféricas. Como visto nos dados das estações pluviométricas da ANA, o acumulado de precipitação média durante os meses de janeiro, fevereiro e março é 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 1.000 mm, com destaque para Sapezal (MT) na divisa de Mato Grosso com Rondônia, que registrou a média de 1.081,1 mm, e Ponte Alta do Bom Jesus (TO), com 1.004 mm.

A estação do outono é caracterizada pelo fim da atuação 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 no acumulado de abril, maio e junho. Os menores valores nesse período foram registrados no Norte de Minas Gerais e no 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 Cantanhede (MA).

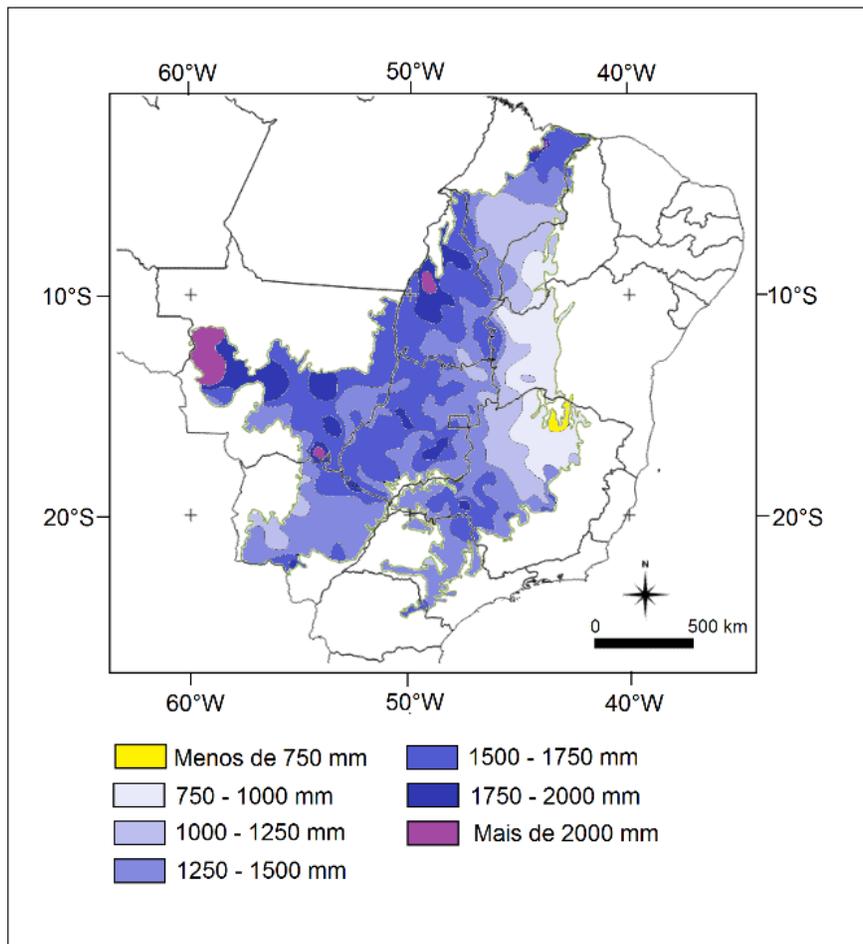
A rápida passagem das frentes frias e a longa duração do ASAS sobre a região central do país no inverno (julho, agosto e setembro), dificulta a formação de sistemas convectivos e contribui para a redução dos níveis de umidade do ar sobre a área de estudo. De acordo com Novais (2019), na região setentrional do Cerrado, o afastamento da ZCIT para o oceano diminui a precipitação pluviométrica, mas ainda interfere nela com valores acima de 100 mm para o inverno.

A atuação do anticiclone no Brasil Central faz cair a precipitação média durante o inverno ficando 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, nas chapadas sul mato-grossenses e goianas, nas 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. Em função da frequente passagem de frentes frias trazendo umidade, o planalto paranaense registra os maiores acumulados de chuva na estação do inverno (acima de 250 mm), e Tibagi é o local com o maior valor (307,5 mm).

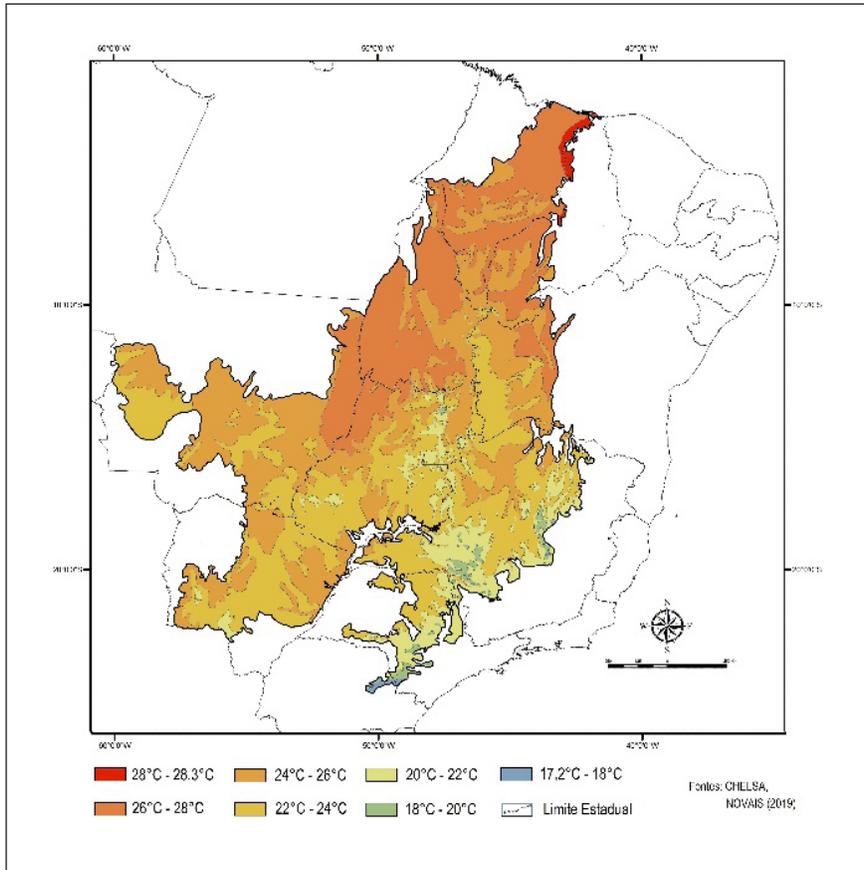
Com a migração da ZCIT para o hemisfério Norte, a região do litoral maranhense registra os menores valores acumulados de chuva na estação da primavera (outubro, novembro e dezembro), com 84,3 mm em Urbano Santos (MA). Na maioria da área de estudo a precipitação pluviométrica começa a aumentar (entre 500 e 750 mm acumulados) devido a formação de bandas de nuvens de orientação NW-SE, ou seja, as ZCAS retornam à 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).

De acordo com a Figura 5, a precipitação pluviométrica média no período de 1981 a 2015, é caracterizada por uma variabilidade sazonal em um ciclo 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 2.187 mm, Abreulândia (TO) com 2.133 mm, e Juína (MT) com 2.123 mm, os locais com os maiores valores. Na maior parte da área do Cerrado as precipitações acumuladas ficam entre 1.250 e 2.000 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 tal bioma, especialmente, no Norte de Minas Gerais, que tem precipitação abaixo de 750 mm, destacando o município de Porteirinha, com 659 mm.

Figura 5 – Precipitação pluviométrica média anual no bioma Cerrado

Fonte: ANA.

Figura 6 – Temperatura média anual no bioma Cerrado



Fonte: CHELSA.

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. Seguindo do Planalto Central brasileiro indo em direção Norte, os meses mais frios, ou menos quentes, são os que tem uma nebulosidade maior e conseqüentemente uma maior precipitação pluviométrica.

Na Figura 6, o menor valor da temperatura média anual (abaixo de 18°C), obtida a partir dos dados de reanálise do CHELSA, aparece no planalto do estado do Paraná e nos topos das serras da Canastra e

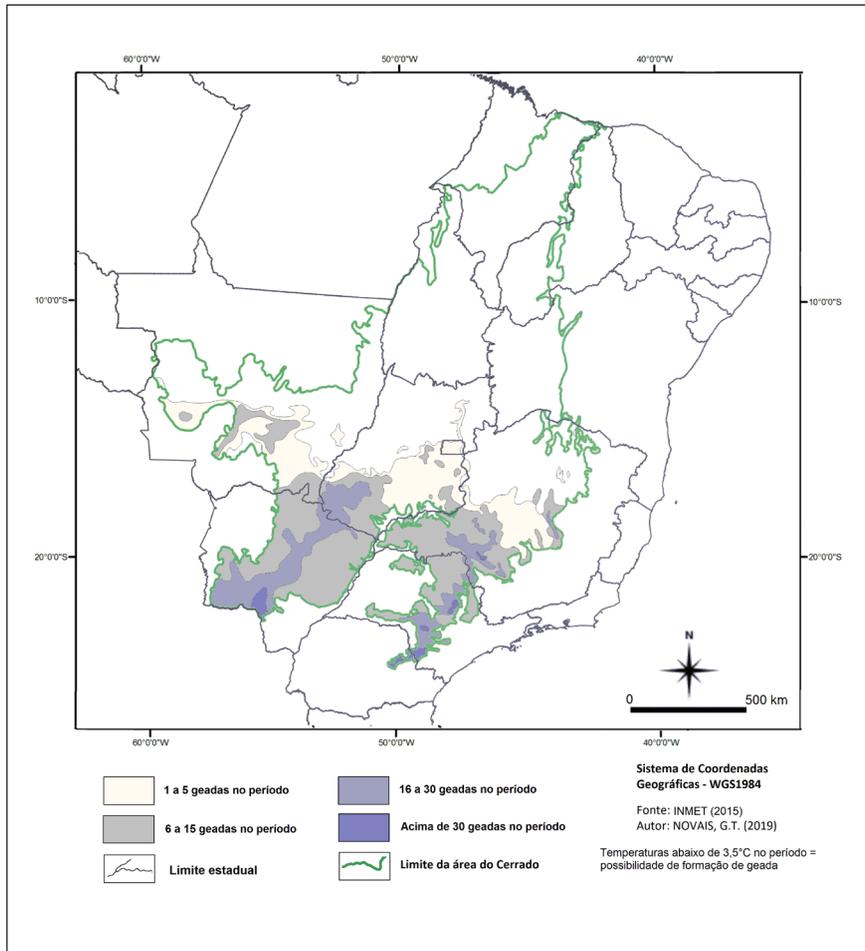
Espinhaço, em Minas Gerais, influenciado pela latitude (Paraná) e pelo resfriamento adiabático do ar no alto das serras (Minas Gerais). Já no baixo vale do Rio Parnaíba, na divisa entre o Maranhão e Piauí, registra-se a maior temperatura média anual (valores acima de 28°C) provocada pela proximidade da linha do Equador (altura solar próxima do zênite) e pela grande quantidade de meses secos e sem nebulosidade, gerando assim 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 se apresentam nas regiões mais quentes do Centro-Sul da área de estudo, como o limite com o Pantanal mato-grossense e os vales dos rios Paraná, Paranaíba e São Francisco. A maioria dos planaltos nos estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Minas Gerais e Bahia têm valores entre 20° e 24°C, provocados pela influência da altitude na temperatura. As serras do Espinhaço e Alto Paranaíba (Minas Gerais), os topos de reverso de cuesta em São Paulo, e a Chapada dos Veadeiros (Goiás) registram valores entre 18° e 20°C.

A Figura 7, 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 Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), e interpolado nas áreas que não possuíam estações, sendo as imagens de radar do SRTM 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 do referente trabalho, pois alerta para os 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.

Figura 7 – Possibilidade de formação de geada no bioma Cerrado



Fonte: INMET.

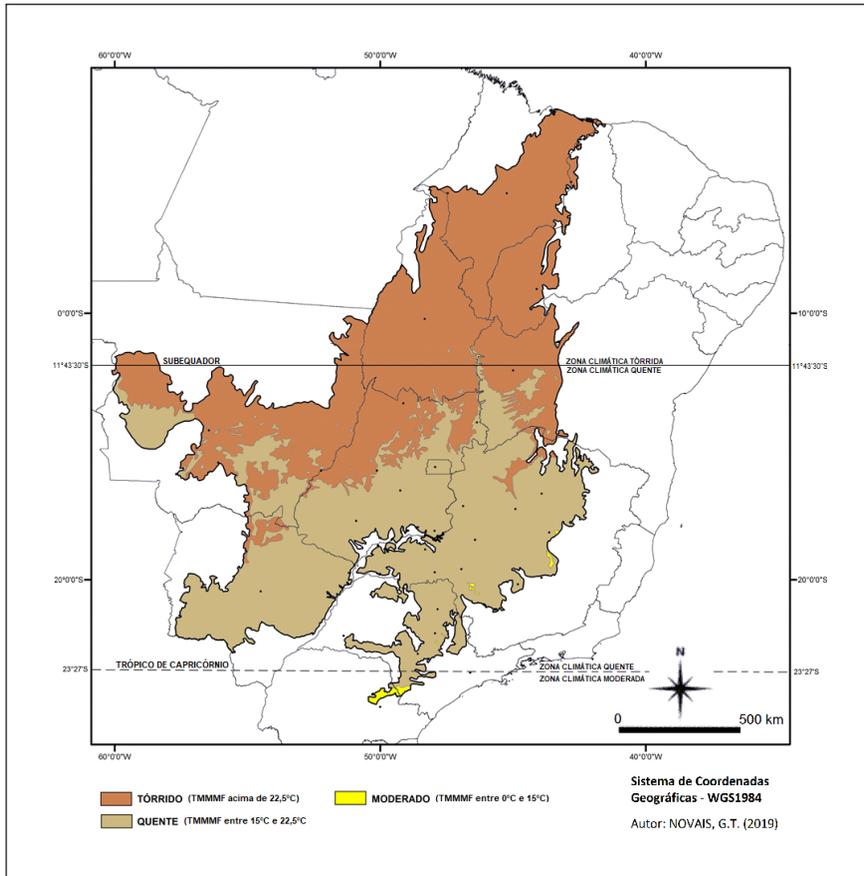
Em Castro (PR), estação climatológica base para as interpolações na região do Cerrado paranaense, foram registradas temperaturas abaixo de 3,5°C em 411 episódios durante o período analisado. Os outros locais subtropicais da área de estudo também têm a possibilidade de geadas anuais, como no planalto 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 à 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.

Unidades climáticas do Cerrado

De acordo com Novais (2017), dois paralelos cruzam a área do Cerrado brasileiro 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) e afetam a quantidade de radiação solar que a superfície recebe (Figura 8). 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.

Figura 8 – Climas Zonais do Cerrado



Fonte: Novais (2019).

A primeira hierarquia dessa classificação climática é o *Clima Zonal*, sendo em número de três, na área de estudo: o *Tórrido*, o *Quente* e o *Moderado* (Figura 8). 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 no bioma 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 no 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.

Como o bioma Cerrado é muito grande (mais de dois milhões de quilômetros quadrados), não temos a possibilidade de delimitar os *Subtipos*, *Mesoclimas* e *Topoclimas* neste trabalho. Sugerimos o desenvolvimento de estudos específicos em nível de bacias hidrográficas intraregionais, sub-bacias e microbacias, por exemplo, para a elaboração de pesquisas para cada subdomínio, apresentando-os separadamente, como feito por Novais *et al.* (2018), que identificou essa classificação climática para determinar os Subtipos Climáticos do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, em Minas Gerais.

O Quadro 1, demonstra a proposta de unidades climáticas para o território brasileiro, subdividida da segunda à quarta hierarquia (Domínios Climáticos, Subdomínios Climáticos e Tipos Climáticos).

No Cerrado, os Domínios Climáticos (terceira hierarquia da classificação climática) são em número de quatro, sendo eles: *Equatorial*, *Tropical*, *Tropical Ameno* e *Subtropical*.

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 demarcam 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 o 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.

Quadro 1 – Unidades climáticas brasileiras.

Domínio Climático	Subdomínio Climático	Tipo Climático
Equatorial	Úmido Semiúmido Semiseco Seco	Amazônico Litorâneo N Nordestino
Equatorial Ameno	Úmido Semiúmido	Amazônico Nordestino
Tropical	Úmido Semiúmido Semiseco Seco	Central Litorâneo E Meridional Nordestino Occidental Oriental Setentrional
Tropical Ameno	Úmido Semiúmido Semiseco Seco	Central Litorâneo S Meridional Nordestino Oriental
Subtropical	Úmido Semiúmido Semiseco	Litorâneo S Meridional Setentrional
Subtropical Frio	Úmido	Meridional Setentrional
Semiárido	-	Litorâneo N/E/S Nordestino
Árido	-	Nordestino

Fonte: Novais (2019), modificado pelo autor.

Sem a influência da ZCIT e compreendendo a maior parte 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. Já Köppen (1948) considera essa região como Aw, e Nimer (1972) como Megatérmico Semiúmido.

O *Domínio Tropical Ameno* localiza-se nas áreas mais elevadas do centro do país e nos planaltos meridionais do Cerrado, 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 delimitadas não estarem em altitudes elevadas, que provocam algum efeito adiabático, como foi apresentado por Simielli (2013) em seu Geoatlas. Para Köppen 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 Subsequente.

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 e recebe a denominação de Subtropical Úmido. Köppen (1948) já o classifica como Cfa e Cfb, e Nimer (1972) o coloca como Mesotérmico Brando, também não ultrapassando o Norte, do citado trópico.

Os *Subdomínios Climáticos* fazem parte da terceira hierarquia climática adotada neste 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. Tal

fórmula nos causa uma dúvida, porque a temperatura não se relaciona com a precipitação, sendo dois elementos climáticos distintos.

O *Subdomínio Úmido* (de zero a três meses secos) aparece no extremo Sul da área de estudo, nos planaltos paranaenses 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 do bioma 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, e é 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 no vale do Rio Paraná (MS/SP).

A quarta hierarquia dessa classificação climática é constituída pelos *Tipos Climáticos*. Eles são unidades que demonstram a localização dos *Domínios* e *Subdomínios Climáticos* dentro território brasileiro.

A técnica 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.

No Cerrado, 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*. Esta área se caracteriza pela atuação máxima da ZCIT no interior da região 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 determinados 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. Compreende todo o *Subdomínio Seco* que aparece na porção oriental da área de estudo, delimitando-se com o *Tipo Central* nas cabeceiras dos principais afluentes do Rio São Francisco, nos estados da Bahia e Minas Gerais.

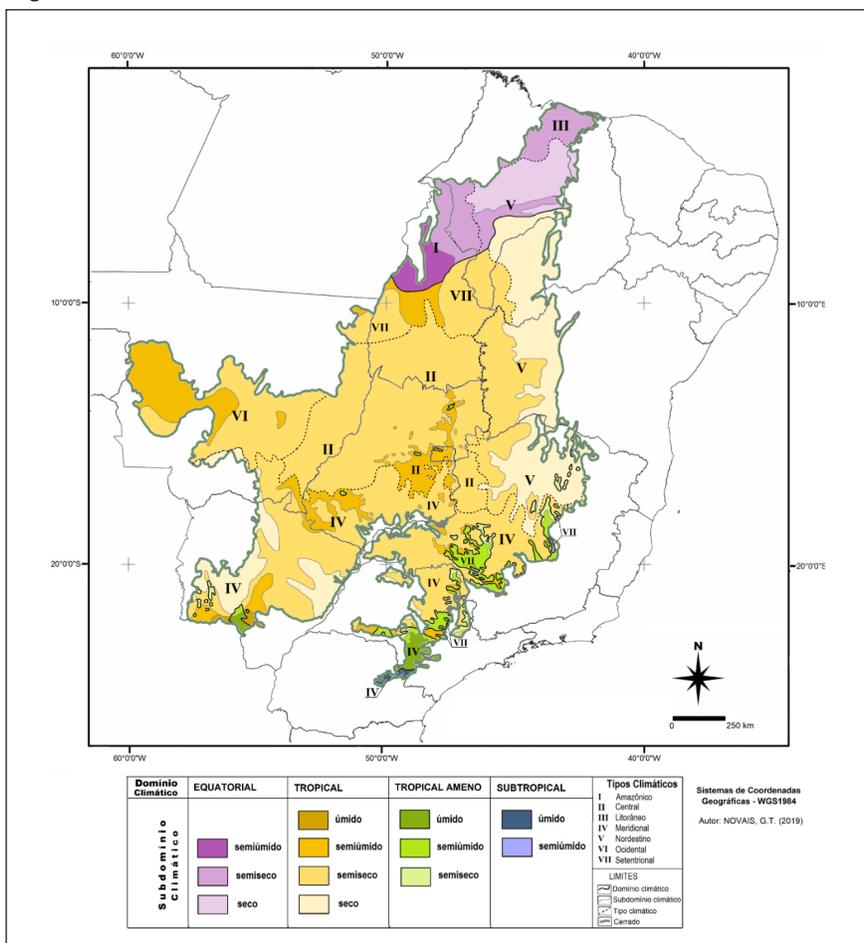
A região do *Tipo Climático Central* é marcada pela sazonalidade típica do Cerrado proporcionada pelo *Domínio Tropical* e seus principais subdomínios, o *Semiúmido* e o *Semiseco*. Engloba todo o Planalto Central, vale do Rio Araguaia (Goiás e Mato Grosso) e Sul do Tocantins. Ao Sul, o limite com o *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 a 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* ao 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.

Figura 9 – Unidades climáticas do Cerrado



Fonte: Novais (2019).

A sobreposição dos *Domínios*, *Subdomínios* e *Tipos Climáticos* formam as unidades climáticas da área de estudo, apresentada na Figura 9. 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.

Considerações finais

A precipitação sobre o Cerrado decorre de sistemas meteorológicos de grande e mesoescala. Tais sistemas atuam conjuntamente entre a superfície, a atmosfera e o oceano. O acoplamento entre a circulação na baixa e alta atmosfera conduz a organização e a variabilidade climatológica da precipitação sobre o Cerrado. A alta da Bolívia (AB), conjuntamente como o Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN), atua para a formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

A ZCAS produz o máximo de precipitação onde está atuando. A sazonalidade da sua precipitação, com invernos secos (maio a agosto) e verões chuvosos (setembro a abril), é uma característica do fenômeno das monções na América do Sul. A atuação das monções sobre o Cerrado condiciona chuvas inferiores a $25,0 \text{ mm.mês}^{-1}$ observadas entre os meses secos. Tal constatação induz um *déficit* hídrico de aproximadamente $-5,0 \text{ mm.mês}^{-1}$, notado durante o trimestre de maio a julho, especificamente, localizado na porção Norte e Oeste do bioma. Nos meses chuvosos, o excedente hídrico máximo varia a até $240,0 \text{ mm.mês}^{-1}$.

A temperatura média anual no Cerrado variou de $17,2^\circ$ a $28,3^\circ\text{C}$, ficando acima dos 28°C no vale do Rio Parnaíba (MA/PI), registrando valores abaixo de 18°C nos planaltos de Minas Gerais, São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná. A TMMM 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 ficou entre 1.250 e 1.750 mm. Ao contrário da temperatura, a precipitação média mensal apresentou uma grande estacionalidade. Na porção Centro-Sul a estação chuvosa concentrou-se nos meses de primavera e verão, e na porção Centro-Norte reteve-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 classificação climática conseguiu aumentar o detalhamento das unidades de clima dentro do bioma Cerrado. A adoção de um algoritmo de temperatura de alta resolução espacial, contribuiu para melhorar substancialmente os dados em razão da deficiente distribuição das estações climatológicas dentro de Goiás e também em todo o território brasileiro. Com o surgimento de novos dados essa classificação poderá ser melhorada, principalmente, em seus limites climáticos.

A delimitação de unidades climáticas 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 assim, para o planejamento e desenvolvimento de atividades sustentáveis e viáveis no estado. Esse novo sistema de classificação climática se aperfeiçoa, devido à grande quantidade de fontes 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.

Referências

ANDREOLI, R. V. *et al.* The influence of different El Niño types on the South American rainfall. **International Journal of Climatology**, 2016.

ANDREOLI, R. V.; KAYANO, Mary T. ENSO-related rainfall anomalies in South America and associated circulation features during warm and cold Pacific decadal oscillation regimes. **International Journal of Climatology**, v. 25, n. 15, p. 2.017-2.030, 2005.

ANGELINI, I.; GASTANG, M. On the coupling between vegetation and the atmosphere. **Theor. Appl. Climatol.**, v. 105. p. 243-261, 2011.

ARAÚJO R.; ANDREOLI, R.; CÂNDIDO, L. A.; KAYANO, M. T.; SOUZA, R. A. F. A influência do evento El Niño – Oscilação Sul e Atlântico Equatorial na precipitação sobre as regiões Norte e Nordeste da América do Sul. *Acta Amaz.*, Manaus, v. 43, n. 4, dez., 2012.

ASSAD, E. D.; DA SILVA, F. A. M.; EVANGELISTA, B. A. Caracterização Climática do Bioma Cerrado. *In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, F. Cerrado: Ecologia e Flora.* Brasília: EMBRAPA Cerrados, 2008. p. 69-88.

ASSAD, E. D. MASUTOMO, R.; ASSAD, M. L. L. Estimativas das precipitações máximas prováveis com duração de 24 horas e de 30 minutos. 1992. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 27(5), p. 677-686, maio.

ASSAD, E.; SANO, E. E.; MASUTOMO, R.; CASTRO, L. H. R.; SILVA, F. A. M. Veranicos na região dos cerrados brasileiros: frequência e probabilidade de ocorrência. *In: ASSAD, E. (Org.). Chuvas nos cerrados: análise e espacialização.* Brasília: EMBRAPA-CPAC, 1994. p. 43-48.

BERRISFORD, P.; DEE, D.; POLI, P.; BRUGGE, R.; FIELDING, K.; FUENTES, M.; KALLBERG, P.; KOBAYASHI, S.; UPPALA, S.; SIMMONS, A. The ERA-interim archive. Version 2.0. ERA report series.

BONBARDI, R. J; CARVALHO, L. V. Variabilidade do regime de monções sobre o Brasil: o clima presente e projeções para um cenário com 2xCO₂ usando o modelo MIROC. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n.1, p. 58-72, 2008.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C. Zona de convergência do Atlântico Sul. *In: CAVALCANTI, I. F. de A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. L. J.; SILVA DIAS, M. A. F. da (Org.). Tempo e clima no Brasil.* São Paulo: Oficina de Texto, 2009. p. 95-109.

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.

CAVALCANTE, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; SILVA DIAS, M. A. F. **Tempo e Clima no Brasil.** São Paulo: Oficina de textos, 2009. p. 463.

CLIMANÁLISE. 1986. Disponível em: <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/revista/ano1.shtml>. Acesso em: 20 jul. 2020.

CNA/CPEA. Confederação Nacional da Agricultura, 2020. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br>. Acesso em: 20 jul. 2020.

CPTEC. Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos. Clima. INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <http://clima1.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 02 ago. 2018.

CUNNINGHAM, C. C.; CAVALCANTI, I. F. A. Intraseasonal modes of variability affecting the South Atlantic Convergence Zone. **International Journal of Climatology**, v. 26, p. 1.165-1.180, 2006.

MENDES M. C. D.; ARAGÃO, M. R. S.; CORREIA, M. F. Bloqueios Atmosféricos sobre os oceanos Pacífico Sudeste e Atlântico Sul: características sinótico-dinâmicas e termodinâmicas. 2020. **Anuário do Instituto de Geociências** – UFRJ, v. 42-2, p. 309-324, 2009.

DE MARIA, M. 1985. Linear response of a stratified tropical atmosphere to convective forcing. **Journal of the Atmospheric Sciences**, 42, 1944-1959.

DEE, D. P.; UPPALA, S. M.; SIMMONS, A. J.; BERRISFORD, P.; POLI, P.; KOBAYASHI, S.; ANDRAE, U.; BALMASEDA, M. A.; BALSAMO, G.; BAUER, P.; BECHTOLD, P.; BELJAARS, A. C. M.; VAN DE BERG, L.; BIDLOT, J.; BORMANN, N.; DELSOL, C.; DRAGANI, R.; FUENTES, M.; GEER, A. J.; HAIMBERGER, L.; HEALY, S. B.; HERSBACH, H.; HOLM, E. V.; ISAKSEN, I.; KALLBERG, P.; KOHLER, M.; MATRICARDI, M.; MCNALLY, A. P.; MONGE-SANZ, B. M.; MORCRETTE, J. J.; PARK, B. K.; PEUBEY, C.; ROSNAY, P.; TAVOLATO, C.; THEPAUT, J. N.; VITART, F. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. **Q. J. R. Meteorology. Soc.**, v. 137, p. 553-597, 2011.

FARIAS, S. E. M. **Estimativas satelitárias de precipitação sobre o bioma Cerrado: possibilidades e perspectivas**. 2016. 86 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/6657>.

FARIAS, S. E. M.; MESQUITA, V. V.; LUIZ, G. C.; FERREIRA, L. G. Monitorando sistemas atmosféricos de tempo por satélite: um estudo de caso para Goiânia. In: **X SBCG Reunião CoC-UGI**, 2014, Curitiba. Variabilidade e mudanças climáticas. Curitiba: ABCLIMA, 2014. p. 1.013-1.025. Disponível em: <http://www.abclima.ggf.br/sbcg2014/eixos.php>.

FERREIRA, M. E.; FERREIRA, L. G.; FERREIRA, N. C. Cobertura vegetal remanescente em Goiás: distribuição, viabilidade ecológica e monitoramento. In: FERREIRA, L. G. (Org.). **A encruzilhada socioambiental: biodiversidade, economia e sustentabilidade no Cerrado**. Goiânia: Editora UFG, 2008. p. 169-185.

FERREIRA, N. J.; RAMIREZ, M. V.; GAN, M. A. Vórtices ciclônicos de altos níveis que atuam na vizinhança do Nordeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F.

de A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. L. J.; SILVA DIAS, M. A. F. da (Orgs.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Texto, 2009. p. 45-60.

FERREIRA, N. J.; SANCHES, M.; SILVA DIAS, M. A. F. Composição da zona de convergência do Atlântico Sul em períodos de El Niño e La Niña. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n.1, p. 89-98, 2004.

GAN, M. A.; KOUSKY, V. E.; ROPELEWSKI, C. F. 2004. The South America Monsoon Circulation and Its Relationship to Rainfall over West-Central Brazil. **J. Clim.**, 17, p. 47-66.

GAN, M. A.; MOSCATI, M. C. de L. Estação chuvosa de 2001/2002 na região Centro-Oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 18, n. 2, p. 181-194, 2003.

GAN, M. A.; RAO, V. B.; MOSCATI, M. C. L. 2006. South American monsoon indices. **Atmospheric Science Letters**, v. 223, p. 219-223, 2006.

GARCIA, S. R. **Sistema de monção da América do Sul**: início e fim da estação chuvosa e sua relação com a Zona de Convergência Intertropical do Atlântico. 2010. 230 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. Disponível em: sid.inpe.br/mtc-m18@80/2010/02.04.20.34-TDI. Acesso em: 30 ago. 2016.

GRIMM, A. M. Clima da região Sul do Brasil. *In*: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; JUSTI DA SILVA, M. G. A.; SILVA DIAS, M. A. F. (Orgs.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 135-147.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 20 ago. 2019.

JONES, C.; HOREL, J. D. A circulação da Alta da Bolívia e a atividade convectiva sobre a América do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 5, p. 379-387, 1990.

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

KAUSKY, V. E. Pentad outgoing longwave radiation climatology for South American sector. **Revista Brasileira de Meteorologia**, n. 3, p. 217-231, 1988.

KODAMA, Y. M. Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ), part 1: characteristics of subtropical frontal zones. **Journal of the Meteorology**, Society of Japan, v. 70, p. 813-835, 1992.

KOEPPEN, W. **Climatologia**: con un studio de los climas de la tierra. 1. ed. en español. México: Fundo de Cultura Económica, 1948.

LENTERS, J. D.; COOK, K. H. Simulation and diagnosis of the regional summertime precipitation climatology of South America. **Journal of Climate**, v. 8, p. 2.988-3.005, 1995.

LIMA, J. E. F. W; SILVA, E. M. Recursos hídricos do bioma Cerrado. *In*: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. (Orgs.). **Cerrado, Ecologia e Fauna**. v. 1. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 91-106.

MARENGO, J. A. On the hydrological cycle of the Amazon Basin: a historical review and current state-of-art. **Rev. Brasileira de Meteorologia**, v. 21, p. 1-19, 2006.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. p. 324.

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, p.141-153, mar./abr., 1972.

NOVAIS, G. T. **Classificação climática aplicada ao bioma Cerrado**. Tese (Doutorado) – Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.te.2019.2199>.

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. 1.614-1.623, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v.10.5.p1614-1623>.

PIMENTA, J. S. **Caracterização climática do município de Formosa (GO)**. Dissertação (Conclusão do curso de Geografia) – Universidade Estadual de Goiás, Formosa, 2019.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010.

SATYAMURTY, P.; NOBRE, C. A.; SILVA DIAS, P. L. South America. *In*: Meteorology of the Southern Hemisphere. Karoly D. J.; Vicent, D. G. (Orgs.). **American Meteorological Society**, Meteorological Monographs, v. 27, n. 49, p. 119-139, 1998.

SENTELHAS, P. C.; ROLIM, G. S.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL™ 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, p. 133-137, 1998.

SETTE, D. M. Os climas do Cerrado do Centro-Oeste. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, p. 29-42, dez., 2005.

- SILVA DIAS, P. L.; SCHUBERT, W. H.; DE MARIA, M. Largescale response of the tropical atmosphere to transient convection. **Journal of the Atmospheric Sciences**, 40, p. 2.689-2.707, 1983.
- SIMIELLI, M. E. R. **Geoatlas**. 34. ed. São Paulo: Ática, 2013.
- STRAHLER, A. N. **Geografia Física**. Barcelona: Ed. Ômega, 1989.
- TERRACLASS. Mapeamento do uso e cobertura do Cerrado: Projeto Terraiclass. Ministério do Meio Ambiente, 2015. p. 67.
- VERA, C.; HIGGINS, W.; AMBRIZZI, T.; AMADOR, J. Toward a unified view of the American monsoon systems. **Journal of Climate**, v. 19, p. 4.977-5.000, 2006.
- VIEGAS, J.; ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T.; CÂNDIDO, L. A.; SOUZA, R. A.; HALL, D. H.; SOUZA, A. C.; GARCIA, S. R.; TEMOTEO, G. G.; VALENTIN, W. I. D. Caracterização dos diferentes tipos de El Niño e seus impactos na América do Sul a partir de dados observados e modelados. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, n. 1, p. 43-67, 2019.
- WANG, S.; HUANG, J.; HE, Y.; GUAN, Y. Combined effects of the Pacific Decadal Oscillation and El Niño-Southern oscillation on global land dry-wet changes. **Scientific Reports**, 4, p. 6.651, 2014.
- ZHOU, J.; LAU, K. M. Does a Monsoon Climate Exist over South America? **J. Climate**, 11(5), p. 1.020-1.040, 1998.

CAPÍTULO 2

Dinâmica atmosférica na área Core do Bioma Cerrado

Diego Tarley Ferreira Nascimento
Gustavo Zen de Figueiredo Neves

Resumo: O bioma do Cerrado denota uma grande diversidade climática, com sazonalidade marcante, tendo em vista uma estação chuvosa e outra seca. Devido a sua grande extensão pelo território brasileiro, o Cerrado apresenta a influência dos domínios climáticos equatoriais, tropicais e, por vezes, extratropicais. O presente texto propõe um panorama da dinâmica atmosférica no Cerrado, se voltando à descrição das características, da dinâmica e da atuação proporcional dos sistemas atmosféricos, no intuito de prover insumos para a apreensão do ritmo e da gênese do clima, no bioma Cerrado. O capítulo apresenta uma discussão dos sistemas atmosféricos e massas de ar atuantes na área core do Cerrado. Na mensuração da atuação dos sistemas atmosféricos foram utilizados como recortes amostrais os anos-padrão de 2011 (habitual), 2007 (seco) e 2009 (chuvoso), representativos do regime habitual e excepcional da pluviometria de Goiás e Distrito Federal. Foi realizada ainda, a catalogação de 41 anos da atuação dos sistemas frontais que tiveram a sua ação sobre o estado de Goiás e o Distrito Federal, observando-os diariamente, em cartas sinóticas entre 1975 e 2015. Em suma, o Cerrado é influenciado por sistemas regionais de circulação atmosférica de origem equatorial e tropical, o primeiro é caracterizado pela massa equatorial continental (mEc), que configura o período chuvoso e quente durante primavera e verão, e o segundo é demarcado pela massa tropical atlântica (mTa), que repercute o período de estiagem verificado entre o outono e o inverno. As trajetórias preferenciais da frente polar (FP) se posicionam nas regiões

Sudoeste, Sul e Leste do estado de Goiás, com orientação Noroeste-Sudeste.

Palavras-Chave: Dinâmica Atmosférica; Massas de Ar; Climatologia Geográfica; Cerrado.

Contextualização

Situado na porção central do continente Sul-Americano, o Cerrado ainda carece de estudos climáticos que o abarquem em área contígua e, especialmente, que se voltem à compreensão da dinâmica atmosférica e do ritmo e gênese do clima.

A abordagem da Climatologia tradicional, por vezes, também denominada de analítica-separatista, consiste na análise desconexa dos elementos do clima, denotando-lhe um caráter essencialmente quantitativo (BARROS; ZAVATTINI, 2009). Nessa vertente, os estudos climáticos fazem uso de médias anuais, sazonais e mensais dos elementos climáticos, que mascaram a variabilidade e dinâmica inerente ao clima. Por isso, não são coerentes para a percepção da suscetibilidade social, econômica e ambiental dos eventos e fenômenos atmosféricos, sobretudo, daqueles considerados extremos.

Em função das críticas e das restrições dessa abordagem e com o princípio do entendimento da circulação geral da atmosfera, desenvolveu-se uma segunda corrente teórico-metodológica: a Climatologia Dinâmica, também conhecida como Sintética, Genética ou Geográfica. Sob à égide desta abordagem, Monteiro (1971, p. 9) sugere que o estudo do clima de determinada localidade exige a associação da “variação dos elementos do clima aos tipos de tempo que se sucedem segundo os mecanismos de circulação atmosférica”. Para o autor, enquanto a sucessão dos tipos de tempo conduz ao ritmo, a atuação de sistemas atmosféricos expressa a gênese do clima.

Se estendendo entre os paralelos 2° e 24° de latitude Sul e os meridianos 41° e 60° de longitude Oeste, o Cerrado esboça uma grande diversidade climática, com características equatoriais, tropicais e subtropicais, e acentuada sazonalidade, havendo duas estações bem definidas: uma seca e outra chuvosa (SILVA; ASSAD; EVANGELISTA, 2008).

Tais aspectos são resposta, principalmente, da variação da latitude, da altitude e dos sistemas atmosféricos atuantes – o que responde não apenas pela variação espacial, mas, especialmente, pela dinâmica temporal dos atributos meteorológicos (NASCIMENTO; NOVAIS, 2020).

Nesse sentido, o presente texto propõe um panorama da dinâmica atmosférica no Cerrado, se voltando para a descrição das características, da dinâmica e da atuação proporcional dos sistemas atmosféricos, no intuito de prover insumos para a apreensão do ritmo e da gênese do clima, no bioma Cerrado. Contudo, diante da dificuldade de se levar em conta toda extensão (e diversidade) do bioma, foram considerados como recortes espaciais, o estado de Goiás e o Distrito Federal, em região contígua, tidos como área core do Cerrado e, portanto, capazes de representar particularidades do bioma.

Metodologia

Para a descrição das características e da dinâmica dos sistemas atmosféricos na área em estudo, foram consultadas obras clássicas, tais como, Serra e Ratisbonna (1942), Monteiro (1951, 1973), Nimer (1979), Fonzar (1994), Campos e colaboradores (2002) e, Silva, Assad e Evangelista (2008).

A identificação dos sistemas atmosféricos foi realizada a partir da leitura e interpretação de cartas sinóticas da Marinha do Brasil – referentes ao horário das 12UTC, ou seja, às 9 horas do Horário Oficial de Brasília. Conforme sugerido por Zavattini (1990), Zavattini e Boin (2013) e Borsato (2016), como suporte à identificação dos sistemas atmosféricos, foram utilizados tanto dados diários dos principais elementos climáticos, registrados por estações de superfície e disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), quanto imagens em composição coloridas e de temperatura realçada, do satélite meteorológico GOES, fornecidas pela Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais, vinculada ao CPTEC/INPE.

Na mensuração da atuação dos sistemas atmosféricos foram usados como recortes amostrais os anos-padrão de 2011 (habitual), 2007

(seco) e 2009 (chuvoso), definidos por Nascimento (2016) como representativos do regime habitual e excepcional da pluviometria de Goiás e do Distrito Federal. Assim, foram elaborados gráficos para a representação da atuação proporcional dos sistemas atmosféricos ao longo do ano, durante as estações chuvosas e secas, e no decorrer dos meses. Os meses de abril a setembro foram considerados como sendo de período seco, retratando assim o outono e o inverno, ao passo que os meses de janeiro a março e outubro a dezembro de cada ano foram considerados de período chuvoso, indicativos do verão e da primavera, respectivamente.

Uma especial atenção foi dedicada aos sistemas frontais que tiveram a sua passagem sobre o estado de Goiás e o Distrito Federal. Para tanto, foram empregadas as cartas sinóticas da Marinha do Brasil e os Boletins Técnicos de Climanálise do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), para a interpretação e a catalogação da trajetória preferencial do ramo frontal (nebulosidade).

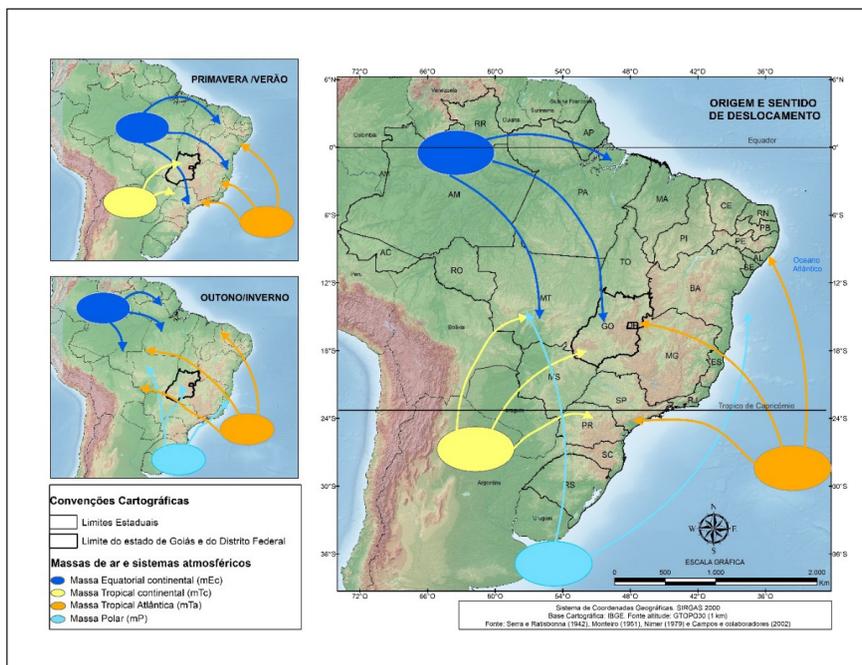
O período estudado foi de 1º de janeiro de 1975 até 31 de dezembro de 2015, totalizando 41 anos de observação. O critério adotado para a catalogação dos ciclones extratropicais foi a interpretação cartográfica da simbologia *Frente Fria*, com destaque para: 1) os ciclones que passaram totalmente pela área ou apenas por parte dela, em alguma fase evolutiva de desenvolvimento ou decaimento e; 2) os ciclones que tiveram o seu decaimento na área de interesse, mesmo aqueles que apresentaram as simbologias: cavado, frente quase-estacionária, frente quente, frente oclusa e frontólise.

O programa *ArcGIS* foi utilizado para georreferenciar as cartas sinóticas sobre a base cartográfica da área de estudo, como também a linha frontal, desde o centro do sistema de baixa pressão até o final do vórtice de nebulosidade. Outras informações e detalhes estão documentados em Streten e Troup (1973) e Neves (2018, 2019).

Características e dinâmica dos sistemas atmosféricos

Conforme retratado pela Figura 1, o estado de Goiás e o Distrito Federal experimentam, durante o ano, a atuação de centros de baixa pressão de origem continental, individualizados como Massas de Ar Equatorial Continental e Tropical Continental, e centros de alta pressão que se individualizam sob a forma de massas de ar de origem marítima, representadas pelas Massas de Ar Tropical Atlântica e Polar Atlântica. Essas massas se deslocam sazonalmente para o continente, respeitando o caminho preferencial e as barreiras condicionadas pelo relevo e que, de acordo com o aquecimento desigual entre as estações do ano, ora avançam, ora recuam sobre a região (SERRA; RATISBONNA, 1942; MONTEIRO, 1951, 1973; NIMER, 1979; FONZAR, 1994; CAMPOS *et al.*, 2002).

Figura 1 – Massas de ar atuantes no estado de Goiás e Distrito Federal



Fonte: Nascimento (2016).

Obs.: para visualização e download do mapa em maior resolução, acesse o link: <http://abre.ai/figura3>

A massa equatorial continental (mEc) tem origem em uma região de *doldrum* (calmaria) formada pelo centro de baixa pressão localizado na Floresta Amazônica. Por se formar em uma zona de baixa pressão, essa massa de ar se configura como uma área depressionária com movimento ascendente e convergente, concentrando e transmitindo para as camadas superiores da atmosfera, tanto a umidade gerada pela evapotranspiração da densa vegetação e dos abundantes corpos hídricos da Floresta Amazônica, quanto aquela originada pela evaporação do Oceano Atlântico, que é transportada pelos alísios. Por conta dos ventos contra-alísios nas camadas superiores da atmosfera e pela expansão da depressão térmica localizada nessa região durante a primavera e o verão, tal massa de ar se desloca para o restante do país, perfazendo uma trajetória NO-SE, chegando até o litoral do Sul do Brasil (SERRA; RATISBONNA, 1942).

Por trazer grande proporção de umidade e, por conseguinte, de chuva, da região da Amazônia para o restante do país, a mEc adentra o estado de Goiás e o Distrito Federal com maior facilidade pela Depressão do Rio Araguaia, na região Noroeste do estado, deslocando-se sobre o restante da área pelos Relevos Residuais e Depressões Intermontanas. Os planaltos (do Rio Verde e Central Goiano) e os chapadões (de Goiás e Distrito Federal) funcionam como uma barreira orográfica para essa massa de ar, em sentido Sudoeste/Leste.

A massa tropical continental (mTc) tem origem na depressão do Chaco, uma zona baixa, quente e árida a leste dos Andes, e é oriunda da frontólise da Frente Polar Pacífica após transpor a cordilheira. Serra e Ratisbonna (1942) destacam que, raramente, essa massa se individualiza no inverno, atuando, sobretudo, no verão. Por se formar em uma zona de baixa pressão, a mTc possui uma circulação ciclônica na superfície, com forte convergência. A baixa umidade da zona de origem impede a formação de nuvens de convecção, acarretando um tempo estável, quente e seco. A entrada da mTc no estado de Goiás se dá pelo Sudoeste goiano. Contudo, o Planalto do Rio Verde acomoda a entrada dessa massa por dois caminhos preferenciais: pela Depressão do Rio Araguaia ou pelos Relevos Residuais e Depressões Intermontanas.

Por sua vez, a massa tropical atlântica (mTa), também denominada de massa tropical marítima (mTm), tem como origem o Anticiclone do Atlântico Sul, recebendo, de forma homogênea, muito calor e umidade da superfície oceânica. Porém, por se formar em uma zona de alta pressão, configurando-se, portanto, como um anticiclone com movimento de subsidência, a umidade cedida pela superfície oceânica não se estende para as camadas superiores, limitando-se às camadas inferiores dessa massa.

Ao ter que transpor a barreira topográfica condicionada pela Serra do Mar, da Mantiqueira, do Espinhaço e pela Chapada Diamantina antes de adentrar no país, uma parcela significativa da umidade dessa massa é precipitada na região litorânea brasileira. Assim, a mTa passa a apresentar características de uma massa “continentalizada”, com pouca ou baixíssima umidade e, dispondo tempo estável, quente e seco. Essa massa apresenta dois caminhos principais de deslocamento rumo ao estado de Goiás e o Distrito Federal: um eixo que atravessa o Oeste baiano pela Serra do Espinhaço e Chapada Diamantina, e chega ao Nordeste goiano pelo Vão do Paranã, e outro eixo que transpõe a Serra do Mar e chega ao Sul de Goiás pelos Relevos Residuais e Depressões Intermontanas.

E, por fim, a massa polar (mP) se origina na zona subantártica oceânica, caracterizada como uma zona de alta pressão da qual migram anticiclones que, ocasionalmente, atingem o Continente Sul-Americano por duas trajetórias condicionadas pela orografia da Cordilheira dos Andes, uma a Oeste e outra a Leste. Da trajetória a Leste dos Andes, ramificam-se outras duas, uma pela depressão topográfica do Chaco, que se estende pelo estado do Mato Grosso ao Amazonas, e outra trajetória pelo Oceano Atlântico.

Essa massa de ar adentra a área de estudo pela sua trajetória na depressão do Chaco, alcançando, principalmente, a região Sul e Sudoeste do estado de Goiás e, quando fortalecida, avança pelos Relevos Residuais e Depressões Intermontanas. Assim como ocorre com a mEc, o planalto central goiano e os chapadões de Goiás e Distrito Federal funcionam como uma barreira, dificultando a penetração e o

deslocamento dessa massa para o interior e o Norte de Goiás. Por sua vez, decorrente da dissemetria do relevo de tipo *cuesta* do Planalto do Rio Verde, com menores altitudes ao Sul e maiores ao Norte desse planalto, a mP é forçada a ascender para transpor essa *cuesta*, ocasionando chuvas orográficas nessa região.

Em seu trajeto pelo Continente Sul-Americano, a mP, paulatinamente, perde as características térmicas da região em que se formou, adquirindo calor ao chegar até a área em estudo com características de tropicalização, a ponto de ser tratada como mP envelhecida ou tropicalizada.

Borsato e Mendonça (2013) afirmam que a região que compreende o estado de Goiás e o Distrito Federal se configura como um núcleo terminal dos sistemas atmosféricos que atuam no Centro-Sul do Brasil. Contudo, as massas de ar repercutem a circulação habitual da atmosfera que, periodicamente, é interrompida e modificada por sistemas atmosféricos perturbadores: Alta da Bolívia (AB), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Frente Polar (FP).

A Alta da Bolívia (AB) é um anticiclone nos altos níveis da troposfera, que ocorre na região central da América do Sul, geralmente no platô boliviano. Para Quadro *et al.* (1996), a AB é considerada como um sistema de grande escala semiestacionário que se forma na troposfera superior devido ao forte aquecimento convectivo durante a primavera e o verão, e ao escoamento em baixos níveis. Conforme apontado por Evangelista (2004), em razão do movimento anticiclônico, esse sistema atmosférico favorece a intensificação da transferência de umidade da região amazônica para o Nordeste, Sudeste e Centro-Oeste brasileiro durante o verão e a primavera, contribuindo desta forma para as chuvas da região em que a área de estudo se localiza.

Por sua vez, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) se baseia em uma alongada e persistente banda de nebulosidade de orientação Noroeste/Sudeste que se estende desde o Sul da região amazônica até o Oceano Atlântico Sul (KOUSKY, 1988). Luiz (2012, p. 11) afirma que a origem da ZCAS “é devida à junção da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), da Alta da Bolívia (AB), dos Vórtices Ciclônicos

de Altos Níveis no Nordeste (VCAN) e de sistemas frontais oriundos das regiões subtropicais”, que resulta em uma elevada atividade convectiva, especialmente, ao longo da primavera e do verão. Esse sistema é responsável pelo fornecimento de calor e umidade da região amazônica para as maiores latitudes através da baixa troposfera, repercutindo assim, na intensificação e nos períodos prolongados de chuvas em toda a região Centro-Oeste e Sudeste do Brasil (NIMER, 1979) – a ponto de ser considerado por Quadro (1994) como um dos principais sistemas atmosféricos responsáveis pelo período chuvoso da região.

Ainda não há consenso na comunidade científica sobre os mecanismos de sua origem, mas estudos realizados pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE), como aquele desenvolvido por Rocha e Gandu (1996), apontam para influências de fatores remotos e locais. Quanto às influências remotas, os autores supracitados destacam a convecção da Zona de Convergência do Pacífico Sul, que reflete no início, duração e localização das ZCAS; enquanto aos locais, que podem ser diversos, o único consenso é com relação ao papel da convecção na região amazônica.

Para Vecchia, Tech e Neves (2020), a ZCAS é configurada por uma região de convergência de ventos que se associa à América do Sul por meio de dois processos físicos, sendo o Oceano Atlântico responsável pelo fornecimento de umidade para a convergência. Tais processos físicos se referem aos aspectos: (1) termodinâmico, que devido ao aquecimento do Continente Sul-Americano no verão, forma uma célula de circulação direta com movimentos ascendentes, chamada de Alta da Bolívia; e (2) dinâmico, uma vez que os sistemas frontais se deslocam do Sul em direção ao Equador, e ficam ancorados pela célula direta se tornando estacionários por alguns dias, e assim, formam a banda de nebulosidade de orientação Noroeste-Sudeste.

A FP se configura como a zona de encontro da mP com massas de ar equatoriais e tropicais (mEc, mTc e mTa) ao se deslocar para o Continente Sul-Americano. A atuação da FP sobre o estado de Goiás e o Distrito Federal acarreta em decréscimo de temperatura e mudança na circulação dos ventos, que podem durar por alguns dias, sendo mais

comuns durante o inverno quando a mP alcança com maior facilidade a região, por estar fortalecida. A FP possui grande mobilidade graças às características geográficas da vertente atlântica da América do Sul, e seu potencial de avanço na faixa tropical do Centro-Oeste do Brasil é dado pelas suas propriedades físico-químicas. Dependendo da sua trajetória (marítima ou continental), a FP pode gerar pluviosidade e aumento da umidade relativa do ar, ou uma grande amplitude térmica diária no seu percurso latitudinal.

Durante o verão e o inverno, estações bem contrastantes, há uma inversão da atuação e domínio das massas de ar continentais (mEc e mTc), e também das marítimas (mTa e mP), na região que compreende o estado de Goiás e Distrito Federal. Para um melhor entendimento da dinâmica atmosférica, serão apresentados os padrões que configuram a circulação atmosférica nas estações mais díspares do ano:

- **Primavera/Verão:** durante o período de maior ângulo de incidência da radiação solar há um maior aquecimento da superfície terrestre com relação à oceânica. Devido a esse aquecimento desigual, a zona de baixa pressão localizada na região amazônica se expande e domina grande parte do território brasileiro, intensificando a atuação da mEc sobre o país, repercutindo, portanto, o seu domínio sobre o estado de Goiás e Distrito Federal, que condiciona o período chuvoso. As chuvas que ocorrem durante o verão são intensificadas pela atuação da ZCAS que, ao encontro do calor, umidade e convecção provenientes da região amazônica com as frentes polares, ecoam nas chuvas frontais. Associada a esse período mais quente, a zona de baixa pressão da depressão do Chaco também se expande, permitindo o fortalecimento, o deslocamento e a atuação da mTc, sobre a região em estudo, ocasionando períodos de quatro dias a algumas semanas com elevadas temperaturas e estiagem, ocasião essa considerada como “verânico”. Na primavera/verão, a zona de alta pressão do Atlântico Sul, onde se forma a mTa, encontra-se enfraquecida e limita-se a atuar no litoral brasileiro, ao passo que a mP não consegue adentrar por

grande extensão do país, pelo fluxo da mEc em sentido N/S – barrendo o deslocamento da mP. Serra e Ratisbonna (1942) ressaltam que, durante a primavera e o verão, ocorrem incursões limitadas da mP que correspondem a algumas precipitações frontais.

- **Outono/Inverno:** durante o outono e o inverno, o hemisfério Sul apresenta menor ângulo de incidência da radiação solar e, por isso, a superfície terrestre se resfria com maior velocidade e intensidade que a oceânica. Em função disso, a zona de alta pressão localizada no Atlântico Sul, de onde deriva a mTa, se fortalece e avança em sentido SE-NO, predominando na região de estudo, apresentando tempo estável, céu claro, baixa umidade e moderadas temperaturas. Fortalecida pelo sentido de deslocamento da mTa, a mP se move e alcança a região, causando uma considerável diminuição das temperaturas, basicamente, durante a noite, podendo, ainda, repercutir em chuvas frontais. Durante o outono e o inverno, a mEc fica limitada ao alto Amazonas, enquanto a mTc, enfraquecida, não consegue se individualizar na forma de massa de ar.

Em suma, consideramos que o clima do estado de Goiás e do Distrito Federal seja justificado pelos sistemas regionais de circulação atmosférica de origem equatorial, tropical e polar, e pelas características fisiográficas, sobretudo, o relevo e a posição latitudinal, que condicionam para a região um regime climático marcado pela ocorrência de um verão quente e chuvoso, uma primavera com as temperaturas mais elevadas do ano e um inverno e outono secos (com umidade relativa do ar extremamente baixa, podendo alcançar, em dias mais quentes, patamares próximos a 12%) e com elevada amplitude térmica diária.

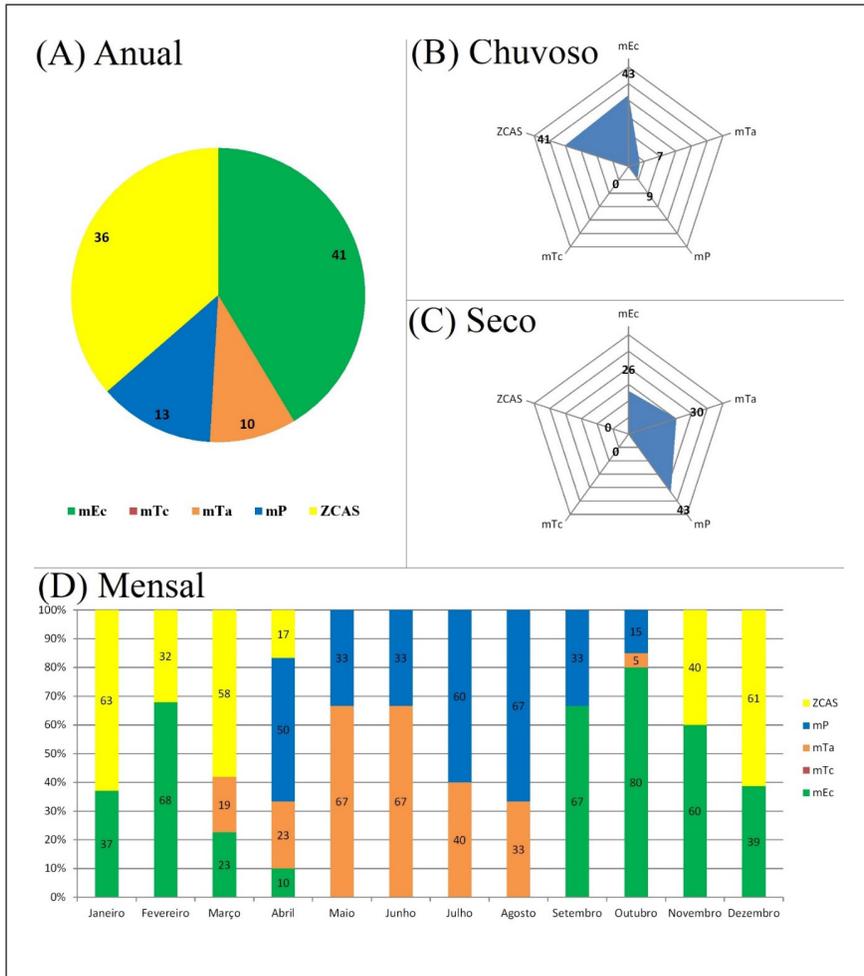
Atuação proporcional dos sistemas atmosféricos

No ano-padrão habitual de 2011, houve uma homogênea atuação dos sistemas atmosféricos que influenciam o clima da região em estudo – Figura 2 (A), com suave e maior atuação da mEc (27% do ano) e da mTa (25%), tidos como os sistemas atmosféricos que respondem pela circulação geral e que condicionam a sazonalidade climática bem definida: verão e primavera quentes e chuvosos, que se intercalam com inverno e outono com ausência de chuvas. A mP e a ZCAS podem ser consideradas como sistemas de perturbação e circulação secundária, pois, além de apresentarem menor atuação (24% cada um), geralmente, são responsáveis pela instabilidade atmosférica e intensificação das chuvas na área em estudo.

A sazonalidade marcante do clima da região é constatada pelos gráficos que representam a performance dos sistemas atmosféricos entre o período chuvoso e seco, conforme Figura 2 (B e C), pelos quais é possível perceber que, durante o período chuvoso, há predomínio da atuação conjunta da mEc e da ZCAS em praticamente 84% desse período. Essa condição é apenas interrompida pela atuação da mP e da mTa em cerca de 16% do período. Por sua vez, no período seco, há o predomínio da mTa (50%), seguida pela mP (43%) e uma pequena contribuição da mEc (7%).

No decorrer do ano de 2011, como mostra a Figura 2 (D), percebemos uma paulatina inversão dos sistemas atmosféricos atuantes. Em janeiro e fevereiro, a mEc e a ZCAS respondem pelo estado do tempo, ao passo que, em março, tem início a atuação da mTa. No mês seguinte (abril), que marca a transição do período chuvoso para o seco, a mTa começa a atuar na região e, juntamente com a mP, responde à estabilidade atmosférica e escassez de chuvas até o mês de setembro. Em setembro, a mEc volta a atuar, havendo, nos meses seguintes, aumento gradativo da atuação da ZCAS.

Figura 2 – Atuação das massas de ar no ano-padrão habitual de 2011, em Goiás e Distrito Federal: proporção (%) anual (A), no período chuvoso (B), no período seco (C) e mensal (D)

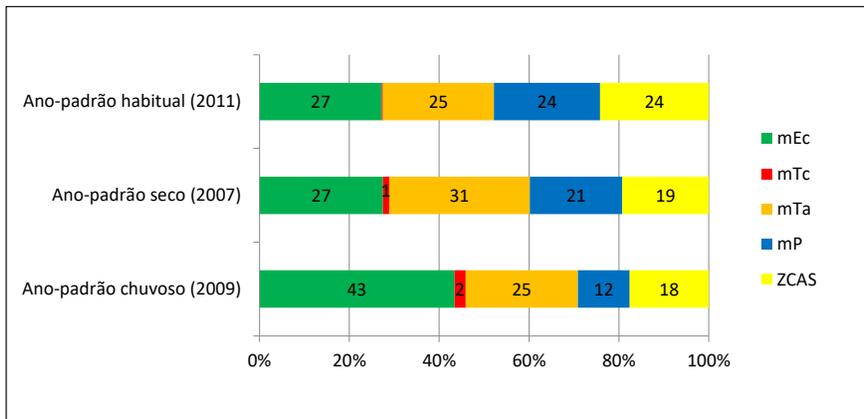


Elaboração: Nascimento (2016).

Esse é o quadro sinótico em um ano considerado por Nascimento (2016) como habitual, voltado ao recorte espacial do estado de Goiás e do Distrito Federal, em área contígua. Para o autor supracitado, em um ano-padrão seco (2007) e no outro chuvoso (2009), há uma atuação diferenciada dos sistemas atmosféricos, retratada pela maior atuação da

mTa na primeira condição e da mEc na segunda, assim como retrata a Figura 3. No ano de reduzida pluviosidade de 2007, ocorreu a maior atuação da mTa (31%), em detrimento da menor ocorrência da ZCAS (19%) e da mP (21%); enquanto que no ano de elevada pluviosidade de 2009, houve um aumento significativo da atuação da mEc (43%), com correspondente diminuição da presença da mP (12%) e da ZCAS (18%).

Figura 3 – Comparação da atuação anual das massas de ar no estado de Goiás e Distrito Federal entre os anos-padrão habitual (2011), seco (2007) e chuvoso (2009)



Fonte: Nascimento (2016).

Algumas das principais repercussões desta atuação diferenciada dos sistemas atmosféricos entre anos habituais e excepcionais (secos e chuvosos) é haver um prolongamento do período chuvoso em anos com maior atuação da mEc, e um menor volume e quantidade de dias de precipitação quando da maior atuação da mTa, além de um diferente ritmo dos demais elementos climáticos, em especial, da umidade relativa do ar, da nebulosidade, da pressão, das temperaturas máxima e mínima e da direção e velocidade dos ventos, que também realçam a variabilidade interanual do clima nas áreas de Cerrado.

Climatologia das linhas frontais

O bioma do Cerrado denota um regime climático marcante ao longo dos meses do ano, com uma estação úmida e outra seca. Contudo, acaba por revelar aspectos específicos dos climas continentais e equatoriais por situar-se em uma região de transição entre sistemas equatoriais e tropicais.

Todavia, nos atentamos para as características dos sistemas atmosféricos extratropicais que, em situações específicas, possuem participação significativa na sucessão dos tipos de tempo nas regiões tropicais, interagindo espacialmente e temporalmente com as diferentes fisionomias e elementos que compõem os ecossistemas do domínio do Cerrado.

De acordo com Monteiro (1969), a Frente Polar é dotada de grande mobilidade, e avança sobre o corredor de planícies interiores do Planalto Central Brasileiro. No inverno, quando as condições de frontogênese são mais frequentes, notadamente, ela atinge o Norte de Mato Grosso e o litoral da Bahia, alcançando latitudes ainda mais baixas como os estados do Acre e de Pernambuco.

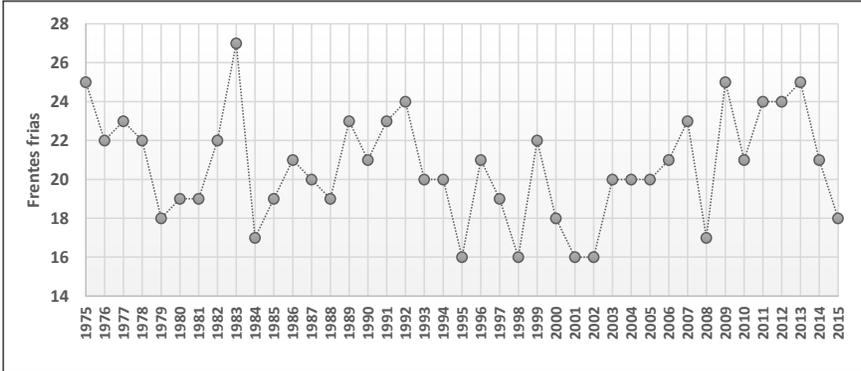
Sabidamente, é na estação do inverno que o avanço dos sistemas polares sobre as regiões intertropicais ocorre com maior frequência, chegando no interior do Continente Sul-Americano, os fenômenos de friagem e as perturbações dos centros de alta pressão, que provocam diferenças térmicas opostas àquelas encontradas no período úmido de primavera-verão, constituindo deste modo, as ondas de frio.

A FP possui interferência na faixa intertropical com fundamental importância nas condições do tempo em todas as regiões brasileiras, participando da circulação regional como “reguladora” dos estados atmosféricos durante o ano inteiro, inclusive, no período de verão (SERRA, 1948; MONTEIRO, 1963).

A Figura 4, exibe os registros anuais da passagem dos sistemas frontais sobre o estado de Goiás e o Distrito Federal. Notamos que a atuação do referido sistema, não possui tendências claras de diminuição ou aumento da sua frequência. Em síntese, sua interação com outros sistemas intertropicais coloca em evidência a grande variabilidade

interanual e interdecadal, com períodos seguidamente mais ativos, e outros mais limitados sobre as menores latitudes.

Figura 4 – Registros frontais na área de estudo, acumulado anual entre 1975 e 2015



Fonte: Marinha do Brasil e CPTEC/INPE. Elaborado por Neves (2018).

O decênio 1975-1984, revelou acúmulos na ordem de 17 a 27 passagens frontais. O ano de 1983, acumulou 27 registros, a maior quantidade de toda série histórica. Percebemos então que, no ano seguinte, um forte bloqueio atmosférico inibiu o avanço de FP, denotando os menores valores anuais para a década.

Para o decênio 1985-1994, observamos uma redução do total anual das frentes, com valores mais elevados em 1992 e 1989, quando foram registrados 24 e 23 sistemas. Ao contrário, nos anos de 1985 e 1988, o total anual foi de 19 episódios, exibindo limitada intensidade dos sistemas frontais no período de inverno e ligeiro aumento entre a transição inverno-primavera.

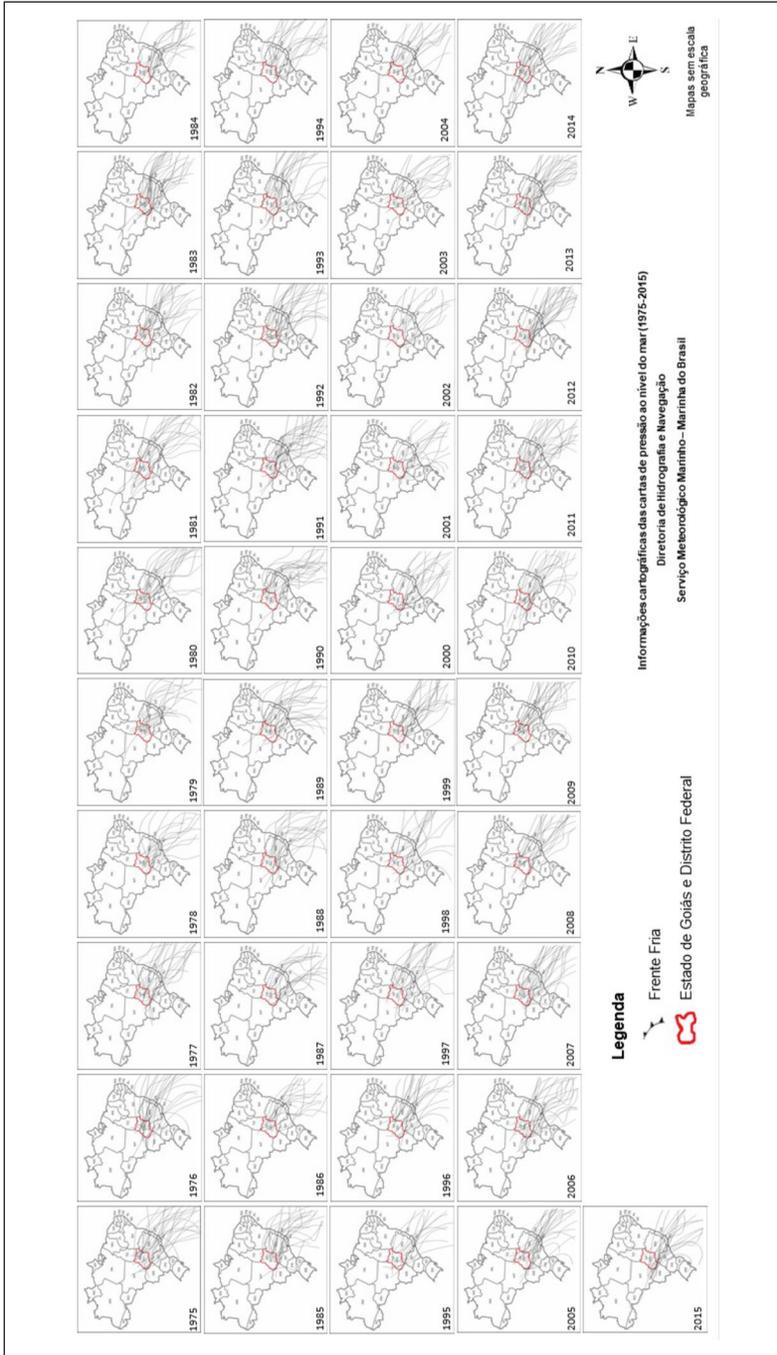
Na década seguinte, 1995-2004, notamos uma menor atividade anual em relação aos dois primeiros decênios. Apenas para o ano de 1999, o volume catalogado alcançou 22 frentes. Nos anos de 1995, 1998, 2001 e 2002, foram registradas apenas 16 passagens anuais das FP. Constatamos que a atuação extratropical foi irregular para todos os meses com ação limitada, principalmente no inverno.

O último período compreendeu os anos de 2005-2015, exibindo uma recuperação da atividade frontal na área de estudo. Em 2009 e 2013, registrou-se acumulados mais significativos, com a passagem de 25 frentes regularmente distribuídas entre os períodos chuvosos e secos. Por outro lado, os anos de 2008 e 2015, denotaram apenas 17 e 18 passagens frontais, respectivamente.

A Figura 5, ilustra uma primeira aproximação das trajetórias preferenciais dos ciclones extratropicais, sobre o estado de Goiás e o Distrito Federal, ao longo de 41 anos de estudo (1975-2015), estando sujeita a alterações e modificações futuras. Ela é apresentada, a seguir, por sobreposição das linhas frontais que tiveram a passagem ou o decaimento da banda de nebulosidade.

Ao todo, foram observadas e interpretadas 20.085 cartas sinóticas da Marinha do Brasil. As trajetórias preferenciais da FP se posicionam nas regiões Sudoeste, Sul e Leste do estado de Goiás, com orientação Noroeste-Sudeste. É importante destacar que as linhas frontais podem alcançar o Planalto Central Brasileiro, mais especificamente no setor do Distrito Federal e compartimentações geomorfológicas mais elevadas, como a localidade do Alto Paraíso de Goiás.

Figura 5 – Sobreposição das frentes frias anuais para o estado de Goiás e o Distrito Federal



Fonte: Marinha do Brasil. Elaborado por Neves (2018).

Considerações e apontamentos finais

Ao longo do texto foi apontado que o estado de Goiás e o Distrito Federal, considerados área core do bioma Cerrado, são influenciados por sistemas regionais de circulação atmosférica de origem equatorial e tropical. O período chuvoso e quente, relacionado à primavera e verão, é definido pela atuação da massa equatorial continental (mEc), ao passo que o período de estiagem, verificado entre o outono e o inverno, é condicionado pela ação da massa tropical atlântica (mTa). Além destes sistemas, também atuam a Massa Polar (mP), Sistemas Frontais (SF) e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). A primeira e a segunda são responsáveis pelas quedas nas temperaturas, principalmente, as mínimas, durante o outono e inverno, e a terceira, pela intensificação das chuvas na primavera e no verão.

Contudo, esse é o quadro sinótico em um ano considerado como habitual (2011). Em um ano de baixa (2007) e outro de elevada (2009) pluviosidade há uma atuação diferenciada dos sistemas atmosféricos, retratada pela maior atuação da mTa, na primeira condição, e da mEc na segunda. Sendo assim, algumas das principais repercussões desta atuação diferenciada dos sistemas atmosféricos é haver um prolongamento do período chuvoso em anos com maior atuação da mEc, e menor volume e quantidade de dias com precipitação quando da maior atuação da mTa, além de um diferente ritmo dos demais elementos climáticos, em especial, da umidade relativa do ar, da nebulosidade, da pressão, das temperaturas máxima e mínima, e da direção e velocidade dos ventos.

A despeito da quantidade dos episódios frontais sobre o estado de Goiás e o Distrito Federal, cabe ressaltar que foi apresentada nesta seção uma discussão preliminar, não finalizada, sujeitando-se às alterações e modificações futuras, na esperança de que outros desdobramentos e motivações floresçam no porvir. Se faz necessária a investigação de outros elementos alicerçados em dados de superfície para se saber as seguintes características: (I) O número de passagens frontais no estado de Goiás e o Distrito Federal e sua comparação com dados de

precipitação; (II) A sequência de passagens frontais e as temperaturas mínimas registradas, a fim de caracterizar a intensidade e a duração do ar polar sobre latitudes do Centro-Oeste brasileiro; (III) Somado os dois elementos acima descritos, igualmente importante é a pressão atmosférica em estações automáticas ou convencionais, sendo muitas vezes o elemento confirmatório da atuação da massa polar sobre o bioma Cerrado, tanto na ausência do registro de chuva, quanto no fato horário/diário da variação térmica.

Referências

BARROS, J. R.; ZAVATTINI, J. A. Bases conceituais em Climatologia Geográfica. *Mercator*, v. 8, n. 16, p. 255-261, 2009.

BORSATO, V. da A. **A dinâmica climática do Brasil e Massas de Ares**. Curitiba: CRV, 2016,

_____. MENDONÇA, F. A. A Participação dos sistemas atmosféricos na estação do inverno de 2012, no Centro-Sul do Brasil. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA*, 15, 2013, Vitória, ES. *Anais...* Vitória, ES: UFES, 2013. p. 336-344.

EVANGELISTA, B. A. **Aplicações geoestatísticas na análise espacial da precipitação pluviométrica no estado de Goiás e Distrito Federal**. 2004. 112 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

FONZAR, B. C. A circulação atmosférica na América do Sul: os grandes sistemas planetários e subsistemas regionais que atingem o continente: localização e trajetórias. *Caderno de Geociências*, Rio de Janeiro, n. 11, p. 11-33, jul./set. 1994.

LUIZ, G. C. **Influência da relação solo-atmosfera no comportamento hidromecânico de solos tropicais não saturados**: estudo de caso – município de Goiânia-GO. 2012. 246 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2012.

MARINHA DO BRASIL. Centro de Hidrografia e Navegação. Serviço Meteorológico Marinho. **Cartas de Pressão ao Nível do Mar**. Acervo eletrônico de 1975-1985 (reservado).

MONTEIRO, C. A. F. O clima da região Sul. **Geografia Regional do Brasil – Região Sul**, Rio de Janeiro, v. 1, p. 117-169, 1963.

_____. **A Frente Polar Atlântica e as chuvas de inverno na fachada Sul-Oriental do Brasil:** contribuição metodológica à análise rítmica dos tipos de tempo no Brasil. São Paulo: Instituto de Geografia/Universidade de São Paulo, 1969.

_____. **A dinâmica climática e as chuvas do estado de São Paulo:** estudo geográfico sob forma de atlas. São Paulo: IGEOG, 1973.

_____. **A análise rítmica em Climatologia:** problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1971 (Série Climatologia, 1).

_____. Notas para o estudo do clima do Centro-Oeste brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 13, n. 1, p. 3-46, jan./mar., 1951.

NASCIMENTO, D. T. F. **Chuvas no estado de Goiás e no Distrito Federal a partir de estimativas por satélite e circulação atmosférica.** 2016. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

_____. NOVAIS, G. T. Clima do Cerrado: dinâmica atmosférica e características, variabilidades e tipologias climáticas. **Élisée – Revista de Geografia da UEG**, v. 9, n. 2, Seção Especial Território Cerrado, 2020.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil.** Rio de Janeiro: IBGE, 1979. p. 422.

NEVES, G. Z. de F. **Distribuição geográfica das chuvas no estado de Goiás e Distrito Federal:** dinâmica e aplicações nos estudos rítmicos. 2018. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.11606/T.18.2018.tde-22052018-174146>.

NEVES, G. Z. F. A chuva no estado de Goiás e Distrito Federal: aspectos espaciais, temporais e dinâmicos. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. esp., p. 67-82, 2019.

QUADRO, M. F. L. **Estudo de episódios de Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul.** 1994. 97 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Meteorologia, São José dos Campos, SP, 1994.

ROCHA, A. M. G. C.; GANDU, A. W. A Zona de Convergência do Atlântico Sul. **Climanálise**, São José dos Campos (SP), v. esp., p. 140-142, 1996.

SANT'ANNA NETO, J. L. **Ritmo Climático e a Gênese das Chuvas na Zona Costeira Paulista.** Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

SERRA, A.; RATISBONNA, L. **As massas de ar na América do Sul.** Rio de Janeiro: Serviço de Meteorologia, Ministério da Agricultura, 1942.

SERRA, A. Previsão do Tempo. **Boletim Geográfico**. Rio de Janeiro: IBGE, 1948.

SILVA, F. A. M. da; ASSAD, E. D.; EVANGELISTA, B. A. Caracterização climática do bioma Cerrado. *In*: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de; RIBEIRO, J. F. (Orgs.). **Cerrado: Ecologia e flora**. Brasília: Embrapa, 2008.

STRETEN, N. A.; TROUP, A. J. A synoptic climatology of satellite observed cloud vortices over the Southern Hemisphere. **Quart. Journal Royal Meteorological Society**, 99, p. 56-72, 1973. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/qj.49709942224>.

VECCHIA, F. A. da S.; TECH, A. R. B.; NEVES, G. Z. de F. **Climatologia dinâmica: conceitos, técnicas e aplicações**. São Carlos, SP: RiMa, 2020. p. 288. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/9786599048814>.

ZAVATTINI, J. A. **Dinâmica Atmosférica e a distribuição das chuvas no Mato Grosso do Sul**. 1990. Tese (Doutorado em Geografia Física) –Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

_____. BOIN, M. N. **Climatologia Geográfica: teoria e prática de pesquisa**. Campinas, SP: Editora Alínea, 2013. p. 150.

Ilhas de calor em cidades do Cerrado brasileiro: uma análise em cidades de pequeno e médio porte

José Ricardo Rodrigues Rocha
Washington Silva Alves
Regina Maria Lopes

Resumo: A formação de ilhas de calor é proveniente das alterações provocadas na superfície terrestre, e expressa maiores intensidades nos centros urbanos, onde condiciona desconforto térmico para a população. Neste sentido, o objetivo deste trabalho consistiu em analisar as características espaciais da ilha de calor urbana em duas cidades: Iporá (GO), pequena cidade, e Jataí (GO) considerada como média. A pesquisa foi realizada durante um dia representativo da estação do inverno e da primavera de 2015. Os dados foram obtidos por meio de termohigrômetros *Data Logger*, modelo HT-500 e HT-4000, distribuídos em cinco pontos em Iporá e sete pontos em Jataí. Após a coleta esses dados foram organizados em planilhas de cálculo para análise e interpolação sobre a base cartográfica da área urbana das cidades para representar a característica espacial da ilha de calor nas cidades de estudo. Os resultados demonstraram que os padrões de ocupação da malha urbana aliados aos fatores geocológicos das cidades, influenciaram diretamente nos valores registrados, sendo que as áreas com maior adensamento urbano tiveram as temperaturas do ar mais elevadas em relação as áreas com a presença de vegetação, que tiveram os menores registros. A maior intensidade da ilha de calor ocorreu nas regiões com elevada densidade de ocupação e pouca arborização, nos horários de 19h e 20h, devido ao ganho de calor durante o dia pela radiação solar. Outro fato também analisado foi que a vegetação se comprovou significativa para a atenuação nos valores de temperatura do ar, pois em

Jataí, o P3 apresentou uma zona de frescor devido à vegetação nativa do Cerrado, no centro da área urbana.

Palavras-Chave: Clima Urbano; Inverno; Primavera; Temperatura do Ar.

Introdução

No contexto do desenvolvimento das relações entre o homem e o meio, é possível verificar em paralelo, a sua história e as modificações provocadas por ele, principalmente, nos centros urbanos. As alterações no meio natural por outro elemento completamente adverso geram fluxos de calor que provocam a elevação dos valores térmicos produzindo um clima especificamente da cidade, denominado de clima urbano.

O ritmo e a magnitude de produção e armazenamento de calor nas cidades são profundamente alterados pelas dinâmicas urbanas, as quais se transformam nas maiores fontes indiretas de produção de gases causadores do efeito estufa. Em contrapartida, a forma e a intensificação do uso e ocupação do solo, provocam uma pressão cada vez maior sobre o sítio local, aumentando assim, o potencial da mudança climática, com a ocorrência mais frequente de episódios atípicos (WMO, 1996).

Neste contexto, o desconforto térmico atinge grande parte da população que vive nas áreas urbanas, particularmente, em bairros com elevada densidade de construção e com ausência de áreas verdes. Nessas áreas a interação entre a radiação solar e a superfície é modificada, pois o material utilizado na construção das cidades (concreto, ferragens, massa asfáltica, etc.) possui uma constituição física que permite reter mais calor do que nas áreas rurais adjacentes, onde o mesmo calor que é retido durante o dia é irradiado rapidamente para a atmosfera, enquanto que nas áreas urbanas esse processo ocorre de modo mais lento. Como resultado desse processo há a formação das ilhas de calor urbanas.

Basane (2011), expõe que com a intensa urbanização ocorre a impermeabilização do solo, que ocasiona a diminuição da evaporação, a evapotranspiração e a infiltração, gerando desta forma, o desconforto térmico. Segundo Gartland (2010) as ilhas de calor são formadas em

áreas urbanas e suburbanas, porque muitos materiais de construção comuns absorvem e retêm mais calor do Sol do que materiais naturais usados em áreas rurais menos urbanizadas.

Amorim (2010) apontou as transformações que acontecem durante o processo de construção e ampliação das cidades. Estes movimentos são responsáveis pelas variações de temperatura dentro desse ambiente e conseqüentemente pela formação das ilhas de calor. Por exemplo: a retirada da vegetação original, o aumento da circulação de veículos e pessoas, a impermeabilização do solo, as mudanças no relevo por meio de aterros, canalizações de rios e córregos, concentração de edificações, verticalização urbana, instalação de equipamentos urbanos (parques, praças, edifícios, áreas industriais, residenciais, etc.), além do lançamento de partículas e gases poluentes na atmosfera.

Desta forma, como afirma Monteiro (1990), faz-se necessário adentrar na cidade e identificar as características da vida urbana, que influenciarão o balanço da radiação, que, automaticamente, altera, sobretudo, a temperatura do ar.

Mendonça (2001, p. 49) coloca, que a saúde humana é influenciada pelo clima e que os efeitos na população são mais acentuados naquelas pessoas que estão à mercê de sua ação. Assim, expõe que:

Quando os fatores do ambiente atingem valores extremos, sob atuação de ondas de calor ou frio, de ventos violentos, ou de precipitações abundantes, por exemplo, então eles afetam a saúde humana. Assim, a mortalidade aumenta durante as ondas de calor (sobretudo crianças e idosos), sendo cada vez mais marcada quando temperaturas elevadas se combinam com forte higrometria.

Assim, Lombardo (1985) reforça que a densidade demográfica, as áreas construídas, a pavimentação asfáltica e as áreas industriais podem interferir nos diferentes padrões de refletividade, ou de albedos, afetando o equilíbrio climático local, já que a radiação é absorvida e emitida pela superfície.

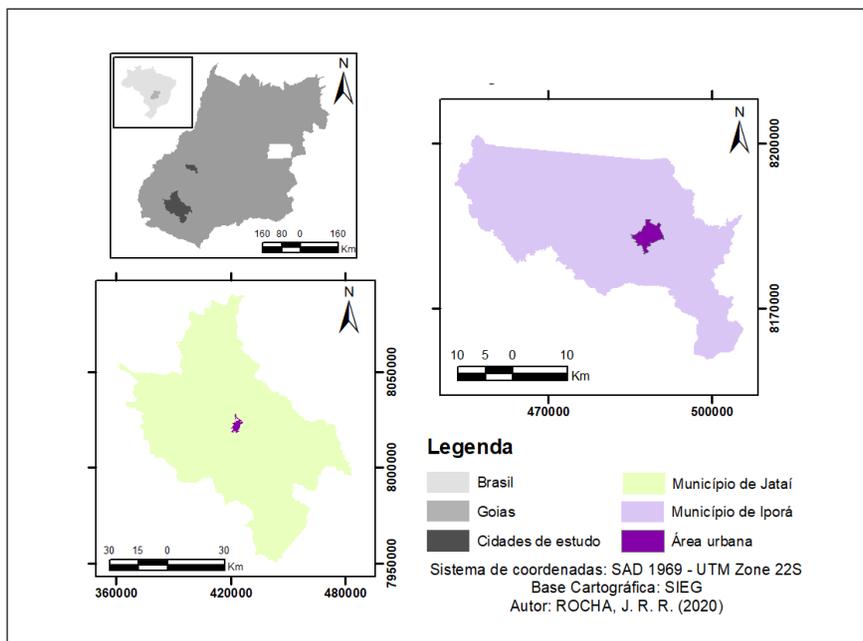
A temática do clima urbano teve seu início nos primeiros estudos feitos nas cidades de grande porte, visto que nelas a magnitude dos problemas urbanos é mais evidenciada. Contudo, notamos que as cidades de médio e pequeno porte também vêm ganhando destaque devido à presença de efeitos negativos do clima, como exemplo, o aumento das temperaturas que formam as ilhas de calor.

Mendonça (2003) e Rossato (2010) enfatizam que o clima urbano nessas cidades de pequeno porte pode servir de comparação com as de grande porte, além de relacionar o grau de influência dos espaços urbanos com diferentes dimensões no clima de cada local.

Sendo assim, o objetivo desta pesquisa consistiu em analisar as características espaciais da ilha de calor urbana em duas cidades do Cerrado brasileiro: as cidades de Iporá e Jataí (GO). Os experimentos foram realizados em dias representativos, no inverno e na primavera de 2015. A escolha destas estações se deu em razão de ser nestes períodos que os menores e maiores valores de temperatura do ar são registrados nas referentes áreas de estudo.

Procedimentos metodológicos

As cidades de análise estão localizadas no estado de Goiás, no domínio do Cerrado brasileiro. Iporá está na mesorregião do Oeste goiano, a 220 km da capital, Goiânia. Possui uma população, segundo informações do IBGE (2010), de 31.274 habitantes; destes, 28.545 residem na área urbana, distribuídos em 66 bairros, e 2.729 na área rural. O município de Jataí localiza-se na microrregião do Sudoeste goiano, possui área total de 7.174 km², e o seu perímetro urbano ocupa uma área de 28,8 km². Quanto à população do município, consta nos registros, 94.890 habitantes com densidade de 12,23 hab./km² (Figura 1).

Figura 1 – Localização das cidades de Iporá e Jataí (GO)

Fonte: Autores (2020).

O estudo proposto do clima urbano nas cidades de pequeno e médio porte do Cerrado brasileiro (Iporá e Jataí) tem como base metodológica a Teoria do Clima Urbano, proposta por Monteiro (1975), onde o autor aborda o clima como um “sistema singular, aberto, evolutivo, adaptativo e morfogênico, composto pelo clima local e pela cidade”. Desta forma, o S.C.U. (Sistema Clima Urbano) proposto por Monteiro (1975) foi subdividido em três subsistemas. Esta pesquisa teve como ênfase o subsistema termodinâmico, que aborda as influências do meio natural ou construído, na formação do clima urbano.

Inicialmente, para o desenvolvimento deste trabalho foi realizado o levantamento dos aspectos geoambientais (vegetação urbana, exposição de vertentes, hipsometria e hidrografia) e geourbanos (densidade de construção e pavimentação, uso e ocupação do solo).

Para o registro dos dados de temperatura do ar foram utilizados termohigrômetros digitais (*Dataloggers*, modelo HT-500 e HT-4.000)

acoplados em um miniabrigo de madeira, pintado na cor branca, revestido de telas de náilon para protegê-los da radiação solar e dos insetos (Figura 2 – A, B e C). Os abrigos foram instalados em pontos estratégicos na malha urbana das cidades, escolhidos previamente, e que se distinguem quanto a densidade de construção, pavimentação, área com vegetação, exposição das vertentes do relevo, hidrografia, função (comercial, residencial, mista) e o movimento de veículos e pessoas.

Em razão da dificuldade de instalação na altura padrão (1,5 metros), realizamos a compensação dos valores de temperatura do ar conforme estudo feito por Rocha (2015), onde os mesmos foram instalados na estação do INMET, em Jataí (GO), a partir da altura padrão 1,5 metros até 4,0 metros (1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5 e 4,0 m). Na Tabela 1, estão apresentados os valores de correção da temperatura nas diferentes alturas.

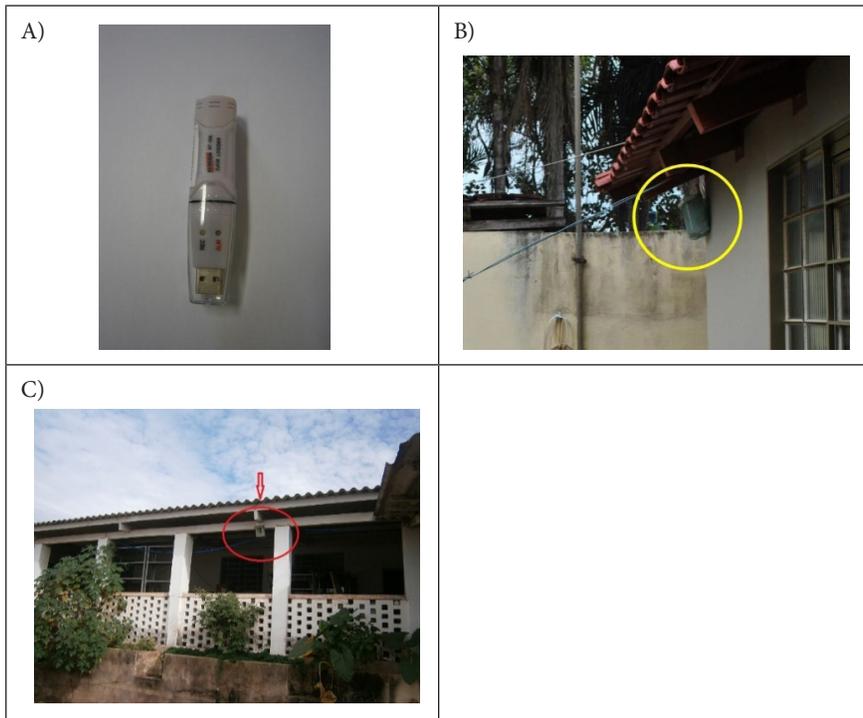
Tabela 1 – Fatores de correção da temperatura do ar em relação à altura

Altura (m)	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
Temperatura (°C)	0,0	0,06	0,03	0,05	0,18	0,07

Fonte: Rocha (2015).

Desta forma, os *Dataloggers* foram programados para registrarem os valores de temperatura do ar em intervalos de uma hora, assim foram distribuídos em cinco pontos distintos da área urbana de Iporá e sete pontos em Jataí.

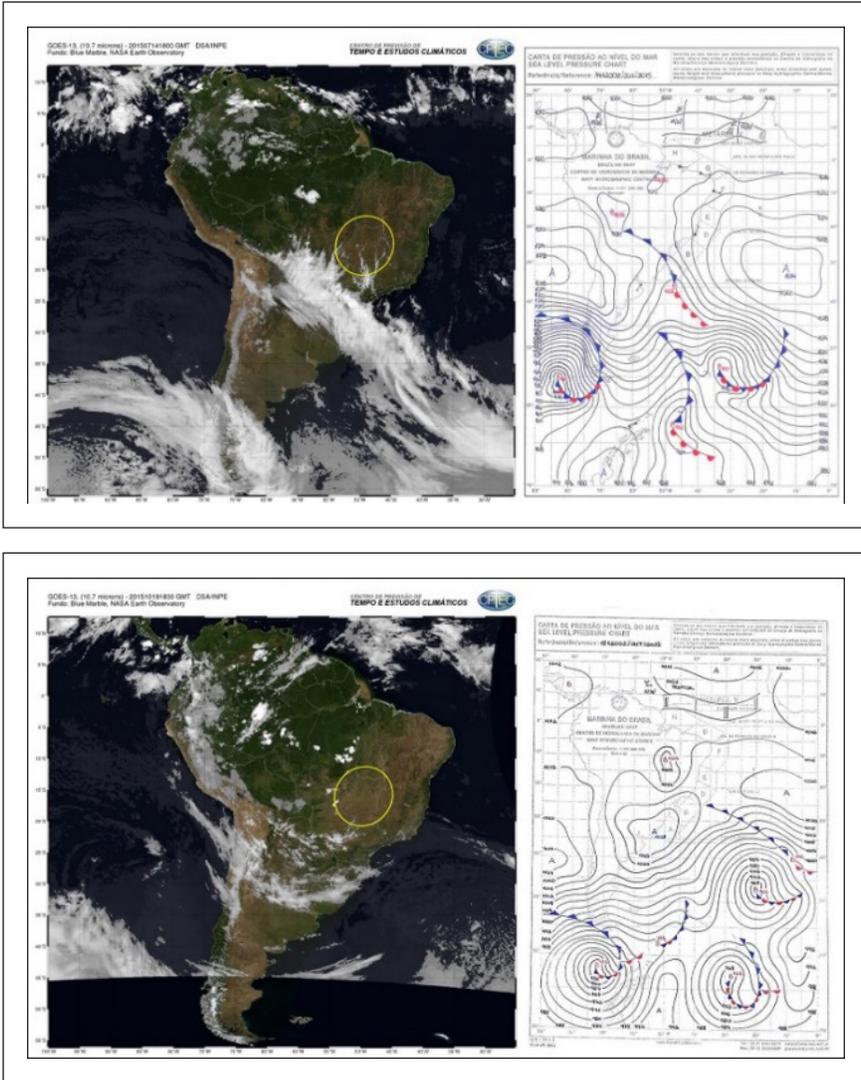
Figura 2 – A) Termohigrômetro HT-500; B) Ponto de coleta instalado no P4 em Iporá e C) Ponto de coleta instalado no P4 em Jataí



Fonte: Alves (2014) e Rocha (2015).

Conforme foi mencionado por Amorim (2010) e Gartland (2010) as ilhas de calor se manifestam, em sua maior intensidade, durante condições de estabilidade atmosférica, pois não há uma redução das interferências de sistemas atmosféricos nas condições climáticas locais. Portanto, para a análise episódica do estudo utilizamos duas estações, o inverno (14/07/2015) e a primavera (18/10/2015). Esses dias foram selecionados por apresentarem condições de tempo favoráveis para a observação da formação das ilhas de calor, pois foram dias ensolarados, sem nuvens, em situação de calma, ou seja, condições de estabilidade atmosférica (Figura 3). Justificamos também que esses episódios representaram os dias da estação mais fria e da mais quente do ano, nas cidades de Iporá e Jataí (GO).

Figura 3 – Condição atmosférica nos dias 14/07/2015 e 18/10/2015



Fonte: CPTEC (2020) e Marinha do Brasil (2020).

Os dados de temperatura do ar foram coletados entre os horários de 18h e 23h com o objetivo de verificar o desenvolvimento da ilha de calor no período noturno, tendo em vista, que a partir das 18h a intensidade da radiação solar diminui gradativamente até cessar. Assim foi

possível verificar a atuação dos materiais construtivos na retenção de calor e na geração das ilhas de calor, pois de acordo com a literatura citada na introdução, as áreas densamente construídas e com pouca ou nenhuma vegetação, tendem a serem áreas propícias para a geração das ilhas de calor.

Os dados obtidos neste intervalo de tempo foram organizados em planilhas de cálculo para obtenção das diferenças térmicas, bem como, para a interpolação horária dos dados por meio de *software* para que fosse identificada a região da cidade que demonstrou a formação da ilha de calor e sua evolução, entre o espaço de horários citado.

Aspectos geocológicos e geourbanos dos pontos de coleta

Para a coleta de dados utilizamos localizações que registraram informações das várias características geocológicas e geourbanas nas cidades, desta forma, a cidade de Iporá compreendeu em: P1 que está localizado no Campus da UEG, com pouca área construída; P2 na Secretaria Regional de Saúde do município, área densamente construída; P3 situado na Vila Itajubá, uma área densamente construída com baixo índice de vegetação; P4 no Setor Central, que possui área totalmente construída, com uso comercial; e o ponto P5, que está localizado no Bairro Mato Grosso, um bairro com área densamente construída e alto índice de vegetação, pois por se tratar de uma área residencial, os moradores cultivam árvores frutíferas nos seus quintais. Além disso, há presença de vegetação nas calçadas e nos canteiros centrais das avenidas do bairro.

Para a cidade de Jataí, o Quadro 1, apresenta os pontos de coleta: P1 que se encontra no Centro Tecnológico Sucam, local público, situado no Setor Epaminondas, a Noroeste da cidade. Este é um bairro residencial, ainda com poucas casas e terrenos baldios. O P2 é situado no Vila Vida, uma instituição que abriga casais de idosos, a Nordeste da cidade, e possui pavimentação asfáltica, arborização e solo exposto. O P3 localiza-se na Universidade Federal de Jataí, no Campus Riachuelo, no Setor Samuel

Graham. Ao lado está o Parque Ecológico Samuel Graham. O P4 encontra-se no Centro Sucam, localizado na área central da cidade, região comercial e bancária, com intenso fluxo de carros e pessoas, grande densidade de edificações e pouca arborização. O P7 situa-se no Clube dos Sargentos (41° BIMtz de Jataí), ao Sul da cidade, é uma área de preservação e lazer com presença de gramíneas e piscinas, onde a vegetação é abundante. O P6 é localizado em um bairro residencial, o Cohacol V, a Sudoeste da cidade, que possui pavimentação em todas as ruas, presença de pouca arborização nas calçadas e alta densidade de construção. Por fim, o P8 se localiza na estação do INMET, na Universidade Federal de Jataí (UFJ), no Sudeste da cidade, em uma área suburbana.

Quadro 1 – Síntese dos aspectos geocológicos e geourbanos analisados na cidade de Iporá (GO)

Ponto	Iporá (GO)			Jataí (GO)		
	Altitude	Exposição das vertentes	Uso da terra	Altitude	Exposição das vertentes	Uso da terra
P1	602	Oeste	Serviços	788	Leste	Residencial
P2	576	Sul	Residencial	735	Sudoeste	Residencial
P3	620	Noroeste	Residencial	795	Sudeste	Serviços
P4	602	Oeste	Comercial	675	Sudeste	Comercial
P5	571	Sudoeste	Residencial	615	Oeste	Reserva de Cerrado
P6	-	-	-	675	Sul	Residencial
P7	-	-	-	670	Oeste	Universidade

Fonte: Autores (2020).

Resultados e discussão dos dados

Nessa seção foram apresentados os resultados concernentes aos experimentos realizados nas cidades de Iporá (GO) e Jataí (GO). No primeiro momento foi apresentada a análise dos dados de temperatura

do ar registrados no episódio de inverno, e no segundo momento, os dados coletados durante o episódio de primavera.

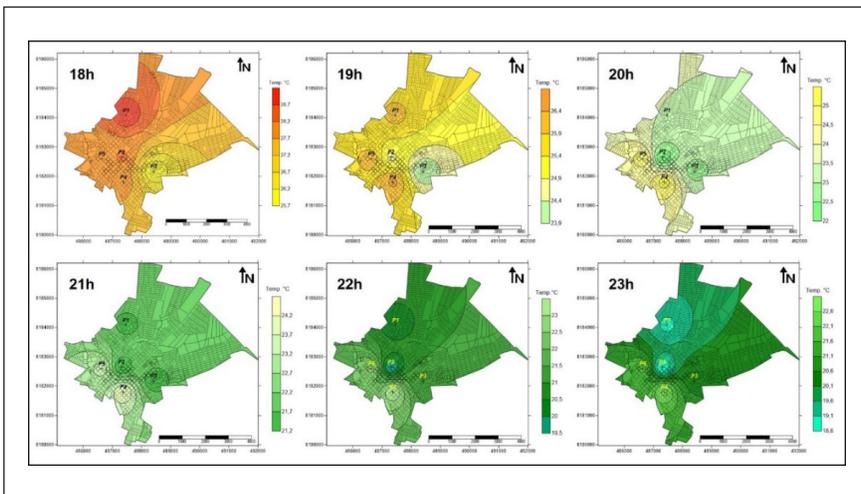
Análise episódica das ilhas de calor no inverno em Iporá e Jataí (GO)

Durante o experimento realizado, o comportamento térmico no episódio de inverno de 2015, em Iporá, demonstrou que as temperaturas do ar oscilaram entre 27,0 a 35,6°C e, a ilha de calor na malha urbana se formou sobre área do P1 e P4, ao Norte, na área central da cidade, pois houve o predomínio sobre a área do P4, entre os horários de 19h e 23h (Figura 4). Cabe ressaltar que durante o horário de 18h, a ilha de calor se formou na área do P1 em razão da vertente voltada para Oeste, fator que contribuiu para a maior intensidade da radiação e do aquecimento nessa área.

As áreas com menores valores térmicos foram registradas no P2 e no P3 em todos os horários. Foi possível encontrar vegetação expressiva nas localidades e isso contribuiu para os seguintes valores. Quanto a intensidade da ilha de calor observamos que a menor ocorreu com 2,6°C, e foi registrada no horário das 19h, já a de maior intensidade 4,1°C, foi obtida no horário das 23h.

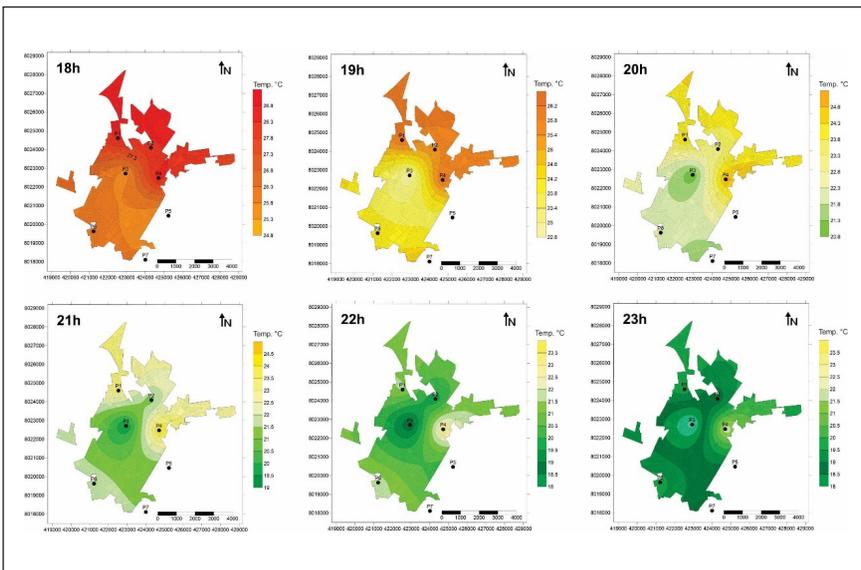
Para a cidade de Jataí (Figura 5), as temperaturas oscilaram entre 17,8 e 28,5 °C. Através da espacialização dos dados verificamos que a ilha de calor prevaleceu na localidade P4, que se manteve com temperaturas do ar elevadas em todos os horários, uma vez que é a área central da cidade com alta densidade de construções. Desta forma, as características geourbanas contribuíram para os valores térmicos registrados.

Figura 4 – Formação das ilhas de calor em Iporá (GO) no dia 14/07/2015, entre o horário das 18h e 23h



Fonte: Autores (2017).

Figura 5 – Formação das ilhas de calor em Jataí (GO) no dia 14/07/2015, entre o horário das 18h e 23h



Fonte: Autores (2020).

Notamos também que houve a presença de ilha de frescor na malha urbana. Ela ocorreu na localidade P3 e, esta situação, só foi possível devido ao ponto de coleta possuir vegetação e estar localizado ao lado de um parque ecológico com presença de Cerrado. Portanto, a vegetação promoveu a elevação dos valores de umidade relativa do ar e atuou durante o dia absorvendo a radiação solar, impedindo que ela chegasse à superfície com maior intensidade e provocasse o armazenamento de calor pelos materiais construtivos. Desta feita, contribuiu para que os valores térmicos registrados fossem os menores na malha urbana.

Na análise da variação horária da temperatura do ar, constatamos que as taxas de resfriamento entre as localidades diminuíram com o avanço do horário, fato provocado pelo ganho de calor durante o dia devido à incidência solar e, o resfriamento noturno pela perda de calor. Dessa forma, entre 18h e 20h, observamos as maiores diferenças entre as taxas de aquecimento nos pontos de coleta (Quadro 2).

A variação demonstrou que em Iporá, a localidade P3, foi a que registrou as menores taxas de resfriamento, sendo que a localidade está em uma área densamente construída, com baixo índice de vegetação e vertente voltada à Noroeste. Para a cidade de Jataí, a menor taxa de resfriamento ocorreu de forma diversificada, sendo que entre as 18h e 19h ocorreu no P5 (1,6 e 0,4°C), que é uma localidade com a presença de vegetação nativa do Cerrado. Enfatizamos que esta região apresentou as menores temperaturas no período de análise. Entre as 20h e 21h ocorreu no P6, área densamente construída com baixa vegetação, e por último o no P2, com 0,5°C, posto que a localidade também possui baixa vegetação.

Quadro 2 – Taxa de resfriamento noturno no dia 14/07/2015, em Iporá e Jataí (°C/hora)

Horário	Iporá (GO)					Jataí (GO)						
	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
18h	3,0	3,5	1,8	1,4	1,6	2,7	2,9	3,0	2,5	1,6	2,1	1,3
19h	2,5	2,8	1,1	1,3	1,3	1,6	2,3	1,8	1,0	0,4	1,8	3,4
20h	1,9	0,8	1,4	1,0	1,4	1,0	1,7	1,5	0,8	2,1	0,4	0,2
21h	1,4	1,7	0,4	0,8	0,8	1,7	1,7	0,9	0,9	1,2	0,1	0,0
22h	1,2	0,9	0,6	0,7	0,9	1,3	0,5	0,7	0,9	0,6	1,6	2,2

Fonte: Autores (2020).

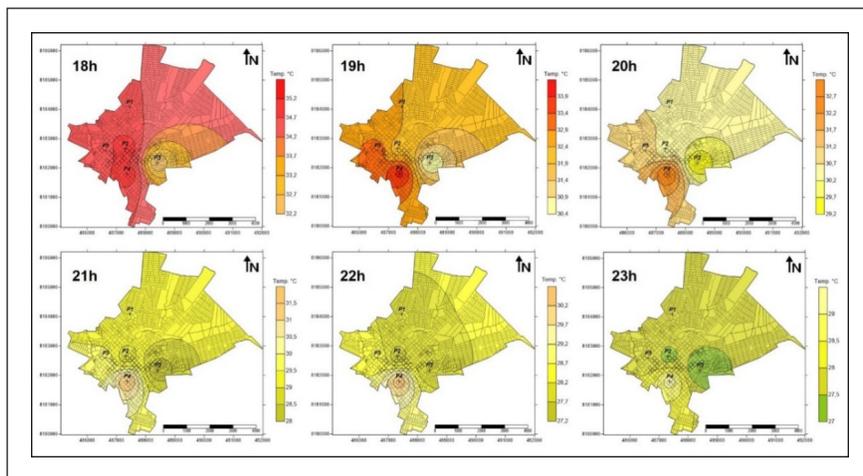
Análise episódica das ilhas de calor na primavera em Iporá e Jataí (GO)

No experimento realizado durante a primavera, no dia 18 de outubro de 2015, entre as 18h e 23h, na cidade de Iporá, verificamos que o ponto P4 (Setor Central) apresentou os maiores valores de temperaturas do ar em todos os horários, fazendo com que a ilha de calor se formasse sobre a área deste ponto (Figura 6). A maior intensidade da ilha de calor (3,6°C), foi registrada durante os horários das 19h e 20h, e a menor no horário de 23h (2,2°C). Vale ressaltar que durante esse experimento, na primavera, a ilha de calor se formou sobre a área P4 em todos os horários analisados. Esse fato se difere do ocorrido no experimento realizado no inverno, onde o desenvolvimento da ilha de calor na área do P1, ocorreu às 18h. No entanto, devemos considerar que durante a primavera, a radiação solar que incidiu sobre a cidade foi mais intensa, deste modo, a interação entre a radiação solar e os materiais construtivos presentes em maior abundância nas áreas densamente construídas, como a do P4, promoveu maior armazenamento de calor.

Também devemos considerar que, além da elevada taxa de construção (entre 76% e 100% dos lotes construídos), na área do P4 há pouca vegetação e maior fluxo de pessoas e veículos, que são variáveis que contribuem para a geração de calor antropogênico e para a formação da

ilha de calor, conforme foi apontado por Gartland (2010). Outro fator que se associa à constituição da ilha de calor no P4, durante a primavera, foi a vertente voltada para Oeste, que favoreceu maior intensidade de radiação solar nessa área durante o período da tarde.

Figura 6 – Padrão espacial da ilha de calor em Iporá (GO) no dia 18/10/2015, entre os horários de 18h e 23h



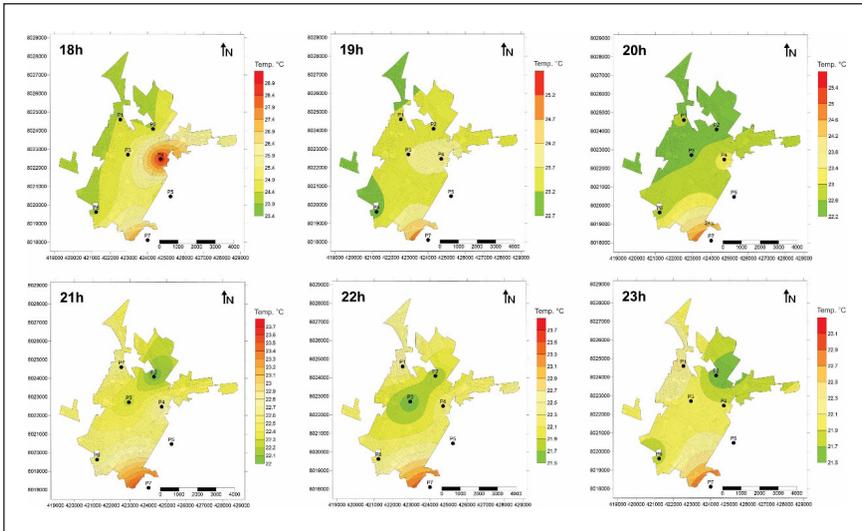
Fonte: Autores (2017).

Os dados de Jataí demonstraram que a localidade P4, apresentou os maiores valores térmicos nos primeiros horários (localizado na parte central da cidade), porém não deixou de se destacar entre as maiores temperaturas (Figura 7).

Esse fato ocorreu devido ao intenso fluxo de carros e pessoas que se verifica em horário comercial. Após às 19h, notamos que a localidade P7, se sobressaiu com os maiores calores térmicos em relação aos demais pontos. O P7 está em uma área rural com a presença de gramíneas (estação do INMET), que secam na referida época do ano (estiagem), desta forma, como evidenciado por Teixeira e Amorim (2016) é notável que esse acontecimento contribua para o aquecimento da superfície e automaticamente para o esquentamento da temperatura do ar.

A localidade P3, manteve-se entre os pontos com menores registros de temperatura do ar, não tão expressivamente como no inverno, porém, percebemos que a vegetação colaborou para que formasse uma ilha de frescor na localidade. Em relação à intensidade da ilha de calor em Jataí, verificamos que o menor registro de temperatura do ar ocorreu às 18h (4,2°C) e a maior às 20h (7,2°C).

Figura 7 – Formação das ilhas de calor em Jataí (GO) no dia 18/10/2015, entre o horário das 18h e 23h



Fonte: Autores (2020).

Para a primavera, constatamos que as menores taxas de resfriamento ocorreram em Iporá no P2, P3 e P4, sendo que no P2 não ocorreu às 22h apresentando o mesmo registro entre as 22h e 23h. No P3 aconteceu entre às 19h e 21h (1,2; 1,1 e 0,4°C respectivamente) e no P4 nos primeiros horários (1,5 e 1,2°C respectivos). Já as maiores taxas de resfriamento, ocorreram no P2, visto que a localidade densamente construída armazena calor durante o dia, e o libera sobre a atmosfera durante a noite. Este fato fez com que o período das 22h não apresentasse nenhuma taxa de resfriamento (Quadro 3).

Em Jataí, as menores taxas de resfriamento ocorreram no P5, uma vez que o ponto apresentou as menores temperaturas entre as localidades. O maior resfriamento se mostrou no P3 às 18h e também às 21h (4,8 e 0,4°C respectivamente), pois esta localidade é densamente construída e possui intenso fluxo de pessoas e veículos durante o dia.

Quadro 3 – Taxa de resfriamento noturno no dia 18/10/2015, em Iporá e Jataí (°C/hora)

Horário	Iporá (GO)					Jataí (GO)						
	P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
18h	2,3	3,4	1,9	1,5	2,0	1,1	1,3	4,8	1,2	0,6	1,0	2,6
19h	1,8	1,9	1,2	1,2	2,1	1,3	0,3	0,9	0,6	0,3	1,2	0,0
20h	1,4	1,6	1,1	1,3	1,4	0,3	0,1	0,5	0,0	0,0	0,3	1,7
21h	1,1	1,4	0,4	1,0	1,1	0,8	0,4	0,4	0,1	0,3	0,3	0,0
22h	0,1	0,0	0,7	1,3	0,7	0,4	0,5	0,4	0,3	0,0	0,3	0,6

Fonte: Autores (2020).

Diante dos registros de temperatura do ar em ambas as cidades, descobrimos que a partir do início do experimento, a intensidade da ilha de calor foi se elevando com o passar das horas. As localidades P4, tanto em Iporá quanto em Jataí, possuem elevada densidade de construção, além de um grande fluxo de pessoas e veículos, por se trataram de centros comerciais (Figura 8 – A e B). Por isso, apresentam um maior armazenamento de calor durante o dia e, conseqüentemente, ao longo da noite. Pois em tal período, este calor é liberado em forma de ondas curtas na atmosfera e assim, esquenta o ar, que permanece mais aquecido do que nas áreas adjacentes e forma as ilhas de calor.

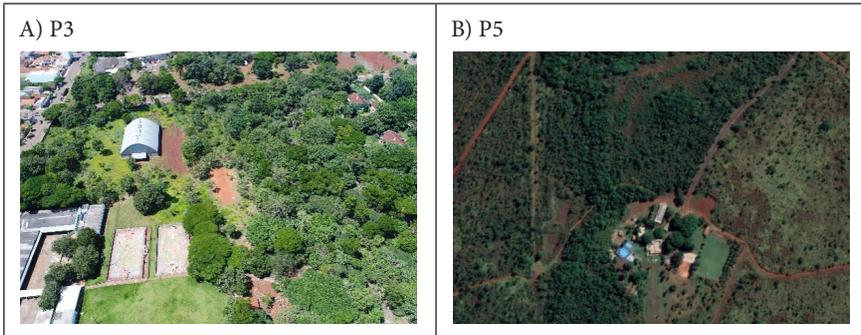
Figura 8 – A) Setor Central em Iporá (GO); e B) Setor Central em Jataí (GO)



Fonte: Autores (2020).

Em contrapartida, apuramos que alguns pontos na área urbana apresentaram características de área de frescor, já que essas áreas possuem bastante vegetação, o que contribui para os dados registrados, como é o caso do P3 e P5, em Jataí (Figura 9 – A e B), que apresentaram os menores valores térmicos durante a análise.

Figura 9 – Áreas com a presença de vegetação do Cerrado em Jataí (GO):



Fonte: Autores (2020) e *Google Earth* (2020).

Considerações finais

A evolução da urbanização das cidades de Iporá e Jataí mesmo que em análise episódica demonstram que o processo de uso e ocupação da terra tem um papel muito importante para determinar as variações climáticas na malha urbana. Nesse contexto, o uso dos dados analisados permitiu evidenciar as ilhas de calor presentes nas duas cidades e, por

meio disso, se tornou possível contribuir com o planejamento urbano das cidades.

De modo geral, verificamos que os fatores geocológicos e geourbanos influenciaram os valores térmicos na malha urbana das cidades, uma vez que para a cidade de Jataí, na localidade P3, foi possível observar que as temperaturas do ar se deram em sua maioria como áreas de frescor, já que a localidade e seu entorno contêm a presença de arborização, assim, podemos firmar que a existência da vegetação tem papel fundamental para amenizar as altas temperaturas durante a noite, contribuindo para áreas de frescor, principalmente nas estações mais quentes.

Com base no estudo podemos concluir que o fenômeno das ilhas de calor ocorre também em pequenas cidades e não somente nas grandes. Os dois experimentos realizados na cidade de Iporá, durante o inverno e a primavera, demonstraram que o fenômeno da ilha de calor aconteceu exatamente sobre o Setor Central, onde há maior densidade de construções, pavimentação e pouca vegetação, se comparada aos demais bairros da cidade.

Quanto a taxa de resfriamento, verificamos que o calor armazenado durante o dia é liberado lentamente para a atmosfera no período da noite, ocasião em que foram realizados os experimentos analisados neste trabalho, e promove o aquecimento do ar atmosférico, especialmente, em dias de tempo estável, sem nuvens e em condições de calma, conforme predominava nos dias dos dois experimentos. Nesse sentido, o ar atmosférico presente sobre a área do P4, permaneceu mais aquecido do que nas áreas adjacentes, favorecendo dessa maneira, a formação da ilha de calor urbana.

Portanto, para minimizar a intensidade das ilhas de calor é necessário implantar mais vegetação nestas áreas, pois ela impede que os raios solares atinjam diretamente a superfície e promovam o aquecimento da mesma.

Referências

- ALVES, W. S. **As interações espaciais e o clima urbano de Iporá**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Jataí, 2014.
- AMORIM, M. C. C. T. Climatologia e gestão do espaço urbano. **Revista Mercator**, Fortaleza, CE, p. 71-90, 2010. Disponível em: <http://www.mercator.ufc.br/index.php/mercator/article/view/534/299>. Acesso em: 21 maio. 2014.
- AMORIM, M. C. de C. T.; DUBREUIL, V.; QUENOL, H.; SANT’ANA NETO, J. L. Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França). **Confins**, 7, 2009. Disponível em: <http://journals.openedition.org/confins/6070>. Acesso em: 27 ago. 2020.
- BASANE, A. C.; SILVA, R. F.; MIRANDA, Y. C.; BALDO, M. C. A influência do clima urbano em cidades de pequeno porte: uma revisão teórica. *In: Anais... Simpósio de Estudos Urbanos: desenvolvimento regional e dinâmica ambiental*, 1, 2011.
- GARTLAND, L. O que é uma ilha de calor. *In: GARTLAND, L. Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas*. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. p. 9-23.
- LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Editora Hucitec, 1985.
- MENDONÇA, F. A. Clima e planejamento urbano em Londrina. *In: MENDONÇA, F.; MONTEIRO, C. A. de F. (Orgs.). Clima Urbano*. São Paulo: Contexto, 2003.
- MONTEIRO, C. A. de F. M. Teoria e clima urbano: um projeto e seus caminhos. *In: MENDONÇA, F. A. Clima urbano*. São Paulo: Contexto, 2003. p. 9-67.
- MONTEIRO, C. A. de F. **Teoria e clima urbano**. Tese (Concurso de livre-docência junto ao Departamento de Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, 1975.
- MONTEIRO, C. A. de F. Adentrar a cidade para tomar-lhe a temperatura. **Revista Geosul**, Florianópolis, v. 5, n. 9, p. 61-79, 1990.
- ROCHA, J. R. R. **Microclima do Cerrado: características higrótérmicas em Jataí e Caçu (GO)**. Tese (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Goiás, Regional Jataí, 2014.
- ROSSATO, P. S. **O sistema termodinâmico do clima urbano de Nova Palma, RS: contribuição ao clima urbano de cidades pequenas**. 2010. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências, Área de Concentração Sociedade e Meio Ambiente, Universidade Federal de Santa Maria/UFSM, RS, Santa Maria, 2010.

CAPÍTULO 4

Práticas de extensão e ensino no laboratório de climatologia geográfica e estação meteorológica na Universidade Federal de Jataí

Regina Maria Lopes
José Ricardo Rodrigues Rocha
Ezequiel Pereira da Silva
Germano Silva Albuquerque

Resumo: Este estudo diz respeito às ações de extensão do Laboratório de Climatologia Geográfica (LCG) da Universidade Federal de Jataí (UFJ), para atender a comunidade em geral, por meio de ações de extensão universitária, destacando as visitas monitoradas nas estações meteorológicas (automática e convencional) e o atendimento a mídia local e regional, rádios e televisão, abordando temas ligados à Climatologia. As estações meteorológicas estão instaladas no Campus Jatobá da UFJ, sendo uma estação meteorológica automática e outra convencional, que registram parâmetros meteorológicos como temperatura e umidade relativa do ar, precipitação pluvial, radiação solar e outros. O objetivo desse estudo é caracterizar as atividades desenvolvidas no LCG, sobretudo, as visitas monitoradas na estação meteorológica da Universidade Federal de Jataí, que acontecem desde o ano de 2011, através de ações extensionistas junto à comunidade local, visando auxiliar o aluno na compreensão e aprendizado dos temas da Climatologia, de um modo dinâmico, com as visitas nas estações meteorológicas, pois as questões do tempo e do clima estão presentes no cotidiano de todos. Portanto, os alunos vivenciam a teoria na prática, compreendendo assim a funcionalidade e a importância de uma estação meteorológica. Com essa metodologia de ensino, mediante aos projetos de extensão desenvolvidos na Universidade Federal de Jataí, o processo de ensino-aprendizagem se torna eficaz para o desenvolvimento crítico do discente sobre a determinada temática abordada nos livros didáticos, neste caso, os conteúdos sobre Climatologia.

Palavras-Chave: Climatologia; Extensão; Estação Meteorológica.

Introdução

As ações de extensão nas universidades públicas junto à comunidade possibilitam o compartilhamento com o público externo, do conhecimento adquirido por meio do ensino e da pesquisa. É um importante espaço de produção do conhecimento científico, que interage e transforma a realidade social. A extensão universitária é, portanto, uma das funções sociais da universidade, que tem por objetivo promover o desenvolvimento social, fomentar projetos e programas de extensão, através da participação da comunidade na construção dos conhecimentos.

Neste sentido, o Laboratório de Climatologia Geográfica (LCG) vem desenvolvendo atividades de extensão como, por exemplo, visitas monitoradas no próprio laboratório e na estação meteorológica da UFJ e, ainda, atendimento às mídias locais e regionais de rádios e televisão. As visitas monitoradas aspiram levar conhecimento ao público do Ensino Fundamental, Médio e professores, que desejam compreender um pouco mais sobre os aspectos climáticos e os instrumentos presentes em uma estação meteorológica. Já o atendimento à imprensa, tem o caráter mais informativo para a comunidade em geral, sobre as condições atuais do tempo, previsão e explicações a respeito de eventuais fenômenos climáticos que ocorrem na nossa região.

Sant'Anna Neto (1998) afirma que o interesse do homem em compreender os fenômenos originados na atmosfera e que de forma direta repercutem na superfície terrestre é tão antigo quanto a sua percepção do ambiente habitado.

Ferreira (2012) menciona que a Climatologia nasceu com base nos estudos da Meteorologia, que investiga a atmosfera e seus fenômenos, preocupando-se com o registro e a medição destes acontecimentos, cuja finalidade seria determinar as condições físicas sob as quais foram produzidos. Ele ainda destaca, que

a definição de clima desenvolvida sob uma concepção geográfica tem uma conotação antropocêntrica,

possuindo uma singularidade em relação à Meteorologia, procurando estabelecer assim uma relação sociedade-natureza por integrar as diferentes esferas terrestres visando uma compreensão da organização do espaço, possuindo no estudo do clima, um vetor de grande relevância nas análises espaciais.

Partindo desse entendimento, diversas ações de extensão universitária têm sido desenvolvidas no âmbito das instituições, demonstrando a importância de metodologias diferenciadas no ensino de Climatologia, que podem contribuir na aprendizagem dos discentes.

Para Aguiar *et al.* (2012) a execução do projeto de extensão universitária com a aplicação dos questionários sobre as atividades na estação meteorológica da UFJ, foi possível identificar que os alunos demonstraram que a visita contribuiu para a melhoria do entendimento nos conteúdos de Geografia, sobretudo, em relação aos temas ligados a Climatologia.

Santos *et al.* (2012) explana que os alunos, após a visita, despertam interesse pelo estudo do clima e ressalta como essa visita auxilia no entendimento do conhecimento teórico trabalhado em sala de aula. Machado *et al.* (2015) destaca também a importância de o educador fazer uso de recursos didáticos, como a confecção de uma estação meteorológica de baixo custo, para acompanhar as variações dos dados climáticos.

Giroto *et al.* (2015) enfatiza que com o desenvolvimento do projeto de extensão “A escola na estação meteorológica: a importância da Meteorologia no cotidiano humano”, as visitas e a divulgação dos dados climáticos, permitiram ao professor debater em sala de aula, com os seus alunos, a teoria, e ao mesmo tempo, ter as aulas práticas na estação.

Souza (2019) confirma que os resultados gerados com base nas visitas na estação meteorológica possibilitaram o entendimento das possibilidades de ensino e aprendizado do conteúdo de Climatologia a partir das aulas de campo.

Para Ferreti (2009, p. 13) a Climatologia deve ser analisada com a finalidade do entendimento do clima como produtor do espaço

geográfico, e que esse mesmo clima seja estudado a partir nas noções do tempo atmosférico. A autora afirma que:

Assim, uma análise sobre Climatologia deve fundamentar-se em critérios que auxiliam o entendimento do clima como fator significativo que influencia a produção do espaço geográfico. Atualmente é imprescindível, por exemplo, que sejam incorporadas às práticas pedagógicas noções de “ritmo” e de “sucessão, que transformam o clima em um atributo dinâmico”.

Por sua vez, a Climatologia é uma área da Geografia que tem por objetivo estudar os impactos dos fenômenos climáticos, tanto na natureza, como no tocante à população. Tentando explicar como a ação antrópica afeta o tempo, e em consequência disso, o clima em diferentes escalas, devido o crescente processo de urbanização, industrialização, poluição, práticas agropecuárias, dentre outros. Em seu entendimento, busca entender os elementos que fazem parte da dinâmica da Terra, tais como a temperatura, precipitação, ventos, nebulosidade e os fatores como latitude, altitude, relevo e maritimidade. E além disso, compreender aspectos como correntes marítimas quentes e frias, massas de ar, entre outros.

O conhecimento da atuação do tempo e do clima faz-se necessário para que possamos observar sua importância e influência em nosso cotidiano, contudo, as ações de extensão possibilitam a compreensão por parte dos alunos a respeito da relação e interação, tanto da superfície-atmosfera, como também da interação homem-meio, facilitando assim, a distinção das transformações que ocorrem entre ambas e como atingem os seres humanos, considerando que as atividades antrópicas podem influenciar em diferentes escalas, a variação do tempo e clima, no espaço.

O clima de uma região e as condições de tempo atmosférico sempre exerceram forte influência nas atividades desenvolvidas pelo homem no seu cotidiano. Afetando diretamente a vida das pessoas, em questões como saúde, alimentação, modo de vestir, hábitos, costumes e

desempenho das atividades produtivas. Assim, há a necessidade de seu conhecimento para o planejamento das atividades humanas.

O município de Jataí possui convênio entre a UFJ e o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que conta com uma estação climatológica automática e uma estação convencional, que oferecem subsídios para o desenvolvimento de pesquisas na região Sudoeste, possibilitando uma previsão do tempo mais acurada, além de disponibilizar dados dessas pesquisas para a sociedade no seu site.

As atividades de extensão nas estações meteorológicas instaladas na UFJ, se iniciaram no ano de 2011. O primeiro projeto intitulado “Aprendendo Climatologia utilizando uma estação meteorológica” foi submetido à coordenação da professora Zilda de Fátima Mariano (*in memoriam*). O projeto tinha como base, atender aos alunos do Ensino Fundamental e Médio da rede de ensino pública e privada, uma vez que as primeiras noções de tempo e clima são ministradas a partir da 4^a, 5^a e 6^a séries do Ensino Fundamental, com visitas monitoradas nas estações meteorológicas, promovendo a aprendizagem a respeito do tempo e do clima, e sobre o funcionamento dos aparelhos utilizados na coleta dos dados climáticos.

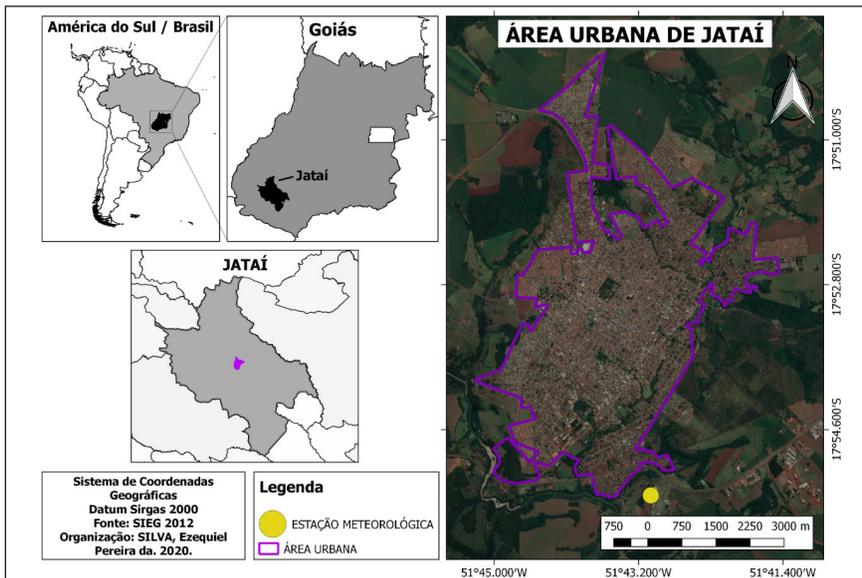
Almejando a continuação do projeto de extensão para atender a demanda dos professores e alunos, foi submetido um novo projeto intitulado “Monitoramento do tempo e do clima de Jataí, por meio de uma estação meteorológica”, que objetivou realizar as atividades de extensão tendo como público alvo, os estudantes (Ensino Fundamental, Médio e Universitário), com visitas no LCG e trabalhos de campo na estação meteorológica, para conhecer os instrumentos utilizados na coleta dos registros climáticos, como chuva, temperatura do ar, vento, umidade do ar, radiação solar, e outros relacionados ao tempo e ao clima, ministrados nas salas de aulas. E ainda, quando solicitado, o LCG atende os meios de comunicação da nossa cidade e região.

Procedimentos metodológicos

Localização geográfica da área de estudo

O município de Jataí está localizado no estado de Goiás entre as coordenadas geográficas $17^{\circ}52'33''$ S e $51^{\circ}43'17''$ W, fazendo parte da microrregião do Sudoeste goiano, pertencente à mesorregião Sudoeste, com uma área de $7.174,228 \text{ km}^2$. A estimativa do IBGE é que a cidade conta com 102.065 habitantes. O município possui convênio entre o INMET e a UFJ para a manutenção de duas estações climatológicas, sendo uma automática e outra convencional, ambas localizadas na Universidade Federal de Jataí. As estações fornecem registros das variáveis climáticas, e também proporcionam subsídios para o desenvolvimento de pesquisas na região Sudoeste, e ainda contribuem, para o banco de dados das estações no site do INME, disponibilizado para a sociedade. As estações meteorológicas localizam-se na zona rural nas dependências do Campus Jatobá da Universidade Federal de Jataí (Mapa 1).

Mapa 1 – Localização do município de Jataí (GO) e as estações meteorológicas do INMET



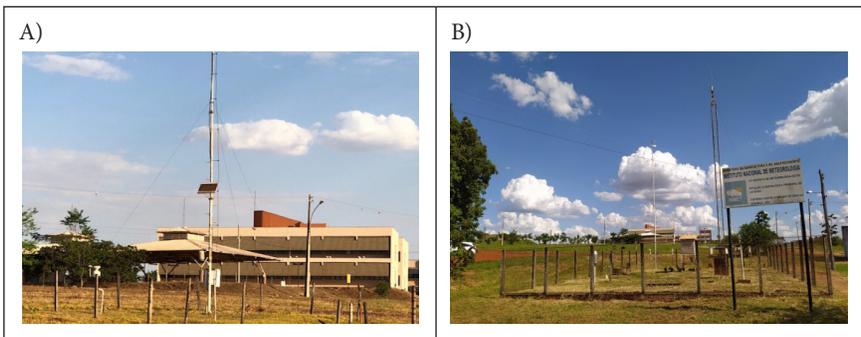
Fonte: Os autores.

Instalações das estações meteorológicas, automática e convencional na UFJ

As estações meteorológicas automática e convencional (Fotografia 1A e 1B) foram instaladas em 1997 no Campus Jatobá (antigo Campus da Universidade Federal de Goiás – UFG – Regional Jataí) hoje atual UFJ, para atender a demanda do Programa de Monitoramento de Tempo, Clima e Recursos Hídricos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e o Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC).

A instalação das estações meteorológicas seguiram uniformização estipulada pelo INMET. O abrigo meteorológico foi construído em madeira e pintado na cor branca, obedecendo o padrão, e tem a função de proteger os equipamentos contra o aquecimento. Já o gramado serve para amenizar o excesso de aquecimento do solo, direção dos aparelhos, entre outras especificações.

Figura 1 – Estações meteorológicas: A) automática e B) convencional



Fotos: Acervo do Laboratório de Climatologia Geográfica da UFJ (2019 e 2020).

Sobre a composição dos equipamentos que constituem uma estação meteorológica, segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), em geral, a estação meteorológica automática possui sensores de temperatura, radiação UV, umidade, precipitação, direção e velocidade do vento, além de uma central de armazenamento de dados. Já a estação meteorológica convencional é composta por vários

equipamentos (Figura 2), como pluviômetro, pluviógrafo, geotermômetros, termógrafos, termômetros de máxima e mínima, higrômetros, higrógrafos, orvalhógrafo, aspergígrafo, anemômetro, anemoscópio, heliógrafo, psicrômetro, actinógrafo e evaporímetro, que registram parâmetros meteorológicos.

Visitas monitoradas no Laboratório de Climatologia Geográfica e estações meteorológicas da UFJ

O Laboratório de Climatologia Geográfica (LCG) da Unidade de Estudos Geográficos da Universidade Federal de Jataí (UFJ) funciona desde o ano de 1999, inicialmente com estagiários da graduação, e posteriormente com alunos da pós-graduação, sob a coordenação de um professor da UFJ. O laboratório é um espaço destinado aos alunos e professores que realizam estudos nessa área, desenvolvendo principalmente, projetos de pesquisa e extensão, vinculados à iniciação científica, trabalhos de conclusão de curso, dissertações, teses, produção de artigos científicos, realização de estágios com discentes do curso de Geografia, participação e organização de eventos abertos à comunidade, e visitas dos colégios da rede de ensino público e particular.

O LCG, além das atividades internas, desenvolve ações extralaboratoriais, ou seja, prestação de serviço à comunidade acadêmica e a sociedade, como por exemplo, a disponibilização de dados climatológicos de Jataí e região, atendimento às emissoras de rádio e televisão em formato de entrevistas, e aulas práticas sobre tempo e clima, e sobre os equipamentos utilizados na coleta dos dados climáticos, e ainda, visitas monitoradas no LCG da UFJ e nas estações meteorológicas.

Figura 2 – Vista parcial dos instrumentos utilizados na coleta dos dados meteorológicos



Fonte: Acervo do Laboratório de Climatologia Geográfica da UFJ (2012).

Procedimentos técnicos

Para o desenvolvimento de tais atividades, uma das principais ferramentas utilizadas tem sido a visita monitorada no LCG e estações meteorológicas. Para isso, as ações de extensão desenvolvidas têm seguido as seguintes etapas:

1ª Etapa: Os bolsistas e os professores fazem a divulgação do projeto da estação meteorológica junto às escolas da rede municipal,

estadual e particular, identificando a finalidade e os dias de atendimento aos alunos.

2ª Etapa: Planejamento de estudo entre o coordenador, professores participantes e os bolsistas do laboratório para conhecimento, tanto do projeto de ensino, quanto do modo de funcionamento e dos aparelhos da estação meteorológica. Esta etapa visa orientar para a maior propriedade durante as atividades realizadas do projeto.

3ª Etapa: Após os estudos, se realiza um treinamento prático na estação meteorológica, localizada no Campus Jatobá da UFJ. Nesta etapa, além dos envolvidos no projeto, há uma orientação pelos observadores meteorológicos.

4ª Etapa: As escolas fazem o agendamento para visitação, por meio de preenchimento do formulário disponibilizado no site do LCG da UFJ, enviado com antecedência via e-mail.

5ª Etapa: Antes da realização da visita na estação meteorológica (adentrar de fato, na área), o técnico da estação, repassa as informações e normas de funcionamento sobre a estação meteorológica, conscientizando os alunos sobre a importância de se ter cuidado com os aparelhos, visto que são compostos por sensores, e que qualquer interferência humana pode comprometer os dados, como por exemplo, girar o anemômetro, entre outros.

6ª Etapa: No final da visita, os alunos são levados para uma área ao lado da estação e, ali são atribuídas perguntas aleatórias sobre o funcionamento da mesma. Essa etapa permite uma avaliação das práticas utilizadas e dos conhecimentos adquiridos durante a visita, objetivando assim, melhorar o atendimento a comunidade.

Resultados e discussão

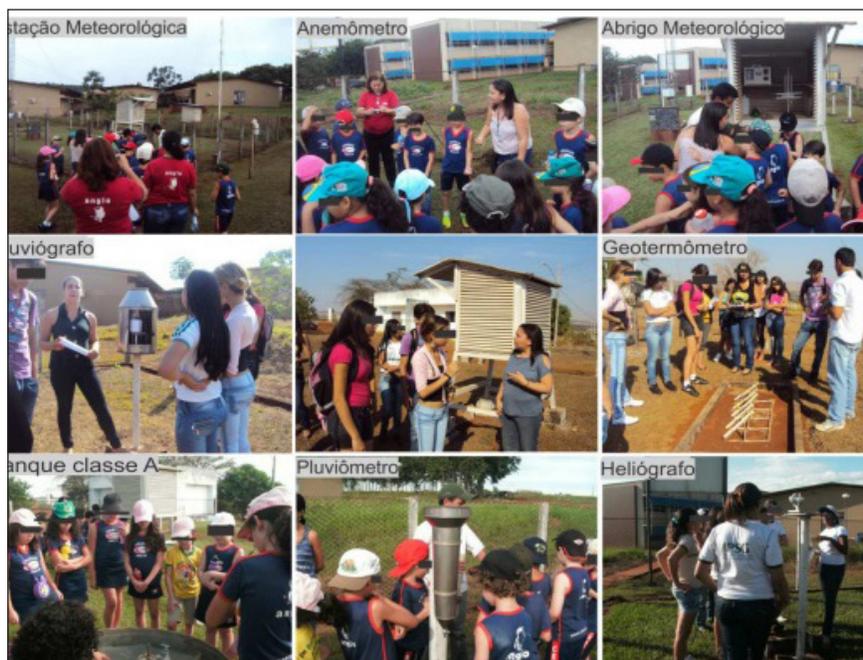
Sínteses das atividades desenvolvidas no Laboratório de Climatologia Geográfica da UFJ

Para sistematizar as atividades desenvolvidas pelo Laboratório de Climatologia Geográfica da UFJ, foi realizado um levantamento, a fim de auxiliar a elaboração deste trabalho. Com a implantação em 2011, do

projeto “Aprendendo Climatologia utilizando uma estação meteorológica”, coordenado pela professora Dra. Zilda de Fátima Mariano (*in memoriam*) verificou-se que o objetivo principal constou em promover a aprendizagem sobre tempo e clima para os alunos do Ensino Fundamental e Médio, utilizando a estação meteorológica como suporte de aprendizagem.

Aguiar *et al.* (2012) comenta que as visitas nas estações meteorológicas (Figura 3), proporcionou aos alunos uma aprendizagem mais interativa sobre o funcionamento dos instrumentos utilizados na coleta dos dados meteorológicos, já que estes alunos observaram que os procedimentos realizados são de extrema importância para a sociedade, que é afetada diretamente pelas influências do clima no espaço em que vivemos.

Figura 3 – Visitas supervisionadas na estação meteorológica em 2011 e 2012, durante a execução do projeto “Aprendendo Climatologia utilizando uma estação meteorológica”



Fonte: Acervo do Laboratório de Climatologia Geográfica da UFJ (2012).

Constatamos então que, a realização do projeto “Aprendendo Climatologia utilizando uma estação meteorológica”, contribuiu no processo de ensino-aprendizagem dos alunos, confirmando a importância dos projetos de extensão desenvolvidos em parceria com a comunidade.

Neste sentido, intencionando a continuidade das ações de extensão, no ano de 2020, foi submetido a coordenação de extensão da UFJ, um novo projeto intitulado “Monitoramento do tempo e clima de Jataí (GO), por meio de uma estação meteorológica”. Com previsão de execução de 2020 a 2030, visa contemplar as visitas monitoradas no LCG e nas estações meteorológicas, contribuindo com a formação dos discentes. Visto que o uso de metodologias diferenciadas e práticas tem potencializado a aprendizagem no que diz respeito às diversas temáticas abordadas pela Climatologia.

As visitas monitoradas no LCG (Figuras 4A e 4B) tem o caráter de atender a demanda solicitada pelos professores da rede de ensino, abordando desde conceitos iniciais da Climatologia, como por exemplo, tempo e clima, e banco de dados climáticos. Mostramos como os estudantes podem ter acesso aos dados climáticos da estação automática da UFJ, além de apresentar a eles, os instrumentos do LCG que são diferentes dos equipamentos das estações, como exemplo, sensores de temperatura e umidade relativa do ar (*Dataloggers*), pluviômetro P300 para coletar chuva, e outros equipamentos utilizados na coleta de dados climáticos nas pesquisas desenvolvidas pelo LCG.

Figuras 4A e 4B – Visitas monitoradas no LCG durante a programação do espaço das profissões



Fotos: Acervo do Laboratório de Climatologia Geográfica da UFJ (2019).

O Laboratório de Climatologia Geográfica (LCG) tem recebido discentes de graduação para o desenvolvimento de estágio supervisionado, previsto na matriz curricular dos discentes do curso de Geografia da UFJ, contribuindo com o processo de ensino e aprendizagem. O LCG tem apoiado na organização de eventos, como o ocorrido no ano de 2019, auxiliando na organização da X Jornada de Geografia, do Espaço das Profissões e da Semana da Ciência da UFJ (Figura 5 (A, B, C, D)).

Outra atividade que o LCG tem apoiado é a realização da Prática de Componente Curricular (PCC), dos discentes do curso de Geografia, como por exemplo, a construção de abrigos meteorológicos de baixo custo com o material de PVC (Figura 6 A, B e C). A iniciativa teve como objetivo comparar a utilização dos abrigos de PVC com o abrigo de madeira, instalado na estação meteorológica do INMET no Campus Jatobá (UFJ). Para assim, demonstrar aos alunos, as diferenças entre os abrigos meteorológicos usados nas pesquisas de campo em Climatologia.

Figura 5 – A) e B) Discentes do Curso de Graduação em Geografia da UFJ, durante as atividades do Estágio Curricular; C) e D) Organização e participação em eventos científicos da UFJ



Fotos: Acervo do Laboratório de Climatologia Geográfica da UFJ (2019).

Figura 6 (A, B e C) – Construção e instalação de miniabrigos meteorológicos de PVC



Fotos: Acervo do Laboratório de Climatologia Geográfica da UFJ (2019).

Visitas monitoradas nas estações meteorológicas do INMET instaladas na UFJ

Sobre as visitas nas estações meteorológicas (Figura 7 A e B) vale ressaltar que mesmo com duas estações, a automática e a convencional, as aulas práticas ocorrem nas dependências da estação convencional, uma vez que lá, é possível implantar a didática de ensino, por meio dos instrumentos utilizados na coleta dos dados climáticos. No entanto, a estação automática está localizada próxima da estação convencional, e durante as visitas são repassadas informações que diferem uma estação da outra a fim de se comparar o método de coleta, oferecendo ao

discente, o entendimento sobre as diferenças entre cada estação meteorológica no que concerne sobre a mensuração dos dados climáticos.

Figura 7 (A e B) – Visitas supervisionadas de estudantes do Ensino Médio na estação



Fotos: Acervo do Laboratório de Climatologia Geográfica da UFJ (2019).

Figura 8 – Visitas supervisionadas de estudantes de graduação na estação convencional da UFJ



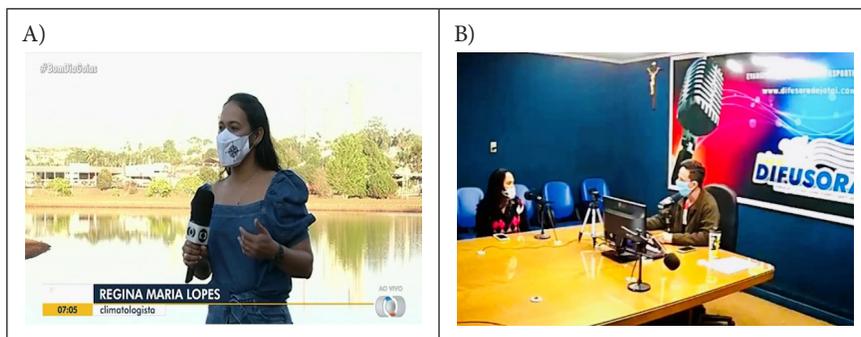
Fotos: Acervo do Laboratório de Climatologia Geográfica da UFJ (2018).

Verificamos que os trabalhos de campo realizados não apenas com alunos do Ensino Fundamental e Médio, mas também com os discentes de graduação do curso de Geografia da UFJ, tem contribuído de forma significativa principalmente no conteúdo das disciplinas de Introdução à Climatologia, Climatologia Dinâmica, Climatologia Aplicada a Geografia e Geografia do Turismo, que abordam na ementa, conteúdos relacionados com o tempo e o clima.

Extensão universitária: atendimento a mídia e comunidade

Além das atividades internas do laboratório, os alunos e professores prestam diversos serviços à comunidade acadêmica e também para a sociedade em geral, como: disponibilização de dados climatológicos de Jataí e região, entrevistas às emissoras de televisão e rádio (Figura 9 A e B), elaboração de aulas sobre clima na estação climatológica.

Figura 9 (A e B) – Atendimento a imprensa (rádio e televisão), sobre as condições de tempo da cidade de Jataí (GO)



Fotos: Acervo do Laboratório de Climatologia Geográfica da UFJ (2019 e 2020).

Notamos então que desde a instalação do laboratório de Climatologia e das estações meteorológicas na UFJ, os mesmos são utilizados como fonte de dados climáticos para a comunidade, e ainda como suporte para atendimento das escolas da rede de ensino e discentes de graduação, além de desenvolver e apoiar pesquisas

realizadas na área de Climatologia, no Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFJ.

Através disso, há de fato uma maior interação. Uma relação que vai além da ideia central, que é fazer ensino, pesquisa e extensão. Estar em contato com os dados, transforma-los em resultados, representar a forma como a dinâmica da Terra funciona com base nesses instrumentos é devolver para a sociedade, conhecimento e métodos de como o homem pode reagir aos fenômenos da natureza, e a partir disso, adequar-se ao ambiente.

Ainda hoje, um dos maiores dilemas da sociedade em relação ao clima, é associar um período de chuva a um determinado acontecimento empírico. Transformar os saberes e propagar o que verdadeiramente é a realidade, é um dos maiores desafios que temos, enquanto universidade. Portanto, precisamos integrar a população aos saberes científicos. Considerando as ações de extensão para o desenvolvimento desses saberes, como por exemplo, a visita nas estações meteorológicas, é possível visualizar a condição atual do tempo, e explicar para os alunos a sua importância, e como resultado disso, relacionar a influência das condições do tempo e do clima, no cotidiano.

Experimentos utilizando dados da estação meteorológica são cada vez mais frequentes. Pois, informações como as de temperatura do ar podem trazer benefícios relacionados à germinação de sementes no solo, assim como os dados de chuva e de outros elementos, que podem impactar além da vida cotidiana, o desenvolvimento econômico do país. Neste contexto, entendemos que a relação universidade e sociedade é de suma importância para a produção do conhecimento reflexivo e comprometido com a comunidade. É através das atividades extensionistas, que ressaltamos o papel da universidade no desenvolvimento de ações, sem dissociá-la do ensino e da pesquisa.

Considerações finais

Diante dos projetos já realizados e do vigente, com vista à demanda de professores que buscam o laboratório, constatamos a importância da prestação de serviços e da divulgação da Universidade Federal de Jataí à comunidade local, uma vez que as visitas supervisionadas, tanto no LCG quanto nas estações meteorológicas, possibilitam dinâmicas de ensino e aprendizagem durante os trabalhos de campo.

Sendo assim, percebemos que a realização dessas visitas monitoradas, tem se mostrado eficiente no que refere aos conteúdos abordados em sala de aula, facilitando assim a compreensão dos alunos.

Confirmando que o desenvolvimento de projetos de extensão, permite várias abordagens e técnicas de ensino-aprendizagem, consideramos as diferentes turmas e idades dos estudantes que visitam a estação. Dessa forma, justificamos a manutenção de projetos de extensão que desempenhem a função social, mostrando para a comunidade, as nossas ações no campo da prestação de serviços desenvolvidos na universidade. Seja por meio de atividades administrativas, de ensino, pesquisa e extensão, seja no aprimoramento de uma interação entre ensino básico e superior.

Agradecimentos

À professora Dra. Zilda de Fátima Mariano (*in memoriam*), pela atuação nas atividades de extensão da UFJ, com o projeto intitulado “Aprendendo Climatologia utilizando uma estação meteorológica”. E pelos serviços prestados à comunidade alicerçados no ensino, pesquisa e extensão.

Referências

AGUIAR, R. P. *et al.* Trabalho de campo na estação meteorológica: uma experiência de ensino em Climatologia. **Revista Geonorte**, ed. especial 2, v.1, n.5, p.241-249, 2012.

FERRETI, E. **Geografia em ação: práticas em Climatologia**. Curitiba: Aymara Editora, 2009.

GAMBOA, S. S.; CHAVES, M. A relação universidade e sociedade: a “problematização” nos projetos articulados de ensino, pesquisa e extensão. **Revista Educação Temática Digital**, Campinas, v. 10, n. 1, p. 144-167, dez., 2008. Disponível em: <http://www.fae.unicamp.br/revistas>. Acesso em: 18 nov. 2020.

GIROTO, B. D. *et al.* A Escola na estação meteorológica: a importância da Meteorologia no cotidiano humano. 8º Congresso de Extensão Universitária da UNESP. **Diálogos da extensão: do saber acadêmico a prática social**, 2015.

HOPPE, I. L. *et al.* Comparação entre um abrigo meteorológico de baixo custo e a estação meteorológica oficial no INMET, em Santa Maria (RS). **Ciência e Natura**, v. 37, n. 1, p. 132-137, 2015.

MACHADO, M. J. J. O Ensino de Climatologia Geográfica a partir da utilização de uma estação meteorológica de baixo custo. **VIII Encontro Nacional de Ensino de Geografia Catalão, GO**, 2015.

OLIVEIRA, D. J. L. de *et al.* Os desafios de ensinar a Climatologia nas escolas. *In: II Congresso de Educação UEG/UaU Iporá. Anais... Anais do II Congresso de Educalá – UEG/UnU Iporá*, p. 47-50, 2012. Acesso em: 26 ago. 2020.

ROLDÃO, A. F. *et al.* Climatologia e ensino: uma análise das visitas à estação meteorológica da Universidade Federal de Uberlândia. **REVISTA GEONORTE**, ed. especial II, v. 5, n. 4, p. 99-107, 2012.

SOUSA, R. R. *et al.* A estação meteorológica como ferramenta para o Ensino Fundamental e Médio, na cidade de Jataí, GO. *In: VIII Congresso Ibero-Americano de Extensão Universitária, Rio de Janeiro*, v. 2, 27 a 30 nov., **Anais...** CD-ROM, 2005.

SOUZA, I. C. Do tempo ao clima: o uso da estação meteorológica para o ensino de Climatologia Escolar. **14º Encontro Nacional de Prática de Ensino de Geografia, Políticas, Linguagens e Trajetórias**, Universidade Estadual de Campinas, 29 jun. a 4 jul. 2019. Ateliê de Pesquisas e Práticas em Ensino de Geografia.

STEINKE, Ercilia Torres. Prática Pedagógica em Climatologia no Ensino Fundamental: sensações e representações do cotidiano. **ACTA Geográfica, Climatologia Geográfica, Boa Vista**, ed. esp., p. 77-86, 2012.

CAPÍTULO 5

Visitas monitoradas à estação meteorológica: uma proposta metodológica para o ensino de climatologia

Camila Bertoletti Carpenedo
Letícia de Paula e Silva Andrade
Leandro de Oliveira Rabelo

Resumo: O ensino de Geografia, em especial, o de Climatologia, geralmente ocorre por meio de ações pedagógicas de mera transmissão e recepção de conteúdos, somado ao fato de os professores apresentarem dificuldades em mediar o processo de aprendizagem dos alunos. Buscando contribuir com a superação dessas dificuldades, nesse capítulo, apresentamos um Projeto de Extensão realizado pelo Laboratório de Climatologia e Recursos Hídricos do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, que oferece visitas monitoradas à Estação Meteorológica de Observação de Superfície Convencional e Automática desde a década de 1990, destinadas aos alunos do Ensino Fundamental, Médio e Superior. Em tais atividades, como uma aula de campo, são apresentados os instrumentos e procedimentos da estação, assim como são discutidos assuntos da Climatologia, de maneira que estes alunos possam compreender de forma prática conceitos relacionados ao tempo e clima.

Palavras-Chave: Geografia; Ensino de Climatologia; Estação Meteorológica.

Introdução

O objetivo da Geografia no âmbito escolar é a formação do cidadão, é fazer com que os alunos percebam os fenômenos físicos e sociais como uma relação mútua e de maneira consciente, onde clima, relevo,

vegetação e sociedade se modificam à medida que interagem. Os Parâmetros Curriculares Nacionais de 1998, apontam que:

A preocupação básica é abranger os modos de produzir, de existir e de perceber os diferentes lugares e territórios como os fenômenos que constituem essas paisagens e interagem com a vida que os anima. Para tanto é preciso observar, buscar explicações para aquilo que, em determinado momento, permaneceu ou foi transformado, isto é, os elementos do passado e do presente que neles convivem. O espaço considerado como território e lugar é historicamente produzido pelo homem à medida que organiza econômica e socialmente sua sociedade (BRASIL, 1998, p. 26).

Deste modo, o estudo de temas que relacionam os fenômenos naturais e sociais é fundamental para o ensino de Geografia. Entre esses temas, o estudo do tempo e do clima é essencial, uma vez que as condições atmosféricas influenciam o homem nas suas mais variadas atividades, como por exemplo, agricultura, tipo de moradia, vestuário, construção civil, saúde, entretenimento, abastecimento de água, geração de energia, dentre outras.

Embora os Documentos Oficiais indiquem que o ensino de Geografia deva “proporcionar aos alunos a possibilidade de compreenderem sua própria posição no conjunto de interações entre sociedade e natureza” (BRASIL, 1998, p. 26), sabemos que, em muitos casos, as práticas escolares do ensino de Geografia ocorrem de maneira desconexa e desmembrada (OLIVEIRA; SILVA, 2009). Assim, através de ações pedagógicas de mera transmissão e recepção de conteúdos, o protagonista do processo de ensino-aprendizagem deixa de ser o aluno e passa a ser o livro didático. Tal postura, muitas vezes, contribui para o ensino da Geografia Tradicional¹.

1 A Geografia Tradicional, desenvolvida a partir da década de 1960, embora tenha trazido contribuições para o entendimento das relações entre a natureza e o homem, transmitia uma visão de Geografia neutra. Nela, a relação entre o homem e a natureza era realizada “muito mais como processos de adaptações (...), nas quais a sociedade e o espaço emergiam das ações humanas desprovidas de quaisquer intencionalidades ou ideologias” (BRASIL, 1998, p. 20).

Essa problemática se torna mais grave quando os professores apresentam dificuldades em mediar o processo de aprendizagem dos alunos, de modo a integrar os conhecimentos científicos aos saberes empíricos dos mesmos. Desta maneira, temas essenciais à sociedade, como clima e tempo, têm se tornado cada vez mais estáticos e destituídos de sentido para os estudantes, resultando na redução da capacidade de contextualização e em um distanciamento entre os temas e a realidade dos alunos. Nessas condições, a Alfabetização Geográfica e a própria Educação Geográfica assumem características meramente instrumentais.

Buscando cooperar com a superação dessas dificuldades, neste capítulo apresentamos um Projeto de Extensão realizado pelo Laboratório de Climatologia e Recursos Hídricos (LCRH) do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), que oferece visitas monitoradas à Estação Meteorológica de Observação de Superfície Convencional e Automática desde a década de 1990 (ANDRADE; MARTINS; CARPENEDO, 2018a; ANDRADE; MARTINS; CARPENEDO, 2018b).

Nesse projeto, com a colaboração de graduandos e pós-graduandos, foram desenvolvidas atividades didáticas e práticas destinadas aos alunos do Ensino Fundamental, Médio e Superior de instituições públicas e privadas do município de Uberlândia e arredores. Em tais atividades, desenvolvidas através de uma aula de campo, são apresentados os instrumentos e procedimentos da estação, assim como são discutidos assuntos da Climatologia, de modo que estes alunos possam compreender de forma prática conceitos relacionados ao tempo e ao clima.

Climatologia no Ensino Básico

Segundo os Parâmetros Nacionais Curriculares e a Base Nacional Curricular Comum (BNCC), no primeiro ciclo do Ensino Fundamental (segundo e terceiro anos) os alunos começam a descrever, verificar e ter noções básicas a respeito dos ritmos naturais (dia e noite, variação de temperatura e umidade do ar, etc.), em diferentes escalas temporais e espaciais. No segundo ciclo do Ensino Fundamental (quarto e quinto anos), que tem por objetivo, dentre outros, a representação e

interpretação de informações sobre diferentes paisagens, utilizando procedimentos convencionais da linguagem cartográfica, os alunos têm um primeiro contato com mapas em diferentes temáticas, onde o clima está inserido. Somente no terceiro ciclo do Ensino Fundamental (sexto e sétimo anos) é que a Climatologia recebe maior foco, tratando de assuntos como: águas e terras do Brasil; circulação atmosférica e estações do ano; influência dos tipos climáticos nas diferentes regiões. Por fim, nas séries finais do Ensino Fundamental (oitavo e nono anos), com maior nitidez, a proposta retoma a forma clássica dos estudos de Geografia Escolar, com temáticas de regionalização (CALLAI, 2017).

É importante destacar que os conteúdos que englobam o clima também estão presentes em outras disciplinas no decorrer dos anos escolares. Em Ciências e Biologia para o Ensino Médio, por exemplo, o clima é utilizado no ensino de biomas, do ciclo hidrológico e de problemas ambientais de causa antrópica. Na Física, essa temática é tratada em alguns pontos da termodinâmica. Contudo, é na Geografia que o estudo da relação entre clima, tempo e sociedade é realizado de forma mais ampla.

Nas séries iniciais do Ensino Fundamental (primeiro ao terceiro ano):

Os saberes da Geografia em articulação com os saberes de outros componentes curriculares e áreas do conhecimento, concorrem para o processo de alfabetização e letramento, e para o desenvolvimento de diferentes raciocínios, que permitem atribuir sentidos para as dinâmicas das relações entre pessoas, grupos sociais e destes com a natureza, nas atividades de trabalho e lazer (BRASIL, 2017).

Essa proposição está clara e assim contempla os enunciados da BNCC. Seguindo os anos escolares, precisamente no terceiro ciclo, na proposta, aparece o realce à questão do meio físico das temáticas ambientais priorizando a questão da natureza e não a relação entre os homens, que por vezes contradiz o enunciado acima referido.

A BNCC está fundamentada pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB, nº 9.394/1996) e pelo Plano Nacional de

Educação (PNE, nº 13.005/2014), com a intenção de estabelecer homogeneização de direitos e objetivos de aprendizagem, e desenvolvimento para as etapas e modalidades da Educação Básica. No documento, cada componente, ou seja, cada disciplina apresenta tópicos principais comuns, como unidades temáticas, objetos de conhecimento, habilidades, comentários e possibilidades para o currículo.

Diante de um contexto nacional diverso, onde as disparidades regionais são latentes e as políticas educacionais são concebidas visando uma “generalização/homogeneização” de seus objetivos, metas e formas de avaliação, é primordial questionar as atribuições, direitos e objetivos de aprendizagem e desenvolvimento contidos nas propostas da BNCC para a Geografia nas etapas da Educação Básica [...] (CRUZ *et al.* 2016, p.1402).

No componente de Geografia do sexto ano do Ensino Fundamental, o clima é abordado já na segunda unidade temática, intitulada como “Conexões e Escalas”, que tem por objeto de conhecimento as relações entre os componentes físico-naturais. A habilidade esperada dos alunos é conseguir descrever os movimentos dos planetas e sua relação com a circulação geral da atmosfera, o tempo atmosférico e os padrões climáticos. Na BNCC, podemos encontrar o seguinte comentário:

Para que o aluno possa descrever os movimentos do planeta, é necessário inicialmente conhecer os planetas do Sistema Solar, nomear os seus movimentos e relacioná-los com a circulação geral da atmosfera. Espera-se que o aluno possa reconhecer os elementos climáticos que interferem na circulação geral da atmosfera, como latitude, altitude, massas de ar, continentalidade, maritimidade, vegetação, relevo e correntes marítimas e urbanização, para compreender a influência sobre o clima (BRASIL, 2017).

Ainda na mesma unidade temática, a habilidade prevista seguinte é a descrição do ciclo da água. O aluno precisa comparar o escoamento superficial no ambiente urbano e rural, reconhecendo os principais

componentes da morfologia das bacias e das redes hidrográficas, bem como a sua localização no modelado da superfície terrestre e da cobertura vegetal. O documento oficial afirma que:

Esta habilidade diz respeito a identificar e explicar os processos hidrológicos que ocorrem em bacias (chuvas em ambientes com vegetação e sem vegetação), listar as diferenças entre escoamento superficial direto e indireto, assim como reconhecer as causas de erosão e alagamento (BRASIL, 2017).

A unidade temática “Mundo do Trabalho” tem por componente de conhecimento a transformação das paisagens naturais e antrópicas. A habilidade proposta aos alunos é a identificação das características das paisagens transformadas pelo trabalho humano a partir do desenvolvimento da agropecuária e do processo de industrialização. Para alcançar esses objetivos de aprendizagem, a BNCC estabelece que:

Na elaboração do currículo, é adequado explicitar habilidades relativas à compreensão da transformação da natureza em recurso a partir de alguns recortes e escalas: cidade, campo e indústria. Espera-se que o estudante possa identificar e analisar o papel da indústria e atividades agropecuárias frente às questões ambientais, considerando problemas trazidos e as necessidades dessas atividades para a sociedade, sempre articulando as escalas local/global. A inclusão dos temas relacionados a esta habilidade pode partir de questões-problema para que o aluno possa compreender as modificações, os impactos e as transformações na paisagem a partir da ação humana e do desenvolvimento da indústria, da agropecuária e do comércio em geral (BRASIL, 2017).

Na mesma unidade temática “Mundo do Trabalho”, se espera que o estudante possa explicar as mudanças entre a interação homem e natureza, conforme o surgimento das cidades, de modo que:

Na elaboração do currículo, pode-se incluir questões relacionadas ao surgimento das cidades e ao início da

vida urbana para que o aluno possa reconhecer as características das mudanças que ocorreram com a natureza em relação a isso. As mudanças podem ser percebidas a partir da própria moradia do aluno, ao questionar e pesquisar como eram as casas antes e como elas são hoje, quais os hábitos alimentares e as transformações que ocorreram, entre outros elementos que modificaram a interação do homem com a natureza ao longo do tempo (BRASIL, 2017).

Por fim, a última abordagem sobre Climatologia no sexto ano do Ensino Fundamental aparece na unidade temática “Natureza, ambientes e qualidade de vida”, que tem como propósito de conhecimento as atividades humanas e a dinâmica climática. Esta unidade intenta desenvolver as habilidades de análise das consequências, vantagens e desvantagens das práticas humanas na dinâmica climática (*e.g.*, ilhas de calor). Sobre essa unidade temática, o documento oficial sugere que:

Nesta habilidade, espera-se que o aluno possa associar a construção/estruturação do espaço urbano (práticas humanas) à dinâmica climática, como por exemplo, as mudanças no deslocamento do ar quando os prédios formam corredores ou obstruem a passagem do ar. Outro exemplo são as ilhas de calor, fenômenos de caráter climático que acontecem em razão de altas temperaturas em uma determinada região urbana (BRASIL, 2017).

A abordagem dos conteúdos sobre Climatologia tem apresentado um saber descontextualizado da realidade dos alunos, por serem ensinados de forma estática, sem ligação com os seus saberes e vivências, apenas com o emprego do livro didático como recurso pedagógico predominante em seu ensino. O conhecimento gerado a partir do senso comum deve ser levado em consideração, principalmente no processo de ensino-aprendizagem. A utilização dos livros didáticos como único recurso reduz a capacidade de contextualização e percepção dos conteúdos no cotidiano dos alunos. Segundo Castrogiovanni e Goulart:

No Ensino Fundamental e Médio, o livro didático não deve ficar apenas como única fonte de conhecimento, cabendo ao professor buscar outras fontes e diferentes maneiras de trabalhar suas aulas de forma prazerosa e interessante; deve-se assim, fornecer aos alunos elementos que estimulem, a partir da prática, observação, interpretação, reflexão, análise, e visão crítica da realidade, fazendo com que eles se sintam agentes transformadores da sociedade (CASTROGIOVANNI; GOULART, 2003, p. 133).

Desta forma, é indispensável destacar a importância das atividades práticas:

Dentre as várias técnicas utilizadas no ensino de Geografia, o trabalho de campo é considerado uma atividade de grande importância para a compreensão e leitura do espaço, possibilitando deste modo, o estreitamento da relação entre a teoria e a prática. O alcance de um bom resultado parte de um planejamento criterioso do domínio de conteúdo e da técnica a ser aplicada. (TOMITA, 1999, p.13).

Sendo assim, o trabalho de campo é entendido como um recurso didático relevante, mas que exige seriedade e comprometimento (com o conteúdo, a prática e a intenção), visto que sua finalidade é auxiliar na melhor compreensão, não somente do conteúdo escolar, mas da própria realidade.

Visitas monitoradas à Estação Meteorológica da UFU

A Estação Meteorológica de Observação de Superfície Convencional tem sua instalação dentro da própria UFU, Campus Santa Mônica, no município de Uberlândia (MG), nas coordenadas 18,917072° de latitude Sul e 48,255657° de longitude Oeste, a uma altitude de 875 metros (Figura 1). Entre 1981 e 2002, esta estação fez

parte da rede de Estações Convencionais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que é o órgão do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento responsável por prover informações meteorológicas à sociedade brasileira.

O LCRH/UFU possuía a guarda operacional da estação, e era responsável pelo local de instalação e seu cercamento, além de atividades de manutenção secundárias. Desde 2003, a referida estação não integra mais a rede de Estações Convencionais do INMET, sendo utilizada principalmente para atividades práticas no ensino de Climatologia, de Geografia e de Ciências, através de um projeto de extensão desenvolvido pelo LCRH/UFU.

Figura 1 – Estação Meteorológica de Observação de Superfície Convencional e Automática em Uberlândia (MG)



Fonte: Andrade e Carpenedo (2018).

Nesse sentido, os objetivos principais de tal projeto de extensão, são: facilitar o acesso dos alunos aos métodos e às tecnologias utilizadas em Climatologia; promover uma integração entre a universidade e à comunidade externa; colaborar com um processo de ensino-aprendizagem mais significativo para os alunos, aproximando o conteúdo teórico da sala de aula com a prática; contribuir para a divulgação e alfabetização científica, possibilitando que os alunos tenham subsídios para se

posicionarem em relação às questões sociocientíficas; e promover um ensino que articule elementos da Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA). Desta forma, o projeto de extensão busca traduzir o conhecimento produzido na universidade para a sociedade, e evidenciar sua utilidade e aplicabilidade, bem como suas relações com a sociedade e o meio ambiente, de maneira a justificar todo o investimento realizado pelo contribuinte.

Para conhecer a estação meteorológica, o professor responsável deve acessar o site do LCRH/UFU (<https://lcrhufu.wixsite.com/lcrh/visitas-a-estacao>), definir a data pretendida da visita através da agenda de visitas, que possui os dias e horários disponíveis no ano.

Sendo assim, todas as visitas são agendadas via *site*. Posteriormente, o professor responsável deve preencher o formulário de agendamento da visita, onde são solicitadas informações sobre a instituição visitante, a visita, os visitantes e o responsável pela visita. A confirmação do agendamento é feita por e-mail pelo LCRH/UFU até dois dias após a solicitação. Além da data e horário da visita, algumas informações e recomendações são passadas para o professor responsável via e-mail: (1) os alunos devem usar roupas leves, protetor solar e chapéu/boné, pois a visita é realizada ao ar livre; (2) os alunos devem trazer água para hidratação; (3) a UFU não fornece ônibus para o transporte dos visitantes; e (4) a duração média da visita é de 1 hora.

No dia da visita é necessário que o professor responsável traga os termos de autorização para uso de imagem para os visitantes menores de 18 anos, devidamente assinados pelos pais ou responsáveis. Os termos estão disponíveis no *site* de agendamento das visitas. Este termo é solicitado, pois durante as visitas são tiradas fotos para divulgação nas mídias sociais e em publicações pelo LCRH/UFU.

No horário agendado, o monitor da visita (graduando, pós-graduando ou docente do LCRH/UFU) encontra os visitantes e o responsável pela visita em frente à estação meteorológica, apresentando-se e dando boas-vindas. Inicialmente, os visitantes são indagados sobre a importância de uma estação meteorológica. Então são discutidas as diversas aplicações dos dados meteorológicos coletados: previsão de

tempo e clima, agricultura (tipo de cultura, irrigação, época de plantio, semeadura e colheita), abastecimento de água público e industrial, geração de energia hidrelétrica, aqui se destaca que cerca de 65% da matriz elétrica do Brasil é gerada por hidroeletricidade (ANA, 2018), transporte aéreo e marítimo, qualidade do ar, saúde humana, monitoramento de eventos extremos e desastres naturais. Neste momento, sempre surgem perguntas, dúvidas e curiosidades dos visitantes, o que possibilita discussões sobre as diferentes temáticas da Climatologia.

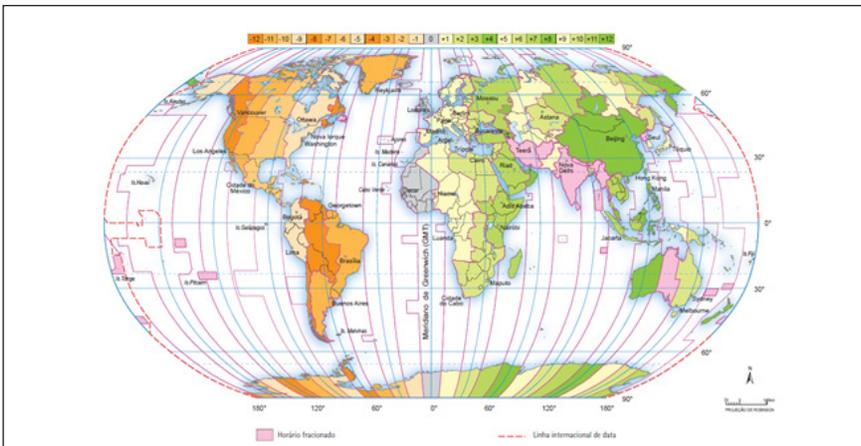
Na sequência, os visitantes são questionados se a estação meteorológica é a única fonte de dados meteorológicos. Assim, é apresentado o sistema de observação meteorológica global, que inclui as observações de superfície (Estações Meteorológicas Convencionais e Automáticas), radares meteorológicos, observações marítimas, observações por aeronave, observações de ar superior e satélites.

Para o estudo dos sistemas atmosféricos (como frentes frias, Zona de Convergência do Atlântico Sul, ciclones extratropicais), que afetam as condições de tempo e circulação atmosférica, é necessária a comparação de dados meteorológicos em diferentes pontos da superfície terrestre. Essa comparação é possível somente quando esses dados são coletados simultaneamente em todas as estações meteorológicas (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Por isso, as observações meteorológicas devem ser realizadas ininterruptamente nos horários-padrões estabelecidos pela Organização Meteorológica Mundial (*World Meteorological Organization* – WMO), que é uma agência especializada da Organização das Nações Unidas (ONU), que coordena todas as atividades meteorológicas de caráter operacional no globo. A padronização do horário das observações meteorológicas é baseada no Meridiano de Greenwich (Figura 2) nos horários 00, 06, 12 e 18 UTC (*Universal Time Coordinated* – Tempo Universal Coordenado, também denominado de Hora Média de Greenwich). Uberlândia (MG) está no fuso horário UTC-3. Assim, as observações devem ser realizadas às 21, 3, 9 e 15 horas, no horário local (desconsiderando o horário de verão).

A WMO destaca que todo esforço deve ser feito para obter observações de superfície quatro vezes ao dia, sendo dada prioridade para as observações às 00 e 12 UTC (WMO, 2002). Na Estação Meteorológica de Observação de Superfície Convencional em Uberlândia (MG), as medições eram realizadas às 00, 12 e 18 UTC pelo observador meteorológico, que é o técnico responsável pela leitura dos instrumentos e registro dos elementos do clima.

Figura 2 – Fuso horário civil baseado no Meridiano de Greenwich



Fonte: IBGE (2019).

O tamanho típico de uma Estação Meteorológica Convencional com muitos instrumentos é de no mínimo 25 m x 25 m, mas no caso de estações com poucos instrumentos, a área pode ser de 10 m x 7 m (WMO, 2008). Além disso, a área da estação deve ser nivelada, coberta por grama baixa ou por vegetação nativa rasteira, ladeada por cerca aberta para impedir a entrada de pessoas não autorizadas, e distante de obstáculos pelo menos quatro vezes a sua altura (WMO, 2008).

O abrigo de instrumentos (Figura 3) protege os termômetros de mínima e máxima, o psicrômetro e o evaporímetro da incidência direta de radiação solar e da ação do vento, mantendo-os em um ambiente aceito como adequadamente ventilado (VAREJÃO-SILVA, 2006). Para isso, o abrigo de instrumentos deve: (1) estar a uma altura de 1,5 m do

Figura 3 – Abrigo de instrumentos da Estação Meteorológica de Observação de Superfície Convencional em Uberlândia (MG)



Fonte: Andrade e Carpenedo (2018).

Quando maior a temperatura do ar, maior será a agitação das moléculas, e quanto menor a temperatura do ar, menor será a agitação das moléculas. A camada da atmosfera mais próxima da superfície terrestre, denominada de troposfera, aquece devido a três mecanismos de transferência de energia térmica: condução, convecção e radiação. O aquecimento troposférico por radiação acontece devido à absorção de radiação terrestre, que é uma radiação de onda longa na faixa do infravermelho, pelos gases de efeito estufa (GEEs; *e.g.*, vapor de água, dióxido de carbono, metano, ozônio, óxido nitroso). Outros gases, que não são GEEs, não absorvem a radiação terrestre e, por conseguinte, não contribuem para o aquecimento troposférico. Portanto, a troposfera não aquece devido à absorção da radiação solar, mas sim, em razão da absorção de radiação terrestre pelos GEEs. Sem estes gases, a temperatura média do planeta seria de -18°C (YNOUE *et al.*, 2017). Como há a presença destes gases, a temperatura média do planeta é de 15°C . Contudo, com o aumento nas concentrações dos GEEs desde a Revolução Industrial, entre os séculos XVIII e

solo para minimizar o aquecimento por condução e radiação da superfície; (2) ser todo pintado de branco com uma tinta de alta refletância para minimizar o efeito da absorção de radiação solar e, conseqüentemente, o aquecimento do seu interior; (3) possuir venezianas em todas as faces, para que haja ventilação de ar; e (4) a porta do abrigo deve estar voltada para o polo do hemisfério onde se encontra para que a radiação solar não incida diretamente sobre o seu interior.

A temperatura do ar é definida como a energia cinética microscópica (energia térmica) das moléculas, ou seja, é o grau de agitação das moléculas que compõem a atmosfera terrestre.

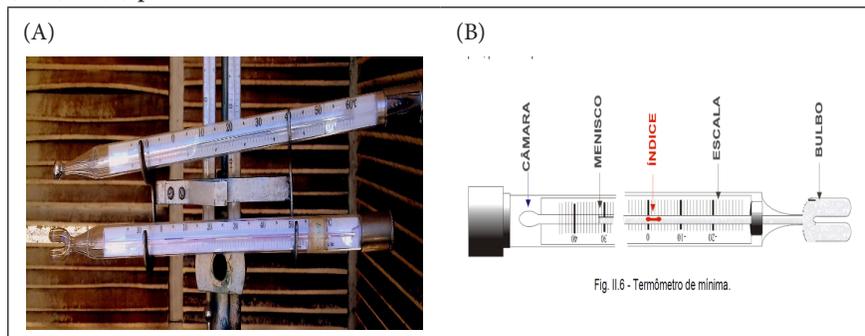
XIX, a quantidade de radiação terrestre absorvida aumentou, e resultou em um aumento da temperatura média global de $1,5^{\circ}\text{C}$ (IPCC, 2018).

Um dos instrumentos usados para a medição da temperatura do ar é o termômetro de máxima (Figura 4A). Este dispositivo fica protegido no abrigo de instrumentos, medindo a maior temperatura do ar ao longo do dia, geralmente entre as 15 e 17 horas (Figura 5). Este é um termômetro de mercúrio, que possui um estrangulamento próximo ao bulbo, que permite a passagem do mercúrio à medida que este se expande com o aumento da temperatura do ar. Por outro lado, o estrangulamento impede que o mercúrio retorne ao bulbo quando a temperatura do ar diminui. O termômetro de máxima deve permanecer inclinado cerca de 5° em relação ao plano horizontal, com a extremidade do bulbo mais baixa, de forma a impedir que o mercúrio retido pelo estrangulamento se desloque para a câmara. Assim, a temperatura do ar observada refere-se à temperatura máxima desde a última leitura. Para que o mercúrio retorne ao bulbo, o termômetro de máxima deve ser retirado de seu suporte, segurado pela haste e agitado de cima para baixo.

O termômetro de mínima (Figura 4A), que fica protegido no abrigo de instrumentos, mede a menor temperatura do ar ao longo do dia, que normalmente ocorre próximo do nascer do Sol (Figura 5). Este é um termômetro de álcool, pois o seu ponto de fusão ($-114,1^{\circ}\text{C}$) é muito menor que o ponto de fusão do mercúrio ($-38,8^{\circ}\text{C}$). Isso, permite que o termômetro de mínima seja submetido a temperaturas muito baixas sem congelar. O termômetro de mínima possui o bulbo bifurcado (Figura 4B) para aumentar a eficiência da medição (VAREJÃO-SILVA, 2006).

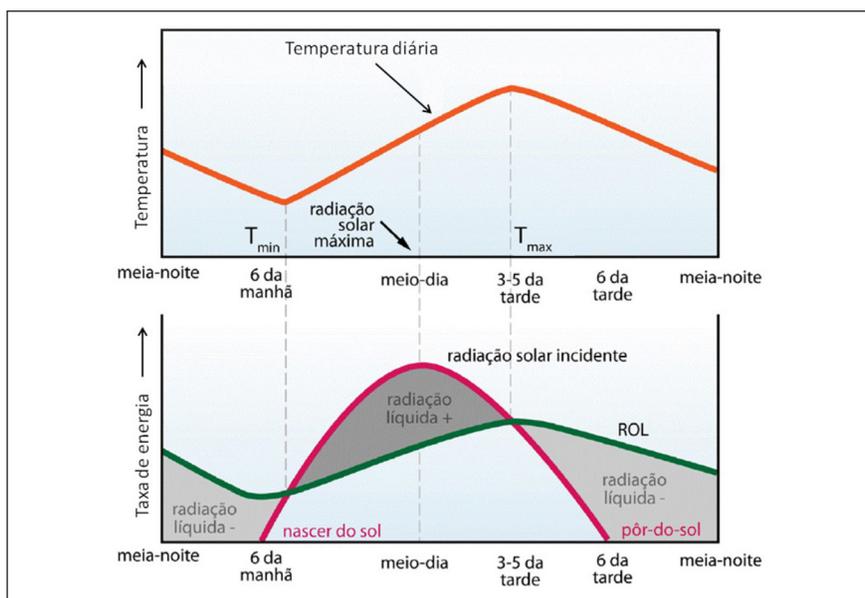
No tubo capilar há um indicador móvel em forma de haltere imerso no álcool, denominado de índice, que acompanha o movimento de contração do álcool sempre que a temperatura do ar diminui. Quando a temperatura do ar aumenta, o álcool flui livremente, enquanto o índice fica retido na posição de menor temperatura do ar no intervalo em que o termômetro ficou exposto. O termômetro de mínima é instalado no mesmo suporte do termômetro de máxima, porém, na posição horizontal. Após a leitura, o termômetro de mínima deve ser levemente inclinado para forçar o índice a encostar no nível máximo de álcool, chamado de menisco.

Figura 4 – (A) Termômetro de máxima (superior) e de mínima (inferior) da Estação Meteorológica de Observação de Superfície Convencional em Uberlândia (MG); e (B) partes de um termômetro de mínima



Fonte: Andrade e Carpenedo (2018) e Varejão-Silva (2006).

Figura 5 – Variação diária da temperatura do ar controlada pela radiação líquida (diferença entre a radiação solar incidente e a radiação terrestre emergente, denominada também como radiação de onda longa emergente – ROL). Quando a radiação solar incidente excede a ROL (cinza escuro), a temperatura do ar aumenta (radiação líquida positiva ou radiação líquida +). Quando a ROL excede a radiação solar incidente (cinza claro), a temperatura do ar diminui (radiação líquida negativa ou radiação líquida -)



Fonte: Adaptado de Ynoue *et al.* (2017).

O evaporímetro (Figura 6), que fica protegido no abrigo de instrumentos, mede a evaporação, que é a passagem da água do estado líquido para o gasoso sob temperaturas do ar inferiores à temperatura do ponto de ebulição da água. Constitui-se em um tubo de vidro transparente com água, com escala gravada em milímetros, uma das extremidades fechada e a outra possui um disco de papel poroso fixado. A evaporação é dada pela diferença entre duas leituras consecutivas.

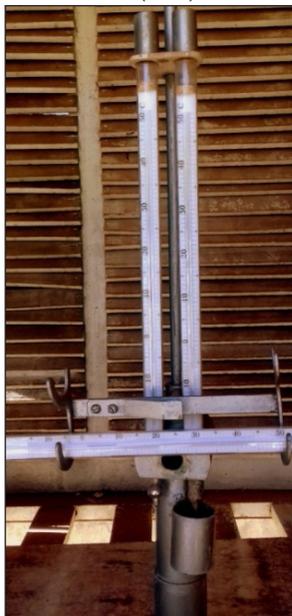
A umidade do ar é a quantidade de vapor d'água na atmosfera. O psicrômetro (Figura 7) é um dos instrumentos que medem a umidade relativa do ar (razão entre a quantidade de vapor d'água na atmosfera pela quantidade de vapor d'água que esta atmosfera saturaria vezes 100%). O psicrômetro fica protegido no abrigo de instrumentos e é constituído por dois termômetros de mercúrio idênticos: o termômetro de bulbo seco, que mede a temperatura do ar instantânea, e o termômetro de bulbo úmido. O termômetro de bulbo úmido possui seu bulbo revestido por um tecido fino, molhado por água. A temperatura medida no termômetro de bulbo úmido sempre será igual ou menor que a temperatura no termômetro de bulbo seco, pois o tecido molhado que reveste o bulbo, retira calor do ambiente para evaporar. Desta forma, a temperatura do ar adjacente diminui, reduzindo assim, a temperatura registrada no termômetro de bulbo úmido. O resfriamento é diretamente proporcional à umidade do ar. Quanto menor a quantidade de vapor d'água na atmosfera (ar mais seco), maior será a quantidade de água do tecido que conseguirá evaporar e, conseqüentemente, a temperatura do termômetro de bulbo úmido irá diminuir. Por outro lado, se a quantidade de vapor d'água

Figura 6 – Evaporímetro da Estação Meteorológica de Observação de Superfície Convencional em Uberlândia (MG)



Fonte: Andrade e Carpenedo (2018).

Figura 7 – Psicrômetro, composto pelo termômetro de bulbo seco (esquerda) e pelo termômetro de bulbo úmido (direita) da Estação Meteorológica de Observação de Superfície Convencional em Uberlândia (MG)



Fonte: Andrade e Carpenedo (2018).

na atmosfera for alta (ar mais úmido), uma quantidade menor de água do tecido conseguirá evaporar e, logo, a temperatura do termômetro de bulbo úmido irá diminuir pouco. Quando a atmosfera estiver saturada nenhuma molécula de água do tecido conseguirá evaporar, de forma que a temperatura do termômetro de bulbo úmido não irá diminuir, permanecendo igual à do termômetro de bulbo seco. Nesse caso, a umidade relativa do ar será de 100%.

Através das observações de temperatura do ar do termômetro de bulbo seco e também do úmido é possível estimar a umidade relativa do ar com o auxílio da tabela psicrométrica (Figura 8). Para isso, é necessária a temperatura do bulbo seco e a diferença entre a temperatura do bulbo seco e do bulbo úmido. Para obter o valor da umidade relativa, basta cruzar estes valores na tabela psicrométrica. Por exemplo, se a temperatura do bulbo seco for de 20°C e a do bulbo úmido de 15°C, olha-se o valor de 20°C (temperatura do bulbo seco) na primeira linha da tabela psicrométrica e o valor de 5°C (diferença entre a temperatura do bulbo seco e do bulbo úmido) na primeira coluna.

Cruzando as temperaturas de 20°C e 5°C na tabela, temos o valor 60. Ou seja, a umidade relativa do ar é de 60%.

Figura 8 – Tabela psicrométrica utilizada para estimar a umidade relativa do ar (%) através das temperaturas obtidas nos termômetros de bulbo seco e úmido, do psicrômetro

UR (%) (p=930hPa)		Temperatura de bulbo seco (°C)																	
		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Diferença entre temperatura de bulbo seco e de bulbo úmido (°C)	0,5	95	95	95	95	95	95	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96
	1,0	90	90	90	90	91	91	91	91	92	92	92	92	92	92	93	93	93	93
	1,5	84	85	85	86	86	86	87	87	87	88	88	88	88	89	89	89	89	90
	2,0	79	80	81	81	82	82	83	83	83	84	84	84	85	85	85	86	86	86
	2,5	75	75	76	77	77	78	78	79	79	80	80	81	81	82	82	82	83	83
	3,0	70	71	71	72	73	74	74	75	76	76	77	77	78	78	78	79	79	80
	3,5	65	66	67	68	69	70	70	71	72	72	73	74	74	75	75	76	76	76
	4,0	60	62	63	64	65	66	66	67	68	69	69	70	71	71	72	72	73	73
	4,5	56	57	58	60	61	62	63	63	64	65	66	67	67	68	69	69	70	70
	5,0	51	53	54	54	57	58	59	60	61	62	63	63	64	64	65	66	67	67
	5,5	47	48	50	51	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	62	63	64	64
	6,0	43	44	46	47	49	50	51	53	54	55	56	57	58	59	59	60	61	62
	6,5	38	40	42	43	45	46	48	49	50	52	53	54	55	56	56	57	58	59
	7,0	34	36	38	40	41	43	44	46	47	48	49	51	52	53	53	54	55	56
	7,5	30	32	34	36	38	39	41	42	44	45	46	47	49	50	51	52	52	53
	8,0	26	28	30	32	34	36	37	39	41	42	43	44	46	47	48	49	50	51
	8,5	22	24	26	29	31	32	34	36	37	39	40	42	43	44	45	46	47	48
9,0	18	20	23	25	27	29	31	33	34	36	37	39	40	41	42	43	44	45	
9,5	14	17	19	21	24	26	28	29	31	33	34	36	37	38	40	41	42	43	
10,0	10	13	16	18	20	22	24	26	28	30	32	33	34	36	37	38	39	41	
10,5	6	9	12	15	17	19	21	23	25	27	29	30	32	33	35	36	37	38	
11,0	3	6	9	11	14	16	18	20	22	24	26	28	29	31	32	33	35	36	
11,5		2	5	8	11	13	15	17	20	21	23	25	27	28	30	31	32	33	

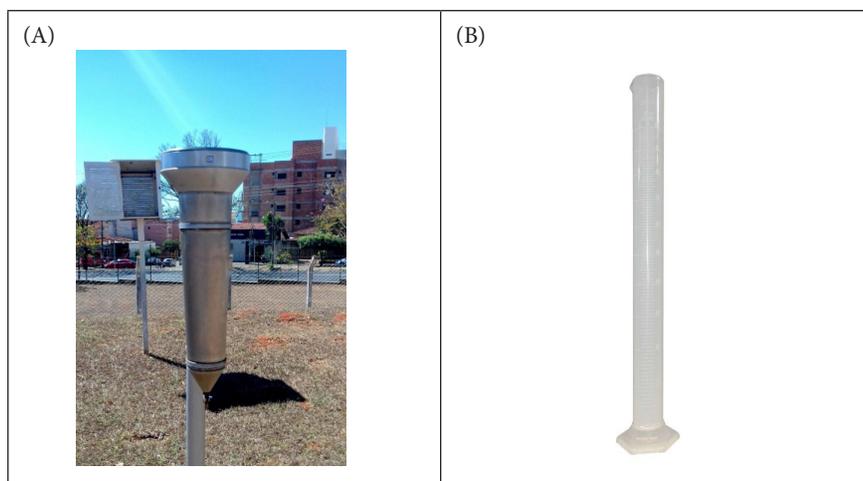
Fonte: Andrade e Carpenedo (2018).

A Precipitação refere-se ao processo e ao resultado de precipitar (cair de uma altura). São todas as formas de água líquida ou sólida que caem das nuvens alcançando o solo: garoa, precipitação pluvial ou chuva, granizo, cristais de gelo e neve. Define-se como precipitação pluvial a gota com diâmetro de pelo menos 0,5 mm e tipicamente de 2 mm (BARRY; CHORLEY, 2013). Denomina-se como garoa ou chuvisco a gota com diâmetro menor que 0,5 mm (YNOUE *et al.*, 2017).

O pluviômetro mede a quantidade de precipitação pluvial durante 24 horas (Figura 9A). Este instrumento possui um cilindro com fundo afunilado, chamado de coletor, que faz a água escoar até um

reservatório (VAREJÃO-SILVA, 2006). Através de uma torneira de drenagem na parte inferior do instrumento, é possível fazer a coleta da chuva acumulada com uma proveta especialmente graduada, denominada de proveta pluviométrica (Figura 9B). A proveta terá uma escala graduada levando em consideração a sua área de secção reta e a área do coletor do pluviômetro. Assim, uma proveta pluviométrica só pode ser utilizada em pluviômetros com área de captação igual àquela considerada para definir a escala graduada.

Figura 9 – (A) Pluviômetro da Estação Meteorológica de Observação de Superfície Convencional em Uberlândia (MG); e (B) Proveta pluviométrica



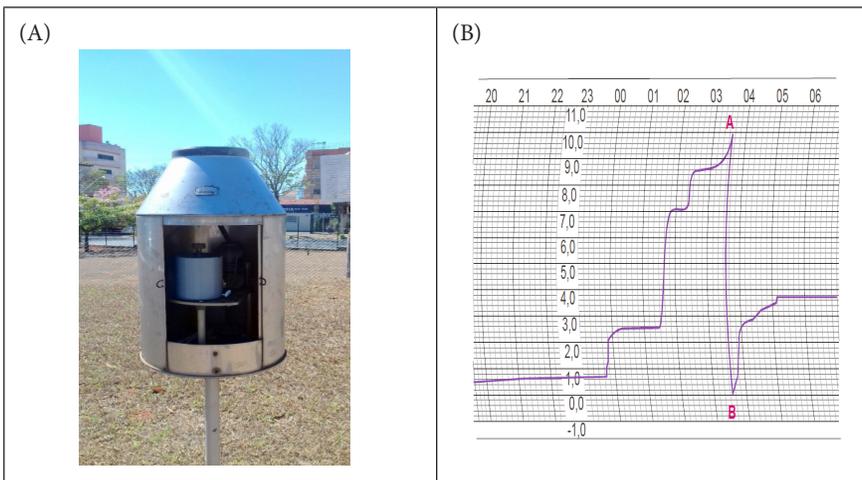
Fonte: Andrade e Carpenedo (2018).

O pluviógrafo (Figura 10A) mede a quantidade de precipitação pluvial no tempo, dada em mm. A água captada no coletor é acumulada em uma cisterna cilíndrica, que desloca a boia para cima, de forma que a haste possa mover o sistema de alavancas, que então acionam a pena registradora sobre o pluviograma (Figura 10B; VAREJÃO-SILVA, 2006). A grande vantagem do pluviógrafo em relação ao pluviômetro é que é possível saber o instante de ocorrência e a intensidade da chuva (quantidade por unidade de tempo).

Para que o visitante consiga entender o que é a unidade de medida “mm” são realizadas duas demonstrações. A primeira consiste em fazer um quadrado no chão com área de 1 m^2 (1 m de lado) com o auxílio de uma trena. Sabemos que 1 mm de chuva corresponde à 1 litro de água por 1 m^2 . Assim, o monitor despeja 1 litro de água sobre a área de 1 m^2 , mencionando que é o correspondente à 1 mm de chuva. Os visitantes são questionados sobre quantos litros de chuva cairia nessa mesma área se a precipitação pluvial fosse de 10 mm. A resposta são 10 litros de água.

A segunda demonstração consiste em, através da mesma área de 1 m^2 delimitada anteriormente, que os visitantes a imaginem como uma caixa com a tampa aberta, onde a altura de água acumulada na caixa devido à ocorrência de chuva seja medida através de uma régua e corresponda à quantidade de precipitação pluvial. Por exemplo, se chover 1 mm, quer dizer que a água acumulada na caixa de 1 m^2 terá uma altura de 1 mm; se chover 10 mm, a altura será de 10 mm; e assim por diante.

Figura 10 – (A) Pluviógrafo da Estação Meteorológica de Observação de Superfície Convencional em Uberlândia (MG); e (B) Parte de um pluviograma, com as horas na escala horizontal e os milímetros de chuva na escala vertical

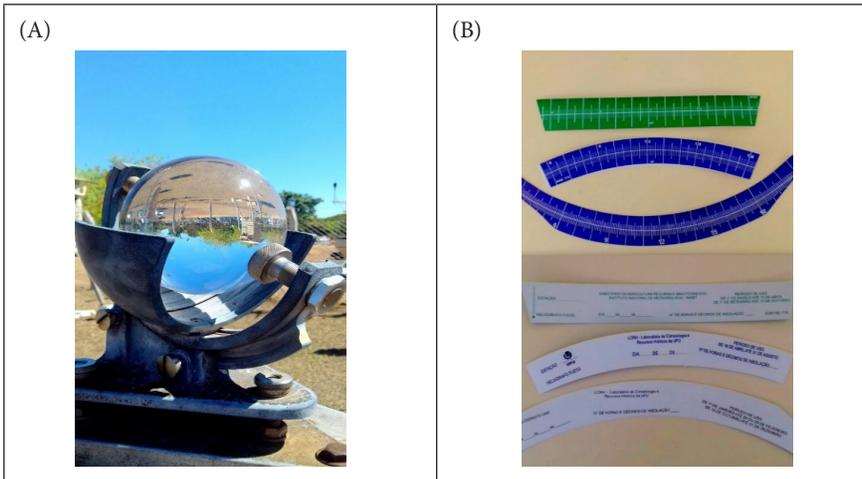


Fonte: Andrade e Carpenedo (2018) e Varejão-Silva (2006).

O heliógrafo mede a insolação, que é o número de horas de brilho solar, ou seja, o tempo entre o nascer e o pôr do Sol (Figura 11A). Este instrumento consiste em uma esfera de vidro transparente instalada em uma calha, disposta transversalmente, com orientação Leste-Oeste. Diariamente, no horário 00 UTC, é colocada na calha uma tira de papel graduada em horas e frações de horas, denominada de heliograma (Figura 11B). Ao incidir sobre a esfera, o foco luminoso formado pela convergência da radiação solar queima o heliograma em um ponto, que avança com o movimento aparente do Sol durante o dia. A queima é interrompida quando uma nuvem oculta o disco solar. Os heliogramas são feitos especialmente para determinado instrumento e são fabricados em três modelos diferentes, cada qual para uma época do ano (Figura 11B).

Neste momento, os visitantes são questionados sobre a época do ano em que cada helio-grama é utilizado, associando-os com a duração do dia e da noite. Por exemplo, os heliogramas curvos e longos são utilizados no período do ano com dias mais longos e noites mais curtas, de 16 de outubro a 28-29 de fevereiro (cerca de dois meses antes até dois meses depois do solstício de verão); os heliogramas retos são utilizados no período do ano com dias e noites com duração semelhante, de 1° de março a 15 de abril e de 1° de setembro a 15 de outubro (de alguns dias antes a alguns dias depois do equinócio de outono e de primavera); e os heliogramas curvos curtos são utilizados no período do ano com dias mais curtos e noites mais longas, de 16 de abril a 31 de agosto (cerca de dois meses antes até dois meses depois do solstício de inverno).

Figura 11 – (A) Heliógrafo da Estação Meteorológica de Observação de Superfície Convencional em Uberlândia (MG); e (B) Tipos de heliogramas usados na região tropical



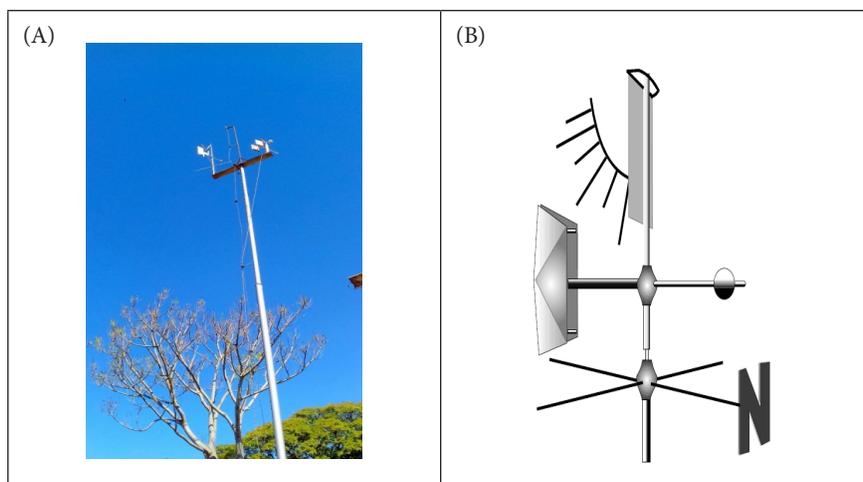
Fonte: Andrade e Carpenedo (2018).

O vento é o ar em movimento na horizontal. O movimento vertical do ar não se denomina como vento, mas sim como movimentos ascendentes ou descendentes do ar. Os ventos existem porque há diferença de temperatura do ar na superfície terrestre e, conseqüentemente, diferença de pressão atmosférica. Desta forma, os ventos, através da circulação atmosférica e dos sistemas atmosféricos, juntamente com a circulação oceânica, são responsáveis pela redistribuição de energia pelo globo. Sem a circulação atmosférica e oceânica o Equador seria 14°C mais quente e o Polo Norte seria 25°C mais frio do que hoje (BARRY; CHORLEY, 2013).

O cata-vento de Wild (Figura 12A) é o instrumento que mede a direção e a velocidade do vento. A direção é dada por um detector de direção, denominado de grimpá, que é uma peça em forma de seta, composta por um par de aletas em uma das extremidades e uma massa de compensação esférica na outra (Figura 12B). Um pouco abaixo existem quatro hastes fixas, alinhadas ortogonalmente, conforme os pontos cardeais. Ao ventar, a grimpá gira em torno do seu eixo vertical, sempre

apontando para o setor do horizonte de onde o vento sopra. A velocidade do vento é obtida a partir de uma placa retangular de metal, fixada por um dos lados a um eixo horizontal, o que mantém a placa sempre perpendicular à direção do vento (Figura 12B). Sem vento a placa permanece na vertical. À medida que a velocidade do vento aumenta, a placa inclina, de forma que o seu lado inferior descreve um movimento em arco, acompanhando uma haste curva de metal com sete pinos de referência (VAREJÃO-SILVA, 2006). Cada pino equivale a um valor de velocidade do vento (Tabela 1).

Figura 12 – (A) Cata-vento de Wild da Estação Meteorológica de Observação de Superfície Convencional em Uberlândia (MG); e (B) em detalhe sem o mastro



Fonte: Andrade e Carpenedo (2018) e Varejão-Silva (2006).

Tabela 1 – Conversão do número do pino indicado pela haste do cata-vento de Wild para velocidade do vento

Nº do pino	1	2	3	4	5	6	7	8
Velocidade do vento (m/s)	0	2	4	6	8	11	14	20

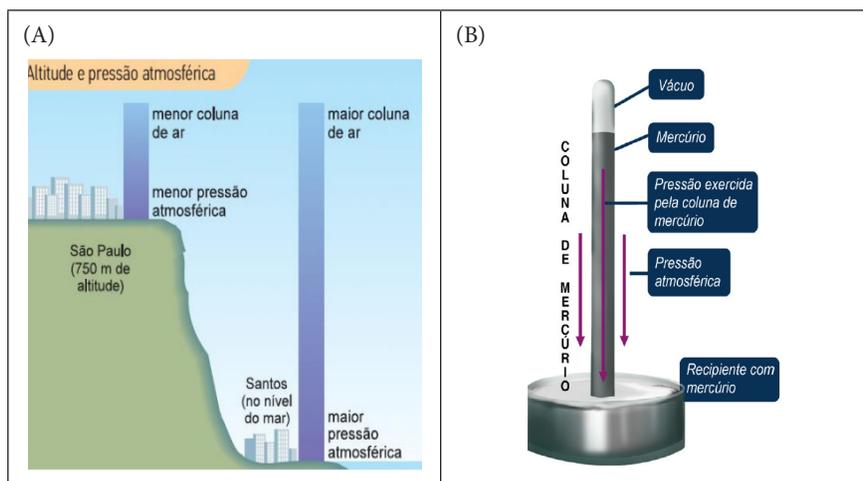
Fonte: Autores (2020).

A atmosfera é constituída por um enorme número de moléculas e partículas, as quais são atraídas em direção à superfície terrestre pela força da gravidade. Estas moléculas e partículas exercem uma força sobre a superfície, sendo esta força por unidade de área, definida como pressão atmosférica. Quanto menor a altitude, maior será a pressão atmosférica, pois maior será a coluna de ar sobre determinada área, ao passo que, quanto maior for a altitude, menor será a pressão atmosférica, pois menor será a coluna de ar (Figura 13A).

O barômetro de mercúrio (Figura 13B), que fica instalado na sala do observador, é o dispositivo que mede a pressão atmosférica. O barômetro de mercúrio possui um tubo de vidro, com cerca de 90 cm de comprimento, uma das extremidades fechada e a outra aberta, sobre um recipiente com mercúrio. O tubo de vidro é totalmente preenchido por mercúrio. O mercúrio flui do tubo de vidro para o recipiente até o momento em que o peso da coluna de mercúrio é equilibrado com a pressão exercida pelo ar acima da superfície do mercúrio de igual diâmetro, que se estende da superfície até o topo da atmosfera (YNOUE *et al.*, 2017). Quando a pressão atmosférica aumenta, o mercúrio sobe no tubo, e quando a pressão atmosférica diminui, o mercúrio desce. Assim, o comprimento da coluna de mercúrio é uma medida da pressão atmosférica.

As nuvens são pequenas partículas de água (gotículas de nuvem, gotas de chuva, cristais de gelo, flocos de neve e granizo) suspensas na atmosfera. Portanto, as nuvens não são formadas por vapor d'água, mas pela água no estado sólido e no estado líquido. Já a nebulosidade é a fração do céu coberta por nuvens, geralmente estimada visualmente em décimos ou oitavos de céu encoberto. Um céu limpo é aquele onde não há nuvens. Quando há entre um e dois oitavos de céu encoberto dizemos que há poucas nuvens. Quando a nebulosidade aumenta para três ou quatro oitavos dizemos que o céu possui nuvens esparsas. Entre cinco e sete oitavos temos um céu nebuloso. Um céu encoberto é aquele totalmente tomado por nuvens.

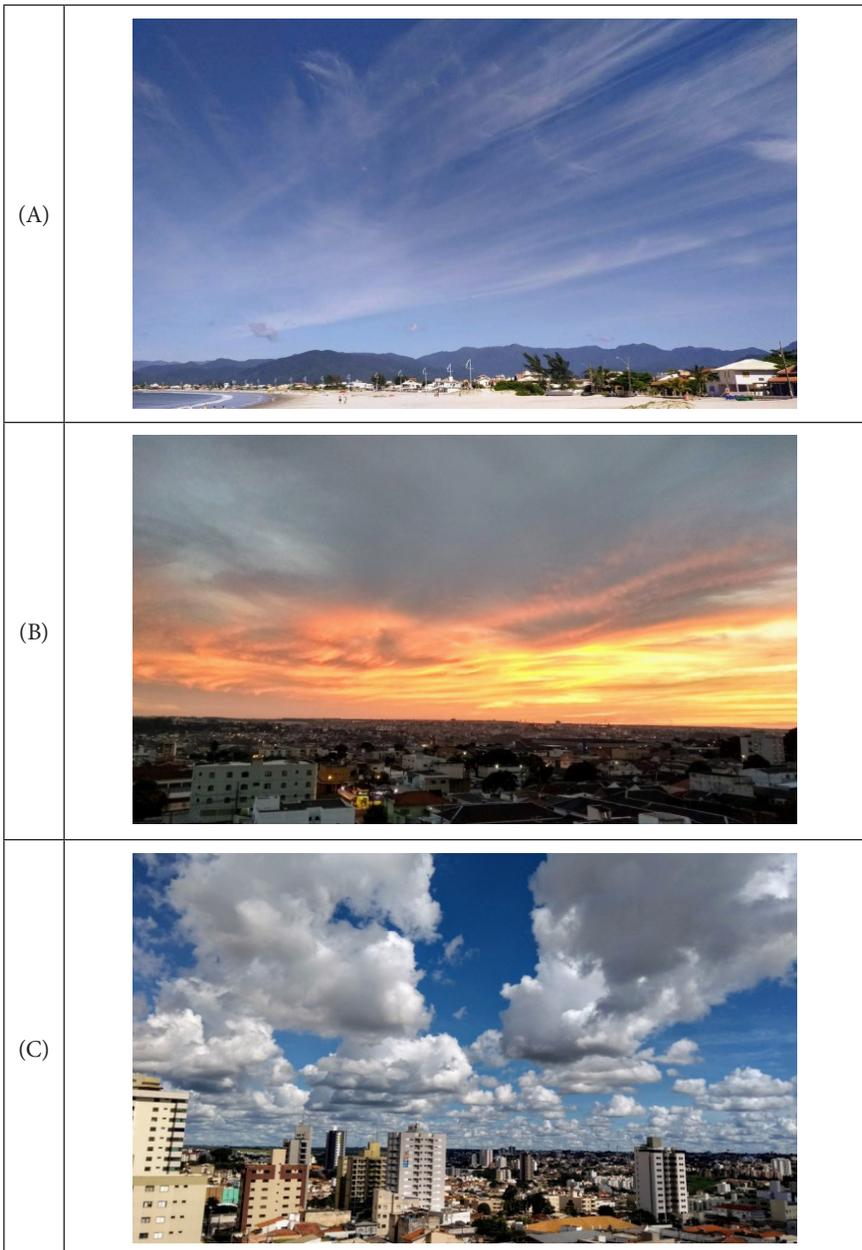
Figura 13 – (A) Variação da pressão atmosférica com a altitude, mostrando o exemplo de Santos (SP), localizado ao nível do mar e, assim, a coluna de ar é maior do que sobre São Paulo (SP), que está em uma altitude de cerca de 750 m acima do nível do mar. Portanto, a pressão atmosférica em Santos é maior do que em São Paulo; (B) Esquema ilustrativo do barômetro de mercúrio



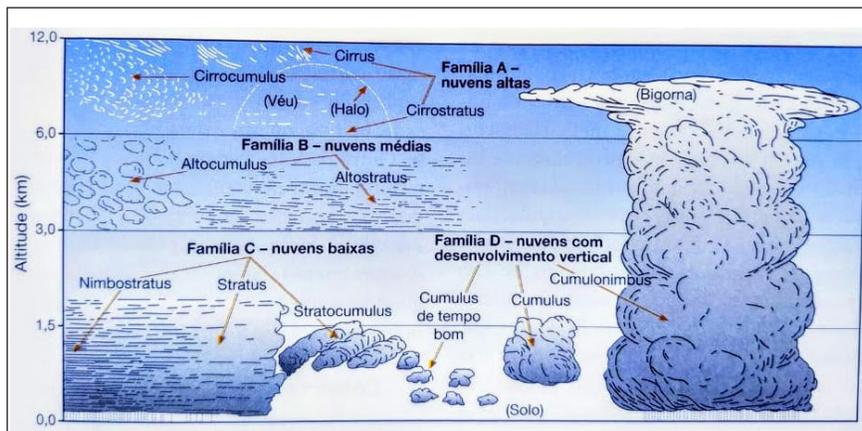
Fonte: Moreira (2005) e Ynoue *et al.* (2017).

As nuvens podem ser classificadas pela forma e altura da sua base e são utilizadas para definir os 10 tipos básicos de nuvens: Stratus (St), Stratocumulus (Sc), Nimbostratus (Ns), Altopcumulus (Ac), Altostratus (As), Cirrus (Ci), Cirrocumulus (Cc), Cirrostratus (Cs), Cumulus (Cu) e Cumulonimbus (Cb). A classificação das nuvens pela forma é dividida em três grupos (Figura 14): Cirrus (nuvens fibrosas, altas, brancas e finas, compostas de cristais de gelo), Stratus (nuvens em camadas que cobrem grande parte ou todo o céu) e Cumulus (nuvens isoladas, com contornos bem-definidos, aparência de domos e base achatada). A classificação das nuvens conforme a altura da base é dividida em (Figura 15 e Tabela 2): baixas, médias, altas e com desenvolvimento vertical.

Figura 14 – Classificação das nuvens conforme a forma: (A) Cirrus, (B) Stratus e (C) Cumulus



Fonte: Autores (2020).

Figura 15 – Classificação das nuvens conforme a altura da base

Fonte: Barry e Chorley (2013).

Tabela 2 – Altura da base da nuvem, dada em quilômetros (km)

Altura da base da nuvem	Trópicos	Latitudes médias	Latitudes altas
Nuvem alta	6-18	5-13	3-8
Nuvem média	2-8	2-7	2-4
Nuvem baixa	Abaixo de 3	Abaixo de 2	Abaixo de 2

Fonte: Barry e Chorley (2013).

A visibilidade horizontal possibilita estimar o grau de obstrução da atmosfera por impurezas (*e.g.*, fumaça, poeira) ou gotículas de água (*e.g.*, precipitação pluvial, nevoeiro ou névoa). Quanto maior a transparência da atmosfera, maior será a distância na qual um ponto de referência pode ser visto ou reconhecido. A visibilidade horizontal é determinada a partir do reconhecimento de pontos de referência visuais situados a distâncias conhecidas (Figura 16).

Figura 16 – Diferença de visibilidade entre um dia com pouca nebulosidade e outro totalmente encoberto



Fonte: Alan Mak².

Adjacente à Estação Meteorológica de Observação de Superfície Convencional em Uberlândia (MG) há uma Estação Meteorológica Automática (Figura 17), que dispensa a presença do observador meteorológico. Esta estação contém um registrador de dados (*Datalogger*) ligado a vários sensores dos elementos do clima (precipitação pluvial, temperatura e umidade relativa do ar, temperatura do ponto de orvalho, pressão atmosférica, radiação solar e vento). Os valores observados são integrados a cada minuto e disponibilizados automaticamente a cada hora pelo INMET (<https://portal.inmet.gov.br>). Os procedimentos adotados na Estação Meteorológica Automática aumentam a confiabilidade e homogeneização das medições em relação aos dados da Estação Meteorológica Convencional (VIANELLO, 2011).

Muitos estudos mostram uma boa concordância entre dados meteorológicos de estações automáticas e convencionais. Esses estudos indicam que substituições da estação convencional pela automática não acarretaria em mudanças significativas nas séries temporais (SOUZA; GALVANI; ASSUNÇÃO, 2003; OLIVEIRA *et al.*, 2010; STRASSBURGER *et al.*, 2011; ALMEIDA; HERMENEGILDO, 2013).

2 Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=308097>

Figura 17 – Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada em Uberlândia (MG)



Fonte: Martins e Carpenedo (2018).

Considerações finais

Neste capítulo apresentamos um projeto de extensão realizado pelo LCRH/UFU, que oferece visitas monitoradas à Estação Meteorológica de Observação de Superfície Convencional e Automática.

Este texto não intenta exclusivamente tecer uma crítica acerca dos padrões da Geografia Tradicional ainda instaurados no ensinar e aprender da disciplina em âmbito escolar (devido à sua mecanicidade, dualidade, não estabelecimento da relação entre conteúdo e cotidiano discente e apropriação do livro didático como recurso único). Este capítulo reforça a necessidade de serem aplicadas diferentes metodologias de ensino, capazes de envolver os alunos em uma ampla troca de saberes, da aplicação dos conteúdos em suas realidades e uma percepção que se amplia à medida em que se aprende. Propomos, portanto, a utilização de aulas de campo para romper este padrão estático de aulas. A referência adotada foi a da estação meteorológica.

A Climatologia, tratada principalmente na Geografia e que é tema inerente ao cotidiano e determinante em diversas funções sociais, frequentemente, não é ensinada de modo que fique clara a sua constante

atuação e presença na vida como um todo. É nesta perspectiva, que o capítulo se baseia: em ter o projeto de extensão desenvolvido pelo LCRH/UFU com a utilização da estação meteorológica como uma possibilidade para ensinar e aprender sobre os assuntos climáticos.

Este capítulo pode ser utilizado tanto por professores universitários quanto por profissionais que possuam estações meteorológicas em seus locais de trabalho, visto que discorreremos acerca dos procedimentos e funcionalidades de uma estação meteorológica, somadas às diversas formas de introdução aos conceitos da Climatologia, que são feitas no decorrer do texto. Nosso conteúdo, também pode ser útil a professores da Educação Básica até a Superior do município, pois abrange maiores informações para acesso e integração à universidade. Além disso, pode ser relevante para professores não residentes do município, por apresentar a visita à uma estação meteorológica como uma aula de campo e uma nova possibilidade metodológica, que já é constantemente aplicada em turmas de diferentes idades e que tem conseguido retribuir à comunidade o incentivo recebido, consolidando parte dos objetivos principais da universidade: aprimorar, dinamizar e universalizar o conhecimento.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2018**: informe anual. Brasília: ANA, 2018.

ALMEIDA, H. A.; HERMENEGILDO, G. M. S. Comparação de dados meteorológicos obtidos por Estações Meteorológicas Convencional e Automática. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 12, p. 32-47, 2013.

ANDRADE, L. P. S.; CARPENEDO, C. B. **Estação meteorológica da UFU**: caracterização dos instrumentos e seus procedimentos. Série: Notas Técnicas. Uberlândia: Laboratório de Climatologia e Recursos Hídricos – LCRH/Instituto de Geografia/Universidade Federal de Uberlândia, n. 001, p. 13, 2018. Disponível em: <https://lcrhufu.wixsite.com/lcrh>. Acesso em: nov. 2019.

ANDRADE, L. P. S.; MARTINS, A. F.; CARPENEDO, C. B. Estação Meteorológica da Universidade Federal de Uberlândia: uma análise da contribuição ao ensino de Climatologia às escolas da rede pública de Uberlândia-MG. *In*: XIII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 2018, Juiz de Fora. **Anais [...]**. Juiz de Fora: UFJF, 2018a.

ANDRADE, L. P. S.; MARTINS, A. F.; CARPENEDO, C. B. Projeto de Extensão: Laboratório de Climatologia e Recursos Hídricos e Estação Meteorológica da UFU como ferramentas no ensino de Climatologia. *In: II Simpósio Regional de Geografia e Interdisciplinaridade Escolar: Geotecnologias na/da produção do Espaço e do Cotidiano*, 2018, Uberlândia. **Anais [...]**. Uberlândia: UFU, 2018b.

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. *Atmosfera, tempo e clima*. Porto Alegre: Bookman, 2013. p. 512.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2017.

BRASIL. Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Geografia**. Secretaria de Educação Fundamental. Brasília: MEC/SEF, 1998. p. 156.

CALLAI, H. C. *Parecer: Base Nacional Comum Curricular de Geografia*. Rio de Janeiro, 2017.

CASTROGIOVANNI, A. C.; GOULART, L. B. **A questão do livro didático em Geografia: elementos para uma análise**. *In: CASTROGIOVANNI, A. C.; CALLAI, H. C.; SCHAFFER, N. O.; KAERCHER, N. A. (Orgs.)*. 2003. *Geografia em sala de aula, práticas e reflexões*. 4. ed. Porto Alegre: Mediação, 2003. p. 133-171.

CRUZ, F. H. A.; CASTRO, A. F. G.; PINTO, D. A. N.; BARBOSA, M. E. S. Análise crítico-compreensiva da Base Nacional Comum Curricular voltada para os conteúdos de Geografia Física na Educação Básica. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 2, p. 1.401-1.410, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Atlas Geográfico Escolar: fuso horário civil**. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: https://atlascolar.ibge.gov.br/images/atlas/mapas_mundo/mundo_fuso_hor%C3%A1rio_civil.pdf. Acesso em: out. 2019.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Summary for Policymakers**. *In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. MASSON-DELMOTTE, V. P.; ZHAI, H. O.; PÖRTNER, D.; ROBERTS, J.; SKEA, P. R.; SHUKLA, A.; PIRANI, W.; MOUFOUMA-OKIA, C.; PÉAN, R.; PIDCOCK, S.; CONNORS, J. B. R.; MATTHEWS, Y.; CHEN, X.; ZHOU, M. I.; GOMIS, E.; LONNOY, T.; MAYCOCK, M.; TIGNOR, T.; WATERFIELD (Eds.)). In Press, 2018.

MARTINS, A. F.; CARPENEDO, C. B. **Tutorial para download de dados da Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática do INMET em Uberlândia – MG.** Série: Notas Técnicas. Uberlândia: Laboratório de Climatologia e Recursos Hídricos – LCRH/ Instituto de Geografia/Universidade Federal de Uberlândia, n. 002, p. 9, 2018. Disponível em: <https://lcrhufu.wixsite.com/lcrh>. Acesso em: out. 2019.

MOREIRA, J. C. **Geografia (Ensino Médio)**. São Paulo: Scipione, 2005.

OLIVEIRA, A. D.; ALMEIDA, B. M.; CAVALCANTE JÚNIOR, E. G.; SOBRINHO, J. E.; VIEIRA, R. Y. M. Comparação de dados meteorológicos obtidos por Estação Convencional e Automática em Jaboticabal-SP. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 4, p. 108-114, out./dez., 2010.

OLIVEIRA, L. A. M.; SILVA, M. F. P. Prática de Ensino no Ensino Médio: clima e cotidiano do aluno. *In*: Encontro Nacional de Prática do Ensino de Geografia. Porto Alegre. 2009. **Anais [...]**. Porto Alegre: UFRGS, 2009.

SOUZA, I. A.; GALVANI, E.; ASSUNÇÃO, H. F. Estudo comparativo entre elementos meteorológicos monitorados por Estações Convencional e Automática na região de Maringá, estado do Paraná. **Acta Scientiarum** (UEM), Maringá, PR, v. 25, p. 203-207, 2003.

STRASSBURGER, A. S.; MENEZES, A. J. E. A. de; PERLEBER, T. D.; EICHOLZ, E. D.; MENDEZ, M. E. G.; SCHÖFFEL, E. R. Comparação de dados da temperatura do ar obtidos por Estações Meteorológicas Convencional e Automática. **Revista Brasileira de Meteorologia (Impresso)**, v. 26, p. 273-278, 2011.

TOMITA, L. M. S. Trabalho de campo como instrumento de ensino em Geografia. **Geografia**, v. 8, n. 1, p. 13-15, jan./jun., 1999.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Recife: versão digital 2, 2006. Disponível em: <http://www.agritempo.gov.br>. Acesso em: dez. 2019.

VIANELLO, R. L. **A Estação Meteorológica e seu observador: uma parceria secular de bons serviços prestados à humanidade**. INMET, 2011.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). **Classifying clouds**. Disponível em: <https://public.wmo.int/en/WorldMetDay2017/classifying-clouds>. Acesso em: nov. 2019.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). **Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation**. WMO, ed. 7, n. 8, 2008.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). **Manual on the Global Observing System: Global Aspects**. WMO, v. 1, n. 544, 2002.

YNOUE, R. Y.; REBOITA, M. S.; AMBRIZZI, T.; SILVA, G. A. **Meteorologia: noções básicas**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. p. 179.

Os climas do cerrado pelo viés da análise rítmica: a produção sobre Distrito Federal, Goiás e Tocantins

Juliana Ramalho Barros
Lucas Barbosa e Souza

Resumo: Atualmente, a consolidação da ocupação produtiva e da urbanização da parte central do Brasil revela-se pelos números do agronegócio, pela presença de metrópoles regionais, como Goiânia e Brasília, além da extensa rede urbana formada por cidades pequenas e médias. Tais elementos acabam por introduzir novas problemáticas de ordem socioambiental, a exemplo das disputas por água, da supressão do Cerrado e suas consequências climáticas, e dos riscos ambientais urbanos. Ainda assim, segue notória a necessidade de aprofundamento dos estudos sobre o clima nesse território, a fim de colaborar para o seu desenvolvimento em termos mais equilibrados e em continuidade aos trabalhos pioneiros de nossos antecessores. Adotando a análise rítmica de Monteiro (1971) como principal marco metodológico e técnico, este capítulo se constituiu em uma tentativa de indicar as linhas gerais da produção climatológica alinhada com o paradigma do ritmo climático, construída ao longo das últimas duas décadas (2000-2020) sobre o Distrito Federal e os estados de Goiás e do Tocantins. A elaboração deste texto foi feita partindo de levantamentos e pesquisas de caráter bibliográfico, incluindo trabalhos de iniciação científica e de conclusão de curso de graduação, dissertações, teses e artigos publicados em periódicos e em anais de eventos científicos. Ao final, apresentamos uma figura de síntese das estações meteorológicas e postos pluviométricos contemplados nas pesquisas, que acabou revelando as áreas que ainda carecem de estudos sob o viés da análise rítmica.

Palavras-Chave: Ritmo Climático; Climatologia Geográfica; Cerrado; Circulação Atmosférica.

Introdução

Na porção central do Brasil, sob o domínio do Cerrado, as áreas que atualmente compõem o estado de Goiás, o Distrito Federal e o estado do Tocantins foram constituídas a partir de uma mesma base territorial, historicamente redesenhada e transformada. Essa unidade remete à capitania de Goiás, desmembrada de São Paulo ainda no período colonial, que passou à condição de província no período imperial e, finalmente, à condição de estado, na fase republicana (CHAUL, 1997).

Ao longo do século XX, o estado de Goiás cedeu uma porção do seu território para a criação do Distrito Federal e de Brasília, inaugurada em 1960, fazendo-se concretizar a antiga ideia de interiorização da capital nacional (CODEPLAN, 1995). E, finalmente, a partir da promulgação da Constituição Federal de 1988, o Norte goiano passou a compor o então recém-criado estado do Tocantins (incluído na região Norte do país), quando os limites territoriais dessas unidades da federação adquiriram a forma que hoje conhecemos (BARBOSA *et al.*, 2005).

A consolidação da ocupação produtiva e da urbanização da parte central do Brasil mostra-se, atualmente, pelos números do agronegócio, pela presença de metrópoles regionais, como Goiânia e Brasília, bem como pela extensa rede urbana formada por cidades pequenas e médias. Todavia, esses mesmos elementos introduzem novas problemáticas de ordem socioambiental, a exemplo das disputas por água, da supressão da vegetação de Cerrado e suas consequências climáticas, e dos riscos ambientais urbanos. Por isso, ainda hoje é notória a necessidade do aprofundamento dos estudos sobre o clima nesse território, a fim de colaborar para o seu desenvolvimento em termos mais equilibrados, e em continuidade aos trabalhos pioneiros de nossos antecessores.

Em meados do século XX, Monteiro (1951) teve seu primeiro trabalho publicado na *Revista Brasileira de Geografia*, por meio do qual já sinalizava a tendência de incorporação da região central do Brasil ao

circuito produtivo nacional¹. Obviamente, o autor considerava as políticas de ocupação capitalista do território, iniciadas por governos anteriores à sua época, a exemplo da gestão de Getúlio Vargas, nas décadas de 1930 e 1940. Daí a importância destacada por Monteiro (1951) de conhecermos o clima dessa vasta região, fato posteriormente reforçado em Monteiro (1969), tanto como condicionante da paisagem, quanto por sua interferência direta no aspecto da produção, em especial, no campo da agricultura.

Em decorrência da limitação de dados, devido à parca rede de observação meteorológica disponível naquele momento, o enfoque de Monteiro (1951) voltou-se somente a uma parcela dos limites do Centro-Oeste à época, a partir da latitude 14° Sul, excluindo o território tocantinense atual (então, Norte de Goiás). Ainda assim, o autor já ressaltava o papel das massas de ar de origem atlântica sobre o clima da região, ao longo de todo o ano, em alternância com a Massa Equatorial Continental no verão e com incursões da Massa Polar Atlântica no inverno.

Malgrado a abordagem separativa dos elementos climáticos, o viés geográfico compareceu com destaque no trabalho do autor, quando ele analisa o papel do relevo sobre a circulação atmosférica, a influência das altitudes sobre as temperaturas e os teores pluviais, assim como as implicações do clima sobre a vegetação e as atividades humanas. Devemos lembrar, contudo, que o artigo de Monteiro (1951) precede toda a contribuição teórico-metodológica de sua obra, que foi a público nas décadas seguintes, incluindo a técnica da análise rítmica. Trata-se de um dos primeiros esboços do clima da região central do país, marcado por sinais de qualidade e rigor que depois caracterizariam a obra de Monteiro.

Como principal marco metodológico e técnico deste capítulo, a análise rítmica (MONTEIRO, 1971) foi formulada por Monteiro na década de 1960, no sentido de tornar operacional o conceito de clima

1 O referido artigo foi publicado em 1951, contudo, foi concluído em 1948, quando o autor ainda estava no início de sua graduação, após ter participado de uma expedição de estudo para a localização na Nova Capital da República, sob a coordenação do professor Francis Ruellan.

proposto por Max Sorre (SORRE, 1951) e, então, transcender a lógica tradicional da pesquisa climatológica. Aborda a representação quantitativa dos elementos climáticos, em escala pelo menos diária, juntamente com a definição qualitativa dos sistemas atmosféricos atuantes e geradores dos tipos de tempo, indicando o seu componente rítmico por meio da sucessão (MONTEIRO, 1971). A análise rítmica foi a principal abordagem empregada pioneiramente nos estudos voltados à classificação genética e dinâmica do clima paulista (MONTEIRO, 1973) e às chuvas frontais na fachada Sul-Oriental do Brasil (1969). Posteriormente, foi amplamente empregada em estudos afiliados à Escola Brasileira de Climatologia Geográfica, da qual Monteiro é considerado fundador e principal nome, pela construção de um novo paradigma para o estudo geográfico do clima, com base no ritmo (ZAVATTINI; BOIN, 2013; SANT'ANNA NETO, 2015).

Com o intuito de verificar o uso do paradigma do ritmo, Zavattini (2004) realizou um levantamento das dissertações e teses produzidas em Climatologia Geográfica no âmbito do estado de São Paulo, especificamente, na Universidade de São Paulo (USP) e na Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), no período de 1971 a 2000. O autor justifica a escolha das duas universidades com base no fato de que, no período em questão, essas eram as únicas que detinham cursos de pós-graduação que contemplavam a Climatologia Geográfica. Além disso, a atuação do prof. Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro nessas instituições acabou motivando a ida de pessoas de outras regiões do Brasil interessadas em trabalhar sob a ótica da análise rítmica. Assim, o rol de trabalhos contemplado por Zavattini (2004) revelou uma amostra representativa da abordagem do ritmo na produção nacional em Climatologia até aquele momento.

Com relação à área composta pelo Distrito Federal e pelos estados de Goiás e do Tocantins, Zavattini (2004) aponta a existência de apenas um trabalho que buscou contemplar a análise rítmica: a tese de doutorado de Benedicta C. Fonzar, defendida na USP em 1990 (FONZAR, 1990), sob a orientação do prof. dr. José Bueno Conti.

Fonzar (1990) ocupou-se em explicar o funcionamento da circulação atmosférica sobre o Cerrado, incluindo no estudo, as estações de Goiânia (GO), Brasília (DF) e Porto Nacional (TO), dentre o total de oito estações que compuseram os dados empíricos do trabalho e os gráficos de análise rítmica episódica em períodos do ano de 1984. Mesmo com a limitação temporal, a autora construiu uma leitura encorpada acerca dos sistemas de pressão e de suas consequências sobre as massas de ar que atuam de modo diferenciado na vasta área de estudo, colaborando significativamente para esboços posteriores, nesse quesito. No entanto, devemos concordar com Zavattini (2004) quando este avalia o conteúdo da tese de Fonzar (1990), considerando-a mais meteorológica do que propriamente geográfica, o que certamente não retira o mérito de sua contribuição.

Ao considerarmos a totalidade dos estudos que evocam a influência de Monteiro, é sabido que nem todos chegam a alcançar a plenitude do paradigma do ritmo, no que se refere aos encadeamentos ou às sucessões habituais e excepcionais dos tipos de tempo. Assim, a análise rítmica por vezes é empregada como procedimento de investigação sem que se extraia todo o seu potencial, restringindo-se ao aspecto da participação dos sistemas atmosféricos, à gênese pluvial ou ainda, as ilustrações pontuais de tipos de tempo e suas implicações geográficas. Precisamos admitir, todavia, o grau de dificuldade da leitura global e qualitativa da análise rítmica, o que, invariavelmente, se mostra desafiador, especialmente para pesquisadores iniciantes.

Em vista disso, este capítulo se constitui em uma contribuição na tentativa de indicar as linhas gerais da produção climatológica alinhada com a análise rítmica, construída ao longo das últimas duas décadas sobre o Distrito Federal e os estados de Goiás e do Tocantins.

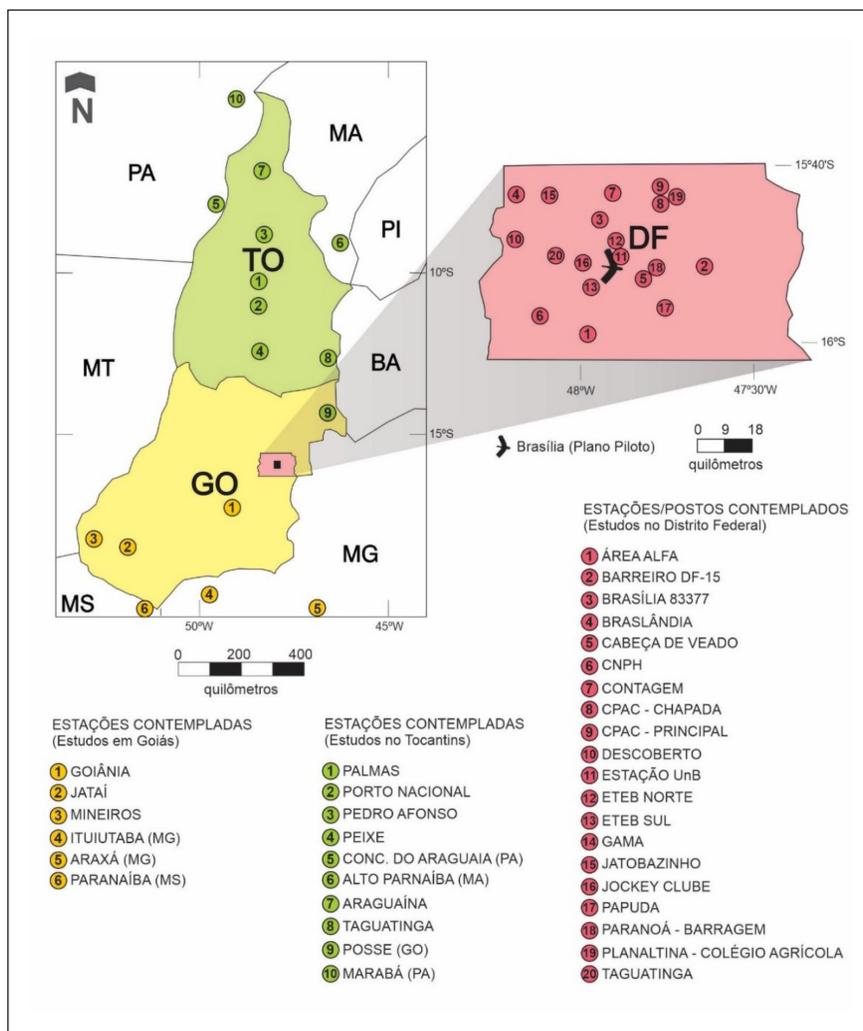
Distrito Federal, Goiás e Tocantins: produção acadêmica em análise rítmica

Faz-se oportuno esclarecer que não temos a pretensão de apresentar um levantamento exaustivo e pormenorizado da bibliografia disponível, muito menos de fazer seu julgamento criterioso, mas pretendemos, sim, traçar um panorama com relação aos avanços obtidos, os principais resultados e as localidades estudadas, bem como as temáticas incorporadas nas pesquisas. Desta forma, o texto foi elaborado a partir de levantamentos e pesquisas de caráter bibliográfico, considerando trabalhos de iniciação científica e de conclusão de curso de graduação, dissertações, teses e artigos publicados em periódicos e em anais de eventos científicos.

Com finalidade analítica e didática, os resultados foram organizados por unidades da federação, inclusive, para que os conteúdos produzidos e as lacunas existentes pudessem iluminar a continuidade das investigações pelos interessados em desenvolver a Climatologia Geográfica nos territórios que integram o domínio do Cerrado.

O mapa da Figura 1, organizado com base neste levantamento realizado, representa as estações meteorológicas e os postos pluviométricos utilizados nos trabalhos, e que empregaram o paradigma do ritmo em toda sua área analisada.

Figura 1 – Estações meteorológicas e postos pluviométricos contemplados nos trabalhos



Base cartográfica: SIMIELLI, 1995. Fonte: referências do capítulo. Organização: L. B. Souza, 2020.

Estudos com análise rítmica no Distrito Federal

Ainda que já ao final da década, Monteiro (1969) apontasse a necessidade de análises rítmicas em eixos que abrangessem o Planalto Central, e apesar de Fonzar (1990) ter inserido a Estação Meteorológica de Brasília (DF) em sua investigação, consideramos que o Distrito Federal passou a ter seu clima estudado sob a perspectiva do ritmo somente no início dos anos 2000.

O primeiro trabalho nesta temática foi a dissertação de mestrado de Barros (2003), seguida de sua tese de doutorado (BARROS, 2006), ambas realizadas junto ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP de Rio Claro, sob a orientação do prof. dr. João Afonso Zavattini.

Barros (2003) realizou uma caracterização do regime pluviométrico do Distrito Federal e buscou compreender a gênese e o ritmo de sucessão de episódios atmosféricos de caráter excepcional. Com início no tratamento estatístico dos dados de precipitação do período de 1979 a 1997, referentes a dezenove observatórios meteorológicos (estações meteorológicas e postos pluviométricos), foram indicados os anos de 1979, 1981, 1983, 1989 e 1992, como representativos do padrão chuvoso. Os anos de 1984, 1986, 1990, 1993 e 1996, revelaram-se anos secos, enquanto os demais foram considerados representativos do padrão habitual. Para todos os anos, o trabalho em questão revelou o arranjo espacial das precipitações no Distrito Federal, assim como sua distribuição ao longo dos meses, mostrando os meses de transição entre os períodos seco e chuvoso, que se alternam na região, bem como as características tanto das transições, como dos períodos mais marcados de chuvas e de estiagem.

Na pesquisa supracitada, a análise rítmica recaiu sobre episódios considerados como sendo de caráter excepcional, tais como períodos de estiagem em época na qual são esperadas chuvas frequentes ou episódios de precipitação em um momento habitualmente seco. Para os períodos estudados, Barros (2003) identificou que a Massa Tropical Atlântica com linhas de instabilidade é responsável por chuvas

intensas durante o período do verão. Em situação oposta, a mesma Massa Tropical Atlântica, ao perder mais da umidade que carrega consigo do oceano, acaba promovendo um bloqueio à entrada de outros sistemas e, por conseguinte, resulta na ausência de chuvas sobre o Distrito Federal e arredores. Além disso, o trabalho mostrou que há episódios em que avanços mais vigorosos da Frente Polar Atlântica podem fazer com que uma parte desse sistema alcance a área de estudo e provoque alguma precipitação.

Em sua tese de doutorado, Barros (2006) investigou a relação entre tipos de tempo e incidência de doenças respiratórias no Distrito Federal. Após constatar que o número de atendimentos por essas doenças é maior no outono e no inverno, a pesquisadora aplicou a análise rítmica a fim de observar a variação diária do número de internações durante as duas estações dos anos de 2003 a 2005, apontando, ainda, as condições atmosféricas (e sua gênese) responsáveis por aumentos no número de pacientes acometidos por agravos respiratórios.

Fundamentada na análise rítmica, Barros (2006) indicou os sistemas atmosféricos atuantes sobre o Distrito Federal e classificou os tipos de tempo característicos da região, chegando a apresentar uma proposta de nomes para cada combinação dos elementos atmosféricos. Novamente, foi constatada a forte atuação da Massa Tropical Atlântica – MPA (predominantemente continentalizada ou com linhas de instabilidade), cuja permanência pode ser interrompida por incursões da Massa Polar – MPA (envelhecida ou não) e da Frente Polar Atlântica – FPA.

Quando a Massa Tropical Atlântica Continentalizada responde por temperaturas mínimas entre 15° e 20°C e máximas entre 25° e 30°C, com umidade relativa do ar variando entre 35 e 85%, Barros (2006) atribuiu a tal combinação o nome de *tempo seco de outono*. Se as condições são de elevadas amplitudes térmicas diárias (temperatura mínima abaixo de 15°C e máxima acima de 25°C) e umidade do ar entre 20 e 60%, tem-se o *tempo seco de inverno*, que é responsável pelo aumento no número de internações por doenças respiratórias no DF. Além desses, a pesquisa evidenciou, ainda, alguns tipos de tempo responsáveis pelo aumento ou por diminuições significativas nos agravos

respiratórios, quais sejam: *tempo polar*, associado à presença da Massa Polar (envelhecida ou não); *tempo de instabilidade polar*, ocasionado por passagens da FPA; e o *tempo de instabilidade tropical*, resultante de instabilidades ocorridas no interior da MTA.

Para além do que foi trazido, não constatamos outras pesquisas que tenham explicitado o uso da técnica da análise rítmica para estudar o clima do Distrito Federal, ainda que haja uma considerável produção sobre clima no âmbito do Departamento de Geografia da Universidade de Brasília, e que vários dos trabalhos cite a obra de Monteiro.

Nesse sentido, cabe mencionar o artigo de Steinke, Rezende e Cavalcanti (2006), que identificou a gênese dos sistemas atmosféricos produtores de eventos extremos ocorridos na cidade de Brasília em outubro de 2006. O trabalho propõe uma análise geográfica do clima e, apesar de não apresentar gráficos de análise rítmica, utiliza cartas sinóticas e imagens de satélite para, juntamente com dados de temperatura do ar e precipitação, revelar os sistemas atmosféricos responsáveis por eventos de chuvas intensas. Além disso, os autores utilizaram reportagens de um dos principais jornais locais para mostrar as repercussões dessas chuvas sobre a cidade, recurso bastante utilizado também por Monteiro (1969).

Finalmente, vale lembrar que, frequentemente, o território do Distrito Federal é abarcado por pesquisas sobre o clima do estado de Goiás ou, ainda, em outros, que empregam a bacia hidrográfica como recorte espacial, como é o caso do trabalho de Queiroz (2017). Os estudos que trazem a análise rítmica em seu escopo metodológico serão abordados adiante, juntamente com os trabalhos que versam sobre Goiás.

Estudos com análise rítmica em Goiás

Com relação ao estado de Goiás, só temos conhecimento de trabalhos que começaram a ser produzidos à luz dos preceitos de Monteiro (1971) a partir de 2010. Foi também nesse período, que se deu a criação do Laboratório de Climatologia Geográfica – CLIMAGEO na Universidade Federal de Goiás – UFG (Regional Goiânia), onde

passaram a ser desenvolvidas pesquisas em escala regional, com o intuito de melhor conhecer a influência da circulação atmosférica sobre o Cerrado, e também, estabelecer o ponto de vista local e dos microclimas, com ênfase em estudos voltados para o clima urbano.

No laboratório, mesmo com uma equipe reduzida, no intento de preencher as lacunas acerca do clima do Cerrado, pesquisas sobre Climatologia Geográfica Brasileira passaram a ser feitas, especialmente, vinculadas ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFG. Dentre essas pesquisas que utilizam o ritmo como paradigma, encontra-se a dissertação de Rego (2015), que avaliou a influência da circulação atmosférica sobre o ambiente urbano de Goiânia.

Em sua pesquisa, a autora realizou mapeamento que possibilitou identificar os pontos de inundações no espaço urbano de Goiânia, no período de 2000 a 2013, e identificou a gênese dos sistemas atmosféricos que ocasionaram esse tipo de evento. Os dados meteorológicos referentes à estação de Goiânia, juntamente com cartas sinóticas da Marinha e imagens de satélites meteorológicos, revelaram os sistemas atmosféricos atuantes sobre a cidade e compuseram gráficos de análise rítmica que possibilitaram relacionar as precipitações às ocorrências de inundação.

Os resultados do trabalho de Rego (2015) demonstraram que as inundações em Goiânia ocorrem nas proximidades da região central do município, com exceção de dois pontos, que estão localizados na região Norte, e em áreas próximas a cursos d'água, destacando, ainda, a diminuição da vegetação em toda a cidade, durante o período estudado. Os sistemas atmosféricos predominantes nas ocorrências de inundação em Goiânia foram: Repercussão da Massa Polar, a Frente Polar e a Massa Equatorial Continental com linhas de instabilidade. Foram então apresentadas algumas medidas de prevenção a inundações fundamentadas nas bibliografias pesquisadas.

Ainda no âmbito do PPGeo/UFG, diante da necessidade de ampliação das áreas estudadas sob o olhar do paradigma rítmico, a dissertação de mestrado de Vasques (2017) versou sobre o regime das precipitações e o ritmo de sucessão dos estados atmosféricos de caráter excepcional na região de Jataí. Utilizando técnicas quantitativas (desvio

quartilico, medidas de tendência central, pluviogramas de Schröder) em conjunto com a análise rítmica (qualitativa), a referida pesquisa apresentou, além do regime pluviométrico da região, o índice de participação dos sistemas atmosféricos. Seus resultados apontaram que as passagens frontais e a atuação das massas Tropical Atlântica (com linhas de instabilidade) e Equatorial Continental são as principais responsáveis pelas chuvas na região de Jataí.

Além da UFG, encontramos pesquisas abrangendo áreas do estado de Goiás realizadas na Universidade de Brasília, como é o caso da tese de doutorado de Queiroz (2017). Realizada sob a orientação da profa. dra. Ercília Torres Steinke, o trabalho objetivou a compreensão da gênese e da estrutura espacial dos extremos de temperatura e umidade relativa do ar, no período de 2008 a 2013, na Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba. Em seu estudo, Queiroz (2017) usou dados de estações meteorológicas localizadas em Mato Grosso do Sul (Paranaíba), Minas Gerais (Araxá e Ituiutaba), Goiás (Goiânia e Mineiros) e Distrito Federal (Brasília) a fim de definir anos-padrão termo-higrométricos e, em seguida, executar a análise rítmica como técnica para a compreensão da gênese dos extremos de temperatura do ar e umidade relativa do ar.

A tese de Queiroz (2017) constatou a influência da latitude e da altitude como fatores que condicionam a ocorrência de extremos. A análise rítmica permitiu compreender a gênese desses extremos, destacando: a Frente Polar e a massa Polar Atlântica como produtores de temperaturas baixas; a massa Tropical Atlântica Continentalizada e, por vezes, a Massa Tropical Continental como sistemas produtores de ar seco (baixa umidade); e a Massa Tropical Atlântica Continentalizada, a Massa Tropical Continental e, ainda, a Massa Equatorial Continental como os sistemas responsáveis pelas temperaturas elevadas.

Alguns dos trabalhos realizados sobre Goiás encontram-se em anais de edições do Simpósio Brasileiro de Climatologia. Vários são resultantes de dissertações e teses, e outros da continuidade de pesquisas já finalizadas, como é o caso de Vasques (2018), que identificou o episódio pluviométrico de caráter excepcional em Jataí e aplicou a

análise rítmica para compreendermos não apenas a gênese, mas também o índice de participação dos sistemas atmosféricos.

Barros, Mello e Aguiar Jr. (2018) utilizaram a análise rítmica na investigação da gênese dos episódios de precipitação ocorridos em Goiânia, durante os meses de abril dos anos de 2016 a 2018. A escolha por examinar o mês de abril deu-se em razão de tratar-se de um período de transição entre a estação chuvosa e a seca, marcado por irregularidades nos totais pluviométricos. Em alguns anos, abril se apresenta chuvoso, já em outros, as chuvas são escassas ou praticamente nulas. Cotejados os dados de precipitação do período considerado com as cartas sinóticas e imagens de satélite, Barros, Mello e Aguiar (2018) concluíram que a gênese das precipitações em Goiânia no período estudado está ligada à maior ou menor atuação das baixas pressões e linhas de instabilidade.

Conforme já mencionado, há uma produção que contribui significativamente para os conhecimentos sobre o clima do território goiano. Contudo, grande parte não se utiliza dos preceitos de Monteiro, embora vários trabalhos até citem o autor. Alguns utilizam o ano-padrão como referência, identificam a gênese de fenômenos e apresentam índices de participação de massas de ar e frentes, por meio do exame de cartas sinóticas, porém, não recorrem ao gráfico de análise rítmica, visto que estes não são apresentados, como é o caso da dissertação de Marques (2018) e dos artigos de Nascimento, Lima e Cruz (2019) e de Nascimento e Costa (2020).

Durante este levantamento, deparamo-nos, ainda, com pesquisas que afirmaram utilizar a análise rítmica e chegaram até mesmo a definir anos-padrão, contudo, ao final, não apresentaram os gráficos ou quando os apresentaram, não lhes deram o mesmo nome atribuído por Monteiro (1971). Isso não os desmerece, contudo, revela que há muitos pesquisadores que tiveram algum contato com a obra de Monteiro (1969, 1971, 1973), mas que não utilizaram tais conhecimentos amplamente em seus trabalhos.

Atualmente, encontram-se em andamento algumas pesquisas em nível de mestrado e doutorado, vinculadas ao PPGeo/UFG, que, se

devidamente concluídas, deverão cobrir áreas ainda carentes de estudos à luz da Climatologia Geográfica Brasileira, e que utilizarão a análise rítmica para melhor compreender o ritmo climático de localidades no Norte e no Nordeste goiano.

Estudos com análise rítmica no Tocantins

No estado do Tocantins, apesar da cidade de Porto Nacional ter sido incluída no trabalho de Fonzar (1990), assim como ocorre para o estado de Goiás, não temos conhecimento de estudos geográficos sobre o clima, com base no paradigma do ritmo até o final da primeira década dos anos 2000.

A Universidade Federal do Tocantins (UFT) foi instalada no ano de 2003, embora os cursos de Geografia já existissem nos campi de Porto Nacional e de Araguaína, ambos desde a década de 1980, abrigados por instituições que antecederam à universidade federal. Porém, mesmo com esses antecedentes, a Climatologia Geográfica somente começou a ser praticada a partir do ano de 2008, com a criação do Laboratório de Análises Geoambientais, o LGA, no campus portuense, que passou a receber os primeiros esforços de pesquisas nessa área do conhecimento, inicialmente no âmbito dos cursos de graduação em Geografia (licenciatura e bacharelado).

Diante da notória escassez de conhecimentos específicos acerca das condições atmosféricas e de suas relações com o espaço geográfico no Tocantins, deu-se início às primeiras orientações e estudos com tal enfoque. O levantamento de publicações produzidas em outras instituições, envolvendo ao menos, de maneira parcial, os limites tocantineses de produções, aludindo estados vizinhos e de obras com recortes espaciais mais amplos (na escala nacional ou mesmo continental), redundou nos primeiros fundamentos para a empreitada que então se iniciava. Desses amparos, podemos destacar Serra e Ratisbonna (1959, 1960), Nimer (1989) e Fonzar (1990), além do próprio Monteiro (1969, 1973), entre outros.

Em termos de publicações oriundas dessa fase inicial no Tocantins, destacamos os trabalhos de Souza (2010, 2011) e Souza *et al.* (2012), que sintetizam as primeiras contribuições tocantinenses à Climatologia Geográfica brasileira, com a inclusão de análises rítmicas episódicas. Souza (2010) focalizou o impacto das chuvas sobre a cidade de Palmas, através da identificação dos sistemas atmosféricos e de seus teores pluviiais durante a primavera-verão de 2009/2010. Embora a análise rítmica não tenha sido elaborada em sua forma integral (envolvendo uma maior variedade de elementos climáticos), o trabalho trouxe a sequência dos sistemas atmosféricos atuantes em escala diária, possibilitando assim, o vislumbre de sua sucessão no período de seis meses sobre a capital tocantinense, destacando os eventos pluviiais e suas consequências trazidas pela mídia impressa.

Em Souza (2011), constam as primeiras abordagens episódicas sobre a cidade de Porto Nacional, evidenciando as principais sequências das massas de ar atuantes, traduzindo ritmos oscilantes de primavera-verão e repetitivos de outono-inverno, bem como os tipos de tempo resultantes. O realce deve ser dado para a atuação da Massa Tropical Atlântica ao longo de praticamente todo o ano, além de incursões eventuais da Massa Equatorial Continental no verão e de raras ocorrências de sistemas frontais, normalmente já em dissipação, no período da primavera.

Já em Souza *et al.* (2012) a abordagem também episódica da circulação atmosférica serviu como pano de fundo para evidenciar os gradientes espaço-temporais da temperatura do ar sobre a cidade de Porto Nacional. Os resultados permitiram vislumbrar características de clima urbano sobre essa cidade com menos de 50 mil habitantes à época, a relação do fenômeno com os tipos de tempo e com as assimetrias da urbanização local. Porto Nacional revelou gradientes internos de temperatura de até 4,9°C no período de estiagem, indicando uma diferenciação entre áreas centrais, de urbanização mais antiga e ocupação concentrada, e aquelas áreas de ocupação mais recente e rarefeita, em loteamentos instalados na periferia (SOUZA *et al.*, 2012).

Percebemos então que nos anos iniciais, os resultados empíricos estiveram atrelados, sobretudo às escalas local e microclimática, possibilitando deste modo, o início da compreensão da circulação e da participação das massas de ar sobre Palmas e Porto Nacional. Assim, tendo partido desses primeiros exercícios de pesquisa e do incentivo do prof. dr. João Afonso Zavattini (UNESP/RC), buscamos a elaboração de um projeto mais amplo, referente aos componentes genéticos e dinâmicos do clima tocantinense. Tal projeto teve início no ano de 2011, no mesmo momento da implantação do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFT, no Campus de Porto Nacional. Desta feita, o projeto foi concebido com o objetivo de nortear especialmente trabalhos de iniciação científica e de mestrado (posteriormente, de doutorado, pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente, no Campus de Palmas), em um esforço coordenado para melhor conhecer o clima no âmbito estadual.

Passamos, então, a manejar um maior conjunto de dados, referente às estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) instaladas nos limites do Tocantins e em áreas próximas, nos estados de Goiás, Mato Grosso, Pará, Maranhão e Bahia. Foram selecionados três anos-padrão: seco (2007), habitual (2001) e chuvoso (2000) a partir da interpolação dos padrões locais de diferentes estações (GOMES *et al.*, 2012). Consequentemente, se deu a análise diária das condições atmosféricas, por meio da técnica de análise rítmica, que permite traçar um panorama significativo das diferenças climáticas internas do estado, tais como: a predominância da Massa Equatorial Atlântica na porção Norte, em contraposição à Massa Tropical Atlântica na porção Sul; a presença mais destacada da Massa Equatorial Continental na bacia do Araguaia (porção Oeste) e o seu decréscimo em direção à porção Leste do estado; a ocorrência eventual de sistemas frontais e até polares (em avançado estado de tropicalização) na porção Sul; entre outros aspectos.

Esse projeto voltado aos limites do estado do Tocantins deu origem aos trabalhos de iniciação científica de Gomes (2013, 2014 e 2015) e de Rocha (2014, 2015), além do trabalho de conclusão de curso de Gomes (2016). Como o fruto de trabalhos apresentados em diferentes

eventos científicos, temos os artigos de Souza *et al.* (2014) e de Souza (2016a, 2016b). Neste último, destaca-se a representação de sequências características de tipos de tempo por intermédio de perfis, inspirados no trabalho de Monteiro (1973), e possibilitados pelo exercício de análise rítmica por anos-padrão. No sentido latitudinal, por exemplo, verificamos ocasionais recuos da Massa Tropical Atlântica e da Massa Equatorial Atlântica, em face da chegada de sistemas frontais no Sul do estado, enquanto no sentido longitudinal é possível observar as incursões da Massa Equatorial Continental, proveniente do Oeste, em dualidade com as massas atlânticas, de Leste e Norte (SOUZA, 2016b).

A primeira dissertação de mestrado defendida na área de Climatologia Geográfica junto ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFT foi elaborada por Silva (2013), e se refere às relações entre clima e agricultura no município de Pedro Afonso (TO). A seleção dos anos-padrão para análise rítmica, definidos pelo ano agrícola em detrimento ao ano civil, tomou como parâmetro, diferentes resultados em termos de safra (2005/2006, de baixa produtividade e 2007/2008, de alta produtividade).

Ao primar pelo significado geográfico do clima e seu ritmo, Silva (2013) mostrou as relações entre a circulação atmosférica e o balanço hídrico, indicando a ocorrência de veranicos em períodos críticos do ciclo fenológico da soja e suas consequências em termos de produtividade, se comparados os dois anos selecionados. Os desdobramentos, no caso de 2005/2006, englobaram o endividamento de agricultores e até implicações sobre a estrutura fundiária do município, quando parte dos agricultores perdeu suas terras hipotecadas, segundo informações da Cooperativa Agroindustrial do Tocantins (COAPA), de Pedro Afonso. Abordagens efetuadas através de recortes temporais mais curtos (sazonais) deram origem, por sua vez, ao artigo de Silva e Souza (2013), relativo a primavera-verão de 2006/2007, também envolvendo análise rítmica e produtividade de soja no município de Pedro Afonso.

A dissertação de Pinto (2013), egresso da UFT, foi defendida junto à UNESP/RC na mesma época, e tratou da gênese e do ritmo pluvial no estado do Tocantins, sob a orientação do prof. dr. João Afonso Zavattini.

Nesse trabalho, a distribuição das chuvas no referido estado foi investigada em distintos anos-padrão (1989, de padrão chuvoso; 1990, de padrão seco; e 2001, de padrão habitual), com dados das redes do INMET e da ANA (Agência Nacional das Águas). Em linhas gerais, a análise confirmou a variação espacial dos teores pluviais, com sentido crescente Sudeste-Noroeste, e deslocamento do trimestre mais chuvoso seguindo a mesma orientação (dez/jan/fev; jan/fev/mar; e fev/mar/abr), aperfeiçoando a classificação outrora realizada por Nimer (1989).

Em termos de análise rítmica, o enfoque incidiu sobre as localidades de Peixe e de Pedro Afonso, nos mesmos anos selecionados, reforçando as conclusões a respeito das sequências variáveis de tipos de tempo relacionados às massas Tropical e Equatorial Atlântica, Equatorial Continental e, eventualmente, mais ao Sul, de sistemas frontais e da Massa Polar Atlântica, já tropicalizada.

Prosseguindo os estudos de doutorado na mesma universidade, Pinto (2017), sob a orientação principal do prof. dr. Anderson L. H. Christofolletti, voltou a empregar a análise rítmica, dessa vez aplicada a uma pesquisa sobre a vulnerabilidade socioambiental na bacia do Rio Palma, localizado no Sudeste do Tocantins. Essa região tocantinense é caracterizada por maior variabilidade pluvial, convivendo com episódios de estiagem que comprometem a disponibilidade hídrica. Sendo assim, além de investigações a respeito das fragilidades naturais relacionadas ao terreno e da vulnerabilidade social, o trabalho incluiu a análise rítmica dos anos de 2001 (habitual), 2004 (chuvoso) e 2007 (seco), para as estações de Peixe (TO), Taguatinga (TO) e Posse (GO).

O trabalho mostrou o mesmo rol de sistemas atmosféricos já mencionados para o estado, com predominância e domínios prolongados das massas atlânticas, porém, indicou algumas nuances em termos de atuação, em decorrência da latitude e da longitude das localidades envolvidas, como a participação crescente da Massa Equatorial Continental no sentido Oeste da bacia. Aliás, é justamente a maior ou menor contribuição pluvial dessa massa de ar que pode atenuar ou agravar as condições de estiagem nessa região, conforme evidenciado por Pinto (2017), no exame dos anos-padrão.

Em Palmas, Freitas (2015) e Freitas e Souza (2016) fizeram uso da técnica de análise rítmica episódica como suporte à compreensão dos tipos de tempo e de sua relação com as variações do campo térmico na cidade, em estudo de clima urbano, com base na coleta de dados em pontos fixos e com o auxílio de transectos móveis. As conclusões, por seu turno, deixaram claro que a distribuição espacial das temperaturas na cidade de Palmas tem íntima relação com os tipos de tempo: sua maior alternância (estabilidade e instabilidade) e ocorrência habitual de chuvas convectivas que atingem porções variáveis da cidade durante a primavera-verão; e a constância da estabilidade no outono-inverno, quando as diferenças de superfície se tornam mais determinantes sobre as oscilações espaciais da temperatura do ar.

Também em Palmas, buscando relacionar a dinâmica climática, as queimas do Cerrado e a ocorrência de doenças respiratórias na cidade, Lima (2018) baseou-se na análise rítmica episódica em períodos selecionados entre os anos de 2002 (seco), 2004 (habitual) e 2006 (chuvoso), cobrindo um total de nove episódios. Os resultados apontaram um maior número de internações por doenças respiratórias no ano de 2002 (seco), juntamente com a elevação do número de focos de incêndio no Cerrado (em Palmas e em municípios vizinhos). Sugerem também que há uma gama de doenças respiratórias com incidência ao longo de todo o ano, e que podem variar em função dos tipos de tempo e da sazonalidade do clima, conclusão esta, reforçada pela entrevista com especialista em Pneumologia. Porém, a natureza dos dados oficiais obtidos não permitiu esse detalhamento envolvendo a sucessão dos tipos de tempo e a classificação pormenorizada das doenças respiratórias em casos de internação hospitalar, ensejando dessa maneira, a necessidade de novos estudos para aprofundamento do tema.

Por fim, ressaltamos a tese de doutorado de Silva (2018), defendida junto ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente (UFT/ Palmas), assim como os artigos decorrentes do trabalho (SILVA; SOUZA, 2017, 2018 e 2019). A autora dedicou-se aos temas do conforto térmico e da percepção climática em Palmas, com base em referenciais objetivos e subjetivos obtidos por meio de dados climáticos oficiais, da

coleta de dados microclimáticos em campo, de entrevistas e descrições fenomenológicas. No que tange ao componente climatológico, a análise rítmica foi empregada tanto sob a forma anual quanto episódica. Os anos-padrão foram selecionados pelo critério do conforto térmico, através de frequência diária. Foram então escolhidos os anos de 1997 (considerado de padrão confortável) e 2013 (considerado de padrão desconfortável). Já os episódios ocorreram em número de três, com mensuração de índices de conforto térmico em campo, entre os anos de 2015 e 2016.

De modo geral, os resultados realçaram o maior desconforto térmico na transição do período seco para o período chuvoso, em função do acúmulo de calor relacionado aos tipos de tempo estáveis e repetitivos, somado à posição solar zenital. Em contraponto, as condições de conforto relacionaram-se diretamente ao ritmo dos tipos de tempo instáveis, da nebulosidade e da precipitação, alcançando graus mais elevados por ocasião da sequência de dias chuvosos, de ocorrência comum no verão. O aspecto climático mostrou-se, assim, um componente importante no conjunto de critérios que influenciam a percepção e os sentimentos topofílicos e topofóbicos em Palmas.

Como demonstramos, ainda que em linhas gerais, os esforços empenhados para a melhor compreensão do clima tocantinense e de algumas de suas localidades específicas possibilitaram, até o momento, a conclusão de trabalhos em diferentes níveis. Tratam-se de pesquisas ora voltadas exclusivamente aos aspectos da circulação, gênese, participação e dinâmica atmosférica sobre o estado, que se justificam pela escassez de conhecimento a respeito dessas variáveis, ora voltadas às implicações geográficas do clima, em conjunção com fenômenos socioambientais e produtivos, na cidade e no campo. Ainda que o aproveitamento do potencial revelador da análise rítmica seja relativamente variável nos trabalhos, a abordagem se faz presente em todo o conjunto elencado, mostrando-se distintiva em termos de linha de pesquisa.

Levando em consideração a diversidade de temas, as inúmeras lacunas existentes no escopo tocantinense e do Cerrado, assim como a capacidade explicativa e a flexibilidade do paradigma do ritmo frente às

inovações, é notório admitir a continuidade da empreitada deste ponto em diante. O caminho está traçado e as ferramentas estão dispostas, bastando colocar-se ao trabalho.

Considerações finais

Já se vão mais de cinco décadas desde que Monteiro (1969) chamou a atenção para a necessidade de se estudar o Cerrado sob o ponto de vista do ritmo. O presente levantamento mostrou que ainda há muito o que se fazer, especialmente, no sentido de melhor compreender a dinâmica climática da região em toda a sua complexidade e plena articulação com as áreas contíguas, utilizando o paradigma do ritmo para aprofundar discussões, por exemplo, a respeito da variabilidade climática e das influências de fenômenos como El Niño e La Niña sobre as áreas onde se localiza o Cerrado.

Conforme apontou a Figura 1, os estudos citados neste capítulo abarcaram um total de 36 pontos de coleta de dados meteorológicos. No caso do Distrito Federal, onde o maior número de pontos aparece, é preciso observar que apenas cinco dentre 20, são estações meteorológicas e, desta forma, obtêm dados referentes a mais parâmetros atmosféricos (temperatura do ar, radiação solar, direção do vento, umidade relativa do ar, entre outros). Os demais são postos pluviométricos que, no máximo, apresentam dados de temperatura do ar. Entretanto, tais dados foram úteis para indicar padrões de distribuição espacial e temporal das precipitações na área do DF.

Ainda que sejam notadas áreas descobertas pelos estudos com análise rítmica no estado do Tocantins, no estado de Goiás isso é bem mais marcante, visto que observamos uma total ausência de estudos dessa natureza na porção Norte do estado.

A grande maioria dos trabalhos elencados utilizou a rede de estações meteorológicas convencionais de superfície do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e, em praticamente todos foi preciso descartar estações devido ao grande número de falhas em suas séries temporais. A princípio, isso pode não representar um grande problema, visto

que a análise rítmica permite a utilização de apenas uma década de dados para a determinação dos anos-padrão. Contudo, além do fato de que uma série temporal maior possibilita uma melhor visualização do ritmo e da variabilidade do clima, um menor número de estações acaba prejudicando as análises acerca da distribuição espacial dos fenômenos atmosféricos.

Na última década, temos analisado a ampliação da rede de coleta de dados por intermédio das estações automáticas de superfície, e, desta forma, acreditamos que dentro de alguns anos hajam mais dados meteorológicos à disposição para pesquisas. Além disso, é possível contar com a ajuda dos satélites para a obtenção de dados de precipitação, temperatura do ar e de superfície, direção e velocidade dos ventos e quantidade de vapor d'água, dentre outros produtos, que podem ampliar as possibilidades de aplicação da técnica da análise rítmica.

Passados quase 50 anos de quando Monteiro (1971) apresentou a técnica sobre a qual tratamos aqui, inúmeros foram os avanços tecnológicos, e vários deles foram incorporados às abordagens sobre o clima. Entretanto, esperamos que a análise rítmica não perca sua validade, em virtude dos enormes potenciais de aplicação dessa técnica. Com a disponibilidade de produtos de satélites e de maior quantidade de dados em estações de superfície, os avanços da estatística e a capacidade de processamento dos computadores, tem se tornado possível estudar novas localidades e incorporar novas questões às pesquisas sobre o clima.

Diante da infinita gama de possibilidades, almejamos que o caminho que Monteiro (1969) apontou, e que tantos outros têm buscado trilhar, seja ampliado e sirva ao menos de inspiração para que se continue a busca pela compreensão do clima da região central do Brasil, seja em sua área core ou nas zonas das transições climáticas e fitofisionômicas, assinalando fatores condicionantes e como seus elementos interagem e influenciam outras interfaces geográficas.

Referências

- BARBOSA, A. S.; TEIXEIRA NETO, A.; GOMES, H. **Geografia: Goiás – Tocantins**. 2. ed. Goiânia: Editora da UFG, 2005.
- BARROS, J. R. **A chuva no Distrito Federal: o regime e as excepcionalidades do ritmo**. Tese (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro, 2003.
- _____. **Tipos de tempo e incidência de doenças respiratórias: um estudo geográfico aplicado ao Distrito Federal**. 2006. 121 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro, 2006.
- BARROS, J. R.; MELLO, B. F.; AGUIAR JUNIOR, P. R. F. A gênese dos episódios de precipitação ocorridos em Goiânia-GO nos meses de abril de 2016 a 2018. *In: XIII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 2018, Juiz de Fora – MG. Anais [...]*. Curitiba-PR: ABClima, 2018. p. 71-80.
- CHAUL, N. N. F. **Caminhos de Goiás: da construção da decadência aos limites da modernidade**. Goiânia: Editora da UFG, 1997.
- COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DO PLANALTO CENTRAL (CODEPLAN). **Relatório da Comissão Exploradora do Planalto Central do Brasil**. 6. ed. Brasília: 1995.
- FONZAR, B. C. **Os principais campos de pressão da América do Sul e sua atuação na caracterização do clima dos cerrados (savanas) do Centro-Oeste do Brasil**. 1990. 297 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.
- FREITAS, T. P. F. **O campo térmico de Palmas – TO em episódios de primavera-verão e outono-inverno: subsídio ao planejamento urbano**. 2015. 160 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2015.
- FREITAS, T. P. F.; SOUZA, L. B. Aspectos do clima urbano de Palmas – TO no episódio de outono-inverno. **Caminhos de Geografia**, v.17, p.103-125, 2016.
- GOMES, L. P. O. **Gênese e a dinâmica climática no estado do Tocantins: uma abordagem preliminar comparativa entre Porto Nacional e Araguaína**. 2013. 24 f. Relatório (Iniciação Científica – PIBIC/CNPq) – Universidade Federal do Tocantins, Porto Nacional, 2013.
- _____. **Gênese e dinâmica climática no estado do Tocantins: variações no eixo Alto Parnaíba (MA), Pedro Afonso (TO) e Conceição do Araguaia (PA)**. 2014. 21 f. Relatório (Iniciação Científica – PIBIC/CNPq) – Universidade Federal do Tocantins, Porto Nacional, 2014.

_____. **Gênese e dinâmica climática no estado do Tocantins: uma abordagem em estações selecionadas.** 2016. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geografia) – Universidade Federal do Tocantins, Porto Nacional, 2016.

GOMES, L. P. O.; SILVA, A. A. F.; SOUZA, L. B. Notas sobre a seleção de anos-padrão para o estudo da gênese e da dinâmica climática no estado do Tocantins: aspectos metodológicos a partir da inclusão do critério espacial. **Geonorte**, v. 1, n. 5, p. 628-641, 2012.

LIMA, J. R. **Dinâmica climática, queimadas e doenças respiratórias em Palmas – TO.** 2018. 102 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Tocantins, Porto Nacional, 2018.

MARQUES, J. A. **Índice de participação das massas de ar no estado de Goiás e Distrito Federal.** 2018. 84 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade de Brasília, 2018.

MONTEIRO, C. A. de F. Notas para o estudo do clima do Centro-Oeste brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 1, p. 3-46, 1951. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/115/rbg_1951_v13_n1.pdf. Acesso em: 29 maio 2020.

_____. **A frente polar atlântica e as chuvas de inverno na fachada Sul-Oriental do Brasil** (contribuição metodológica à análise rítmica dos tipos de tempo no Brasil). São Paulo: IG/USP, 1969 (Série Teses e Monografias).

_____. **Análise rítmica em Climatologia: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho.** São Paulo: IG/USP, 1971 (Série Climatologia, n. 1).

_____. **A dinâmica climática e as chuvas no estado de São Paulo: estudo geográfico sob a forma de atlas.** São Paulo: IG/USP, 1973.

NASCIMENTO, D.; LIMA, L. V.; CRUZ, V. Episódios e gênese dos eventos climáticos extremos em Goiânia-GO. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 29, n. 57, p. 583-608, abr./jun., 2019. Disponível em: <http://200.229.32.43/index.php/geografia/article/view/19598>. Acesso em: 10 ago. 2020.

NASCIMENTO, D. T. F.; COSTA, Q. S. Permanência do regime de precipitação entre diversos anos-padrão habituais, secos e chuvosos: estudo de caso para Goiânia – GO. **Geoambiente On-Line**, Jataí, GO, n. 37, p. 1-14. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/geoambiente/article/view/63488/35362>. Acesso em: 18 ago. 2020.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil.** 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1989.

PINTO, P. H. P. **As chuvas no estado do Tocantins**: distribuição geográfica e gênese das variações rítmicas. 2013. 183 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Rio Claro, 2013.

_____. **A vulnerabilidade socioambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Palma, estado do Tocantins, Brasil**. 2017. 147 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Rio Claro, 2017.

QUEIROZ, A. T. de. **Estrutura espacial e gênese dos extremos termohigrométricos na Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba por meio da análise rítmica**. 2017. 184 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade de Brasília, UnB, Brasília, 2017.

REGO, T. L. **Chuvas e inundações em Goiânia**: dinâmica atmosférica e áreas de risco. 2015. 101 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

ROCHA, E. M. C. **Gênese e dinâmica climática no estado do Tocantins**: variações no eixo Posse (GO) – Peixe (TO). 2014. 21 f. Relatório (Iniciação Científica – PIBIC/CNPq) – Universidade Federal do Tocantins, Porto Nacional, 2014.

_____. **Gênese e dinâmica climática no extremo Norte do estado do Tocantins**: um estudo com base na estação climatológica de Marabá (PA). 2015. 21 f. Relatório (Iniciação Científica – PIBIC/CNPq) – Universidade Federal do Tocantins, Porto Nacional, 2015.

SANT'ANNA NETO, J. L. As matrizes da construção da Climatologia Geográfica brasileira. In: MONTEIRO, C. A. de F. (Org.). **A construção da Climatologia Geográfica no Brasil**. Campinas: Alínea, 2015.

SERRA, A.; RATISBONNA, L. As massas de ar da América do Sul: 1ª parte. **Revista Geográfica**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 51, p. 67-129, 1959.

_____. As massas de ar da América do Sul: 2ª parte. **Revista Geográfica**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 52, p. 41-61, 1960.

SILVA, A. A. F. **Variações do ritmo pluvial e a produção de soja no município de Pedro Afonso – TO**. 2013. 229 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Tocantins, Porto Nacional, 2013.

SILVA, A. A. F.; SOUZA, L. B. Estudo dos impactos do ritmo pluvial no balanço hídrico climatológico para a primavera-verão 2006/2007: a relação entre clima e produtividade de soja em Pedro Afonso – TO. **Interface**, v. 6, p. 88-100, 2013.

SILVA, L. F. G. da. **Percepção climática e conforto térmico**: contribuição ao estudo interdisciplinar dos aspectos objetivos e subjetivos do clima de Palmas, TO. 2018. 550 f. Tese (Doutorado em Ciências do Ambiente) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2018.

SILVA, L. F. G.; SOUZA, L. B. Seleção de anos-padrão para análise rítmica em estudos de conforto térmico: uma proposta de “confortogramas” a partir de índices. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 20, p. 52-70, 2017.

_____. Análise rítmica microclimática em estudos de conforto térmico: proposta para seleção de períodos-padrão. **Revista de Geografia**, v. 8, n. 2, p. 22-34, 2018.

_____. Ritmo climático e conforto térmico na cidade de Palmas (TO) em anos-padrão selecionados. **GeoUERJ**, v. 34, p. 1-27, 2019.

SIMIELLI, M. E. **Geoatlas**. 18. ed. São Paulo: Ática, 1995.

SORRE, M. Le Climat. *In: Les fondements de la Géographie Humaine*. Tome I: Les fondements biologiques: essai d’une écologie de l’homme. Livre I: L’homme et le climat. Paris: Armand Colin, 1951. p. 13-43.

SOUZA, L. B. Novas cidades, velhas querelas: episódios pluviais e seus impactos na área urbana de Palmas (TO), primavera-verão 2009/2010. **Mercator**, v. 9, p. 165-177, 2010.

_____. Participação das massas de ar e suas repercussões em Porto Nacional (TO): o exemplo 2009/2010. *In: MORAIS, F. (Org.). Contribuições à Geografia Física do estado do Tocantins*. Goiânia: Kelps, 2011. p. 179-197.

_____. Ritmo climático e tipos de tempo no estado do Tocantins, Brasil. *In: Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica*, 12, 2016, Goiânia. **Anais...** Goiânia: UFG/ABCLIMA, 2016a. p. 2.266-2.277.

_____. Aspectos da atuação dos sistemas atmosféricos sobre o estado do Tocantins: o exemplo de um ano-padrão chuvoso. *In: Encontro Regional de Geografia*, 14, 2016, Goiás. **Anais...** Goiás: UEG, 2016b. p. 902-914.

SOUZA, L. B.; GOMES, L. P. O.; ROCHA, E. M. C. Participação dos sistemas atmosféricos no estado do Tocantins: o exemplo do ano habitual de 2001. *In: Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica*, 9, 2014, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, 2014, p.1533 – 1544.

SOUZA, L. B.; PINTO, P. H. P.; AZEVEDO, P. S.; SILVA, A. A. F. A temperatura do ar na área urbana de Porto Nacional (estado do Tocantins): abordagem geográfica a partir de episódios selecionados. **Brazilian Geographical Journal**, v. 3, p. 317-350, 2012.

STEINKE, E. T.; REZENDE, M. de S.; CAVALCANTI, L. Sistemas atmosféricos gerados de eventos extremos de precipitação em outubro de 2006, no Distrito Federal: uma análise geográfica dos desastres. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, PR, v. 2, p. 23-34, dez., 2006. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/25375/17010>. Acesso em: 26 jul. 2020.

VASQUES, H. S. **O regime pluviométrico, o ritmo e as excepcionalidades das precipitações em Jataí – GO**. 2017. 126 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Goiás, 2017.

VASQUES, H. S.; BARROS, J. R. A gênese de um evento pluviométrico extremo em Jataí-GO. *In*: XIII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 2018, Juiz de Fora, MG. **Anais [...]**. Curitiba-PR: ABClima, 2018. p. 1.090-1.099.

ZAVATTINI, J. A. **Estudos do clima no Brasil**. Campinas: Alínea, 2004.

ZAVATTINI, J. A.; BOIN, M. N. **Climatologia Geográfica: teoria e prática de pesquisa**. Campinas: Alínea, 2013.

CAPÍTULO 7

A influência do período seco no agravamento das doenças respiratórias no pontal do Triângulo Mineiro (MG)

Rildo Aparecido Costa

Resumo: A presente pesquisa buscou investigar a possível influência existente entre o período seco, as queimadas e o agravamento nas doenças respiratórias na região do Pontal do Triângulo Mineiro. Para isso, foram analisados dados de precipitação, coletados junto as estações meteorológicas pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), além de dados de internações das doenças abordadas no capítulo, que trata das Doenças do Aparelho Respiratório (Classificação Internacional de Doenças – CID), fornecidos pelas prefeituras municipais da região. Para se determinar o período seco anual, utilizamos a metodologia proposta por Assunção (2012). Observamos então que, os maiores índices de internações ocorreram nos meses mais secos da região, pois além de serem o período onde mais se tem material particulado em suspensão (fruto principalmente das queimadas rurais e urbanas), se tornam agravantes dos problemas respiratórios. Portanto, há a necessidade de se compreender o papel do clima na saúde humana, especificamente sua influência nas doenças do aparelho respiratório, para que se possa desenvolver políticas públicas a médio e longo prazos, que resultarão na qualidade de vida das pessoas.

Palavras-chaves:

Introdução

Desde os primórdios da humanidade os diversos tipos de tempo atmosférico vêm sendo relacionados à saúde das pessoas. O agravamento de determinadas doenças em sua maioria está relacionado com eventos climáticos extremos, ou seja, está ligado a um evento inesperado.

Temperaturas altas ou baixas, umidade relativa do ar muito baixa, concentração de material particulado (dispersado pelo vento), são alguns exemplos de eventos que podem agravar algumas mazelas relacionadas à saúde humana, ocasionando assim, dores de cabeça, arritmias cardíacas, inchaço de membros inferiores, irritação nos olhos e, principalmente, o agravamento dos problemas respiratórios.

As variações climáticas bruscas são fatores evidentes de como o ritmo climático pode afetar, sobremaneira a saúde dos indivíduos. É importante salientar que a sucessão dos tipos de tempo atmosféricos não causa doenças, e sim, agravam doenças pré-existentes. Observamos então, a necessidade de conhecermos o comportamento climático de uma determinada região. Explicar a doença pela doença não é suficiente, precisamos evidenciar o ambiente onde esses indivíduos vivem.

A Climatologia Médica, integrante dos estudos referentes à Geografia Médica, ganha força no cenário científico, pois trabalha, enquanto ciência, na interface entre a Epidemiologia, a Geografia, a Meteorologia e a Biologia. Isto ocorre, porque a saúde é derivada “do resultado de complexas e dinâmicas de inter-relações entre o homem e o meio, o estilo de vida, o meio ambiente (físico e social), a biologia humana e os serviços de atenção à saúde” (SOUZA; NETO, 2008, p. 119). Portanto, a Climatologia Médica dedica-se, à compreensão da sucessão de ritmos de tempo climático e influência nos indivíduos, ou seja, “trabalha a relação saúde/doença e tempo/clima” (SARTORI, 2014 p. 16).

Segundo Sartori (2014), existem dois aspectos básicos da influência climática na doença e na saúde humana: a relação dos fatores climáticos com organismos doentes ou seus portadores e, os efeitos do tempo e clima na resistência do corpo. As condições de tempo por si só não provocam as enfermidades. Porém, é notório o agravamento dessas

doenças, particularmente, em pessoas mais debilitadas e vulneráveis, geralmente idosos e crianças. O funcionamento do corpo, na maioria das vezes, responde negativamente quando há uma variação dos tipos de tempo, em especial, quando há uma amplitude (térmica ou higrométrica) diária significativa.

Deste modo, as relações entre variações climáticas e a saúde humana são complexas, pelo fato de dependerem da intensidade, duração e variação (abrupta) do tempo, além da sensibilidade de cada indivíduo. Estas variações podem ocorrer em áreas diversas do Brasil, como também em uma mesma localidade.

A proposta da presente pesquisa foi compreender como o tempo seco influencia na piora das doenças respiratórias. A região do Pontal do Triângulo Mineiro foi escolhida como a área de estudo. Vale destacar que a delimitação regional aqui denominada como Pontal do Triângulo Mineiro, refere-se ao conjunto de municípios pertencentes à microrregião de Ituiutaba e a microrregião de Frutal, contando com 18 municípios e uma população aproximada de 322.400 habitantes (IBGE, 2010). A Figura 1, mostra a localização da referida região.

Essa região está localizada nas chapadas e chapadões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, entre os rios Grande e Paranaíba (AB'SABER, 1977), com altitudes variando entre 370 a 620m de altitude. Está sob a influência, de forma geral, da dinâmica das Massas de Ar Polar, que é responsável pela entrada de frentes frias e da Massa Equatorial Continental, responsável pela distribuição da umidade na região.

De acordo com Mendes e Queiroz (2011), o verão é caracterizado por sucessões de dias com temperaturas elevadas, que tem a influência da Massa Tropical Atlântica Continentalizada (mTac), e dias com temperaturas amenas (inverno) causados pela ação da Massa Polar Atlântica (mPa).

“Há também significativa escassez de umidade e precipitação. Desta forma, o Pontal do Triângulo apresenta o clima tropical com duas estações bem-definidas, o verão chuvoso, com temperaturas elevadas e o inverno com escassez de chuvas e temperaturas amenas” (MENDES; QUEIROZ, 2011, p. 336).

indiretamente os mecanismos reguladores corporais, ou seja, a homeostasia, que tem como função primordial manter o equilíbrio das funções orgânicas. Considerando a “saúde como um estado de completo bem-estar, físico e mental” (HEINLEIN, 2011:03).

As influências dos aspectos climáticos sobre a saúde sempre foram observadas e estudadas desde os primórdios. Essa preocupação já se fazia presente no século V a.C. nos dizeres de Hipócrates: “Não ignore o que diz respeito ao estado do tempo, porque tudo o que o diz respeito está intimamente relacionada com a Medicina”.

Hipócrates foi um dos principais estudiosos dos impactos do ambiente no homem, ele afirmava que “as diferenças geográficas resultavam em diferentes padrões de doenças, mas alguns elementos geográficos eram mais valorizados, tais como o clima, a vegetação e a hidrográfica” (RIBEIRO, 2004, p. 72). Foi a partir de seus estudos que nasceu o Determinismo Ambiental e que segundo Pascoalino (2013, p. 37) “formaram as bases das teorias higienistas e sanitaristas com ênfase nos fatores ambientais”.

A forma de contágio de uma gama de doenças não foi compreendida pela sociedade ao longo de vários séculos. Como elas se espalhavam pelo espaço geográfico também era um fator desconhecido, por isso o Determinismo Ambiental tomou tanto corpo, principalmente em relação às doenças que eram atribuídas às condições do tempo atmosférico. Destacar o lugar como agente responsável pela condição da saúde e da doença fez com que os estudos da Medicina avançassem no tempo e no espaço, criando conceitos e teorias. Essas relações entre o espaço geográfico, o saudável e o patológico foram um dos marcos para a criação da chamada Geografia Médica.

A Geografia Médica teve seu início, enquanto ciência, quando se começou a evoluir o conhecimento médico das enfermidades, pelas “maneiras com que eram tratados os homens perante o meio em termos de condições de saúde, doença e cura” (PASCOALINO, 2013, p. 57).

Na história, a Geografia Médica, teve sua base inicial fundamentada no pensamento hipocrático. A obra “Dos Ares, das Águas e dos Lugares”, desenvolvida por Hipócrates, e datada do século V a.C., foi o

ponto de partida para estudos relacionados ao ambiente e sua influência na sociedade. Porém, determinar essa obra como motivo primordial para o alicerce da Geografia Médica se faz de forma forçosa, pela imprecisão da mesma, pois como disse Ferreira (1991, p. 303), “não podemos identificar estas obras, de conteúdo muito variado e análise pouco sistemática, à Geografia Científica, tal como a conhecemos hoje”. Não podemos, contudo, deixar de mencionar a importância dessa obra para os estudos da Geografia Médica.

Neste período, não eram conhecidas, as formas de transmissão de doenças. Idealizava-se sua propagação através da água, do ar e do sangue, e seu controle se dava pela intervenção do homem no ambiente que o tornava estéril, dificultando assim, à disseminação de doenças. Esses preceitos foram denominados de Teoria do Higienismo.

Dessa forma, para Hipócrates, segundo Diniz (2006, p. 31) a pessoa sã “é a mistura equilibrada dos elementos constituintes do homem”, por outro lado, a doença seria “a separação e o isolamento de um dos constituintes do corpo humano em relação aos outros”. A concepção de doença, nesse pensamento é uma ruptura. Esse conceito só foi possível graças à noção de *physis*, que foi aplicada às enfermidades, buscando interpretações pela razão e não mais pelos aspectos místicos e religiosos (PASCOALINO, 2013). Essa noção buscava a causa da enfermidade e o entendimento de sua fisiologia (DINIZ, 2006).

No século V a.C., a relação saúde-doença se destacava através de dois mitos, o primeiro era o mito de Hygéia, onde a doença era considerada como um “relacionamento inadequado com a natureza” e a recuperação estaria na higiene, e em um modo de vida adequado do enfermo. O segundo, o mito de Asclépio, se baseava na total ausência de preocupação com o modo de vida do doente, criando uma Medicina intervencionista e curativa (DINIZ, 2006, p. 25). Esse mesmo autor salienta que foi no segundo mito que surgiu a escola de Medicina com métodos próprios e “mágicos” que viria compor a Medicina Científica, posteriormente.

Na visão de Hipócrates, a relação saúde-doença adivinha do equilíbrio do organismo, ou seja, a doença estava intimamente relacionada com os desequilíbrios orgânicos. Porém, destacava-se também, nesse

mal funcionamento do corpo fatores externos. Nestes fatores eram bem caracterizadas as estações do ano (sazonalidade climática) e as variações bruscas do tempo. Portanto, a restauração da saúde viria pela adequação das situações do cotidiano quando adotado um modo de vida que favorecesse à saúde.

A importância da relação saúde-doença preconizada pelo pensamento hipocrático foi um marco nos estudos médico-ambientais e, por conseguinte, na Geografia Médica. Nestes preceitos, o doente era visto de forma inseparável do ambiente que o rodeava, “quando se estuda uma doença, principalmente metaxênica, sob o ângulo da Geografia Médica, devemos considerar, ao lado do agente etiológico, do vetor, do reservatório, do hospedeiro intermediário e do homem suscetível, os fatores geográficos” (LACAZ; BARUZZI; SIQUEIRA JÚNIOR, 1972, p. 1). Esses fatores se resumiam aos físicos (clima e hidrografia), sociais (densidade de população e qualidade de vida) e biológicos (parasitismo, doenças predominantes e grupos sanguíneos).

Deste modo, podemos ressaltar que a Geografia Médica é o resultado da correlação da Medicina com os estudos geográficos, especificamente com os estudos do ambiente, que é onde se dá a reação da sociedade com a natureza. É nessa relação, portanto, que surge a doença. Assim sendo, a Geografia Médica tem como finalidade, os estudos da “distribuição e da prevalência das doenças na superfície da Terra [...] que possam advir por influência dos mais variados fatores geográficos e humanos” (PESSOA, 1960, p. 1).

Áreas geográficas diferentes, podem apresentar doenças iguais ou semelhantes, e a influência dos fatores geográficos na sua disseminação, a sazonalidade climática, os solos, a vegetação e a influência dos tipos e variações de tempo, fazem parte dos estudos de Geografia Médica. Partindo, claro, dos princípios hipocráticos de que o homem é parte intrínseca da natureza, onde essa própria natureza age sobre o homem influenciando sua saúde.

Hipócrates se destacou nos estudos de Geografia Médica por elencar a eliminação das causas místicas sobre as doenças, demonstrando assim, sua causa natural. A saúde era resultado de “equilíbrios de

elementos da natureza, [...] por meio da combinação de quatro elementos – a terra, a água, o fogo e o ar – delineando suas propriedades: seco, úmido, quente e frio” (SANT’ANNA NETO; SOUZA, 2008, p. 119). A doença então era causada pelo desequilíbrio destes elementos.

Os preceitos hipocráticos ficaram marcados por se tratarem da possibilidade de se conhecer a doença pelos sintomas e assim, chegar à sua cura. Nesse momento, ainda não havia se desenvolvido o conceito de contágio, portanto, acreditava-se que “as influências externas podiam produzir doenças apenas através do frio, calor, umidade ou *secura*” (MARTINS, 1997, p. 41).

A Geografia Médica entrou na Medicina quando pacientes passaram a ser questionados sobre os locais onde viviam. Esses detalhes, demonstraram a real necessidade do estudo do ambiente onde vivemos e sua relação com o processo de saúde-doença. A informação produzida foi utilizada para a elaboração de diagnósticos, que buscavam, inclusive à solução da mudança de moradia na tentativa de um clima mais propenso à cura da doença. Isso envolvia também a mudança de estilo de vida (PEITER, 2005).

Durante os séculos XVI e XVII, nas viagens feitas para colônias asiáticas, africanas e americanas, médicos anotaram em seus escritos pontos sobre tais localidades, destacando os lugares, as doenças que os tinham afligido, os métodos locais de tratamento e o conhecimento sobre sua causa. Esses relatos ficaram conhecidos como Levantamentos Médicos Geográficos (ARMSTRONG, 1983).

Ao longo desse período, vários outros levantamentos foram desenvolvidos, principalmente, por naturalistas e pelo exército. Foi através da inserção dos países colonialistas nos países tropicais que a Geografia Médica se desenvolveu com maior afinco, especialmente, pela produção de informações sobre medidas preventivas a serem tomadas pelos colonizadores e pelos exércitos. “A aproximação entre o saber médico e a Geografia só foi impulsionada a partir do século XVI, com os grandes descobrimentos, que colocaram a necessidade de se conhecer as doenças nas terras conquistadas, visando à proteção de seus colonizadores e

ao desenvolvimento das atividades comerciais” (COSTA; TEIXEIRA, 1999, p. 273).

Segundo Junqueira (2009), o método positivista trouxe uma aproximação dos médicos com a Matemática. Eles acreditavam que o ambiente poderia ser normatizado através de leis específicas. Destacou-se, neste período, que a ideia de que o resultado do domínio da natureza pelo homem seria a conquista das doenças através do seu controle preventivo. Porém, as morbidades eram calculadas, levando-se em conta os climas quentes e frios.

Neste período, houve uma relação mais estreita entre Geografia e Epidemiologia, e isto, resultou em estudos importantes para a Geografia Médica. Os estudos gerados através dessa aproximação produziram documentos cartográficos detalhados, em especial, sobre a distribuição minuciosa e regional das doenças (VIEITES; FREITAS, 2001). Estas espacializações foram encontradas nos estudos de topografias médicas, porém, as descrições imperavam e não se tinha uma análise crítica acerca do assunto. Os médicos atribuíam as causas das doenças ao ambiente físico, ou seja, ao solo, ao relevo, à vegetação e principalmente ao clima, por não conhecerem ainda os agentes etiológicos e microbianos das doenças. Ressaltamos então, a visão determinística de causa e efeito (PEITER, 2005).

Podemos enfatizar, que a elaboração dos atlas de Geografia Médica em meados do século XIX, foram importantes, pois orientavam obras de saneamento ambiental “e, especialmente, fundamentavam medidas preventivas a serem tomadas pelos exércitos europeus em caso de ocupação militar de territórios insalubres do mundo tropical” (FERREIRA, 1991, p. 303).

Cabe aqui observar que quando se passa a confrontar as relações entre fenômenos biológicos e sociais se inicia um novo paradigma na interpretação do problema teórico e prático dessas relações. Surge, portanto, a noção de causalidade sobre essas relações, que busca construir uma base teórica mais solidificada, elencando dessa maneira, a relação do biológico com a sociedade.

Os primeiros estudos da aproximação da Geografia Médica com a Epidemiologia resultaram em análises metodológicas empregadas, sobretudo pela Cartografia e pela Bioestatística, porém, uma parte importante para a consolidação destes estudos não foi contemplada, que se refere aos conceitos para uma inter-relação mais efetiva dessas ciências. “Desta aproximação inicial surgiram trabalhos de caráter descritivo, que se ocuparam em estudar padrões de distribuição regional das doenças” (FERREIRA, 1991, p. 304).

Foi no final do século XIX, que Moris Pasteur e Robert Koch revolucionaram, de certa forma, o conhecimento da Medicina, quando descobriram as bactérias e os parasitas, criando assim, a denominada revolução bacteriológica. Esse descobrimento reformulou a concepção do processo saúde-doença. Para os estudos de Geografia Médica essa teoria não foi benéfica, pois a Medicina passou a dedicar seus estudos e pesquisas ao corpo humano, deixando deste modo, de ter a visão da saúde-doença como uma inter-relação do próprio ambiente.

Dois conceitos desenvolvidos no século XX, foram de suma importância para consolidar a relação entre Geografia e Epidemiologia: A Teoria dos Focos Naturais das Doenças Humanas, apresentada por Pavlovsky, e o Complexo Patogênico, desenvolvido por Maximilian Sorre.

O parasitologista Pavlovsky, em sua obra “A Teoria dos Focos Naturais das Doenças Humanas”, apresentada em 1939 à Academia de Ciências da URSS, estabeleceu a Tríade Ecológica, que destaca o homem-agente-ambiente. Esses apontamentos fazem com que surjam novamente a aproximação da relação saúde-doença para o escopo ambiental, definiu-se, portanto, importantes conceitos onde se evidenciou o de “circulação do agente no meio natural” e o da “formação do complexo agente-ambiente” (PEITER, 2005; LIMA NETO, 2000).

Durante aproximadamente trinta anos este conceito auxiliou estudos relacionados aos impactos epidemiológicos decorrentes das formas de uso e ocupação do espaço pelo homem, reforçando a abordagem ecológica-epidemiológica. A inovação trazida por Pavlovsky estava no conjunto de ideias baseadas não somente em estudos de gabinetes, mas, principalmente, em estudos de campo.

Na França, em 1943, o geógrafo Maximilian Sorre, lançou o primeiro volume, de uma série de três, “Les Fondements de la Géographie Humaine”, que enfatizava os fatores biológicos. Sua preocupação maior era oferecer um aparato teórico-metodológico e conceitual para que a Geografia Médica pudesse utiliza-los para fins de estudos interdisciplinares, onde a correlação dos elementos era o ponto central da proposta. O conceito de Sorre possuía semelhança com o conceito desenvolvido por Pavlovsky, devido aos dois adotarem o mesmo princípio da interpretação da relação do homem com o meio, baseados na Ecologia.

No Brasil, o conceito de Pavlovsky teve maior destaque, pois foi divulgado com maior intensidade pela Escola de Epidemiologia brasileira, tendo em S. B. Pessoa, seu maior estudioso e divulgador. Já o conceito de Sorre, num primeiro momento, não foi muito propagado pela academia brasileira. Porém, no campo da Geografia, Sorre teve maior aceitação, e foi considerado por vários pesquisadores como uma obra-prima do século XX, por inter-relacionar a Geografia com as ciências sociais e biológicas. A busca por essa inter-relação marcou a obra de Sorre, pois o conceito de Complexo Patogênico tem como ponto central a relação do homem com o meio em que ele vive, ou seja, seu *habitat*, ampliando o poder da análise geográfica outrora descritiva.

O Complexo Patogênico, enquanto referência, possuía uma afinidade direta com a possibilidade da relação homem-meio em afetar a saúde das pessoas, ressaltando as doenças infecciosas e parasitárias. Essa interferência, segundo Sorre, poderia intervir na vida das pessoas, levando-as a uma menor expectativa de vida e conseqüentemente, a expansão das doenças transmissíveis.

Aliás, toda sua formulação conceitual partiu das doenças infecciosas e parasitárias, que tinham muita relevância em meados do século XX, como pode ser observado nos dizeres do próprio Sorre:

Na complexidade das relações que interessam a uma só vez ao biólogo e ao médico, procura-se uma noção sintética capaz, de orientar as pesquisas do geógrafo. A interdependência dos organismos postos em jogo na produção de uma mesma doença infecciosa

permite inferir uma unidade biológica de ordem superior: o complexo patogênico. Compreende, além do homem e do agente causal da doença, seus vetores e todos os seres que condicionam ou comprometem sua existência. (...) Tendo por base esta noção é que nos propomos afundar o capítulo mais vasto da Geografia Médica, o das doenças infecciosas; sem ela, este, nada seria senão uma coleção de fatos desprovidos de ligação e de alcance científico (SORRE, 1951, p. 15).

Os complexos patogênicos de Sorre recebiam o nome das doenças de referência dos estudos, como por exemplo, o complexo malárico. Esses complexos não possuíam números reduzidos de aspectos a serem analisados, mas sim, uma análise integrada de todos os elementos possíveis, se configurando em uma análise epidemiológica evolutiva, que tinha sua origem, seu desenvolvimento e sua estagnação ou desaparecimento, estimados. O homem não é visto simplesmente como hospedeiro das doenças, mas como agente transformador do espaço e como possível agravador das doenças.

Em sua obra, Sorre destaca três complexos patogênicos: malária, doença do sono e da peste. No capítulo que é dedicado à Geografia Médica do Mediterrâneo, ele produziu uma gama de dados de informações biológicas e geográficas, dando ao clima, a devida importância na ação dos complexos patológicos, além do uso da Cartografia como forma de espacializar essas doenças. Podemos afirmar que essa é a grande diferença dos estudos produzidos por Sorre em relação à Pavlovsky, que produziu apenas estudos relacionados à transmissão ao homem pelos animais.

Vários trabalhos foram produzidos baseados em Sorre e sob a égide da Geografia Médica. Se sobressaíram estudos relacionados à espacialização das doenças e sua inter-relação com os fatores do meio físico (LIMA NETO, 2000; PARAGUASSU-CHAVES, 2001; COSTA, TEIXEIRA, 1999; VIEITES; FREITAS, 2001; PASCOALINO, 2013).

Nas primeiras décadas do século XX, tivemos uma mudança significativa da ciência em relação à origem das doenças. A evolução da

ciência nos remeteu a conhecimentos relacionados aos parasitas e bactérias, passando para segundo plano, os princípios hipocráticos. Esses conhecimentos fizeram nascer uma nova concepção ecológica dos agentes agressores ao organismo humano.

O posicionamento científico de Sorre, que utilizava os princípios bioclimáticos, não consistiu apenas na elaboração de sua teoria dos complexos patogênicos. Isso, porém, não era novidade, pois vários cientistas já tinham mencionado em seus trabalhos, o processo saúde/doença através do uso da Ecologia, mas na forma de se pensar, na maneira da influência da variação atmosférica na saúde, ou seja, uma nova visão paradigmática.

Nesse paradigma, o olhar mais acurado sobre as variações atmosféricas, onde se destaca a necessidade de entendermos o ambiente atmosférico como uma configuração de elementos do tempo meteorológico, não busca somente o estudo da atmosfera, simplesmente pela média estatística. Esse estudo do tempo procura a variação do tempo no dia a dia, o que certamente resultará em efeitos biológicos e fisiológicos diversos. Sorre destaca também a magnitude dessas variações sobre a saúde humana.

Nesse contexto, com início na evolução teórico-conceitual da Geografia Médica, principalmente, em função da interferência dos fatores do meio físico no agravamento das doenças, foi que surgiu a Climatologia Médica, que tem como finalidade compreender a relação dos tipos de tempo com a sua influência no agravamento das doenças em diferentes espaços geográficos.

O termo Climatologia Médica foi usado pela primeira vez por Dorno, em um Congresso Climático ocorrido em Davos (Suíça), em 1925, porém, naquela época, tal ciência que acabara de nascer enquanto conceito, tinha uma visão mais pontual, cujos principais estudos estavam relacionados ao efeito da radiação solar sobre os animais e vegetais (DORNO, 1933).

A Climatologia Médica se tornou fundamental para os estudos geográficos, em razão de não abarcar somente os organismos animais e vegetais, mas sim, um âmbito do espaço geográfico, onde o número

de inter-relações é mais significativo, como podemos mencionar, a influência dos fatores atmosféricos (de forma integrada) sobre a fisiologia das pessoas.

Esses fatores estão envolvidos com a relação saúde/doença desde a Antiguidade, porém, eram carentes de experimentações e comprovações. A busca de conhecimento com outras ciências (Biologia, Fisiologia, Patologia e Epidemiologia) foi de suma importância para o seu destaque na vida acadêmica (HEINLEIN, 2011).

No início do século XX, Humboldt, explicou que “todas as variações atmosféricas afetavam sensivelmente os nossos órgãos, reconhecendo o poder de influenciar os sentidos e os estados d’alma do homem”. Embora esses dizeres fossem simplistas, sem dúvidas, já indicavam o caminho que iria ser tomado pela Climatologia Médica.

Neste período, as pesquisas em Climatologia Médica se destacavam pelos estudos da influência da radiação solar na temperatura da pele, isto é, no seu poder refrigerante e secante, onde o conceito de conforto térmico começava a ser trabalhado com maior intensidade.

Os estudos de Climatologia Médica se confundiam então com os da Biometeorologia e até mesmo com a própria Geografia Médica, na qual se insere, e pelas correlações intrínsecas que as mesmas possuem. Entretanto, o que diferencia a Climatologia Médica das demais é seu caráter antropocêntrico e de maior aplicabilidade entre as afinidades da fisiologia humana e dos elementos climáticos (LACAZ, 1967). Neste contexto, se acentua o domínio da Ecologia Humana e da Climatologia Médica, ciências que são de interesse peculiar dos geógrafos, biólogos e médicos (SORRE, 1951).

Segundo Philiphoneau (1966), as pesquisas que abordam a Climatologia Médica, possuem além de caráter preventivo, o curativo, e se evidenciam nos estudos de adaptabilidade climática, na busca de uma amenização das interferências climáticas na fisiologia do homem.

Segundo Annes-Dias (1946) a tentativa de se apontar a relação entre o clima ou diferentes tipos de tempo, e as patologias de forma geral, é bastante antiga. Ao citar a bibliografia médica produzida no passado, encontramos alguns elementos, tais como: a pressão

barométrica, nebulosidade, umidade do ar, pluviosidade e, principalmente, a radiação e sua influência no surgimento e no agravamento de doenças. Vale a pena indicar também a importância que é dada às estações do ano e aos seus efeitos nas patologias sazonais. Nos dizeres de Hipócrates: “Todas as doenças nascem em todas as estações, mas algumas, em certas estações nascem e se exacerbam de preferência”.

Neste sentido, a Climatologia Médica não é uma disciplina isolada, nem mesmo pertence à Climatologia, ela é uma ciência, cujo papel principal é auxiliar médicos, epidemiologistas e gestores públicos, bem como resolver questões de saúde pública, e colaborar em estudos sobre a influência dos diversos fatores atmosféricos no cotidiano das pessoas, com ênfase no processo saúde/doença. Os pesquisadores que se dedicam a essa ciência devem sempre acompanhar pesquisas e estudos sobre patologias, e o desenvolvimento e evolução da Epidemiologia.

Ninguém põe em dúvida a ação do clima ou dos tipos de tempo sobre o homem, todavia, o que alguns contestam é a incapacidade do homem de se adaptar aos eventos mais extremos do clima, mantendo todas as suas capacidades biológicas, ou seja, saúde física e mental.

Partimos do princípio de que um organismo sadio possui mais probabilidade de se adaptar em relação às variações dos tipos de tempo e do clima, no entanto, indivíduos sensíveis (pressão atmosférica, temperaturas, umidade relativa do ar, etc.) ou doentes não possuem a capacidade de adaptação boa, tardando a se estabelecer em equilíbrio. Isso ocorre devido ao comprometimento do aparelho regulatório, como por exemplo, em cardíacos, diabéticos e hipertensos.

Nos dias atuais diversos pesquisadores de diferentes formações (médicos, biólogos, matemáticos, meteorologistas estatísticos e geógrafos) têm se debruçado em pesquisas, no intuito de desvendarem as relações reais ou suspeitas, sobre o tempo e o início das doenças. O papel do geógrafo, em relação à Climatologia Médica é principalmente, de cunho etiológico, pois pretende estabelecer uma base metodológica-conceitual de correlações entre dados climáticos e dados de saúde (BESANCENOT, 1986).

Identificar as causas das doenças foge à competência do geógrafo, contudo sua habilidade de compreensão da correlação dos fenômenos atmosféricos, principalmente, dos tipos de tempo e sua influência na saúde do ser humano, não se abstêm de tais capacidades. Sempre com cuidado para não perder sua identidade e cair em descrédito. Enquanto o médico se ocupa das causalidades das doenças, o geógrafo se preocupa com a etiologia da doença, e tenta demonstrar como os diferentes tipos de tempo e de clima, levam patologias diversas.

Besancenot (1986) expõe em seus estudos, os fatos de que, por um lado as temperaturas extremas podem resultar em elevada mortalidade num curto período de tempo, e por outro, as variações climáticas imprimem em algumas doenças um ritmo sazonal, conforme sua localidade. Essa característica é reconhecida em algumas doenças do grupo cardiovascular como infarto do miocárdio (STEWART *et al.* 2002) e acidente vascular cerebral (LAAID *et al.* 2004; GOGGINS *et al.* 2011).

Este tipo de abordagem é a que procuramos trabalhar. Esmiuçamos a respeito dos Acidentes Vasculares Cerebrais (AVC) e o Infarto do Miocárdio, que são doenças do aparelho circulatório, influenciadas pelos tipos de tempo e clima. O intuito foi conhecer principalmente a influência das temperaturas mínimas no agravamento dessas doenças circulatórias, sem deixar de lado é claro, os fatores fisiológicos.

As temperaturas frias são destacadas por vários autores como uma condição térmica para o agravamento de morbidade e mortalidade por doenças do grupo cardiovascular, principalmente, em regiões europeias. Nas regiões tropicais, algumas pesquisas, embora poucas, ainda indicam que o desconforto térmico para temperaturas frias, e altas amplitudes térmicas, e até mesmo amplitudes higrométricas (SILVA, 2010), destacando os tipos de tempo no inverno (PITTON; DOMINGOS, 2004; MURARA; COELHO; AMORIM, 2010; PASCOALINO, 2012) resultam no aumento e na piora da morbidade e até mesmo na mortalidade por doenças cardiovasculares.

Devemos destacar também a importância dos aspectos hereditários, dos hábitos de consumo e do modo de vida, pois estes são fatores influenciadores de enfermidades. A variação térmica, por exemplo, é

apenas uma das causas que interferem na relação saúde/doença dos organismos. As temperaturas baixas podem desestabilizar os mecanismos termorreguladores, fazendo com que gerem um estresse fisiológico, principalmente, em indivíduos debilitados (obesidade mórbida, diabetes, hipertensivos, dentre outros).

Compreender em quais condições ambientais ocorrem o agravamento da morbidade e da mortalidade é primordial para os gestores da saúde, especialmente, na questão da promoção da saúde e não somente, no tratamento das doenças. Neste sentido, entender os padrões existentes, no contexto térmico se torna uma condição *sine qua non* para o acesso à saúde.

A tentativa aqui foi investigar as inter-relações do tempo meteorológico sobre a mortalidade por doenças cardiovasculares. Não pretendemos trazer todas as respostas e questionamentos, mas sim, mostrar que é possível entender o processo, e no transcorrer dele, propor algumas atitudes preventivas sobre o assunto.

Em estudos sobre Climatologia Médica, Silva (2010) observou que as temperaturas do ar extremas influenciam diretamente na saúde humana. Ele verificou que os processos fisiológicos de termorregulação e regulação circulatória dos indivíduos são dependentes da temperatura do ambiente atmosférico.

Neste contexto, as atividades cardiovasculares são significativas quando estudamos a ação do tempo na saúde do ser humano. Segundo dados da OMS (Organização Mundial da Saúde) as doenças cardiovasculares (como infartos e AVC) lideram o *ranking* das mortes no mundo. Em 2011, aproximadamente 17 milhões de pessoas foram vitimadas por esse problema. Embora nem todas as mortes sejam derivadas e agravadas pelos tipos de tempo climático, é inegável a influência na saúde destes indivíduos, pelo clima.

O bom funcionamento do aparelho circulatório é essencial para evitar alguns tipos de doenças cardíacas. Colocamos em evidência o AVC, como um problema que pode ser intensificado pela má circulação do corpo, que possui uma sensibilidade às variações do clima. Quando o corpo está debilitado, essas variações podem dificultar a circulação,

que é constituída por um sistema vascular extremamente complexo, que executa a função de garantir a plena circulação sanguínea aos órgãos e tecidos (TORTORA, 2000).

Quando ocorre uma diminuição da temperatura corporal humana (sendo esta ideal em torno de 36° a 37°C), configura-se um quadro de hipotermia e o principal mecanismo de controle é a vasoconstrição. Esse processo desencadeia diversos problemas circulatórios em pessoas debilitadas e com histórico de saúde comprometido (hipertensão, diabetes, alcoolismo, fumantes, cardiopatas), inclusive o AVC, devido ao estreitamento das veias que ficam comprometidas por placas de gordura. Em relação à hipertermia, ou seja, quando a temperatura corporal está acima de 37°C, têm-se a vasodilatação, que se configura no alargamento das veias e artérias (SETTE; RIBEIRO, 2011).

Segundo Sartori (2014, p. 38), “um dia com temperaturas baixas pode aumentar as chances de as veias coronárias sofrerem com espasmos. Por isso, na temporada de frio, os casos de enfarte aumentam até 30%”. Quando o ar apresenta baixa umidade ele contribui com a incidência de enfarte, já que as inflamações se tornam mais frequentes e comprometem a saúde do coração.

Deste modo, as relações entre variações climáticas e a saúde humana são complexas, pelo fato de dependerem da intensidade, duração e variação (abrupta) do tempo, além da sensibilidade de cada indivíduo. Estas variações podem ocorrer em áreas diversas do Brasil, como também em uma mesma localidade.

Procedimentos metodológicos

Para analisar a influência do período seco nos casos de internações por problemas respiratórios, realizamos, primeiramente a coleta de dados climáticos em escala horária e diárias das estações meteorológicas (precipitação), sendo estas: Ituiutaba (MG), Capinópolis (MG), Campina Verde (MG), Itumbiara (GO), São Simão (GO) e Paranaíba (MS), pertencentes ao INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), no período de 2008 a 2019.

Os dados de internações por agravamento de doenças respiratórias foram cedidos pelas Secretarias Municipais de Saúde da região em estudo, em escala diária. Os dados de queimadas foram adquiridos junto ao 7º Pelotão de Bombeiros Militar de Ituiutaba (MG), e Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Minas Gerais (CBMMG). Optamos, nestes dados, ressaltar apenas o período seco.

Utilizamos então, para a resolução do período seco, as denominadas dez leis básicas para determinação da duração das estações seca e chuvosa, desenvolvidas por Assunção (2012):

1 – Período chuvoso, significa o fim do incremento do *déficit* hídrico no solo, o qual passa a ser reabastecido pelos excedentes hídricos (chuvas maiores que a ETP) e, à medida que os dias vão passando, o nível de água acumulado no solo atinge a capacidade de campo e a partir de então começa o registro de excedentes hídricos, importantes na manutenção de um complexo sistema fluvial na região, responsável pelo grande potencial hidroelétrico regional.

2 – Os meses de dezembro, janeiro e fevereiro são todos considerados do período chuvoso. Quando houver o registro de *déficit* hídrico mensal este fato deve ser associado ao registro de um *verânico* (intervalo sem precipitações dentro da estação chuvosa) de média a forte intensidade.

3 – Os meses de junho, julho e agosto são todos considerados do período seco. Caso ocorra o registro de excedentes hídricos em qualquer um desses meses, este fato pode ser associado ao fenômeno conhecido localmente como “*invernico*” (ocorrência de chuvas mais intensas dentro da estação seca geralmente de origem frontal).

4 – O período chuvoso tem início quando percebemos a ocorrência de uma chuva mais intensa (acima de 20 mm) ou um acumulado de 40 mm em um curto período de dias (até 4 dias), e em seguida, as chuvas passam a ser mais frequentes e suficientes para repor a ETP acumulada e iniciar a reposição de água no solo.

5 – Se houver chuvas bem distribuídas em setembro, não significa que este mês seja chuvoso. É preciso verificarmos se as precipitações em outubro (se houve uma interrupção ou um período superior a 12 dias

sem chuva) foram suficientes para repor a ETP do mês ou se houve *déficit* hídrico.

6 – Quando o mês de outubro se apresentar úmido (com chuva igual ou superior a ETP mensal e bem distribuída) e em novembro notarmos uma redução nos totais pluviométricos acumulados (porém, superior a 60% da ETP mensal) a conclusão é de que a estação chuvosa teve seu início em outubro. Contudo, se observarmos nos primeiros dias de novembro uma grande sequência de dias sem precipitações (acima de 12 dias), a estação chuvosa só começa após o reinício das chuvas, depois desse período de interrupção.

7 – O fim do período chuvoso (ou o início da estação seca) fica caracterizado após uma sequência de oito ou mais dias consecutivos sem ocorrência de precipitações ou com precipitações muito baixas e que não atingem a metade da ETP diária. Após esse período, as precipitações (quando houver) já não são tão frequentes, e acima de tudo, não são suficientes para reporem os níveis de água no solo.

8 – Se no mês de março ocorrer totais pluviométricos acumulados abaixo da ETP mensal e no mês de abril os acumulados ficarem acima de 80% da ETP mensal, com chuvas bem distribuídas ao longo do mês, o que se observa é que as baixas precipitações em março se devem pela ocorrência do fenômeno do veranico.

9 – O mês de maio só é considerado úmido, se em abril as chuvas forem abundantes e suficientes para repor a ETP mensal. Caso isso não ocorra, as chuvas mesmo abundantes no mês de maio passam a ser consideradas como chuvas isoladas.

10 – Para efeito de análise, consideramos no presente trabalho, o início da estação seca, no dia imediatamente após a última chuva antes de uma sequência de oito ou mais dias sem registro de chuvas ou com precipitações insignificantes (cujos acumulados diários geralmente ficam abaixo da metade da ETP). Vale lembrar que como o solo está com o nível de água elevado, os efeitos da estação seca como o “murchamento” e a cessão do crescimento vegetativo das culturas, só se faz perceber após um período de alguns dias (8 a 10), sendo afetado em maior ou menor prazo, em função da temperatura ambiente.

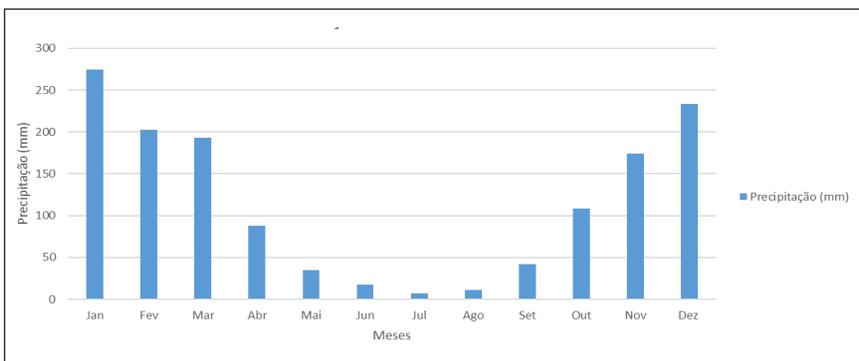
Período seco e o agravamento das doenças respiratórias no pontal do Triângulo Mineiro (MG)

O estudo e compreensão dos tipos climáticos e seus diversos tipos de tempo atmosférico, principalmente, o longo período seco, são de suma importância na tentativa de explicar sua influência nos casos de internações por problemas respiratórios no Pontal do Triângulo Mineiro. Assim, cada sistema corresponde a um ciclo (VASCONCELOS; ZAMPARONI, 2010), ou seja, o ritmo climático.

A sazonalidade climática, neste caso, o período seco, é uma característica marcante no clima do Pontal do Triângulo Mineiro, proporcionando deste modo, duas estações bem-definidas: estação seca (abril a outubro) e estação chuvosa (novembro a março). Assim como podemos observar, de forma geral, no Gráfico 1.

A média de precipitação para a região do Pontal é de 1.395,2 mm anuais, sendo que o período chuvoso (outubro a março) corresponde a aproximadamente 84% das chuvas anuais. O trimestre de dezembro a fevereiro, possui uma concentração de precipitação de aproximadamente 52%. O período seco (abril a setembro) representa apenas 16% do total de chuva para a região.

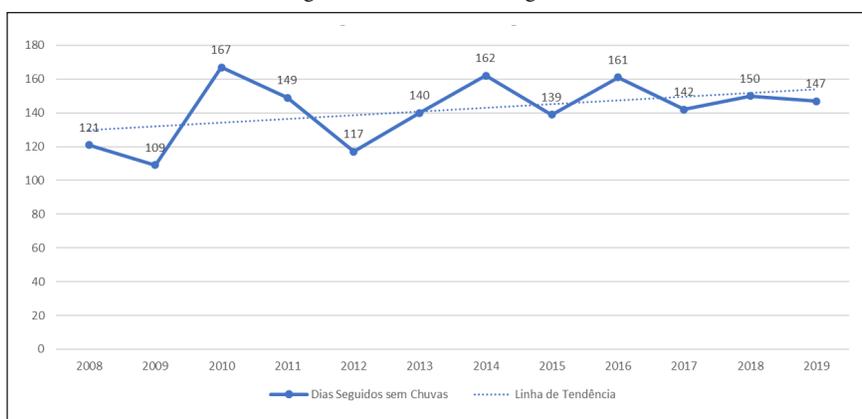
Gráfico 1 – Pontal do Triângulo Mineiro: Precipitação Média Mensal, 1988– 2019



Fonte: INMET.

Durante o período seco, consideramos que, pela quantidade de precipitação anual, os períodos de dias seguidos sem chuva foram longos (Gráfico 2), porém, na maioria das vezes não estiveram relacionados com a baixa precipitação anual. Na série de dados trabalhada, o ano de 2009, foi o período seco mais curto (109 dias), entretanto, teve a segunda maior precipitação da série, chegando a exatos 1.620,8 mm. O ano de 2018, foi o ano com menor precipitação anual 985,6 mm, com 150 dias sem chuva.

Gráfico 2 – Pontal do Triângulo Mineiro: dias seguidos sem chuva



Fonte: INMET.

O ano com o maior número de dias seguidos sem chuva foi o de 2010, que atingiu 167 dias. Naquele ano, tivemos 1.209,2 mm anuais, sendo que no total anual foram 244 dias sem chuvas, evidenciando desta maneira um ano de chuvas concentradas.

Outro fator que deve ser destacado no Gráfico 2 é a linha de tendência, pois podemos afirmar que, na região do Pontal do Triângulo Mineiro, a quantidade de dias secos tende a aumentar, porém sem diminuir a quantidade de chuva anual, acentuando os eventos climáticos extremos, como por exemplo, os episódios de chuvas mais intensas.

A influência do período seco nos casos de internações por agravamento das doenças respiratórias, ficou clara na grande parte das internações mensais que ocorreram nos meses de junho a outubro, coincidindo com o período seco da região do Pontal do Triângulo Mineiro (Quadro 1).

Quadro 1 – Pontal do Triângulo Mineiro: casos de internações por problemas respiratórios, 2008 a 2019

Anos/ Meses	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	dias sem chuva
2008	9	17	13	12	10	10	13	13	9	15	7	9	121
2009	9	5	8	6	15	11	10	16	20	18	9	7	109
2010	12	9	11	13	9	13	20	16	17	18	12	8	167
2011	12	11	12	12	12	24	16	16	26	9	10	10	149
2012	9	9	14	10	14	17	10	10	8	10	8	9	117
2013	11	11	11	13	11	15	10	7	11	10	7	7	140
2014	13	9	6	9	9	7	6	4	10	7	10	8	162
2015	11	6	11	10	8	10	9	6	7	12	8	6	139
2016	1	6	10	4	9	6	5	9	6	12	13	11	161
2017	8	5	8	15	10	14	7	5	6	5	5	10	142
2018	13	3	11	12	9	10	8	21	17	19	7	8	150
2019	6	8	8	10	8	4	7	6	7	8	4	7	147

Fonte: Prefeituras Municipais das cidades do Pontal do Triângulo Mineiro.

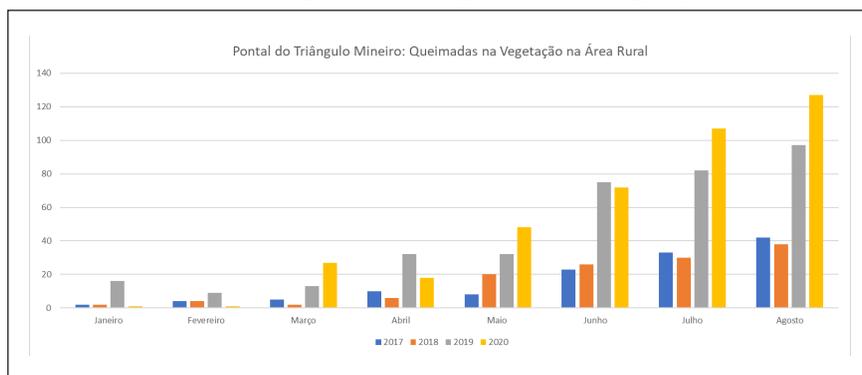
O ano de 2011, foi significativo, pois as maiores quantidades de internações ocorreram no período seco. Em alguns meses essa taxa esteve bem próxima de 100% da média de internações por doenças respiratórias (média 14,2), como por exemplo, o mês de setembro. Isso está relacionado também ao fato de que este mês é um dos últimos do período seco, fazendo com que esses episódios sejam mais expressivos ainda.

O ano de 2018, foi considerável devido a precipitação anual ter sido mais baixa (985,6 mm), mesmo não sendo o maior período seco. As interações mais relevantes foram nos meses de agosto a outubro. No referido ano, a precipitação ocorreu no dia 16 de outubro.

Outro elemento importante que devemos sublinhar é a umidade relativa do ar, que neste período seco, possui as mínimas muito baixas em alguns meses (principalmente agosto e setembro) podendo chegar a índices inferiores a 10%, facilitando assim, a dissipação de material particulado.

O material particulado em suspensão é outro agente importantíssimo, a título de demonstração, portanto, elencamos aqui, as queimadas que são feitas na região do Pontal do Triângulo Mineiro. O Gráfico 3, traz as queimadas que foram monitoradas pelo Corpo de Bombeiros da região.

Gráfico 3 – Pontal do Triângulo Mineiro: queimadas na vegetação da área rural



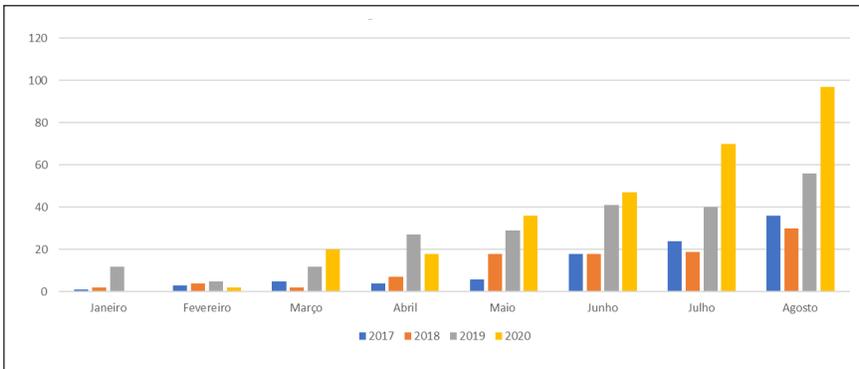
Fonte: 7º Pelotão de Bombeiros Militar, Ituiutaba (MG).

Essas queimadas se sobressaem nos meses de junho, julho e agosto. O mês de agosto é considerado um sinalizador, pelo aumento do número das queimadas, que chegam a 107. Algumas delas de grandes proporções, pois o material queimado se conduz para as cidades em razão do direcionamento dos ventos, que afetam de forma direta a saúde da população.

Embora os dados das queimadas não correspondam à escala temporal de trabalho (2008 a 2019), são de suma importância para ilustrar o papel desses eventos na saúde da população. Portanto, não podemos negligenciar tais dados, pois o fenômeno das queimadas é corriqueiro na região.

Juntamente com as queimadas no meio rural, devemos relacionar também as queimadas urbanas, como frutos de um processo cultural pertencente à própria sociedade. No Gráfico 4, é possível observar o mesmo padrão, ou seja, as queimadas se intensificam nos meses mais secos. Com um crescente nos meses de julho e agosto.

Gráfico 4 – Pontal do Triângulo Mineiro: queimadas urbanas



Fonte: 7º Pelotão de Bombeiros Militar, Ituiutaba (MG).

É possível constatar, através deste breve estudo, que o período seco é notório e influencia as internações por doenças respiratórias no Pontal do Triângulo Mineiro. Embora possam ser amenizadas com a implementação de políticas públicas que visem coibir as queimadas, tanto urbana quanto rurais, são muitos os eventos de queimadas para uma região que não possui uma extensão territorial tão grande assim.

É claro que a condição atmosférica, aliada às queimadas não causa essas doenças, apenas atuam como fatores que podem agravá-las, principalmente, considerando as populações mais vulneráveis, como os idosos, que representam aproximadamente 12% da população regional, e as crianças menores de cinco anos.

Considerações finais

Este estudo evidenciou a análise do período seco (série histórica de 2008 a 2019) e sua relação com o número de internações por doenças respiratórias na região do Pontal do Triângulo Mineiro. Os resultados apresentados indicam que devido à sazonalidade climática regional, possuímos uma estação seca que varia entre 109 dias (2009) e 167 dias (2010), caracterizando, portanto, um período seco relativamente grande, que afeta o cotidiano da população local, particularmente a saúde das pessoas.

Em relação aos dias sem chuva, afirmamos que a tendência é que eles aumentem, sem, no entanto, diminuírem a altura das precipitações anuais. Isso evidencia a necessidade de termos um planejamento mais elaborado a médio e longo prazos a respeito do aumento da estação seca e a concentração das precipitações, abordando principalmente a diminuição das queimadas e a produção de material particulado em suspensão, o que pode sugerir as doenças circulatórias.

As mudanças climáticas já são uma realidade no mundo, consequentemente, devemos compreender melhor qual o papel do clima e, mais especificamente dos tipos de tempo atmosférico na saúde das pessoas para então podermos planejar melhor as ações a serem tomadas, buscando sempre aumentar a qualidade de vida dos indivíduos urbanos e rurais, em especial, as pessoas socialmente e fisicamente vulneráveis.

Referências

- AB'SABER, A. N. Os domínios morfoclimáticos na América do Sul: primeira aproximação. **Geomorfologia**, São Paulo, n. 52, p. 1-22, 1977.
- ANNES DIAS, H. Introdução ao estudo da Meteorologia Clínica. **Arquivos Rio-grandenses de Medicina**, Porto Alegre, RS, 1946.
- ARMSTRONG, R. W. Medical Geography. *In*: Advances in Medical Social Science. RUFINI, J. L. (Org.). **Gordon and Breach Science Publishers**, New York, n. 1, p.167-183, 1983.
- ASSUNÇÃO, W. L. Metodologia para definição da duração das estações seca e chuvosa na região dos cerrados do Brasil Central. **14º Encontro de Geógrafos da América Latina**, Peru, p. 324-337, 2012.

- BESANCENOT, J. P. Infarctus du myocarde, saisons et climats. **Revue de Géographie de Lyon**, v. 61, n. 3, p. 271-281, 1986.
- COSTA, M. C. N.; TEIXEIRA, M. G. L. C. A concepção de “Espaço” na investigação epidemiológica. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, abr./jun., 1999.
- DINIZ, D. S. A “ciência das doenças” e a “arte de curar”: trajetórias da medicina hipocrática. 160 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Coletiva) – Instituto de Medicina Social, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2006.
- FERREIRA, M. U. Epidemiologia e Geografia: o complexo patogênico de Max Sorre. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, n. 7, p. 301-309, 1991.
- GOGGINS, W. B. *et al.* Weather, season, and daily stroke admissions in Hong Kong. **International Journal Biometeorology**, 2011. Disponível em: <http://www.springerlink.com/content/100429/>. Acesso em: mar. 2017.
- HEINLEIN, R. Climat, météo et santé: la météo c’est ce à quoi on s’attend, le climat c’est ce que nous obtenons. **Observatoire Régional de la Santé Nord, Pas de Calais**, France, 2011.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 03 maio 2020.
- JUNQUEIRA, R. D. Geografia Médica e Geografia da Saúde. **Hygeia**, 5(8), p. 57-91, jun., 2009.
- LAALIDI, K. *et al.* Variation saisonnière des accidents vasculaires cérébraux et influence des conditions météorologiques. **Rev. Neurol**, Paris, v. 160, n. 3, p. 321-330, 2004.
- LACAZ, C. S.; BASRUZZI, R. G.; SIQUEIRA, W. **Introdução à Geografia Médica do Brasil**. São Paulo: Edgard Blücher/ Edusp, 1972. p. 568.
- LIMA NETO, J. E. **Geografia e Saúde**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, 272. p. 2.000.
- MARTINS, R. A. **Contágio: história da prevenção das doenças transmissíveis**. São Paulo: Moderna, 1997.
- MENDES, P. C.; QUEIROZ, A. T. Caracterização climática do município de Ituiutaba-MG. *In*: PORTUGUEZ, A. P.; MOURA, G. G.; COSTA, R. A. (Orgs.). **Geografia do Brasil Central: enfoques teóricos e particularidades regionais**. Uberlândia: Assis Editora, 2011.
- MURARA, P. G.; COELHO, M. S. Z. S.; AMORIM, M. C. C. T. Análise da influência meteorológica nas internações por doenças cardiovasculares. **Caderno Prudentino de Geografia**, n. 32, v. 1, p. 53-65, 2010.

PARAGUASSU-CHAVES, C. A. Geografia Médica ou da Saúde: espaço e doença na Amazônia Ocidental. Porto Velho: EDUFRO, 2001.

PASCOALINO, A. **Variação térmica e a distribuição tempo-espacial da mortalidade por doenças cardiovasculares na cidade de Limeira/SP**. 2013. 283 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2013.

PESSOA, S. B. **Ensaio Médico-Sociais**. Rio de Janeiro: Livraria Editora Guanabara, Koogan S.A., 1960.

PEITER, P. **A Geografia da Saúde na faixa de fronteira continental do Brasil na passagem do milênio**. 324 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

PHILIPHONEAU, M. **Geographie et action: introduction à la géographie appliquée**. Paris: Armand Colin, 1966. p. 227.

PITTON, S. E.; DOMINGOS, A. E. Tempos e doenças: efeitos dos parâmetros climáticos nas crises hipertensivas nos moradores de Santa Gertrudes, SP. *In: Estudos Geográficos*, Rio Claro, v. 2, n. 1, p. 75-86, 2004.

RIBEIRO, A. G. **O consumo de água em Bauru, SP: o tempo cronológico e o tempo meteorológico aplicado na elaboração de subsídios à previsão de demanda de água**. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – USP/FFLCH, São Paulo, 2004.

RIBEIRO, H. Saúde Pública e Meio Ambiente: evolução do conhecimento e da prática, alguns aspectos éticos. **Saúde e Sociedade**, v. 13, n. 1, p. 70-80, 2004.

SANT'ANNA NETO, J. L. Da Climatologia Geográfica à Geografia do Clima: gênese, paradigmas e aplicações do clima como fenômeno geográfico. **Revista ANPEGE**, 2008.

SARTORI, M. da G. B. **Clima e percepção geográfica: fundamentos teóricos à percepção climática e à Bioclimatologia Humana**. Santa Maria: Gráfica Editora Palloti, 2014.

STEWART, S. *et al.* Heart failure in a cold climate: seasonal variation in heart failure – Related morbidity and mortality. **Journal of the American College of Cardiology**, v. 39, n. 5, p. 760-766.

SOUZA, C. G.; SANT'ANNA NETO, J. L. Geografia da Saúde e Climatologia Médica: ensaios sobre a relação clima e vulnerabilidade. *In: Hygeia, Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde*, (6) p. 116-126, jun., 2008. Disponível em: www.hygeia.ig.ufu.br/. Acesso em: jan. 2016.

SILVA, E. N. **Ambientes atmosféricos intraurbanos na cidade de São Paulo e possíveis correlações com doenças dos aparelhos respiratório e circulatório**. 215 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

SORRE, M. Les fondements da la Géographie humaine. Tome Premier: **Les fondements biologiques**. 3. ed. Paris: Armand Colin, 1951.

VIEITES, R. G.; FREITAS, I. A. Pavlovsky e Sorre: duas importantes contribuições à Geografia Médica. **Ateliê Geográfico**, Goiás, v. 1, n. 2, p.187-201, dez., 2001.

O uso das geotecnologias em estudos climáticos no Cerrado brasileiro

Alécio Perini Martins
Diego Tarley Ferreira Nascimento

Resumo: As Geotecnologias, termo no qual se enquadram os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), o Geoprocessamento, o Sensoriamento Remoto, os Sistemas Globais de Navegação por Satélite, entre outros, apresentam-se como poderosas aliadas no subsídio da geração, armazenamento e modelagem de informações geográficas voltadas à tomada de decisão. Em Climatologia, estas ferramentas se tornam indispensáveis a partir do momento em que possibilitam a aplicação de modelos matemáticos que permitem o estudo de extensas áreas com baixa cobertura de estações para coleta de dados em superfície. Assim, este capítulo apresenta um panorama geral sobre o potencial do uso das Geotecnologias em estudos climatológicos, com destaque para o Geoprocessamento e o Sensoriamento Remoto. Pretende-se, ainda, analisar de forma geral, o uso destas ferramentas em estudos climatológicos desenvolvidos no Cerrado brasileiro. Em pesquisa paramétrica realizada no banco de dados abertos da CAPES com as seguintes palavras-chave: Clima (e derivações), Geotecnologias (e derivações) e Cerrado, foram encontradas 525 dissertações de mestrado e teses de doutorado defendidas entre 2000 e 2018, na área de avaliação de Geografia, perfazendo apenas 3,5% do total. Ao pesquisar pelos termos Geotecnologia, Geoinformação, Geoprocessamento, Sensoriamento Remoto, Sistemas de Informação Geográfica e Cerrado, nos 27 volumes da Revista Brasileira de Climatologia (de 2005 a 2020), foram encontrados 78 artigos com predomínio dos termos Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, publicados por pesquisadores das áreas de Geografia e Ciências Ambientais.

Entre as principais aplicações observadas nas referências, estão o uso de técnicas de espacialização/interpolação de dados de temperatura e precipitação, estudos de clima urbano, identificação de ilhas de calor com base em imagens termais e elaboração de zoneamentos. Nota-se que apesar do significativo aumento no número de pesquisas na área de Climatologia Geográfica que empregam ferramentas de Geotecnologia a partir de 2015, ainda existem poucos trabalhos na área que utilizam estas técnicas em estudos climáticos no Cerrado brasileiro, indicando um grande potencial a ser explorado por pesquisadores da área de Geografia.

Palavras-Chave: Climatologia Geográfica; Sensoriamento Remoto; Geoprocessamento; Cerrado.

Introdução

O desenvolvimento de instrumentos meteorológicos, no decorrer do século XVI, proporcionou uma grande melhoria nos estudos climatológicos, subsidiando o conhecimento dos reais valores dos elementos climáticos de dada localidade, visto que outrora eram estimados com base em descrições e relatos de naturalistas, principalmente das grandes explorações geográficas promovidas pelos europeus com início no século XV.

Não obstante, já no século XX, o desenvolvimento dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e das técnicas de Geoprocessamento possibilitaram um melhor tratamento e uma melhor representação espacial dos dados climáticos, inclusive por permitir a inferência automatizada dos valores em regiões que não possuem estações meteorológicas, seja por interpolação ou por aproximação geoestatística. Porém, a espacialização realizada com base em métodos de extrapolação/interpolação não fornece adequada compreensão da variabilidade espacial dos elementos climáticos, já que a representação para áreas mais distantes dos pontos medidos, sem qualquer indício físico real, não informa a verdadeira extensão dos valores, mas sim, a variação entre aqueles coletados (MONTEIRO; MENDONÇA, 2003).

Com o advento e, na atualidade, o desenvolvimento de novos sensores e produtos do Sensoriamento Remoto, surgiu a possibilidade de aplicação de dados e informações obtidas por imagens registradas em

satélites como alternativa para a insuficiência de redes de estações meteorológicas, associada, ainda, à viabilidade de uma coerente representação do complexo climático, uma vez que se parte do pontual, baseado em dados provenientes de estações meteorológicas, para uma análise do contínuo espacial, com dados históricos e sinóticos provenientes de imagens satelitárias.

Blaschke, Glässer e Lang (2007) afirmam que o potencial do Sensoriamento Remoto, de maneira geral, pode ser avaliado seguindo alguns critérios, destacando: a) A largura da faixa de possíveis erros de método (ou desvios de foco em função da metodologia); b) Volume de trabalho, além do volume temporal; c) Redução do trabalho de campo; e d) Padronização, opção de intercâmbio de métodos, condição de uso em longo prazo, entre outros.

Na Climatologia, estas ferramentas se tornam indispensáveis a partir do momento em que possibilitam a aplicação de modelos matemáticos que permitem o estudo de extensas áreas com baixa cobertura de estações de coleta de dados em campo. A modelagem consente “simular os processos e prever os efeitos resultantes nas mudanças e nas interações internas” (CHRISTOFOLETTI, 2000, p.15), sendo indispensável na análise da distribuição espacial e temporal de elementos do clima, bem como impactos sobre o ambiente e a sociedade.

Assim, este capítulo, apresenta um panorama geral sobre o potencial de uso das Geotecnologias em estudos climatológicos, com destaque para o Geoprocessamento e o Sensoriamento Remoto. Pretende-se, ainda, analisar de forma geral o uso destas ferramentas em estudos climatológicos desenvolvidos no Cerrado brasileiro.

Geotecnologias e climatologia – panorama sobre pesquisas desenvolvidas no Cerrado brasileiro

As Geotecnologias, termo no qual se enquadram os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), o Geoprocessamento, o Sensoriamento Remoto, os Sistemas Globais de Navegação por Satélite, entre outros,

apresentam-se como poderosas aliadas no subsídio da geração, armazenamento e modelagem de informações geográficas voltadas à tomada de decisão.

Entre as aplicações das Geotecnologias em Climatologia, a interpolação para espacialização de dados climáticos como a precipitação pluvial, temperatura do ar, pressão atmosférica, entre outras, é uma das técnicas estatísticas implementadas por intermédio de programas de geoprocessamento. Autores como Goovaerts (2000), Carvalho e Assad (2005), Melo e Silva (2009), Viola *et al.* (2010), Silva *et al.* (2011), Carvalho, Assad e Pinto (2012), Gardiman Júnior *et al.* (2012), Cunha *et al.* (2013), Franco e Uda (2015), Martins, Alves e Damasceno (2019), entre outros, destacam a importância do uso de interpoladores para a espacialização de dados climatológicos, visto que as informações coletadas são pontuais e acabam não permitindo a visualização das tendências de distribuição espacial em áreas sem estações de monitoramento.

Nas décadas de 1940 a 1960, se deu o advento dos satélites meteorológicos para observação, monitoramento e previsão do tempo. Inicialmente voltados exclusivamente para registro da nebulosidade atmosférica, os satélites meteorológicos abarcaram uma série de possibilidades e aplicações no estudo do tempo e do clima, nos anos que se sucederam. A aplicação inicial dos satélites meteorológicos se baseava na observação dos deslocamentos dos sistemas frontais e do desenvolvimento dos sistemas locais. Atualmente, a evolução quantitativa e qualitativa dos satélites propiciou o fornecimento de dados e informações referentes a distintos parâmetros climáticos, permitindo o avanço para além das simples observações dos parâmetros atmosféricos, a ponto de auxiliar complexas análises climáticas, desde o início sutil de uma seca e seu impacto sobre a vegetação, até o monitoramento de fenômenos como o El Niño e La Niña ou as mudanças climáticas globais.

O Quadro 1, sintetiza os principais parâmetros climáticos que podem ser mensurados por Sensoriamento Remoto para a atmosfera, oceano e superfície, dentre os quais vale destacar os produtos de estimativa de precipitação, descargas elétricas, velocidade e direção dos ventos, classificação de nuvens, balanço de radiação, temperatura

superficial terrestre e marítima, umidade, e focos de calor, por apresentarem vasta aplicação na Climatologia.

Quadro 1 – Principais produtos de Sensoriamento Remoto aplicáveis na Climatologia

Atmosfera	Precipitação; pressão atmosférica; balanço de radiação; velocidade e direção do vento; umidade; classificação de nuvens; descargas elétricas e; composição de dióxido e monóxido de carbono, metano, ozônio e aerossóis.
Oceano	Temperatura da superfície do mar; salinidade da superfície do mar; nível do mar.
Superfície	Temperatura da superfície terrestre, índice de vegetação, cobertura de gelo e geleiras; permafrost; albedo; umidade do solo e; focos de calor.

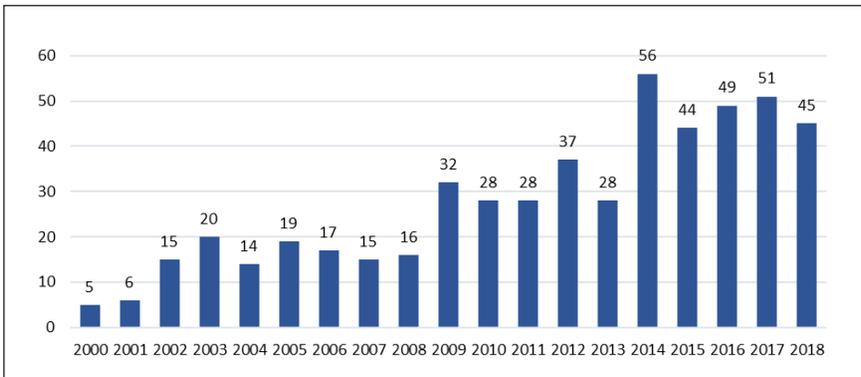
Fonte: Global Climate Observing Systems (2003).

Para analisar a inserção destas ferramentas em pesquisas na área de Climatologia Geográfica, especificamente, em estudos desenvolvidos no Cerrado brasileiro, foram consultadas duas importantes plataformas de divulgação científica: o conjunto de dados abertos da CAPES, onde constam informações sobre dissertações de mestrado e teses de doutorado defendidas no Brasil; e a Revista Brasileira de Climatologia, principal periódico de divulgação científica na área de Climatologia Geográfica no país.

Na base de dados abertos da CAPES foram consultadas dissertações e teses defendidas na área de Avaliação de Geografia (Área 36) entre os anos de 2000 a 2018, período em que foram defendidos 14.797 trabalhos de mestrado e doutorado em Geografia, nas universidades brasileiras. Foi realizada uma busca paramétrica nas palavras-chave e título destas teses e dissertações, considerando os termos “Clima” (ou variações como Climatologia, clima urbano, agroclimatologia, etc.), “Geotecnologia” (incluindo termos como SIG, Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto) e “Cerrado”, chegando a um total de 525 pesquisas, sendo 380 de mestrado e 145 de doutorado. Foram excluídos da busca, os campos que apresentaram problemas de preenchimento, como ausência de palavras-chave e/ou resumos.

Conforme observa-se no gráfico da Figura 1, o maior volume de pesquisas foi registrado após o ano de 2009, mas com números ainda mais significativos a partir de 2014. Este aumento coincidiu com um movimento de popularização do uso de ferramentas de Geotecnologias no Brasil, além da intensificação de estudos sobre Climatologia Geográfica. Embora tenha apresentado um aumento significativo, nota-se que apenas 3,5% das pesquisas de mestrado e doutorado desenvolvidas no Brasil, entre os anos de 2000 e 2018, apresentaram temas como Clima, Geotecnologia e Cerrado, em seus títulos e palavras-chave.

Figura 1 – Evolução temporal das pesquisas de pós-graduação desenvolvidas no Brasil que apresentaram termos como Clima, Geotecnologias e/ou Cerrados nas palavras-chave



Fonte: Autores (2020).

Entre as pesquisas que apresentaram o termo Clima (e derivados) nas palavras-chave, percebemos um predomínio de trabalhos que versam sobre Clima Urbano, Agroclimatologia ou Eventos Extremos. Na maioria das pesquisas, as Geotecnologias foram utilizadas apenas como ferramentas para a elaboração de mapas simples, como de localização de área de estudo, caracterização da área, ou na geração de mapas de suporte como isoietas e isoteramas, mas sem aprofundamento nas técnicas.

Apenas 27 pesquisas exibiram associações entre os termos Clima e Geotecnologias, sendo a primeira identificada no ano de 2004, referente

a dissertação de mestrado de Renata Sampaio da Silva, intitulada “Um método preliminar para elaboração de mapa de risco à saúde da população por contaminantes atmosféricos: o caso de São José dos Campos, SP”. O termo Sensoriamento Remoto associado à Climatologia apareceu pela primeira vez na pesquisa de mestrado de Alexandre Pistoia Saydelles em 2005, que tratava do clima urbano e foi intitulada de “Estudo do campo térmico e das ilhas de calor urbano de Santa Maria”.

A maioria das pesquisas desenvolvidas aborda as duas temáticas citadas: a aplicação de Geotecnologias (Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto) em estudos de campo térmico e ilhas de calor urbanas; e o uso de Geotecnologias na elaboração de zoneamentos e cartografia de síntese, relacionada a elementos climáticos.

A primeira pesquisa que apresentou uma relação mais intrínseca entre Geotecnologias e Climatologia Geográfica, entre as analisadas, foi apresentada em 2009, e trata-se do trabalho de doutorado desenvolvido por Jefferson Lordello Polizel, intitulado “Geotecnologias e clima urbano: aplicação dos recursos de Sensoriamento Remoto e sistema de informações geográficas na cidade de Piracicaba, SP”.

A partir de 2009, a associação entre Geotecnologias e Climatologia tornou-se mais frequente em pesquisas de mestrado e doutorado, das quais destacamos: a) Geotecnologias aplicadas ao estudo de precipitação e desmatamento na porção Sul da Amazônia, pesquisa de mestrado defendida em 2011, por Ian Marins Seixas; b) Emprego de técnicas de Sensoriamento Remoto e de Geoprocessamento na análise multitemporal do fenômeno das ilhas de calor no município de Goiânia, GO (1986/2010), pesquisa de mestrado defendida em 2011, por Diego Tarley Ferreira Nascimento; c) Balanço de energia e evapotranspiração na cidade do Recife (PE) por Sensoriamento Remoto, pesquisa de doutorado defendida em 2014, por Elves Bergue Mariz Moreira; d) Uso de dados do Sensor MODIS/AQUA e do Algoritmo SEBAL para estimativa de evapotranspiração real na bacia do Rio Paranaíba, pesquisa de doutorado defendida em 2015, por Alécio Perini Martins; e) Classificação de potenciais unidades climáticas em Presidente Prudente (SP), pesquisa de mestrado defendida em 2015, por Renata dos Santos Cardoso;

f) A relação entre a temperatura radiométrica de superfície (*land surface temperature-lst*), índice de vegetação (*normalized difference vegetation index-ndvi*) e os diferentes padrões de uso da terra do município de São Paulo (SP), pesquisa de mestrado defendida em 2015, por Bruna Luiza Pereira de Jesus; g) Análise têmporo-espacial da relação entre a cobertura do solo e a temperatura de superfície na cidade de Teresina (PI) mediante o uso de geoprocessamento, pesquisa de mestrado defendida em 2016, por Geovane da Silva Abreu; h) Zoneamento de risco climático do cultivo da nogueira pecã (*Carya illinoensis*) para o Rio Grande do Sul, pesquisa de doutorado defendida em 2016, por Franciele Francisca Marmentini Rovani; i) Chuvas no estado de Goiás e no Distrito Federal a partir de estimativas por satélite e circulação atmosférica, pesquisa de doutorado defendida em 2016, por Diego Tarley Ferreira Nascimento; j) Modelagem e identificação de ilhas de calor em Ubá (MG), pesquisa de mestrado defendida em 2018, por Yan Carlos Gomes Vianna.

Quando analisada, a associação entre os termos Clima e Cerrado, excluindo pesquisas que foram desenvolvidas em localidades no Cerrado, mas com pouca ou nenhuma associação à dinâmica climática do domínio, foram identificadas 15 pesquisas de mestrado e doutorado, indicando que esta é uma temática que ainda carece de investimento em investigações.

A grande maioria das pesquisas que apresentaram o termo Cerrado em seus títulos e/ou palavras-chave, versa sobre temas como ocupação territorial, desmatamento, povos tradicionais, políticas públicas de desenvolvimento, entre outros. Quando associado às Geotecnologias, predominam temas, como monitoramento de desmatamento, mudanças nas categorias de uso e cobertura do solo, incêndios florestais e zoneamentos.

Os primeiros trabalhos a fazer associação entre Clima e Cerrado foram duas teses de doutorado defendidas em 2002, na área de Agroclimatologia: a) Clima e produtividade de soja nas terras de Cerrado do Sudeste de Mato Grosso, de autoria de Jeater Waldemar

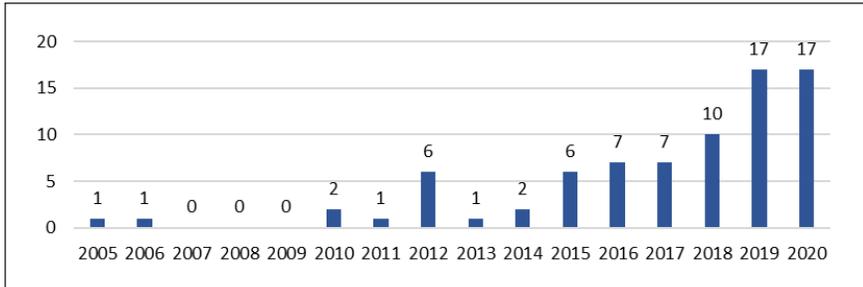
Maciel Correa Santos; e b) Climatologia da cafeicultura irrigada no município de Araguari (MG), de autoria de Washington Luiz Assunção.

Não foram encontradas no banco de dissertações e teses da CAPES, pesquisas defendidas na área de avaliação 36 (Geografia) que tratem especificamente sobre a aplicação de ferramentas de Geotecnologias para estudos climáticos no Cerrado, demonstrando assim, ser esta uma área com grande potencial a ser explorado. Apresenta-se como complementação de referência, a tese defendida em 2018, por Cristiano Alves da Silva, intitulada “Precipitações no Cerrado: análise da variabilidade pluviométrica e influência do fenômeno El Niño Oscilação Sul”, e a tese defendida em 2019, por Giuliano Tostes Novais intitulada “Classificação climática aplicada ao bioma Cerrado”.

Após pesquisa no banco de dados abertos da CAPES, foi realizada pesquisa bibliográfica paramétrica na principal publicação periódica da área de Climatologia Geográfica do Brasil, a Revista Brasileira de Climatologia. Por se tratar de uma revista especializada, o termo Clima foi retirado dos parâmetros de busca, assim como seus derivados, Climatologia, clima urbano, Agroclimatologia, riscos climáticos, entre outros. Nesta etapa, as buscas foram centradas nos seguintes termos: Geotecnologias, Geoinformação, Geoprocessamento, Sensoriamento Remoto, Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e Cerrado.

Desde seu primeiro volume publicado em 2005, foram encontrados 78 artigos, com pelo menos uma das palavras-chave listadas, com textos aparecendo nas buscas de até quatro termos. O maior volume de artigos que apresentaram uso de Geotecnologias em sua construção foi registrado a partir de 2015 (Figura 2), com destaque aos termos Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento como os que mais se repetiram, com 49 e 33 ocorrências, respectivamente. A maioria dos textos apresentou resultados de pesquisas que fizeram uso de ferramentas de Geotecnologias para espacialização de dados climáticos (sobretudo, temperatura e precipitação) ou para extração de informações e modelagem, a partir de imagens de Sensoriamento Remoto.

Figura 2 – Evolução temporal de artigos publicados na Revista Brasileira de Climatologia que apresentaram termos como Geotecnologias, Geoinformação, Geoprocessamento, Sensoriamento Remoto, SIG e/ou Cerrado, nas palavras-chave



Fonte: Autores (2020).

Um ponto importante que deve ser analisado, é que parte destes artigos não foram elaborados por geógrafos ou em Programas de Pós-Graduação em Geografia, como na pesquisa realizada nos dados abertos da CAPES, mas por profissionais das áreas de Ciências Ambientais, Engenharia Ambiental, Engenharia Florestal, Meteorologia, entre outros, considerando que o periódico apresenta *qualis* A2, na área de Ciências Ambientais.

Entre os artigos publicados até 2015, que apresentaram três ou quatro termos utilizados na busca, destacam-se: a) Caracterização espacial da temperatura no estado de Goiás e no Distrito Federal, publicado no volume 11 (2012), de autoria de Murilo Raphael Dias Cardoso, Francisco Fernando Noronha Marcuzzo e Juliana Ramalho Barros; b) Classificação de ambientes termicamente homogêneos para estudos de clima na camada do dossel urbano: metodologia e aplicação à cidade de Pelotas (RS), publicado no volume 9 (2011), de autoria de Erika Collischonn e Gil Passos de Mattos; c) O uso de produtos orbitais para a parametrização de processos físicos em modelos numéricos regionais e suas alterações climatológicas, publicado no volume 11 (2012), de autoria de Gabriel Pereira, Maria Elisa Siqueira Silva e Elisabete Caria Moraes; d) Metodologia para classificação de zoneamento agroclimatológico, publicado no volume 15 (2015), de autoria de Alixandre Sanquetta Laporti Luppi,

Alexandre Rosa Santos, Fernando Coelho Eugênio, Rosembergue Bragança, João Batista Esteves Pelúzio, Raphael Lima Dalfi e Rosane Gomes Silva; e) Determinação de padrões de chuva crítica para ocorrência de alagamentos em Curitiba (PR) utilizando rede neural artificial SOM (*Self Organizing Map*), publicado no volume 17 (2015), de autoria de Marciel Lohmann e Leonardo José Cordeiro Santos.

Entre os artigos publicados após 2015, período com maior volume de uso de Geotecnologias nas pesquisas e que apresentaram três ou quatro termos utilizados na busca, salientam-se: a) Avaliação estatística entre as estimativas de precipitação da constelação GPM com TRMM: uma análise da bacia hidrográfica do Rio Solimões, publicado no volume 18 (2016), de autoria de Edivaldo Afonso de Oliveira Serrão, Romero Thiago Sobrinho Wanzeler, Cleber Assis Santos, Layrson de Jesus Menezes Gonçalves, Alines Maria Meiguins de Lima e Edson José Paulino da Rocha; b) Procedimentos metodológicos para análise das ilhas de calor em cidades de pequeno e médio porte, publicado no volume 21 (2017), de autoria de Gislene Figueiredo Ortiz Porangaba, Danielle Cardozo Frasca Teixeira e Margarete Cristiane da Costa Trindade Amorim; c) Impacto do aumento da concentração atmosférica de CO₂ no balanço hídrico climatológico do Cerrado, publicado no volume 21 (2017), de autoria de Tammy Caroline Lima de Jesus, Mônica Carneiro Alves Senna, Márcio Cataldi, Célia Maria Paiva e Barbara Franz; d) Comparação de dados estimados pelo método da ponderação regional (PR) e dados estimados pelo TRMM para o preenchimento de falhas de precipitação na bacia hidrográfica do Rio Pajeú, publicado no volume 22 (2018), de autoria de Caio César Farias Diaz, João Antonio dos Santos Pereira e Ranyere Silva Nóbrega; e) Zoneamento térmico e suas correlações associadas aos padrões de uso e ocupação da terra da região urbana centro em Juiz de Fora (MG), publicado no volume 22 (2018), de autoria de Débora Couto Assis e Cássia Castro Martins Ferreira; f) Avaliação de métodos de interpolação para espacialização de dados de temperatura do ar na bacia do Rio Paranaíba, Brasil, publicado no volume 25 (2019), de autoria de Alécio Perini Martins, Wellmo dos Santos Alves e Carlos Eduardo Damasceno; g) Variação da

temperatura da superfície através de imagens ASTER em zonas climáticas locais da cidade de Cuiabá, Brasil, publicado no volume 26 (2020), de autoria de Hugo Vilela Lemos Ferreira e José Carlos Ugeda Júnior.

Destaca-se, especialmente, o texto de referência publicado pela prof^a. dra. Denise Maria Sette da Universidade Federal do Mato Grosso (Campus Rondonópolis) no primeiro volume da revista em 2005, intitulado “Os climas do Cerrado do Centro-Oeste”.

No tópico que se segue, foi realizada uma síntese com os fundamentos teóricos-metodológicos e com as mais significativas aplicações do Sensoriamento Remoto na área da Climatologia.

Sensoriamento remoto aplicado em estudos climatológicos

O Sensoriamento Remoto no infravermelho termal, compreendido entre o intervalo de 8 a 14 μ m do espectro eletromagnético, é fundamentado no princípio de que todo objeto e superfície que possua temperatura acima do zero absoluto (0 K) emitem energia eletromagnética. Entretanto, alguns sensores remotos têm a capacidade de detectar a radiação em ondas longas, emitidas na faixa do infravermelho termal, assim considerada, por acontecer nesta faixa a detecção da radiação emitida pelos objetos, cujos valores variam em função de sua temperatura (STEINKE; STEINKE; SAITO, 2004).

Ao considerar tal característica dos sensores, e o estipulado pela Lei de Plank, segundo a qual “quanto maior a temperatura de um dado comportamento de onda, maior será a quantidade de energia emitida por um corpo negro” (BIAS; BAPTISTA; LOMBARDO, 2003, p. 1.742), pode ser possível levantar a temperatura de determinado local ou objeto, por meio da transformação dos níveis de cinza das imagens termais em valores de temperatura aparente, baseando-se, para isso, na aplicação de um algoritmo.

Jensen (2007) destaca os satélites pioneiros na aplicação de dados do infravermelho termal, como o U.S. *Television IR Operation Satellite* (TIROS), desenvolvido na década de 1960, com resolução grosseria,

usado no monitoramento de padrões regionais de nuvens e movimento de frentes. Ainda conforme este mesmo autor, os primeiros estudos dedicados especificamente ao levantamento de valores de temperatura da superfície em escala regional e local, valeram-se de satélites de baixa resolução espacial, como os da família NOAA – *National Oceanic and Atmospheric Administration* (Sensor AHVRR, com 1km de resolução espacial), utilizados, por exemplo, nos trabalhos de Lombardo (1985), Paiva (2005) e Gusso, Fontana e Gonçalves (2007).

Contudo, as últimas décadas verificaram uma gigantesca evolução do Sensoriamento Remoto, consubstanciado pela evolução dos sistemas orbitais, essencialmente no que diz respeito à resolução espacial e/ou espectral, e também na disponibilidade de imagens. Essa evolução tecnológica possibilitou um maior emprego de dados obtidos em estudos sobre as características térmicas superficiais por diferentes sensores remotos, como, por exemplo, os sensores MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) e ASTER (*Advanced SpaceBorne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), ambos a bordo do satélite TERRA; o IRMSS, a bordo do CBERS; e os sensores TM, ETM+ e TIRS, ambos dos satélites da série *Landsat*.

Quanto aos estudos sobre precipitação, Petty (1995) e Kidd (2001) afirmam que este é o parâmetro climático de mais difícil mensuração, por apresentar grande variabilidade espacial e temporal. Os autores complementam que os totais pluviométricos podem apresentar grande variação em curtas distâncias, se tornando assim, praticamente impossível de ser averiguada por uma rede rarefeita de estações meteorológicas. Realidade esta existente em grande extensão do território brasileiro, principalmente, nas regiões Centro-Oeste e Norte.

Além da coleta pontual por tradicionais pluviômetros e pluviógrafos, dados e imagens meteorológicas referentes a precipitação podem ser fornecidos por sistemas de “*Radio Detection And Ranging*”, desenvolvidos a partir da década de 1970, comumente nominado pela sigla RADAR. Os Radares operam na faixa das micro-ondas do espectro eletromagnético e se baseiam em uma forma de sensoriamento remoto ativo, ou seja, que não aproveitam a radiação solar como fonte de

energia, mas utilizam de energia emitida do próprio equipamento, que sofre interação (reflexão) com as gotículas de água na atmosfera e registram a localização e a intensidade de eventos pluviométricos.

O sistema de mensuração de precipitação por radar apresenta grande vantagem quando comparado ao registro por estações meteorológicas, por ser capaz de “*estimates of precipitation are often made over wide areas*” (KIDD, 2001, p. 1.043). Contudo, a distribuição global dos sistemas de radares se apresenta tão ou mais rarefeita que a de estações meteorológicas, certamente em razão do alto custo para instalação e manutenção (KIDD, 2001).

Não obstante, outro método alternativo para a inexistência de uma rede de estações e radares meteorológicos suficiente para a representação da variabilidade espacial das chuvas é a estimativa de precipitação por satélite. Os principais métodos de estimativa de precipitação por satélite se valem das informações na faixa do visível (0,3 a 0,6 μm), infravermelho (0,6 a 14,0 μm) e micro-ondas passivas ou ativas (MOL, 2005; MICHAELIDES *et al.*, 2009). No visível, a estimativa de precipitação é feita com base na mensuração do brilho (refletância) do topo das nuvens, que é indicativo de sua espessura e é capaz de ser relacionável com a tendência de chuva. Por sua vez, no infravermelho, a estimativa é realizada com base na temperatura de brilho do topo das nuvens, que é relacionada com sua altura e espessura, e passível de ser traduzida na probabilidade de chuva (QUIROZ JIMÉNEZ, 2011).

Contudo, Quiroz Jiménez (2011, p. 14) destaca algumas limitações da estimativa de precipitação na faixa do visível e infravermelho, uma vez que “a radiação detectada pelos sensores vem do topo das nuvens e não abaixo destas, onde são produzidas as precipitações”. Mol (2005) ainda complementa que:

Essa relação assume que a altura das nuvens está relacionada com a espessura das mesmas, uma suposição que funciona razoavelmente bem para nuvens convectivas, mas é problemática para nuvens nimbustratus, em que a lâmina precipitada costuma ser subestimada pelos valores relativamente altos de

temperatura do topo e as não precipitáveis nuvens cirrus, que podem ser identificadas como nuvens precipitáveis devido à sua baixa temperatura do topo (SCOFIELD; KULIGOWSKI, 2003, *apud* MOL, 2005, p. 17-18).

Técnicas mais atuais valem-se de múltiplas porções da faixa espectral (visível, infravermelho e micro-ondas) e até mesmo de sensores, para a estimativa de precipitação. Quiroz Jiménez (2011) aponta que essa abordagem permite combinar distintos sensores e diversas faixas espectrais de modo a fornecer melhores estimativas de precipitação.

Fensterseifer (2013) destaca como principais satélites disponíveis para estimativas de precipitação o *Geostationary Operational Environmental Satellite* (GOES), *Meteorological Satellite* (METEOSAT), *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), *Geostationary Meteorological Satellite* (GMS), *Defense Meteorological Satellite Program* (DMSP) e o *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM).

Além da precipitação, outro componente fundamental do ciclo hidrológico pode ser mensurado a partir da modelagem espacial utilizando imagens de Sensoriamento Remoto: a evapotranspiração. Trata-se de um termo coletivo que inclui a evaporação da umidade presente em superfícies vivas (transpiração) e a evaporação dos corpos d'água e do solo, sendo usado para descrever a perda de água da superfície da Terra para a atmosfera (LIOU; KAR, 2014). Entre os principais condicionantes deste processo estão a energia solar, as características de uso e cobertura da terra e a demanda atmosférica, controlada pelo poder evaporante do ar (PEREIRA; SEDIYAMA; VILLA NOVA, 2013).

Em áreas savânicas, marcadas pela forte sazonalidade e com chuvas concentradas entre outubro e abril, como é o caso do Cerrado brasileiro, tais elementos merecem atenção, considerando que o período seco prolongado aumenta a demanda atmosférica e produz cenários com umidade relativa com extremos chegando a 11% (NASCIMENTO; LIMA; CRUZ, 2019). Além disso, os intensos processos de mudança de uso e cobertura da terra tendem a criar um ambiente ainda mais

seco, sobretudo, pela conversão da vegetação natural em zonas de produção agropecuária.

Desde o final da década de 1990, pesquisadores têm se dedicado a desenvolver modelos e técnicas capazes de mensurar e estimar eventos que alteram as características ambientais naturais e, conseqüentemente o clima do planeta, além de prever cenários futuros que indiquem planos de ação para minimizar, conter e/ou sanar os impactos causados pelas atividades humanas. Entre estes modelos está o *Surface Energy Balance Algorithms of Land* (SEBAL), proposto por Bastiaanssen (1995), especificamente para estudar os fluxos de calor no solo e estimar a evapotranspiração em regiões onde não existem dados meteorológicos consistentes.

O SEBAL vem sendo utilizado por vários pesquisadores no mundo todo para diversos agrossistemas, destacando os estudos de Bastiaanssen (1995, 2000), Bastiaanssen *et al.* (1998), Allen *et al.* (2002), Ahmad e Bastiaanssen (2003), Ayenew (2003), Hemakumara *et al.* (2003), Tasumi *et al.* (2005), Giacomoni (2005, 2008), Bezerra (2006, 2008) Kongo e Jewitt (2006), Kimura *et al.* (2007), Mendonça (2007), Nicácio (2008), Mendonça *et al.* (2009), Gomes (2009), Li e Zhao (2010), Sun *et al.* (2011), Ruhoff (2011), Leite (2011), Uda (2012), Martins (2015), entre outros.

Liou e Kar (2014), ao compararem diversos modelos para a estimativa da evapotranspiração indicam que a maior vantagem do SEBAL está na pouca dependência sobre dados de superfície e calibração interna automática dentro de cada cena analisada. Ainda segundo os autores, o SEBAL foi testado sob várias condições climáticas, com precisão em escala de campo de 85% e 95% nas escalas diária e sazonal, sendo desta forma, mais adequado para estudos em escala regional.

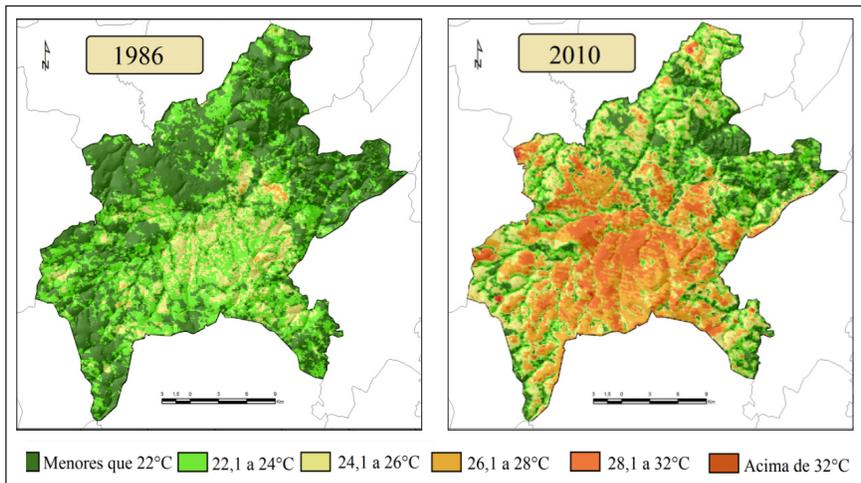
A escala dos resultados está relacionada ao tamanho do pixel da imagem de satélite, sendo que estudos em áreas com usos da terra e coberturas vegetais heterogêneas requerem imagens com resoluções espaciais maiores. Bastiaanssen (2000), ao correlacionar estimativas do SEBAL com medições de campo, apontou um erro relativo na fração evaporativa de 20% na escala de 1:100.000 e 10% na escala de 1:500.000.

Exemplos de estudos climatológicos realizados no Cerrado brasileiro sob o aporte do sensoriamento remoto e do geoprocessamento

Fazendo uso de imagens do Satélite *Landsat 5*, Sensor TM, com 30m de resolução espacial, Nascimento (2011) realizou uma análise da dinâmica das ilhas de calor no município de Goiânia, capital do estado de Goiás, que se situa na área core do Cerrado, sintetizada em publicação posterior (NASCIMENTO; OLIVEIRA, 2012b), com procedimentos metodológicos melhor discriminados em Nascimento e Oliveira (2012a).

Com base nos dados e nas análises realizadas pelo autor, constatou-se que as temperaturas superficiais terrestres apresentam um evidente padrão de variação espacial e, sobretudo, temporal, conforme as diferentes coberturas do solo (Figura 3).

Figura 3 – Dinâmica da temperatura de superfície terrestre entre 1986 e 2010, em Goiânia (GO)



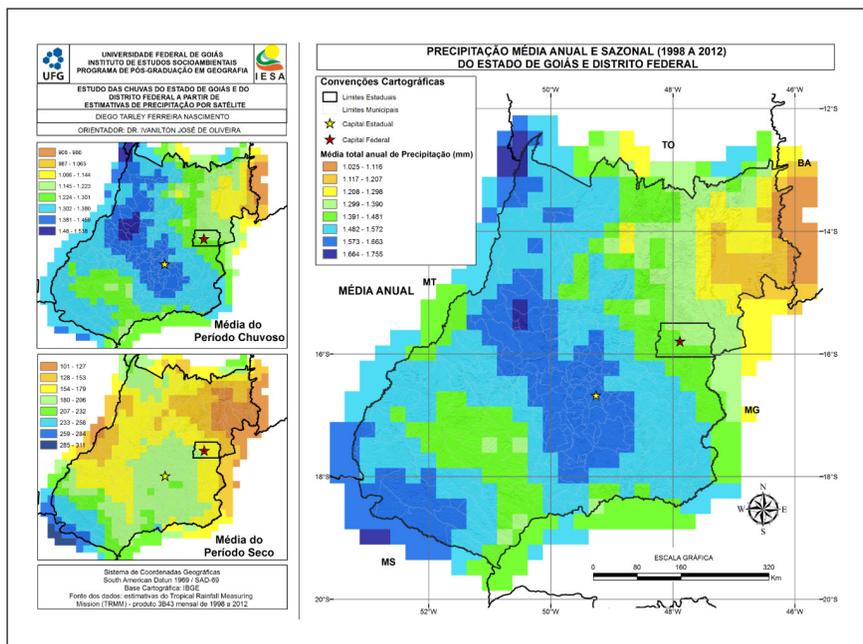
Fonte: Adaptado de Nascimento (2011).

Enquanto as temperaturas mais elevadas ocorrem em maior proporção sobre as áreas urbanizadas, as temperaturas mais brandas são mais registradas próximas às áreas revestidas por cobertura vegetal e corpos hídricos. Na variação temporal, as áreas urbanizadas apresentam maior variação positiva da participação de valores elevados de TST, concomitante à diminuição da presença de valores baixos. Isso demonstra o quanto essas áreas são as mais afetadas pela intensificação do fenômeno das ilhas de calor. Ao mesmo tempo em que se constata o papel significativo das áreas verdes e dos corpos d'água, como elementos eficazes na atenuação desse problema.

Ao buscar prover o estudo das chuvas no estado de Goiás e no Distrito Federal, Nascimento (2016) empregou estimativas satelitárias de precipitação do TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) compreendendo a série temporal de 1998 a 2012 (15 anos). Inicialmente, o estudo das chuvas foi realizado em uma análise quantitativa da média anual, sazonal e mensal de precipitação de toda série temporal disponível (1998 a 2012), de acordo com o exemplificado pela Figura 4.

Em um segundo momento, o estudo das chuvas foi amparado na análise qualitativa dos recortes amostrais do regime habitual e excepcional das chuvas, considerando os anos de 2011 (habitual), 2007 (seco) e 2009 (chuvoso), que foi melhor sintetizado em Nascimento e Oliveira (2018). Em ambos os trabalhos, o autor evidenciou que a distribuição espacial da precipitação proporcionada pelas estimativas satelitárias reflete bem a influência dos compartimentos topográficos na entrada e no deslocamento, ou mesmo como barreira, ao avanço dos sistemas atmosféricos produtores de chuva na região.

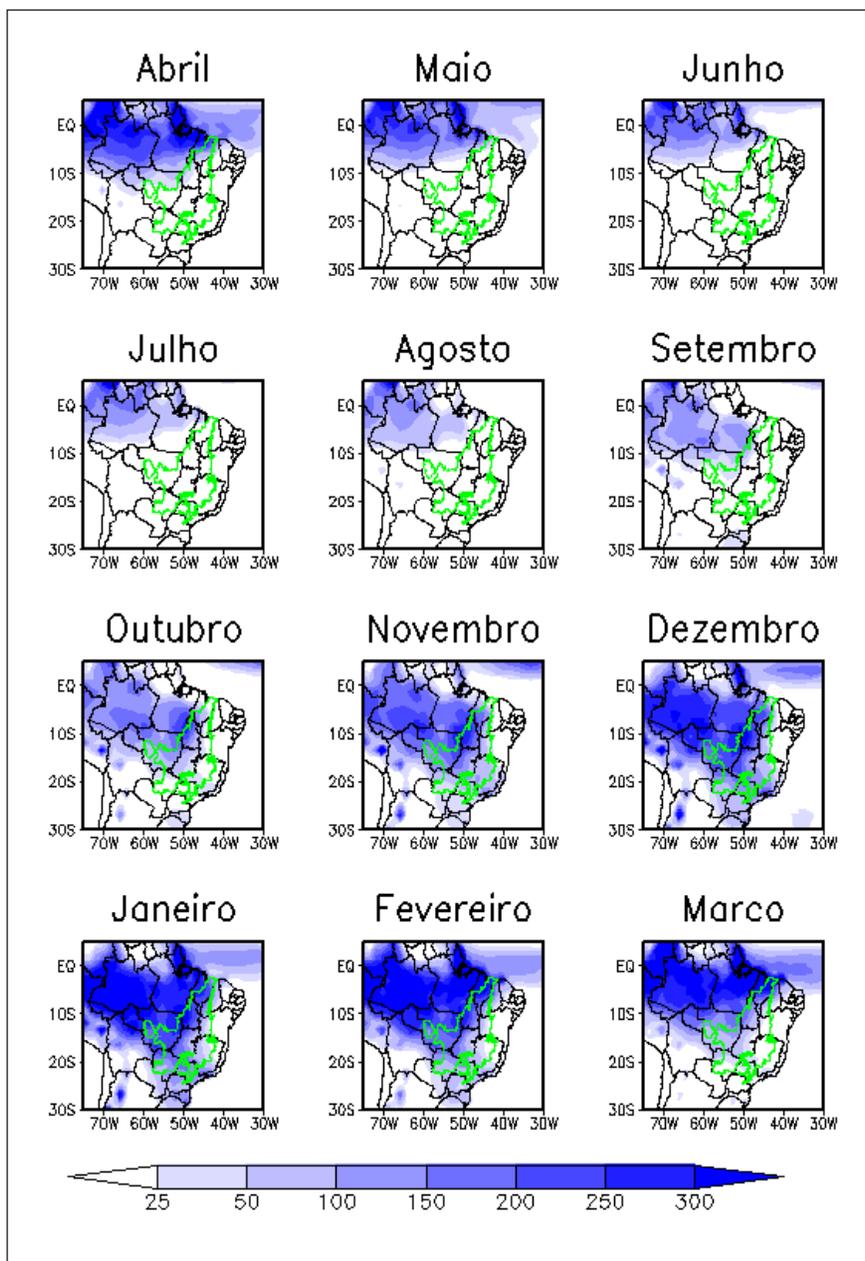
Figura 4 – Precipitação média anual (mm) de Goiás e do Distrito Federal (1998 a 2012)



Fonte: Nascimento (2016).

Farias (2016) também fez uso de estimativas satelitárias de precipitação, porém, referentes ao bioma Cerrado. Todavia, a autora empregou dados de reanálises de precipitação total oriundas do projeto ERA-Interim (BERRISFORD *et al.*, 2011; DEE *et al.*, 2011), de 1982 a 2012 (30 anos). Os dados de reanálise reforçaram a sazonalidade marcante do bioma, de um período seco (abril a setembro) que se alterna com um chuvoso (outubro a março), como ilustrado na Figura 5.

Figura 5 – Climatologia mensal da precipitação acumulada no Cerrado relativa ao período de 1982 a 2012

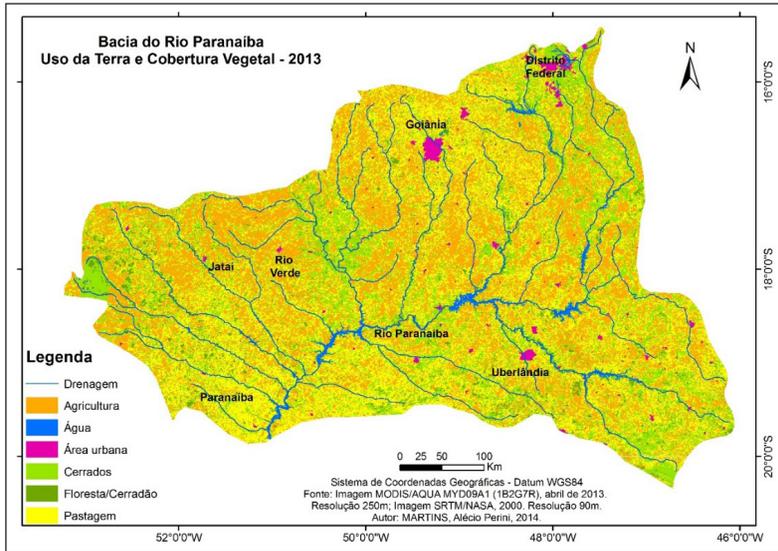


Fonte: Farias (2016).

Considerando a fração do ciclo hidrológico correspondente à evapotranspiração real, Martins (2015) apresentou estudo desenvolvido na Bacia do Rio Paranaíba (que drena áreas de Cerrado nos estados de Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Distrito Federal) a partir de imagens do Sensor MODIS/AQUA e do Algoritmo SEBAL para o ano de 2013. Segundo o autor, foram registradas médias diárias de evapotranspiração de 3,40 mm para a área de estudo, com variação sazonal de 5,74 mm/dia no mês de novembro de 2013 (início do período chuvoso) a 1,35 mm no mês de outubro de 2013 (final do período seco). As variações mais significativas foram observadas quando consideradas as categorias de uso e cobertura da terra na bacia, identificando assim, valores médios de evapotranspiração de 5,83 mm/dia em corpos hídricos e de 5,15 mm/dia em formações florestais (superfícies de baixo albedo); e de 1,81mm/dia em superfícies de solo descoberto e 3,38 mm/dia em pastagens (alto e médio albedo).

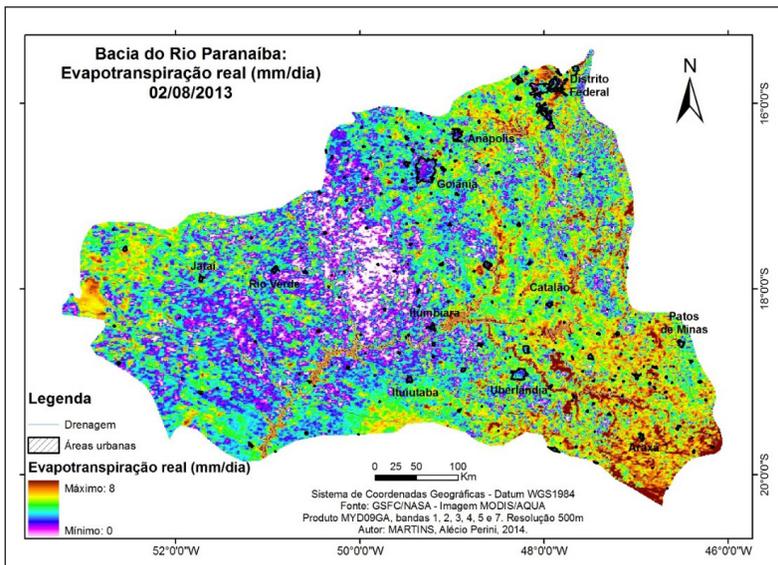
Nas Figuras 6 e 7 é possível observar a variação espacial da evapotranspiração diária estimada considerando as categorias de uso e cobertura da terra na Bacia do Rio Paranaíba. Os autores indicaram que as mudanças nas categorias de uso e cobertura da terra alteram o balanço de energia e, portanto, a evapotranspiração, assinalando indícios de mudanças significativas no ciclo hidrológico local e regional.

Figura 6 – Uso e cobertura da terra (2013) na Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba



Fonte: Martins (2015).

Figura 7 – Evapotranspiração real estimada (em mm/dia) para o dia 02 de agosto de 2013, na Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba



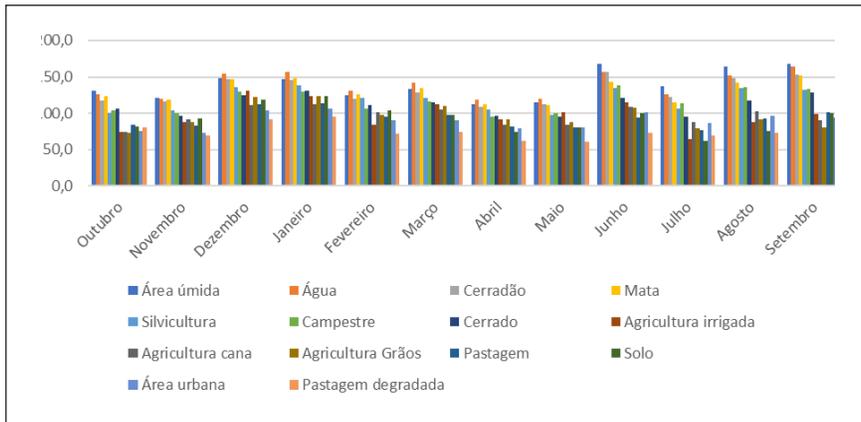
Fonte: Martins (2015).

Martins e Galvani (2020), ao utilizarem o Algoritmo SEBAL e imagens dos sensores OLI e TIRS do Satélite *Landsat 8* para estimar a evapotranspiração real em diferentes bacias hidrográficas situadas no Cerrado brasileiro, indicaram uma variação diária de evapotranspiração real sazonal para a cidade de Jataí (GO) entre 7,08 mm/dia (dezembro de 2018) e 3,66 mm/dia (maio de 2018), com correlação entre valores estimados e de referência de 0,86 e índice de desempenho D (Willmott *et al.*, 1985) de 0,96, considerado como ótimo.

Neste estudo, as estimativas apresentaram erro quadrático médio entre evapotranspiração real estimada e evapotranspiração de referência de apenas 0,23 mm/dia, comprovando deste modo, a eficiência do modelo e o ótimo desempenho no uso de imagens satelitárias para a estimativa da evapotranspiração.

Os autores determinaram, ainda, que a conversão de áreas de Cerrado Típico (*Stricto Sensu*) e formações campestres em áreas agrícolas e de pastagens reduzem a ETr anual, respectivamente, em 14% e 17%. Considerando áreas com formação florestal (Cerradão e matas ciliares e de galeria), essa redução seria na ordem de 27% e 29,5%. No gráfico da Figura 8, é possível observar a distribuição da evapotranspiração real mensal por categoria de uso e cobertura da terra em sete bacias hidrográficas do Cerrado brasileiro, de outubro de 2018 a setembro de 2019.

Figura 8 – Distribuição da ETr por categoria de uso e cobertura da terra em sete bacias hidrográficas do Cerrado brasileiro, de outubro de 2018 a setembro de 2019, organizadas em valores decrescentes



Fonte: Martins e Galvani (2020).

Considerações finais: avanços e perspectivas da pesquisa para o Cerrado brasileiro

Ao analisar o potencial de aplicação das Geotecnologias em estudos na área de Climatologia Geográfica, o Sensoriamento Remoto e o Geoprocessamento (em especial, os Sistemas de Informação Geográfica) despontam como as técnicas mais promissoras. No campo do Sensoriamento Remoto, existe um considerável número de sensores capazes de identificar, da formação de nuvens e dinâmica de massas de ar até a ocorrência das ilhas de calor em superfície. De forma associada, o Geoprocessamento disponibiliza uma série de *softwares* e metodologias que permitem o processamento das imagens de sensoriamento remoto e dados coletados em superfície, por meio de modelos numéricos capazes de mensurar e/ou estimar diversos fatores/elementos climáticos, elaborar cartografias de síntese, como classificações e zoneamentos climáticos, entre outras possibilidades.

Quando analisadas as dissertações de mestrado e teses de doutorado em Geografia defendidas no Brasil entre os anos de 2000 e 2018,

constata-se que apenas 525 das 14.797 pesquisas apresentaram em seus títulos e palavras-chave, os termos “Clima” (e derivados), “Geotecnologias” (e termos associados) e “Cerrado”. Destas, a maior parte tratou de temas ligados ao clima urbano (com predomínio de trabalhos sobre ilhas de calor ou relacionando clima e saúde) e à construção de cartografias de síntese como espacialização de dados de temperatura e precipitação, e zoneamentos.

Das 525 pesquisas selecionadas, apenas 15 versaram especificamente sobre o clima do Cerrado, sendo raras, as ocasiões em que foram empregadas ferramentas de Geotecnologias. Ao considerar estritamente o uso de Geotecnologias como ferramentas base em estudos climatológicos, foram identificadas 27 pesquisas de mestrado e doutorado. Estes dados demonstraram um vasto e importante campo de pesquisa a ser explorado por pesquisadores da área de Climatologia Geográfica, visto que as características físicas, ambientais, sociais e culturais do Cerrado brasileiro apresentam relação intrínseca com o clima, e com as transformações ocorridas neste domínio nos últimos 70 anos.

Referências

- AHMAD, M.; BASTIAANSEN, W. G. M. Retrieving soil moisture storage in the unsaturated zone using satellite imagery and bi-annual phreatic surface fluctuations. **Irrigation and Drainage Systems**, v. 17, p. 141-161, 2003.
- ALLEN, R. G. *et al.* **SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land) advanced training and user's manual** – Idaho implementation. Idaho: Idaho University, USA, 2002. p. 98.
- AYENEW, T. Evapotranspiration estimation using thematic mapper spectral satellite data in the Ethiopian rift and adjacent highlands. **Journal of Hydrology**, v. 279, p. 83-93, 2003.
- BASTIAANSEN, W. G. M. **Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain**. 237 f. Tese (PhD) – Wageningen Agricultural University, Wageningen, Netherlands, 1995.
- BASTIAANSEN, W. G. M. *et al.* A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 2. Validation. **Journal of Hydrology**, v. 212-213, p. 213-229, 1998.

BASTIAANSEN, W. G. M. SEBAL – based sensible and latent heat flux in the irrigated Gediz basin, Turkey. **Journal of Hydrology**, v. 229, p. 87-100, 2000.

BERRISFORD, P.; DEE, D.; POLI, P.; BRUGGE, R.; FIELDING, K.; FUENTES, M.; KALLBERG, P.; KOBAYASHI, S.; UPPALA, S.; SIMMONS, A. The ERA-interim archive. Version 2.0. ERA report series. Disponível em: <http://www.ecmwf.int/publications/library/ecpublications/>.

BEZERRA, B. G. **Balço de energia e evapotranspiração em áreas com diferentes tipos de cobertura de solo no Cariri cearense através do Algoritmo SEBAL**. Dissertação – UFCG, Campina Grande, PB, 2006.

BEZERRA, B. G.; SILVA, B. B.; FERREIRA, N. J. Estimativa da evapotranspiração real diária utilizando-se imagens digitais TM-Landsat 5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 3, p. 305-317, 2008.

BIAS, E. de S.; BAPTISTA, C. M. de M.; LOMBARDO, M. A. Análise do fenômeno de ilhas de calor urbanas, por meio da combinação de dados Landsat e Ikonos. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11, 2003, Belo Horizonte. **Anais XI SBSR**, Belo Horizonte, p. 1.741-1.748, 2003.

BLASCHKE, T.; GLÄSSER, C.; LANG, S. Processamento de imagens num ambiente integrado SIG/Sensoriamento Remoto – tendências e consequências. In: BLASCHKE, T.; KUX, H. **Sensoriamento Remoto e SIG Avançados**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. p. 11-18.

CARVALHO, J. R. P. de; ASSAD, E. D. Análise espacial da precipitação pluviométrica no estado de São Paulo: comparação de métodos de interpolação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, SP, v. 25, p. 377-384, 2005.

CARVALHO, J. R. P. de; ASSAD, E. D.; PINTO, H. S. Interpoladores geoestatísticos na análise da distribuição espacial da precipitação anual e de sua relação com altitude. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 47, p. 1.235-1.242, 2012.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 2000. p. 236.

COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR (CAPES). **Dados abertos**. Disponível em: <https://dadosabertos.capes.gov.br/>. Acesso em: 03 set. 2020.

CUNHA, A. de M. *et al.* Espacialização da precipitação pluvial por meio de krigagem e cokrigagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 48, n. 9, p. 1.179-1.191, set., 2013.

- COLLISCHONN, B.; ALLASIA, D.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Desempenho do satélite TRMM na estimativa de precipitação sobre a Bacia do Paraguai superior. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 59, p. 93-99, 2007.
- DEE, D. P. *et al.* The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. **Q. J. R. Meteorology Soc.**, v. 137, p. 553-597, 2011.
- FARIAS, S. E. M. de. **Estimativas satelitárias de precipitação sobre o bioma Cerrado**. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.
- FENSTERSEIFER, C. A. **Qualidade das estimativas de precipitação derivadas de satélites na Bacia do Alto Jacuí, RS**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2013.
- FRANCO, A. C. L.; UDA, P. K. Comparação de métodos de espacialização da precipitação na Bacia do Alto Rio Negro, Santa Catarina. *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR*, 17, 25 a 29 abr. 2015, João Pessoa, PB. **Anais...** João Pessoa, PB: INPE, 2015. p. 3.052-3.058.
- GARDIMAN JÚNIOR, B. S. *et al.* Análise de técnicas de interpolação para espacialização da precipitação pluvial na bacia do Rio Itapemirim (ES). **Revista Ambiência**, Guarapuava, PR, v. 8, n. 1, p. 61– 71, 2012.
- GIACOMONI, H. M. **Estimativa da evapotranspiração regional por meio de técnicas de sensoriamento remoto integradas a modelos de balanço de energia**: aplicação no estado do Rio Grande do Sul. 193 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.
- GIACOMONI, H. M.; MENDES, C. A. B. Estimativa de evapotranspiração regional por meio de técnicas de Sensoriamento Remoto integradas a um modelo de balanço de energia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, n. 4, p. 33-42, out./dez., 2008.
- GLOBAL CLIMATE OBSERVING SYSTEMS. The second report on the adequacy of the global observing systems for climate in support of the UNFCCC. Rep. GCOS-82, WMO/TD, n. 1143, p. 74, 2003.
- GOMES, H. B. **Balanço de radiação e energia em áreas de cultivo de cana-de-açúcar e Cerrado no estado de São Paulo mediante imagens orbitais**. 108 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, 2009.
- GOOVAERTS, P. Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. **Journal of Hydrology**, v. 228, p. 113-129, 2000.

GUSSO, A.; FONTANA, D. C.; GONÇALVES, G. A. Mapeamento da temperatura da superfície terrestre com uso do sensor AVHRR/NOAA. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 2, p. 231-237, fev., 2007.

HEMAKUMARA, H. M. *et al.* Evapotranspiration fluxes over mixed vegetation areas measured from large aperture scintillometer. *In: Agricultural Water Management*, v. 58, p. 109-122, 2003.

KIDD, C. Satellite Rainfall Climatology: a review. **International Journal of Climatology**, v. 21, p. 1.041-1.066, 2001.

KIMURA, R. *et al.* Evapotranspiration estimation over the river basin of the Loess Plateau of China base on remote sensing. **Journal of Arid Environments**, v. 68, p. 53-65, 2007.

JENSEN, J. R. **Remote sensing of the environment an earth resource perspective**. 2. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2007. p. 592.

KONGO, V. M.; JEWITT, G. P. W. Preliminary investigation of catchment hydrology in response to agricultural water use innovations: a case study of the Potshini catchment – South Africa. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 31, p. 976-987, 2006.

LEITE, M. R. **Sensoriamento remoto aplicado à análise temporal da relação uso da terra/temperatura e albedo de superfície na Bacia do Rio Vieira no Norte de Minas Gerais**. 111 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, 2011.

LI, S.; WHENZI, Z. Satellite-based actual evapotranspiration estimation in the middle reach of the Heihe River Basin using the SEBAL method. *In: Hydrological Processes*, v. 24, p. 3.337-3.344, 2010.

LIOU, Y.; KAR, S. K. Evapotranspiration Estimation with Remote Sensing and Various Surface Energy Balance Algorithms – A Review. *In: Energies*, v. 7, p. 2.821-2.849, 2014.

LOMBARDO, M. A. **A ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Hucitec, 1985.

MARTINS, A. P. **Uso de dados do Sensor MODIS/AQUA e do Algoritmo SEBAL para estimativa da evapotranspiração real na Bacia do Rio Paranaíba**. 150 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2015.

MARTINS, A. P.; ALVES, W. S.; DAMASCENO, C. E. Avaliação de métodos de interpolação para espacialização de dados de temperatura do ar na Bacia do Rio Paranaíba, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, PR, v. 25, ano 15, p. 444-463, 2019.

MARTINS, A. P.; GALVANI, E. **Estimativa de evapotranspiração real em bacias hidrográficas do Cerrado brasileiro com diferentes características de uso e cobertura da terra**. Relatório (Final de Estágio Pós-Doutoral) – Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Universidade de São Paulo, 2020. Manuscrito não publicado.

MELLO, C. R. de; SILVA, A. M. da. Modelagem estatística da precipitação mensal e anual no período seco para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 13, p. 68-74, 2009.

MENDONÇA, J. C. **Estimação da evapotranspiração regional utilizando imagens digitais orbitais na região Norte Fluminense, RJ**. Tese – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil, 2007.

MENDONÇA, J. C. *et al.* Aplicação do Algoritmo SEBAL e imagens MODIS para estimativa do fluxo de calor no solo (G) na região Norte Fluminense, RJ, Brasil. *In: SBSR – Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 14, 2009, Natal, RN. **Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Natal: INPE, 2009. p. 293-300.

MICHAELIDES, S.; LEVIZZANI, V.; ANAGNOSTOU, E.; BAUER, P.; KASPARIS, T.; LANE, J. E. Precipitation: measurement, remote sensing, climatology and modeling. **Atmospheric Research**, v. 94, p. 512-533, 2009.

MOL, J. M. D. **Estimativa de precipitação por meio de Sensoriamento Remoto**. 2005. 88 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2005.

MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003. p. 192.

_____. **Chuvas no estado de Goiás e no Distrito Federal a partir de estimativas por satélite e circulação atmosférica**. 2016. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.

_____. **Emprego de técnicas de Sensoriamento Remoto e de Geoprocessamento na análise multitemporal do fenômeno de ilhas de calor no município de Goiânia, GO (1986/2010)**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Instituto de Estudos Socioambientais, 2010.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Tropical Rainfall Measuring Mission TRMM**. Senior Review Proposal. Greenbelt, MD, 2007

NASCIMENTO, D. T. F.; OLIVEIRA, I. J. de. Análise da evolução do fenômeno de ilhas de calor no município de Goiânia, GO (1986-2010). **Boletim Goiano de Geografia**, v. 31, p. 113-127, 2012.

_____. Fundamentos teóricos e roteiro metodológico para a obtenção de dados orbitais de temperatura de superfície aplicáveis no estudo de ilhas de calor. **Revista Geonorte**, v. 2, p. 1.339-1.351, 2012.

_____. Aplicação das estimativas de precipitação do *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) no estudo da pluviometria habitual e excepcional de Goiás e Distrito Federal. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 5, p. 1.664-1.679, 2018.

NASCIMENTO, D. T. F.; LIMA, L. V. V.; CRUZ, V. P. Episódios e gênese dos eventos climáticos extremos em Goiânia, GO. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, MG, v. 29, n. 57, p. 583-608, 2019.

NICÁCIO, R. M. **Evapotranspiração real e umidade do solo usando dados de sensores orbitais e a metodologia SEBAL na Bacia do Rio São Francisco**. 2008. 337 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.

PAIVA, C. M. **Estimativa do balanço de energia e da temperatura da superfície via Satélite NOAA-AVHRR**. Tese (Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

PEREIRA, A. R.; SEDIYAMA, G. C.; VILLA NOVA, N. A. **Evapotranspiração**. Campinas: Fundag, 2013. p. 323.

PETTY, G. W. The status of satellite-based rainfall estimation over land. **Remote Sens. Environ**, n. 51, p. 125-137, 1995.

QUIROZ JIMÉNEZ, K. **Modelagem hidrológica com uso da estimativa de chuvas por Sensoriamento Remoto**. 2011. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2011.

RUHOFF, A. L. **Sensoriamento Remoto aplicado à estimativa de evapotranspiração em biomas tropicais**. 1.850 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SILVA, K. R. *et al.* Interpolação espacial da precipitação no estado do Espírito Santo. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, RJ, v. 18, n. 4, p. 417-427, 2011.

STEINKE, E. T.; STEINKE, V. A.; SAITO, C. H. Avaliação da estimativa da temperatura de superfície a partir de imagens de Satélite *Landsat TM 5* voltada para a gestão de bacias hidrográficas. *In*: SAITO, C. H. (Org.). **Desenvolvimento**

tecnológico e metodológico para mediação entre usuários e comitês de bacia hidrográfica. Brasília: Departamento de Ecologia da Universidade de Brasília, 2004. p. 41-64.

SUN, Z. *et al.* Evapotranspiration estimation based on the SEBAL model in the Nansi Lake Wetland of China. *In: Mathematical and Computer Modelling*, v. 54, p. 1.086-1.092, 2011.

TASUMI, M. *et al.* Operational aspects of satellite based energy balance models for irrigated crops in the semi-arid U.S. **Irrigation and Drainage Systems**, v. 19, p. 355-376, 2005.

UDA, P. K. **Avaliação da evapotranspiração real da Bacia do Alto Rio Negro, região Sul brasileira, por meio do modelo SEBAL.** 163 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

VIOLA, M. R. *et al.* Métodos de interpolação espacial para o mapeamento da precipitação pluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 14, p. 970-978, 2010.

Teleconexões no Cerrado brasileiro

Carlos Batista da Silva
Camila Bertoletti Carpenedo

Resumo: Teleconexão é a conexão à distância, que descreve como as anomalias em uma determinada região estão relacionadas com as anomalias de regiões remotas. Assim, o objetivo deste capítulo foi o de analisar como as teleconexões afetam a precipitação pluvial no Cerrado brasileiro. Através de análise de correlação linear entre a precipitação pluvial e os índices climáticos, a teleconexão trópico-trópico (anomalias de temperatura da superfície do mar nas regiões do Niño) mostra que cada região do Niño e estação do ano de ocorrência influenciam de forma distinta as chuvas no Cerrado. A teleconexão trópico-subtrópico (Dipolo do Atlântico Sul) apresenta predomínio de correlações positivas nos estados mais ao Norte do Cerrado e correlações negativas (positivas) nos estados mais ao Sul, no inverno e primavera (verão e outono). Por fim, a teleconexão trópico-extratropical (Modo Anular Sul) mostra um predomínio de correlações positivas em relação às correlações negativas.

Palavras-Chave: Teleconexões; Cerrado Brasileiro; Precipitação Pluvial.

Introdução

O clima é uma variável importante do sistema terrestre (BURROUGHS, 2007). Com capacidade em ditar o ritmo da evolução, reprodução, mutação e extinção das mais variadas formas de vida animal

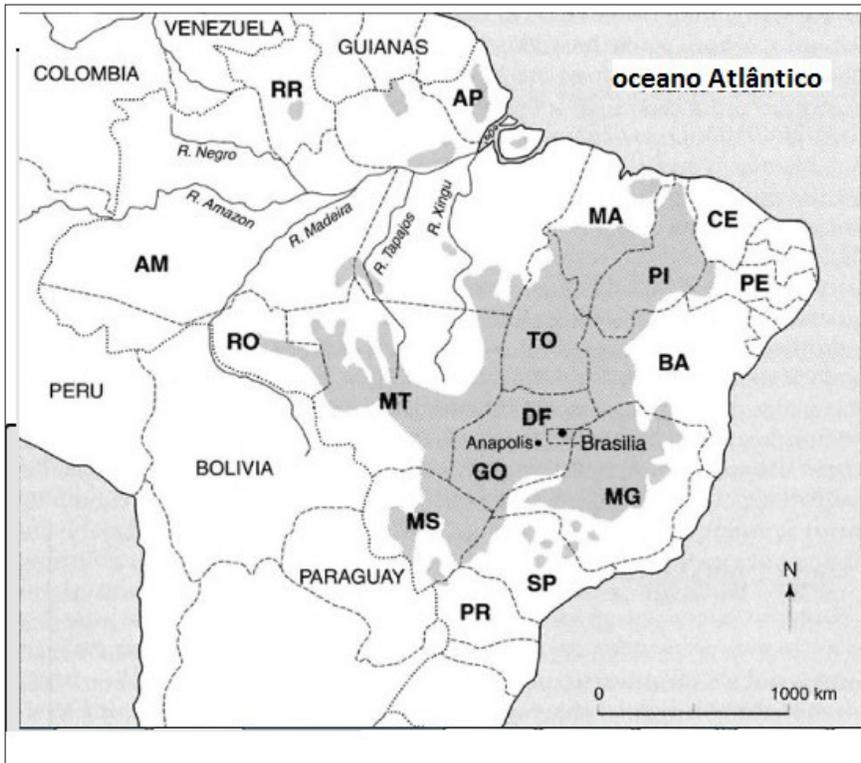
e vegetal (SALGADO-LABOURIAU, 1994), o clima, juntamente com o solo, sempre exerceu influências na organização, distribuição geográfica e no funcionamento físico-dinâmico dos ecossistemas e biomas florestados, savânicos, campestres, desérticos e aquáticos observados ao longo da história ecológica da Terra (COUTINHO, 1978; SALGADO-LABOURIAU, 1994; BERGAMASCHI; BERGONCI, 2017).

A definição mais aceita de bioma, o considera como um espaço geográfico que varia entre dezenas e milhares de quilômetros quadrados, com características de uniformidades edáfo-climáticas e fitofisionômica (COUTINHO, 2016). Um exemplo de bioma são as grandes savanas. As savanas são tidas como ecossistemas mistos com árvores e gramíneas, caracterizadas por copas descontínuas, isto é, muitas variações de alturas entre espécies arbustivas em camadas contínuas de gramas, que chegam quase a uma uniformidade na paisagem (SCHOLES; ARCHER, 1997; HOUSE *et al.*, 2003; RATNAM *et al.*, 2011; COUTINHO, 2016).

A América do Sul possui 15,3% da área de savana da Terra (GOEDERT *et al.*, 2008). A distribuição das savanas se concentra no centro do continente, ou seja, na região central do Brasil. No Brasil, as savanas são regionalmente conhecidas como Cerrado, por apresentarem algumas das características gerais semelhantes às *sabanas* venezuelanas, que também constituem a savana. O Cerrado brasileiro é um ecossistema do tipo tropical-estacional (COUTINHO, 2016) e suas origens podem datar do período Cretáceo, entre 145 e 66 milhões de anos atrás (RIBEIRO; WALTER, 1998).

O Cerrado brasileiro (Figura 1) está localizado ao longo do planalto central e, nas bordas mais ao Sul, este bioma se expande até os municípios de Campo Mourão e Jaguariaíva, no Paraná, enquanto que na direção Oeste, chega até a Bolívia, na região de Beni (RIBEIRO; WALTER, 1998). É o segundo maior ecossistema do país em quilômetros quadrado (~2.400.000 km²), ficando atrás apenas dos biomas florestais amazônicos (COUTINHO, 2016). Em valores percentuais, o Cerrado ocupa quase 25% de todo o território nacional (RIBEIRO; WALTER, 1998).

Figura 1 – Extensão do Cerrado brasileiro



Fonte: Mistry e Beradi (2014).

Algumas características que mais distinguem o Cerrado brasileiro das demais savanas do mundo, podem ser encontradas quando são investigados os aspectos fitofisionômicos, a diversidade de espécies, a química e a física dos solos, a profundidade do lençol freático, a estacionaridade climática, a frequência de queimadas, o pastejo contínuo e rotacional, e inúmeros fatores antropogênicos, como atividades agropecuárias, extração seletiva de madeira e queimadas para manejo de pastagens (COLE, 1960; EITEN, 1972, 1994; RIBEIRO; WALTER, 1998; ROSS, 2008).

Em relação ao clima do Cerrado brasileiro, o mesmo pode ser classificado como do tipo tropical estacional, o que significa que o ciclo anual da precipitação pluvial varia entre períodos de estação seca e úmida (SILVA; KOUSKY, 2012). A precipitação média anual no

Cerrado é de 1.600 mm, variando entre 700 a 2.100 mm (NIMER, 1989; RIBEIRO; WALTER, 1998; SILVA *et al.*, 2019). A estação chuvosa na região ocorre de outubro a março (NIMER, 1989), abrangendo todo o verão no hemisfério Sul (dezembro-fevereiro), período em que pouco mais de 50% do total anual das chuvas ocorrem no Centro-Leste do Brasil (GANDU; SILVA DIAS, 1998; VERA *et al.*, 2006; SILVA; KOUSKY, 2012). Por outro lado, durante a estação seca, a qual coincide com o período de inverno (junho-agosto), o Cerrado brasileiro recebe pouco menos de 5% do total anual da precipitação pluvial.

Desta forma, as chuvas no Cerrado são irregularmente distribuídas ao longo do ano. Estas características de inverno seco e verão chuvoso configuram o Sistema de Monção da América do Sul, como mostra a Figura 2 (RAO *et al.*, 1996; KOUSKY; ROPELEWSKI, 1997; GRIMM, 2003; GAN *et al.*, 2004). Um Sistema de Monção é caracterizado pela reversão na direção do vento em baixos níveis entre as estações de verão e inverno, associado a mudanças nos contrastes térmicos entre continentes e oceanos, devido à diferença de calor específico (MORAN; MORGAN, 1986; ZHOU; LAU, 1998; MECHOSO *et al.*, 2005; SILVA; KOUSKY, 2012).

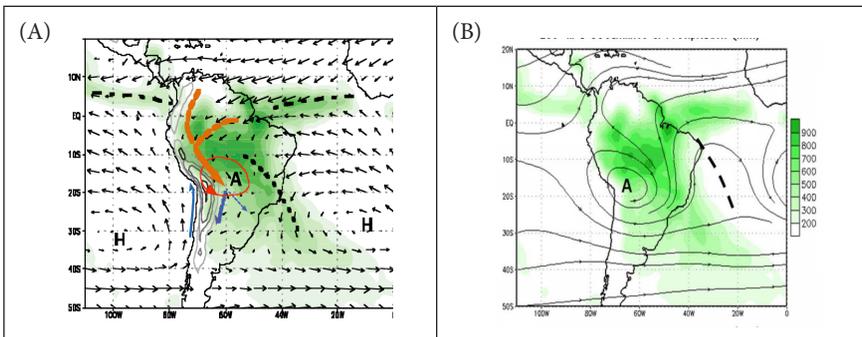
No verão, o ar sobre os continentes é mais aquecido e convectivamente instável em relação às regiões oceânicas adjacentes. Consequentemente, baixas pressões ocorrem sobre os continentes e altas pressões ocorrem sobre os oceanos, resultando em uma circulação térmica direta. Pela força do gradiente de pressão, o ar escoia das altas para as baixas pressões, ou seja, dos oceanos para os continentes, advectando ar úmido. Isso resulta em convergência em baixos níveis, movimento ascendente na média troposfera, divergência em altos níveis e chuvas sobre os continentes, bem como em convergência em altos níveis, movimento descendente na média troposfera, divergência em baixos níveis e condições secas sobre as áreas oceânicas vizinhas (SILVA; KOUSKY, 2012).

Por outro lado, durante o inverno a temperatura do ar sobre o continente e sobre regiões oceânicas vizinhas é mais homogênea na direção zonal, o que origina um padrão de circulação térmica direta não muito evidente (SILVA; KOUSKY, 2012). Os contrastes térmicos

e a circulação atmosférica nos baixos níveis são opostos ao verão, que originam condições secas sobre a América do Sul tropical.

Na Figura 2A é possível observar que, durante a estação chuvosa no verão, o Sistema de Monção da América do Sul é caracterizado em baixos níveis por dois sistemas de alta pressão sobre os oceanos subtropicais do Atlântico e Pacífico Sul (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul e do Pacífico Sul), por um sistema de baixa pressão no Norte da Argentina (Baixa do Chaco) e por um escoamento que margeia a porção Leste do Andes, no sentido Noroeste-Sudoeste em direção ao Norte da Argentina (jatos de baixos níveis) (ZHOU; LAU, 1998; NOGUÉS-PAEGLE *et al.*, 2002; SILVA; KOUSKY, 2012).. Em altos níveis no verão (Figura 2B), a circulação atmosférica é marcada por um anticiclone quase estacionário, que atua sobre a América do Sul tropical e subtropical (Alta da Bolívia), enquanto uma circulação ciclônica domina as baixas latitudes do Pacífico Sul-Leste e do Atlântico Sul central (cavado do Nordeste, que eventualmente se fecha, formando o vórtice ciclônico de altos níveis, o VCAN).

Figura 2 – Ilustração esquemática do Sistema de Monção da América do Sul durante a estação chuvosa: (A) Vetor vento em 900 hPa, onde as linhas pontilhadas indicam as zonas de convergência; setas grossas em laranja indicam o jato de baixos níveis; a letra "H" indica os Anticiclones Subtropicais do Atlântico Sul e do Pacífico Sul; a letra "A" indica a Baixa do Chaco e colorido verde indica a precipitação pluvial. (B) Vetor vento e linhas de corrente em 200 hPa; a letra "A" indica a Alta da Bolívia e colorido verde, a precipitação pluvial

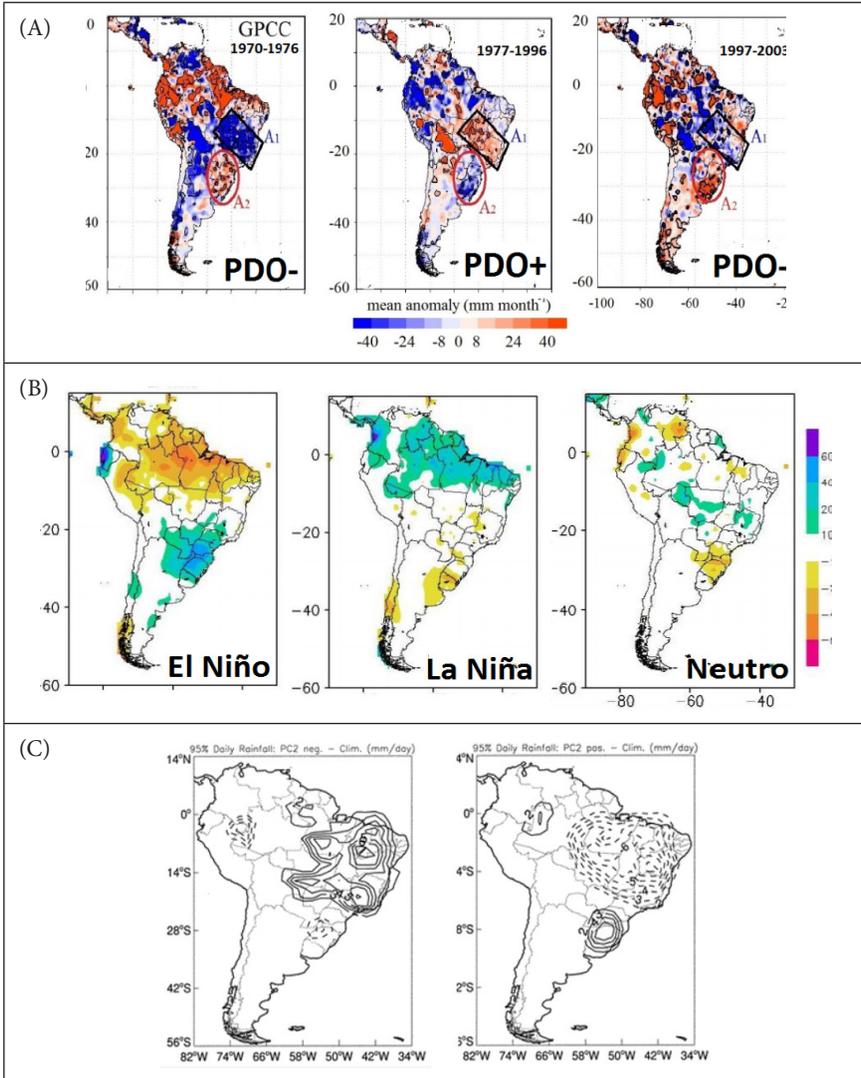


Fonte: Silva e Kousky (2012) e Mechoso *et al.* (2005).

A distribuição das chuvas na região tropical do Brasil é ainda associada a outros mecanismos físico-dinâmicos de interação entre o oceano e a atmosfera, associados à variabilidade atmosférica de baixa e alta frequência, com potencial de modular a distribuição da precipitação pluvial em diversas escalas temporais. Alguns exemplos de modos de variabilidade climática de baixa frequência são apresentados a seguir:

- Escala interdecadal: Oscilação Decadal do Pacífico (*Pacific Decadal Oscillation* – PDO). A fase positiva (negativa) da PDO está associada com anomalias acima (abaixo) da média em parte da região do Cerrado (SILVA *et al.*, 2020), como exemplifica a Figura 3A;
- Escala interanual: El Niño-Oscilação Sul (ENOS). A fase positiva (negativa) do ENOS é denominada de El Niño (La Niña), resultando em chuvas abaixo (acima) da média no Norte-Nordeste da América do Sul e acima (abaixo) da média no Sul (Figura 3B). Contudo, a posição e intensidade das anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) podem resultar em impactos diversos nas chuvas. Há ainda outros modos de variabilidade de baixa frequência na escala interanual, que influenciam a precipitação pluvial na América do Sul, como o Dipolo do Atlântico Sul, o Modo Anular Sul (*Southern Annular Mode* – SAM), o Dipolo do Oceano Índico, dentre outros;
- Escala intrassazonal: Oscilação de Madden-Julian (*Madden-Julian Oscillation* – MJO). Um dos efeitos da MJO na precipitação pluvial na América do Sul é favorecer a atividade convectiva, por exemplo, da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), conforme a Figura 3C.

Figura 3 – (A) Anomalia de precipitação pluvial na fase negativa (1970-1976 e 1997-2003) e positiva (1977-1996) da PDO. (B) Anomalia absoluta da precipitação pluvial mensal (mm mês⁻¹) na América do Sul em eventos de El Niño, La Niña e Neutros. (C) Diferença entre o 95º percentil da precipitação pluvial para as categorias ZCAS e para a climatologia de verão (dezembro-fevereiro) nas fases ativas da MJO. Linhas tracejadas (contínuas) indicam diferenças negativas (positivas) de precipitação pluvial

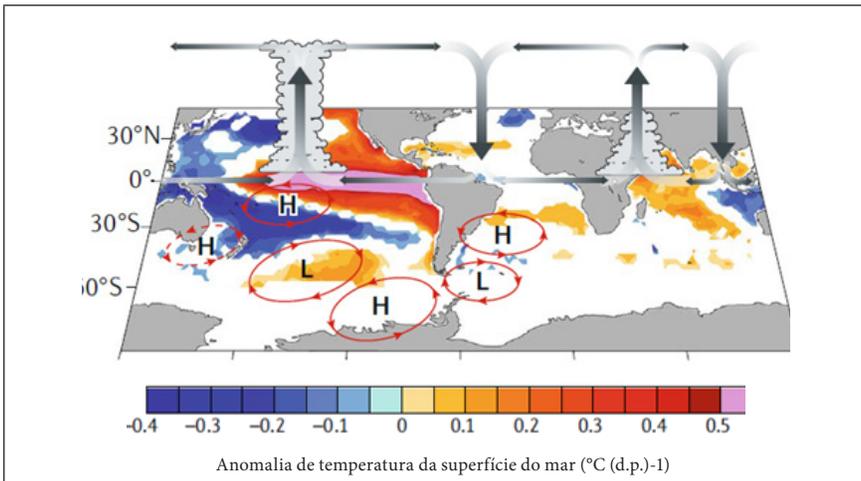


Fonte: Silva *et al.* (2020), Silva e Silva (2015) e Carvalho *et al.* (2004).

Teleconexões atmosféricas

A Teleconexão é a conexão à distância, tipicamente da ordem de 1.000 km, descrita a partir de anomalias promovidas por alguma forçante do sistema climático (que pode ser, por exemplo, uma anomalia de TSM de uma determinada região específica dos oceanos), que se relaciona com anomalias de algum elemento climático de regiões remotas (GRIMM; AMBRIZZI, 2009). As teleconexões geralmente são representadas como estruturas do tipo onda, geograficamente dependentes e associadas com a variabilidade de baixa frequência, embora possam ser definidas sobre escalas de alta frequência (GRIMM; AMBRIZZI, 2009). Neste ponto de vista, a atmosfera atua como uma ponte entre a região forçante e as regiões remotas através da dispersão e propagação de ondas de Rossby para os extratrópicos e da perturbação das células de Hadley e Walker (GRIMM; AMBRIZZI, 2009), como mostra, por exemplo, a Figura 4.

Figura 4 – Evento típico de El Niño (setembro-novembro), com as anomalias de TSM (colorido; s.d. é o desvio padrão), a circulação de Walker (setas para cima e para baixo representam os ramos ascendentes e descendentes), a teleconexão Pacífico-América do Sul (representada por uma sequência de centros de alta pressão (H) e baixa pressão (L) entre o Pacífico Central Equatorial e o Atlântico Sul)



Fonte: Cai *et al.* (2020).

As prováveis causas de padrões atmosféricos de baixa frequência são atribuídas aos papéis energéticos e de grande inércia térmica da camada de mistura da superfície oceânica, que se acopla diretamente à atmosfera (HOLTON, 2004). O oceano exerce uma importante influência sobre a atmosfera, no que diz respeito à mistura do ar e sua estabilidade. Isso ocorre graças ao simples fato de o oceano e a atmosfera serem dois fluidos e, assim, regidos pelas mesmas leis físicas. Entretanto, uma diferença básica entre ambos é que a densidade dos oceanos é quase 1.000 vezes maior do que a densidade da atmosfera. Tal fato tem uma consequência prática e direta nos processos físicos oceânicos, que vão ocorrer de forma muito mais lenta quando comparados com os processos físicos, muito mais rápidos na atmosfera (APEL, 1995; CARVALHO JÚNIOR, 2014).

Diante deste fato, a energia térmica armazenada pelos oceanos na lâmina superficial (primeiros 25-35 cm), faz com que esta camada geralmente seja mais quente que o ar adjacente (APEL, 1995). Isso irá proporcionar uma maior transferência de energia térmica do oceano para a atmosfera, causando movimentos turbulentos verticais. Na prática, a energia armazenada dentro dos oceanos excita padrões espaciais de anomalias de TSM, nas escalas de tempo sazonal e interanual, que irão atuar como forçantes térmicas para a atmosfera (HOSKINS; KAROLY, 1981). Estas forçantes condicionarão mudanças na atmosfera e poderão engatilhar respostas via teleconexões trópico-trópico, trópico-subtrópico e trópico-extratropical.

No Brasil, o principal modo de variabilidade climática na escala interanual, que influencia as chuvas via padrão de teleconexão é o ENOS (Figura 4), explicando 23,5% da variância interanual da precipitação pluvial (GRIMM, 2009). Este é um fenômeno de interação oceano-atmosfera, em que a componente oceânica é denominada de El Niño (fase quente) ou La Niña (fase fria), e a componente atmosférica de Oscilação Sul.

Em relação à componente oceânica, climatologicamente, as águas no Pacífico Equatorial Centro-Leste são mais frias do que no Pacífico Equatorial Oeste em razão da atuação do Anticiclone Subtropical do

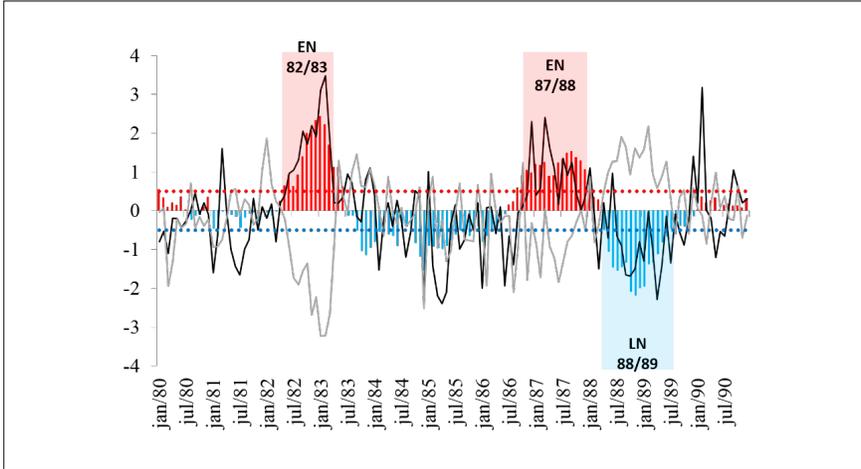
Pacífico Sul (ASPS) e Norte (ASPN), que se originam no ramo Leste da corrente oceânica do Peru e da Califórnia, respectivamente. Estas correntes oceânicas transportam águas frias das latitudes médias em direção à região equatorial, bem como propiciam a ressurgência de águas frias de subsuperfície devido ao transporte de Ekman (EKMAN, 1905).

Portanto, os eventos de La Niña são caracterizados por um reforço do padrão climatológico, em que há um fortalecimento do ASPS/ASPN e, portanto, dos ventos alísios de Sudeste e de Nordeste, reforçando o transporte de águas frias e a ressurgência no Pacífico Equatorial Centro-Leste, resfriando ainda mais as águas oceânicas nesta região. Por outro lado, os eventos de El Niño são caracterizados por um enfraquecimento do ASPS/ASPN e, conseqüentemente, dos ventos alísios de Sudeste e de Nordeste, enfraquecendo o resfriamento oceânico climatológico e, assim, resultando no aquecimento anômalo da TSM no Pacífico Equatorial Centro-Leste.

A componente atmosférica do ENOS, a Oscilação Sul (Figura 5), é definida como a relação inversa da pressão atmosférica em superfície entre Taiti (Pacífico Sul Central) e Darwin (Austrália). Assim, quando Taiti apresenta pressão atmosférica mais alta que o normal, Darwin apresenta pressão mais baixa, o que caracteriza um evento de La Niña. O contrário ocorre para evento de El Niño.

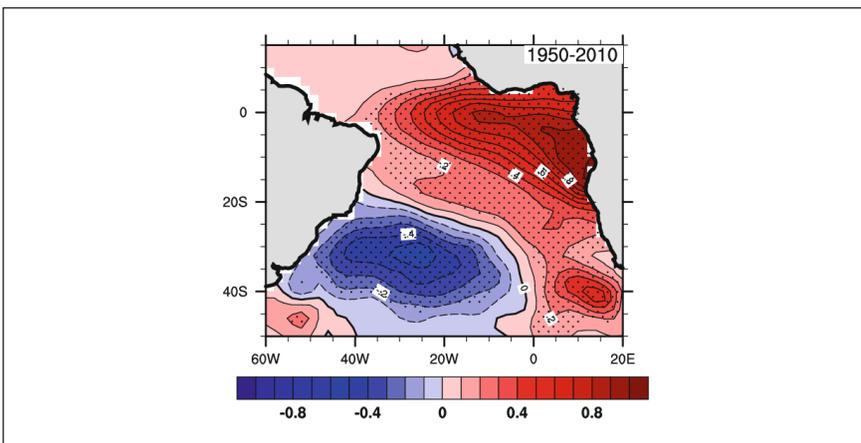
O Dipolo do Atlântico Sul (Figura 6) é um outro modo de variabilidade climática que afeta a distribuição das chuvas no Brasil. Ele é o segundo principal modo de variabilidade climática de TSM no Atlântico Sul e pode ser entendido por uma relação inversa entre as anomalias de TSM no Polo Nordeste (PNE) do Atlântico Sul, ao longo da costa Oeste Equatorial do continente africano, e no Polo Sudoeste (PSW) do Atlântico Sul, ao longo da costa do Brasil, Uruguai e Argentina (NNAMCHI *et al.*, 2011) como pode ser observado na Figura 8B.

Figura 5 – Anomalias de TSM na região de Niño 3.4, onde as barras vermelhas (azuis) indicam anomalias positivas (negativas), e anomalias de pressão ao nível médio do mar nas regiões de Darwin (linha preta) e Taiti (linha cinza) entre 1980 e 1990. As linhas pontilhadas em vermelho (azul) indicam anomalias de TSM de 0,5°C (-0,5°C). As caixas retangulares vermelhas (azuis) indicam períodos associados a eventos de El Niño – EN (La Niña – LN)



Fonte: PSL/NOAA.

Figura 6 – Resposta das anomalias de TSM no Atlântico Sul ao Dipolo do Atlântico Sul, determinada por análise de regressão nos meses de junho a setembro, entre 1950 e 2010. Os pontos correspondem a áreas com coeficiente de regressão significativo ao nível de confiança de 95%

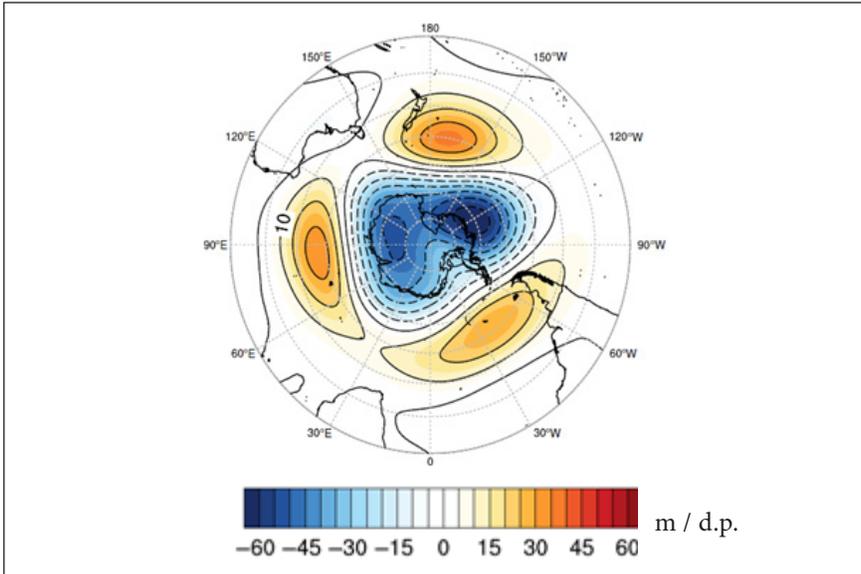


Fonte: Nnamchi *et al.* (2013).

Assim como o ENOS, o Dipolo do Atlântico Sul também apresenta duas fases de oscilação. Na fase positiva, as anomalias de TSM são positivas no Atlântico Sul tropical e negativas no Atlântico Sul subtropical, resultando no movimento do ar convergente e divergente em superfície, respectivamente (NNAMCHI; LI, 2011). Desta forma, existe um enfraquecimento do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e dos ventos alísios de Sudeste (NNAMCHI *et al.*, 2011), o que resulta em um deslocamento anômalo para Sul da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (GREEN; MARSHALL, 2017), onde é observado o fortalecimento do ramo ascendente da célula de Hadley (NNAMCHI *et al.*, 2011). O contrário é notado na fase negativa do Dipolo do Atlântico Sul.

Por fim, o Modo Anular Sul (*Southern Anular Mode* – SAM) é considerado também como um modo de variabilidade climática relacionado com a distribuição das chuvas no Brasil. O SAM é o principal modo de variabilidade entre as latitudes médias e altas do hemisfério Sul (KIDSON, 1988; KIDSON; WATTERSON, 1999; THOMPSON; WALLACE, 2000; RENWICK, 2002; MARSHALL, 2003). É um modo caracterizado por anomalias de pressão zonalmente simétricas e fora de fase (MARSHALL, 2003), como mostra a Figura 7, com uma componente não anular sobre o Mar de Amundsen (THOMPSON; WALLACE, 2000). Também apresenta duas fases de oscilação, sendo que na fase positiva (exemplo da Figura 7) há anomalias negativas (positivas) de pressão nas altas (médias) latitudes austrais, o que resulta em reforço dos ventos de Oeste em $\sim 60^{\circ}\text{S}$ (THOMPSON; WALLACE, 2000; THOMPSON; SOLOMON, 2002; GILLET *et al.*, 2006) e aumento na frequência de ciclones extratropicais ao redor do continente antártico (REBOITA *et al.*, 2009). O padrão oposto é percebido na fase negativa do SAM.

Figura 7 – Primeira Função Ortogonal Empírica (*Empirical Orthogonal Function* – EOF) da altura geopotencial em 500 hPa (d.p. é o desvio padrão) mensal (1979-2018) entre 20° e 90°S.

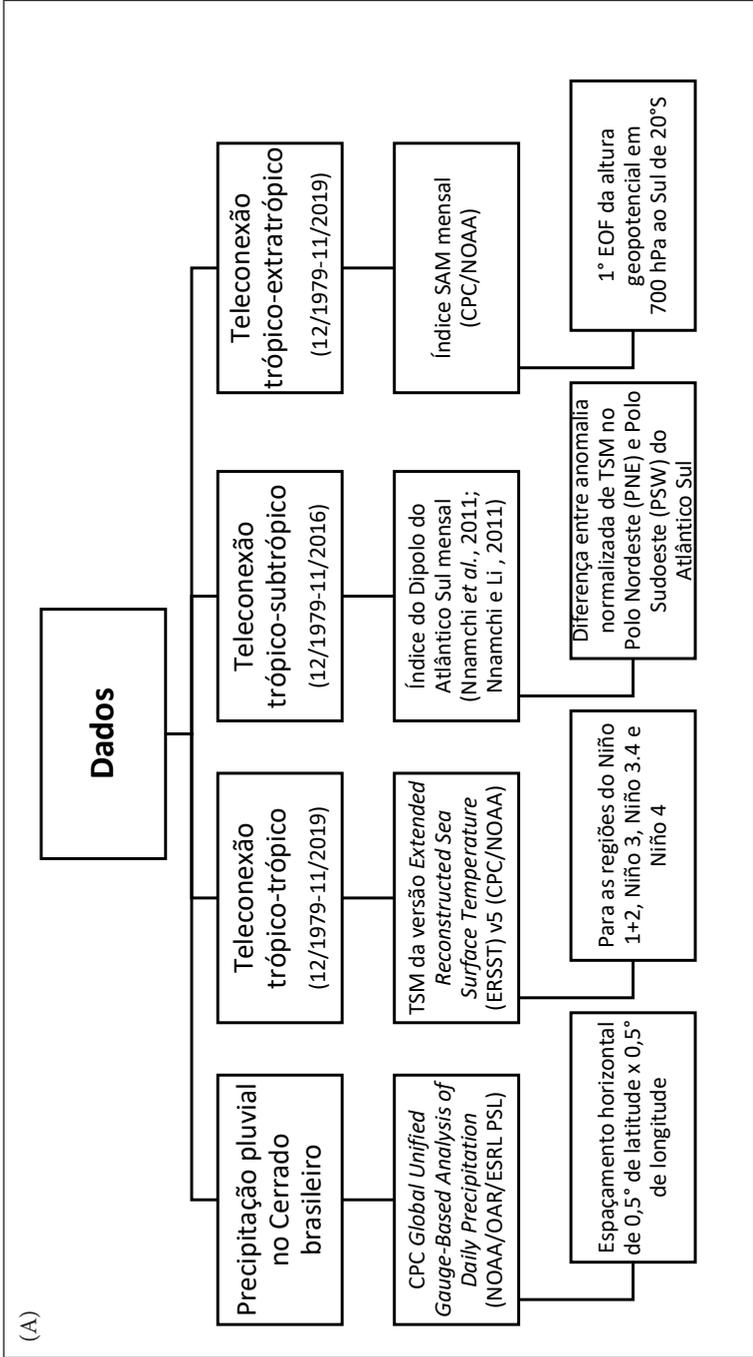


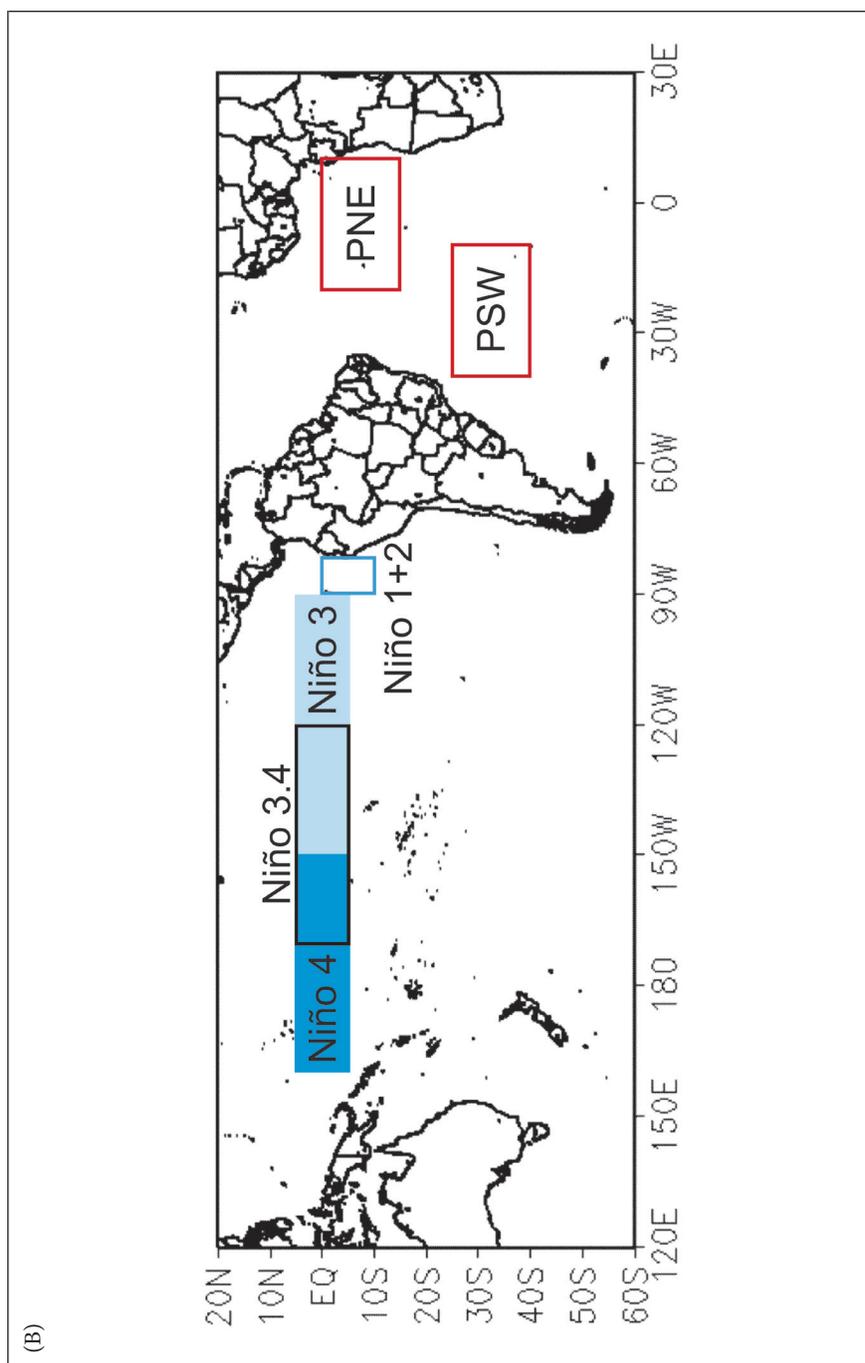
Fonte: Fogt e Marshall (2020).

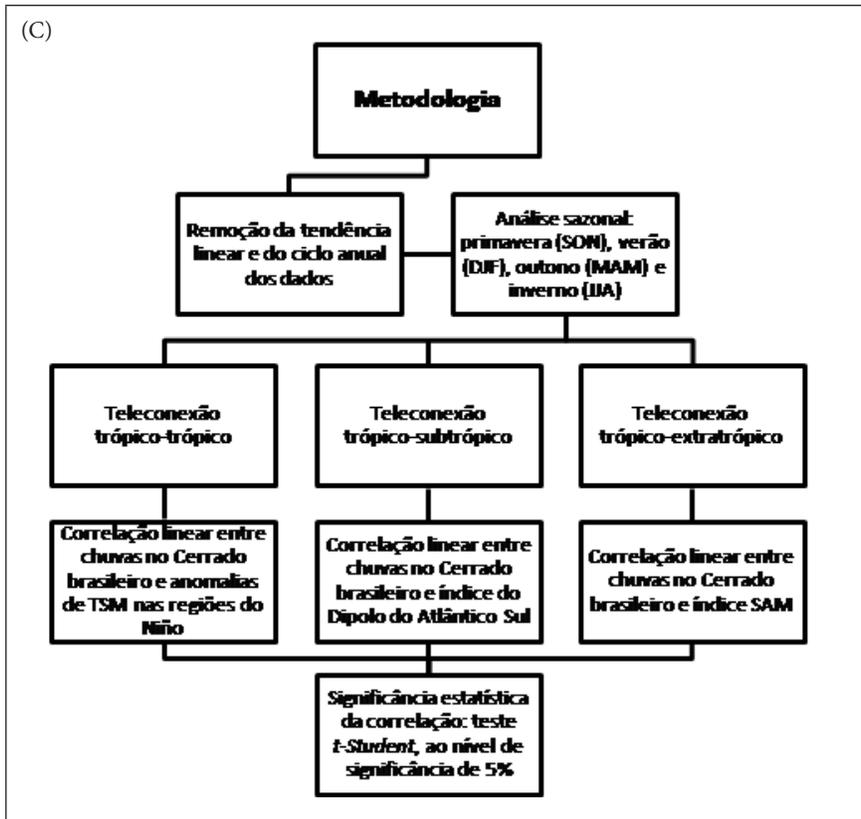
Modos de variabilidade climática, teleconexões e chuvas no Cerrado brasileiro

Os modos de variabilidade de baixa frequência descritos anteriormente (ENOS, Dipolo do Atlântico Sul e SAM) têm potencial de afetar significativamente o regime de chuvas em diversas regiões no Brasil. Sendo assim, especificamente sobre o Cerrado brasileiro, nos perguntamos: Quais as influências que estes modos poderiam exercer? Para responder esta questão, foram utilizados dados e metodologia apresentados na Figura 8.

Figura 8 – (A) Fonte de dados, (B) regiões do Niño 1+2 (0°-10°S, 90°W-80°W), Niño 3 (5°N-5°S, 150°W-90°W), Niño 3.4 (5°N-5°S, 170°W-120°W), Niño 4 (5°N-5°S, 160°E-150°W), Polo Nordeste (PNE; 20°W-10°E e 0°-15°S) e Polo Sudoeste (PSW; 10°-40°W e 25°S-40°S) do Dipolo do Atlântico Sul, (C) metodologia







Fonte: Autores (2020).

Teleconexões trópico-trópico: enos e chuvas no Cerrado brasileiro

A variabilidade climática oceânica na região do Pacífico Equatorial é complexa e com oscilações espectrais energéticas ($^{\circ}\text{C}^2$) distintas em cada uma das regiões do Niño (Silva *et al.*, 2020), como consta na Figura 8B. Assim, é possível dizer que individualmente cada área do Pacífico Equatorial pode promover diferentes influências dentro dos padrões de escoamento atmosférico e, portanto, impactar de formas distintas os regimes climáticos da América do Sul (Coelho *et al.*, 2002). Um exemplo disso pode ser visto nas análises de correlação sazonal entre as

anomalias de TSM em cada uma das regiões do Niño e as chuvas no Cerrado brasileiro.

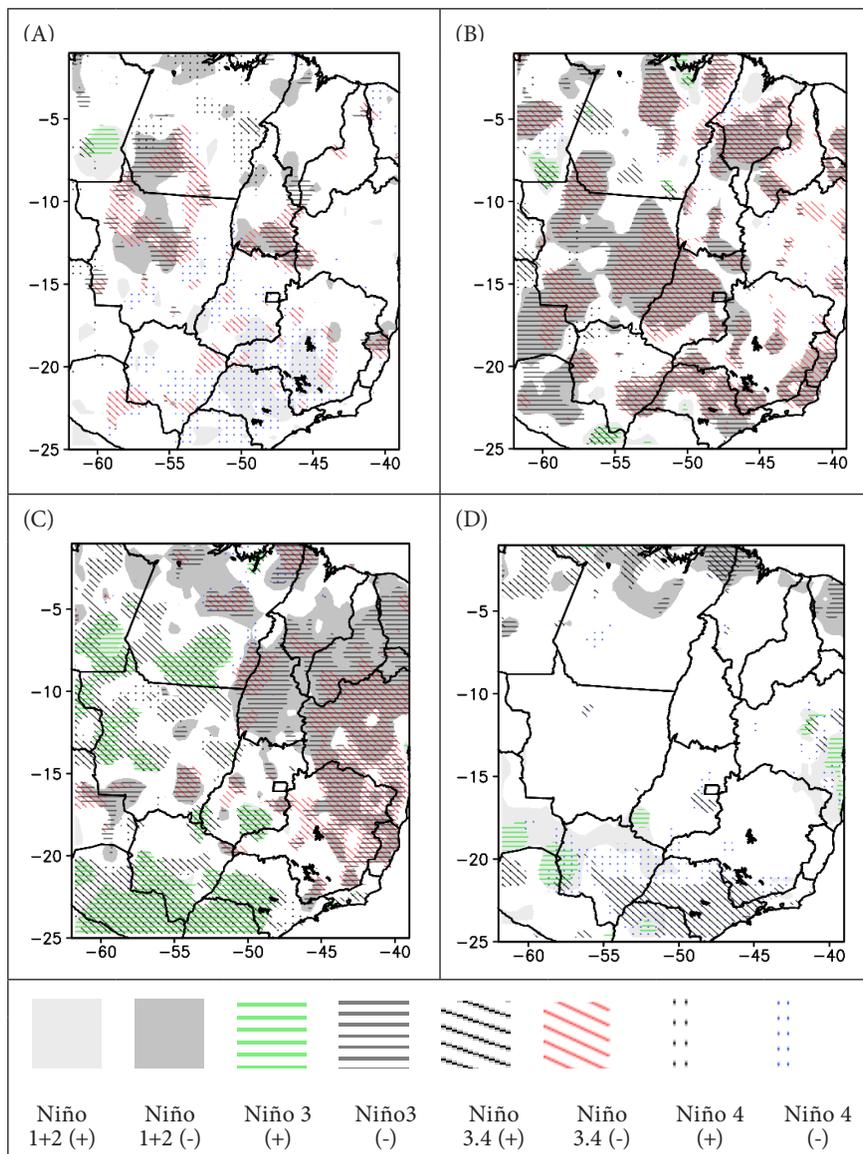
(I) Primavera

A Figura 9 indica as áreas da região do Cerrado brasileiro onde as anomalias de chuva para as quatro estações do ano tiveram sinais, estatisticamente significativos, quando comparadas com as anomalias de TSM nas quatro regiões de Niño (ver Figura 8B).

As chuvas de poucas áreas do Cerrado parecem estar associadas à ocorrência dos eventos positivos de ENOS (El Niño) durante a primavera (Figura 9A). Apenas na região Sudeste (estado de São Paulo e Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba) e mais ao Norte do Cerrado (Noroeste de Tocantins) foram encontradas significâncias estatísticas em áreas positivamente correlacionadas entre as chuvas e a TSM nas regiões de Niño1+2 e Niño4, respectivamente. A existência do número maior de áreas significativas com correlação negativa sugere que os eventos frios de ENOS (La Niña) exercem um papel muito mais expressivo do que os eventos quentes (El Niño). Exemplos disso podem ser constatados nos estados do Mato Grosso, Goiás, Mato Grosso do Sul, Oeste baiano, Sul do Piauí e Sudeste do Cerrado.

No Sudeste e Norte do Cerrado há sinais de significâncias estatísticas ora positivas, ora negativas, dependendo do posicionamento da forçante térmica no Pacífico Equatorial. Ou seja, no Sudeste do Cerrado, quando a forçante térmica está localizada na região de Niño1+2 (Niño 4), as chuvas podem ser acima (abaixo) da média. O inverso também ocorre no Norte do Cerrado.

Figura 9 – Áreas com correlação linear, significativas ao nível de 5%, entre a precipitação pluvial no Cerrado brasileiro e as anomalias de TSM nas regiões do Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4 na: (A) primavera, (B) verão, (C) outono e (D) inverno de 1980 a 2019. Os sinais (+) e (-) na legenda indicam correlações positivas e negativas, respectivamente



Fonte: Autores (2020).

(II) Verão

No verão, grande parte do Cerrado brasileiro apresenta significância estatística para áreas negativamente correlacionadas entre as chuvas e as anomalias de TSM nas regiões de Niño (Figura 9B). Fisicamente, isso sugere a existência de possíveis reduções (aumentos) das chuvas em relação à média sobre o Cerrado em qualquer posição espacial em que as forçantes térmicas estiverem no Pacífico Equatorial, durante os episódios de El Niño (La Niña), sugerindo a este evento a possibilidade de vínculos físicos responsáveis por condições de seca (chuvosas) sobre o bioma.

(III) Outono

Durante a estação de outono (Figura 9C) toda a faixa Leste e Norte (Oeste e Sul) do Cerrado brasileiro é significativamente associada aos sinais negativos (positivos) de correlação entre as chuvas e a TSM nas regiões de Niño. Isto significa que na faixa Leste e Norte do Cerrado é possível que as chuvas acima (abaixo) da média estejam mais associadas aos eventos de La Niña (El Niño), enquanto que as chuvas acima (abaixo) da média, na faixa Oeste e Sul do Cerrado estejam associadas à ocorrência dos eventos de El Niño (La Niña) para este período.

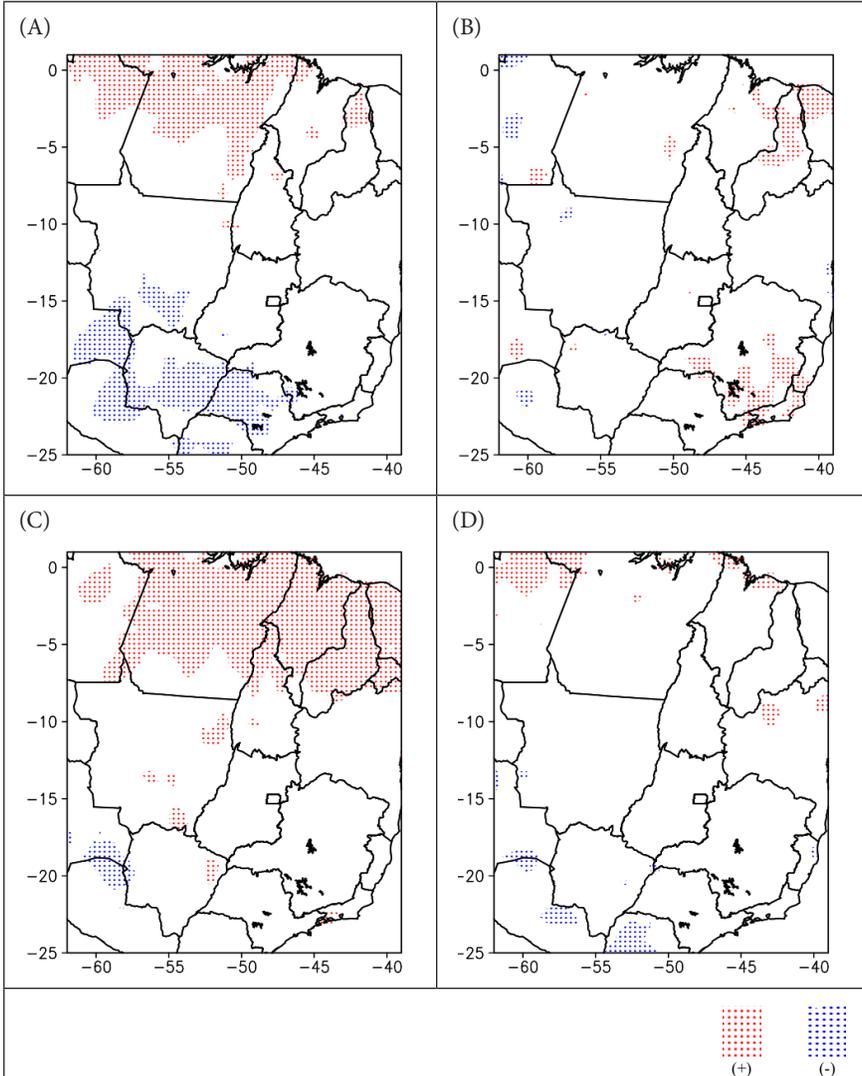
(IV) Inverno

Durante o inverno (Figura 9D), apenas as regiões mais ao Sul e Centro-Nordeste do Cerrado parecem ter suas chuvas associadas com a ocorrência de eventos de El Niño e La Niña. Todo o restante do bioma não apresenta significância estatística associada. Na região Centro-Nordeste do Cerrado, sinais negativos (positivos) de correlação são observados quando as chuvas são associadas às regiões do Niño 1+2 e Niño 3 (Niño 3.4 e Niño 4), ao passo que na região Sul são associados às regiões do Niño 3.4 e Niño 4.

Teleconexões trópico-subtrópico: dipolo do Atlântico Sul e chuvas no Cerrado brasileiro

A teleconexão trópico-subtrópico da precipitação pluvial no Cerrado brasileiro pode ser analisada através da correlação sazonal com o índice do Dipolo do Atlântico Sul (Figura 10). Na primavera (Figura 10A) a correlação é negativa no Sul do Cerrado, abrangendo os estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul, e Sul do Mato Grosso, além de áreas pontuais no Sul de Goiás e Oeste de Minas Gerais. A máxima correlação negativa é de $r=-0,6$ no Mato Grosso, que é uma correlação moderada. Desta maneira, redução (aumento) da precipitação pluvial está associada à fase positiva (negativa) do Dipolo do Atlântico Sul. Por outro lado, as correlações são positivas no Norte do Cerrado, abrangendo áreas pontuais no Nordeste do Mato Grosso e Sudoeste do Tocantins, Centro e Norte do Maranhão, com máxima correlação de $r=0,5$, indicando que redução (aumento) da precipitação pluvial está ligada à fase negativa (positiva) do Dipolo do Atlântico Sul. Durante o verão (Figura 10B) a correlação é positiva em Minas Gerais, no Norte de Goiás e do Maranhão, com máxima de $r=0,5$ no Oeste de Minas Gerais, classificada como uma correlação moderada.

Figura 10 – Áreas com correlação linear, significativas ao nível de 5%, entre a precipitação pluvial no Cerrado brasileiro e o índice do Dipolo do Atlântico Sul na: (A) primavera, (B) verão, (C) outono e (D) inverno de 1980 a 2016. Os sinais (+) e (-) na legenda indicam correlações positivas e negativas, respectivamente



Fonte: Autores (2020).

No outono (Figura 10C) há correlações positivas abrangentes no Norte do Cerrado, que abarcam grande parte do estado do Maranhão,

Norte do Tocantins, Sul do Piauí, além de áreas no Mato Grosso e Leste do Mato Grosso do Sul, com máxima correlação de $r=0,8$ no Maranhão, classificada como forte. Durante o inverno (Figura 10D) correlações são observadas pontualmente no Norte do Maranhão e Oeste da Bahia (correlação positiva) e Leste do Mato Grosso do Sul (correlação negativa).

No geral, as correlações são predominantemente positivas nos estados mais ao Norte do Cerrado brasileiro (Maranhão, Sul do Piauí, Oeste da Bahia, Tocantins Mato Grosso e Goiás). Esse padrão espacial é detectado, pois na fase negativa (positiva) do Dipolo do Atlântico Sul, com as anomalias negativas (positivas) de TSM no Polo Nordeste do Atlântico Sul, a ZCIT migra para Norte (para Sul) (e.g., GREEN; MARSHALL, 2017), gerando anomalias negativas (positivas) de precipitação pluvial nos estados localizados mais ao Norte do Cerrado brasileiro.

Nos estados mais ao Sul do Cerrado brasileiro (Mato Grosso do Sul, Oeste de Minas Gerais e São Paulo), durante as estações de inverno e primavera (primavera e inverno) as correlações são negativas. Desta forma, na fase negativa (positiva) do Dipolo do Atlântico Sul as anomalias de TSM são positivas (negativas) no Polo Sudoeste do Atlântico Sul, e acarretam convergência (divergência) de ar em superfície (NNAMCHI *et al.*, 2011; NNAMCHI; LI, 2011) e, assim, favorecem (desfavorecem) a formação de nuvens e precipitação pluvial nos estados mais ao Sul do Cerrado brasileiro.

Por outro lado, nas estações de verão e outono, as correlações são positivas nos estados mais ao Sul do Cerrado (verão e outono). Isso ocorre, pois durante o verão e o outono, o ASAS está deslocado para Leste, afastado da costa Leste do Brasil (DEGOLA, 2013). Desta forma, na fase negativa (positiva) do Dipolo do Atlântico Sul, as anomalias negativas (positivas) de TSM no Polo Sudoeste do Atlântico Sul enfraquecem (fortalecem) o ASAS (NNAMCHI *et al.*, 2011), que favorece (desfavorece) a passagem de sistemas transientes, como ciclones extratropicais e frentes frias, que contribuem para o aporte de umidade para a ZCAS (BOMBARDI *et al.*, 2014), principal sistema atmosférico

responsável pelas chuvas na estação chuvosa da região tropical do país (JONES; CARVALHO, 2002).

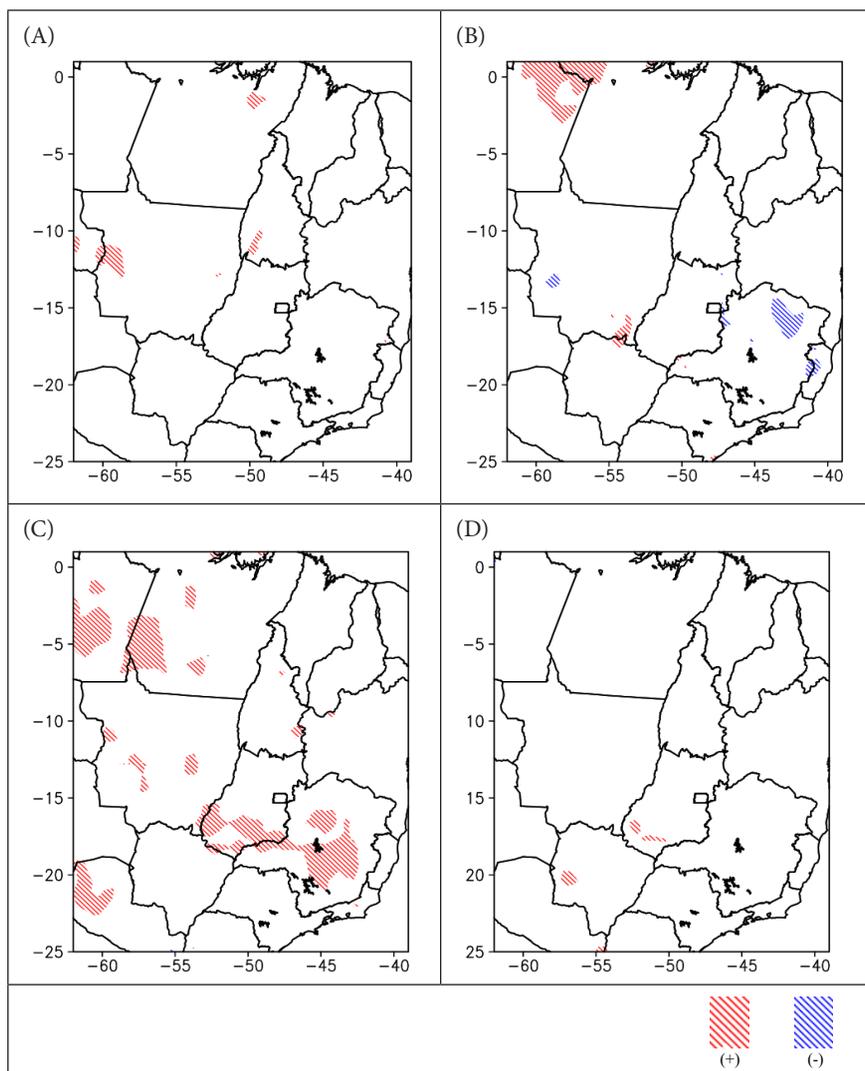
Teleconexões trópico-extratropical: modo anular sul e chuvas no Cerrado brasileiro

A teleconexão trópico-extratropical da precipitação pluvial no Cerrado brasileiro pode ser observada através da correlação sazonal com o índice SAM (Figura 11). Na primavera (Figura 11A) a correlação é positiva no Sul do Tocantins e no Oeste do Mato Grosso, indicando que a redução (aumento) da precipitação pluvial está associada à polaridade negativa (positiva) do SAM. No verão (Figura 11B) são observadas correlações negativas no Norte de Minas Gerais e no Oeste do Mato Grosso, bem como correlações positivas entre o Sudeste do Mato Grosso e o Norte do Mato Grosso do Sul, além do extremo Oeste de Minas Gerais. No outono (Figura 11C), a correlação é positiva em Minas Gerais, Sul de Goiás, Mato Grosso e áreas pontuais do Tocantins, com máxima de $r=0,5$. No inverno (Figura 11D) há correlação positiva no Sul de Goiás e no Oeste do Mato Grosso do Sul.

O predomínio de correlações positivas, em relação às negativas, entre a precipitação pluvial no Cerrado brasileiro e o índice SAM está de acordo com estudos prévios. Durante a fase ativa do Sistema de Monções da América do Sul, a fase negativa (positiva) do SAM está associada aos eventos de ZCAS mais fracos (intensos) e menos (mais) persistentes sobre a região tropical do Brasil (ROSSO *et al.*, 2018; VASCONCELOS *et al.*, 2019). Isso ocorre, pois, a propagação de sistemas sinóticos sobre a região Sul do Brasil é favorecida na fase negativa do SAM (REBOITA *et al.*, 2009), que resulta em um menor transporte de umidade na região da ZCAS e, assim, a um enfraquecimento da atividade convectiva tropical (LIEBMANN *et al.*, 2004; VASCONCELOS; CAVALCANTI, 2010; ROSSO *et al.*, 2018; VASCONCELOS *et al.*, 2019). Já na região Norte e Nordeste do país, as correlações positivas são explicadas pelo fato de que durante a fase negativa (positiva) do SAM, o ASAS está posicionado anormalmente para Norte (Sul), assim

como a ZCIT, contribuindo com a redução (aumento) de precipitações nestas regiões (CARPENEDO; AMBRIZZI, 2020).

Figura 11 – Áreas com correlação linear, significativas ao nível de 5%, entre a precipitação pluvial no Cerrado brasileiro e o índice SAM na: (A) primavera, (B) verão, (C) outono e (D) inverno de 1980 a 2019. Os sinais (+) e (-) na legenda indicam correlações positivas e negativas, respectivamente



Fonte: Autores (2020).

Considerações finais

Neste capítulo foi investigado como as teleconexões trópico-trópico, trópico-subtrópico e trópico-extratropical afetam a precipitação pluvial sazonal no Cerrado brasileiro, através da análise de correlação linear espacial entre a precipitação pluvial (CPC/NOAA) e os índices climáticos (anomalias de TSM nas regiões do Niño, Dipolo do Atlântico Sul e SAM).

A teleconexão trópico-trópico, evidenciada com base na correlação espacial entre as chuvas no Cerrado brasileiro e as anomalias de TSM nas quatro regiões do Niño, mostra os detalhes espaciais de possíveis relações físicas entre as variáveis associadas para todas as estações do ano. Os resultados gerais obtidos sugerem que cada uma das regiões do Niño, possivelmente se associe de forma distinta às chuvas no Cerrado brasileiro.

Foi possível observar também que uma mesma região do Niño pode influenciar diferentemente a precipitação pluvial na área de estudo. Para resultados específicos, notamos que durante a primavera, o verão e o inverno, as anomalias negativas (positivas) de TSM nas regiões do Niño 3.4 e Niño 4 provavelmente estariam mais bem associadas aos períodos de chuvas acima (abaixo) da média sobre as regiões Centro-Sul e partes da faixa Leste do Cerrado brasileiro. Já durante o outono, os sinais de correlação associados às regiões do Niño 3.4 e Niño 4 sugerem padrões de precipitação pluvial invertidos. Por outro lado, para as regiões do Niño 1+2 e Niño 3 foram observados na primavera e outono sinais positivos (negativos) de correlação no Centro-Sul (Norte). Para o inverno há predomínio de sinais positivos em quase todo o Cerrado brasileiro, e durante o verão há prevalência de sinais negativos em boa parte da área de estudo.

A teleconexão trópico-subtrópico da precipitação pluvial no Cerrado brasileiro, observada através da correlação espacial com o índice do Dipolo do Atlântico Sul, apresentou predomínio de correlações positivas nos estados mais ao Norte do Cerrado, o que indica que a fase negativa (positiva) do Dipolo do Atlântico Sul gera anomalias

negativas (positivas) de precipitação pluvial, possivelmente associadas à posição anômala da ZCIT para Norte (para Sul)." Nos estados mais ao Sul, no inverno e na primavera as correlações foram negativas, provavelmente associadas à convergência (divergência) de ar em superfície, favorecendo (desfavorecendo) a ocorrência de precipitação pluvial. Por outro lado, no verão e no outono as correlações foram positivas, possivelmente associadas ao enfraquecimento (fortalecimento) do ASAS, o que amplia (diminui) a atividade da ZCAS.

A teleconexão trópico-extratropical da precipitação pluvial no Cerrado brasileiro, observada através da correlação espacial com o índice SAM, mostrou um predomínio de correlações positivas, em relação às correlações negativas, associadas a eventos mais fracos (intensos) de ZCAS na fase negativa (positiva) do SAM, além de um deslocamento anômalo do ASAS e da ZCIT para Norte (Sul), resultando em anomalias negativas (positivas) de precipitação pluvial nos estados do Norte do Cerrado brasileiro.

Referências

- APEL, J. R. **Principles of ocean physics**. Academic Press, 1987.
- BERGAMASCHI E BERGONCI, 2017.", leia-se " BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J.I. **As plantas e o clima**. Edição: 1. Editora Agrolivros. ISBN: 978-85-98934-23-5
- BOMBARDI, R. J.; CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; REBOITA, M. S. Precipitation over eastern South America and the South Atlantic Sea surface temperature during neutral ENSO periods. **Climate Dynamics**, v. 42, p. 1.553-1.568, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00382-013-1832-7>.
- BURROUGHS, W. J. **Climate change: a multidisciplinary approach**. Cambridge University Press, 2007.
- CAI, W.; MCPHADEN, M. J.; GRIMM, A. M. *et al.* Climate impacts of the El Niño – Southern Oscillation on South America. **Nature Reviews Earth Environ**, v. 1, p. 215-231, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0040-3>.
- CARPENEDO, C. B.; AMBRIZZI, T. Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul associado ao Modo Anular Sul e impactos climáticos no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 4, p. 1-9, 2020.

- CARVALHO JÚNIOR, O. O. **Introdução à Oceanografia Física**. Editora Interciência, 2014.
- CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic convergence zone: intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. **Journal of Climate**, v. 17, n. 1, p. 88-108, 2004.
- COELHO, C. A. S.; UVO, C. B.; AMBRIZZI, T. Exploring the impacts of the tropical Pacific SST on the precipitation patterns over South America during ENSO periods. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 71, n. 3-4, p. 185-197, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s007040200004>.
- COLE, M. M. Cerrado, Caatinga e Pantanal: a distribuição e origem da vegetação de savana do Brasil. **The Geographic Journal**, v. 126, n. 2, p. 168-179, 1960.
- COUTINHO, L. **Biomass brasileiros**. Oficina de Textos, 2016.
- COUTINHO, L. O conceito de Cerrado. **Revista Brasileira de Botânica**, n. 1, p. 17-23, 1978.
- DEGOLA, T. S. D. **Impactos e variabilidade do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul sobre o Brasil no clima presente e em cenários futuros**. 2013. 92 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
- EITEN, G. The Cerrado vegetation of Brazil. **The Botanical Review**, v. 38, n. 2, p. 201-341, 1972. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF02859158>
- EITEN, G. Vegetação do Cerrado. *In*: PINTO, M. N. (Org.). **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**, v. 2, p. 17-73, 1994.
- EKMAN, V. W. On the influence of the earth's rotation on ocean-currents. **Arkiv for Matematik**, Astronomi och Fysik, v. 2, n. 11, p. 1-52, 1905.
- FOGT, R. L.; MARSHALL, G. J. The Southern Annular Mode: variability, trends, and climate impacts across the Southern Hemisphere. **WIREs Climate Change**, v. 11, n. 4, p. 652, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/wcc.652>.
- GAN, M. A.; KOUSKY, V. E.; ROPELEWSKI, C. F. The South America monsoon circulation and its relationship to rainfall over West-Central Brazil. **Journal of Climate**, v. 17, p. 47-66, 2004. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/15200442\(2004\)017<0047:TSAMCA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/15200442(2004)017<0047:TSAMCA>2.0.CO;2).
- GANDU, A. W.; SILVA DIAS, P. L. Impact of tropical heat sources on the South American tropospheric upper circulation and subsidence. **Journal of Geophysical Research**, v. 103, p. 6.001-6.015, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/97JD03114>.

GILLETT, N. P.; KELL, T. D.; JONES, P. D. Regional climate impacts of the Southern Annular Mode. **Geophysical Research Letters**, v. 33, p. 1-4, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2006GL027721>.

GOEDERT, W. J.; WAGNER, E.; BARCELLOS, A. O. **Savanas tropicais: dimensão, histórico e perspectivas**. Savanas: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. p. 49-80.

GREEN, B.; MARSHALL, J. Coupling of Trade Winds with Ocean Circulation Damps ITCZ Shifts. **Journal of Climate**, v. 30, p. 4.395-4.411, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0818.1>.

GRIMM, A. M. The El Niño impact on the summer monsoon in Brazil: regional processes versus remote influences. **Journal of Climate**, v. 16, p. 263-280, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2003\)016<0263:TENIOT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016<0263:TENIOT>2.0.CO;2).

GRIMM, A. M. **Variabilidade interanual do clima no Brasil**. In: CAVALCANTI, I. F. A. *et al.* (Org.). Tempo e clima no Brasil. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

GRIMM, A. M.; AMBRIZZI, T. Teleconnections into South America from the Tropics and Extratropics on Interannual and Intraseasonal Timescales. In: VIMEUX, F.; SYLVESTRE, F.; KHODRI, M. (Orgs.). **Past Climate Variability in South America and Surrounding Regions**, Springer Netherlands, v. 14, 1. ed., p. 159-193, 2009.

HOLTON, J. R. **Introduction to Dynamic Meteorology**. 4. ed. Amsterdam, Elsevier, 2004. p. 535.

HOSKINS, B. J.; KAROLY, D. J. The steady linear response of a spherical atmosphere to thermal and orographic forcing. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 38, n. 6, p. 1.179-1.196, 1981. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/15200469\(1981\)038<1179:TSLROA>2.0.CO](https://doi.org/10.1175/15200469(1981)038<1179:TSLROA>2.0.CO).

HOUSE, J. I. *et al.* Conundrums in mixed woody-herbaceous plant systems. **Journal of Biogeography**, v. 30, n. 11, p. 1.763-1.777, 2003.

JONES, C.; CARVALHO, L. M. V. Active and break phases in the South American Monsoon System. **Journal of Climate**, v. 15, p. 905-914, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2002\)015<0905:AABPIT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015<0905:AABPIT>2.0.CO;2).

KIDSON, J. W. Interannual Variations in the Southern Hemisphere Circulation. **Journal of Climate**, v. 1, p. 1.177-1.198, 1988. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/15200442\(1988\)001<1177:IVITSH>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/15200442(1988)001<1177:IVITSH>2.0.CO;2).

KIDSON, J. W.; WATTERSON, I. G. The Structure and Predictability of the “High-Latitude Mode” in the CSIRO9 General Circulation Model. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 56, p. 3.859-3.873, 1999. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1999\)056<3859:TSAPOT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1999)056<3859:TSAPOT>2.0.CO;2).

KOUSKY, V. E.; ROPELEWSKI, C. F. **The tropospheric seasonally varying mean climate over the Western Hemisphere (1975-1995)**, NCEP/Climate Prediction Center Atlas, n. 3, p. 135, 1997.

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. **Journal of Climate**, v. 17, p. 3.829-3.842, 2004. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/15200442\(2004\)017<3829:SVORIS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/15200442(2004)017<3829:SVORIS>2.0.CO;2).

MARSHALL, G. J. Trends in the Southern Annular Mode from observations and reanalyses. **Journal of Climate**, v. 16, p. 4.134-4.143, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2003\)016<4134:TITSAM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016<4134:TITSAM>2.0.CO;2).

MECHOSO, C. R.; ROBERTSON, A. W.; ROPELEWSKI, C. F.; GRIMM, A. M. The American Monsoon Systems: an introduction. *In*: CHANG, C. P.; WANG, B.; LAU, N. C. G. (Orgs.). **The global monsoon system: research and forecast**, World Meteorological Organization, WMO/TD, n. 1.266, p. 197-206, 2005.

MISTRY, J.; BERADI, A. **World savannas: ecology and human use**. Routledge, 2014.

MORAN, J. M.; MORGAN, M. D. **Meteorology: the atmosphere and the science of weather**. Minneapolis: Burgess Publishing, 1986.

NIMER, E. **Climatologia do brasil**. IBGE, 1989.

NNAMCHI, H. C.; LI, J. P. Influence of the South Atlantic Ocean Dipole on West African summer precipitation. **Journal of Climate**, v. 24, p. 1.184-1.197, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/2010JCLI3668.1>.

NNAMCHI, H. C.; LI, J. P.; ANYADIKE, R. N. C. Does a dipole mode really exist in the South Atlantic Ocean? **Journal of Geophysical Research**, v. 116, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2010JD015579>.

NNAMCHI, H. C.; LI, J. P.; KANG, I. S.; KUCHARSKI, F. Simulated impacts of the South Atlantic Ocean Dipole on summer precipitation at the Guinea Coast. **Climate Dynamics**, v. 41, p. 677-694, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00382-012-1629-0>.

NOGUÉS-PAEGLE, J.; MECHOSO, C. R.; FU, R.; BERBERY, E. H.; CHAO, W. C.; CHEN, T-C.; COOK, K.; DIAZ, A. F.; ENFIELD, D.; FERREIRA, R.; GRIMM, A. M.; KOUSKY, V.; LIEBMANN, B.; MARENGO, J.; MO, K.; DAVIDNEELIN,

J.; PAEGLE, J.; ROBERTSON, A. W.; SETH, A.; VERA, C. S.; ZHOU, J. Progress in Pan American CLIVAR research: understanding the South American monsoon. **Meteorologica**, v. 27, p. 3-32, 2002.

RAO, V. B.; CAVALCANTI, I. F. A.; HADA, K. Annual variation of rainfall over Brazil and water vapor characteristics over South America. **Journal of Geophysical Research**, v. 101, p. 539-551, 1996. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/96JD01936>.

RATNAM, J. *et al.* When is a “forest” a savanna, and why does it matter? **Global Ecology and Biogeography**, v. 20, n. 5, p. 653-6-60, 2011.

REBOITA, M. S.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P. Relationship between the Southern Annular Mode and Southern Hemisphere Atmospheric Systems. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 1, p. 48-55, 2009.

RENWICK, J. A. Southern Hemisphere circulation and relations with sea ice and sea surface temperature. **Journal of Climate**, v. 15, p. 3.058-3.068, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2002\)015<3058:SHCARW>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015<3058:SHCARW>2.0.CO;2).

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. **Fitofisionomias do bioma Cerrado**. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de (Orgs.). Cerrado: ambiente e flora. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. p. 89-166.

ROSS, J. L. S. **Os fundamentos da Geografia da natureza**. In: ROSS, J. L. S. (Org.). 5. ed. Geografia do Brasil, Edusp, 2008.

ROSSO, F. V.; BOIASKI, N. T.; FERRAZ, S. E. T.; ROBLES, T. C. Influence of the Antarctic Oscillation on the South Atlantic Convergence Zone. **Atmosphere-Basel**, v. 9, p. 1-19, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/atmos9110431>.

SALGADO-LABOURIAU, M. L. **História ecológica da Terra**. Editora Blucher, 1994.

SCHOLES, R. J.; ARCHER, S. R. Tree-grass interactions in savannas. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 28, n. 1, p. 517-544, 1997.

SILVA, C. B.; SILVA, M. E. S.; AMBRIZZI, T.; PATUCCI, N. N.; LIMA, B. S.; CORREIA, W. C. Spatial distribution of spectral SST oscillations over the Equatorial Pacific in the period 1888-2014. **International Journal of Climatology**, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc.6774>.

SILVA, C. B.; SILVA, M. E. S.; AMBRIZZI, T.; TOMMASELLI, J. T. G.; PATUCCI, N. N.; MATAVELI, G. A. V.; LIMA, B. S.; CORREA, W. C. Precipitação na América do Sul – dados obtidos por estações meteorológicas automáticas e por sistemas orbitais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 25, 2019.

SILVA, E. R. L. G.; SILVA, M. E. S. Memória de eventos de ENOS na precipitação da América do Sul. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 30, p. 34-55, 2015.

SILVA, M. E. S.; SILVA, C. B.; AMBRIZZI, T.; DRUMONT, A.; PATUCCI, N. N. Clima da América do Sul durante as fases 1970-2001 de oscilação decadal do Pacífico com base em conjuntos de dados de reanálise diferentes. **Frontiers in Earth Science**, v. 7, p. 359, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00359>.

SILVA, V. B. S.; KOUSKY, V. E. The South American Monsoon System: Climatology and variability, Modern Climatology. WANG, S-Y. (Org.). **InTech**, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.5772/38565>.

THOMPSON, D. W. J.; SOLOMON, S. Interpretation of Recent Southern Hemisphere Climate Change. **Science**, p. 895-899, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.1069270>.

THOMPSON, D. W. J.; WALLACE, J. M. Annular Modes in the Extratropical Circulation. Part I: Month-to-Month Variability. **Journal of Climate**, v. 13, p. 1.000-1.016, 2000. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/15200442\(2000\)013<1000:AMITEC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/15200442(2000)013<1000:AMITEC>2.0.CO;2).

VASCONCELLOS, F. C.; CAVALCANTI, I. F. A. Extreme precipitation over Southeastern Brazil in the austral summer and relations with the Southern Hemisphere annular mode. **Atmospheric Science Letters**, v. 11, p. 21-26, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/asl.247>.

VASCONCELLOS, F. C.; PIZZOCHERO, R. M.; CAVALCANTI, I. F. A. Month-to-month impacts of Southern Annular Mode over South America climate. **Anuário do Instituto de Geociências**, UFRJ, v. 41, p. 783-792, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.11137/2019_1_783_792.

VERA, C.; HIGGINS, W.; AMADOR, J.; AMBRIZZI, T.; GARREAU, R.; GOCHIS, D.; GUTZLER, D.; LETTENMAIER, D.; MARENCO, J.; MECHOSO, C. R.; NOGUES-PAEGLE, J.; SILVA DIAS, P. L.; ZHANG, C. Towards a unified view of the American Monsoon systems. **Journal of Climate**, v. 19, p. 4.977-5.000, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/JCLI3896.1>.

ZHOU, J.; LAU, K. M. Does a Monsoon Climate Exist over South America? **Journal of Climate**, v. 11, p. 1.020-1.040, 1998.

Sobre os autores/organizadores

ALÉCIO PERINI MARTINS – Pós-doutor em Ciências (Geografia Física) pela Universidade de São Paulo (2020); doutor (2015), mestre (2009), licenciado e bacharel (2007) em Geografia pelo Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia. Docente nos cursos de Graduação e Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Jataí, onde é coordenador do Programa de Pós-Graduação em Geografia (Mestrado e Doutorado). É líder do grupo de pesquisa “Monitoramento e modelagem ambiental por geoprocessamento” e possui experiência na área de Geografia, atuando principalmente, nos seguintes temas: Geotecnologias (com ênfase em Sensoriamento Remoto), Planejamento e Análise Ambiental, Modelagem em Geografia Física e Climatologia Geográfica.

DIEGO TARLEY FERREIRA NASCIMENTO – Possui graduação (2009), mestrado (2011) e doutorado (2016) em Geografia pela Universidade Federal de Goiás. Tem experiência profissional como consultor ambiental e docente de Ensino Superior, tendo atuado como consultor em Geoprocessamento na Petrobrás e em Furnas Centrais Elétricas. Foi docente na Faculdade Católica de Anápolis, na Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC-GO) e na Universidade Estadual de Goiás (UEG – Campus Iporá). Atualmente é professor-adjunto na Universidade Federal de Goiás, atuando na área de Geografia Física e Geomática, com ênfase em Cartografia, Geoprocessamento, Sensoriamento Remoto e Climatologia. Também é professor

permanente do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Goiás, Campus Cora Coralina, orientando no mestrado.

GISLAINE CRISTINA LUIZ – Possui graduação (1995) e mestrado (1998) em Geografia pela Universidade Federal de Goiás e doutorado em Geotecnia Ambiental pela Universidade de Brasília (2012). É professora-adjunta no Instituto de Estudos Socioambientais (IESA/UFG). Coordena o Laboratório de Análise da Atmosfera e da Paisagem (IESA). Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Climatologia Geográfica. Coordena o Programa de Pós-Graduação em Geografia (gestão 2018/2020).

REGINA MARIA LOPES – Doutora em Geografia pela UFGD/ Universidade Federal da Grande Dourados (MS), mestre em Geografia pela UFG/ Universidade Federal de Goiás (2011), possui especialização em Meio, Educação e Gestão Ambiental/UFG (2010) e, graduação/licenciatura e bacharelado em Geografia (2004) pela mesma universidade. Tem experiência na área de Geografia, com ênfase em Climatologia Geográfica, atuando principalmente, nos seguintes temas: Topoclima, Microclima, Clima Urbano, Monitoramento Ambiental e Climático em áreas de conservação e bacias hidrográficas. É professora do curso de bacharelado/licenciatura em Geografia/UFJ, atua nas disciplinas de Introdução à Climatologia, Climatologia Dinâmica e Climatologia Aplicada a Geografia. Coordenadora do Laboratório de Climatologia Geográfica da UFJ.

Sobre os autores

CAMILA BERTOLETTI CARPENEDO – Doutora (02/2017) e mestre (05/2012) em Ciências com ênfase em Meteorologia pelo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG/USP). Bacharel em Geografia (12/2009) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Atuou como Professora no Curso de Graduação em Licenciatura em Ciências da USP/UNIVESP (2013-2015) e como Professora Adjunta nos Cursos de Graduação em Geografia e Gestão em Saúde Ambiental da Universidade Federal de Uberlândia (2017-2021). Também atuou como Especialista em Climatologia na CPFL Renováveis (2016). Atualmente é Professora Adjunta do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola do Setor de Ciências Agrárias (UFPR), pesquisadora do Interdisciplinary Climate Investigation Center (INCLINE/USP), do Grupo de Estudos Climáticos (GrEC/IAG/USP), do Centro Polar e Climático (UFRGS) e do INCT da Criosfera. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Climatologia, Interação Oceano-Criosfera-Atmosfera, Gelo Marinho, Climatologia Antártica, Teleconexões, Variabilidade Climática, Mudanças Climáticas e Eventos Extremos.

CARLOS BATISTA DA SILVA – Possui licenciatura plena e bacharelado pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2008), Campus de Presidente Prudente (SP). Mestre (2012) e Doutor (2017) em Geografia Física pela Universidade de São Paulo. Tem experiência na área de Geografia, com ênfase em Climatologia, sobretudo

no desenvolvimento de estudos de variabilidade de larga escala, que envolve a interação oceano-atmosfera e suas repercussões espaciais na América do Sul.”

EZEQUIEL PEREIRA DA SILVA – Possui licenciatura em Geografia pela Universidade Federal de Goiás (2019), tendo como linha de pesquisa, a Climatologia Geográfica. Como pesquisador participou dos projetos de “Análise integrada em Bacias Hidrográficas: estudos comparativos com distintos usos e ocupação do solo” e de “Avaliação qualitativa das águas, solos e sedimentos na área de influência direta de empreendimentos hidrelétricos da Bacia do Rio Corrente – Goiás”, na função de gerente de pesquisa do banco de dados climatológicos da Bacia Hidrográfica do Rio Claro sob orientação dos professores: Dra. Zilda de Fátima Mariano, Dra. Regina Maria Lopes e Dr. João Batista Pereira Cabral. Participou do projeto “Um Novo Olhar Sobre o Mundo”; sob orientação da Dra. Suzana Ribeiro Lima Oliveira. Foi bolsista CNPq de apoio técnico à pesquisa 2A, e monitor das disciplinas de Introdução à Climatologia e Climatologia Dinâmica, entre os anos de 2018 e 2019. Atualmente, participa dos projetos: “Monitoramento do Tempo e o Clima de Jataí, por meio de uma Estação Meteorológica” e “Unidade Topoclimáticas no Sudoeste e Oeste Goiano – Goiás”, sob orientação da professora Dra. Regina Maria Lopes.

GERMANO SILVA ALBUQUERQUE – Graduando em Geografia, modalidade bacharelado, pela Universidade Federal de Jataí. É integrante do Laboratório de Climatologia Geográfica da UFJ, onde atua como monitor das disciplinas de Introdução à Climatologia e Climatologia Dinâmica. Aluno de Iniciação Científica do tema “O Clima Urbano de Jataí-GO: influência do meio físico e uso e ocupação do solo urbano na variação nos atributos climáticos”, sob orientação da professora Dra. Regina Maria Lopes, e é integrante do projeto de extensão com tema “Monitoramento do Tempo e o Clima de Jataí, por meio de uma Estação Meteorológica”. Participou como bolsista do projeto de pesquisa Análise Integrada em Bacias Hidrográficas: estudos

comparativos com distintos usos e ocupação do solo; entre as universidades UFG/Regional Jataí, USP e UFSM.

GIULIANO TOSTES NOVAIS – Bacharel, mestre e doutor em Geografia pela Universidade Federal de Uberlândia. Especialista em Geomática e licenciado em Geografia pela Faculdade Católica de Uberlândia. Pós-Doutor em Geografia Física pela Universidade de São Paulo. Professor efetivo do curso de Geografia da Universidade Estadual de Goiás (Campus Nordeste-Formosa). Professor permanente do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO/UEG-Campus Cora Coralina). Atua principalmente nas áreas de Climatologia (classificação de unidades climáticas), Geografia Física e Cartografia. Como geógrafo faz trabalhos cartográficos e de monitoramento climatológico para empresas públicas e privadas.

GUSTAVO ZEN DE FIGUEIREDO NEVES – Bacharel e licenciado em Geografia pela UTPR (2009). Mestre em Ciências pela USP (2014), com estudo sobre Clima Urbano na cidade de São Carlos-SP. Doutor em Ciências pela USP (2018), cuja pesquisa versou sobre a atuação dos sistemas atmosféricos e a distribuição pluviométrica do estado de Goiás e Distrito Federal. É professor credenciado no Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental da Universidade de São Paulo, oferecendo duas disciplinas: [SEA5916] Introdução ao Estudo Dinâmico do Clima Generalidades e Especificidades, e [SEA5862] Climatologia Aplicada ao Meio Ambiente. É orientador de mestrados acadêmicos na linha de pesquisa de Climatologia Aplicada ao Meio Ambiente (USP – São Carlos). Docente colaborador da Universidade Estadual de Goiás, Campus Iporá, onde realiza atividades de ensino e pesquisa em Geografia. É membro da Associação Brasileira de Climatologia (ABClima) exercendo a função de diretor-secretário (Gestão 2018-2020) e membro do Conselho Deliberativo (Gestão 2016-2018 e 2014-2016). Pesquisador-colaborador do Grupo de Estudos da Localidade (USP – Ribeirão Preto). Tem experiência docente e profissional na área de Geociências, atuando principalmente, nos temas de Geografia Física, Climatologia, Sistemas

Atmosféricos da América do Sul, Clima Urbano, entre outros. Parecerista de periódicos científicos nacionais e internacionais.

JOSÉ RICARDO RODRIGUES ROCHA – Possui graduação em Geografia pela Universidade Federal de Goiás. Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Goiás, Campus Jataí e, atualmente, é doutorando no Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Jataí. Atua especialmente nos seguintes temas: Clima Urbano, Dengue, Chuvas, Variabilidade da Temperatura e Umidade Relativa do Ar e Ensino em Geografia. Também é coordenador do Colégio Estadual Serafim de Carvalho e professor no Colégio Nossa Senhora do Bom Conselho.

JULIANA RAMALHO BARROS – Possui graduação em Geografia pela Universidade de Brasília, mestrado e doutorado em Geografia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Campus de Rio Claro (SP). Atualmente é professora associada da Universidade Federal de Goiás, onde fundou o Laboratório de Climatologia Geográfica do Instituto de Estudos Socioambientais e já exerceu as funções de coordenadora do curso de Graduação em Geografia e vice-diretora do Instituto. Coordena o Laboratório de Geografia, Imaginário, Criatividade e Arte (LaGICriArte). Tem experiência em Climatologia Geográfica e Geografia da Saúde, atuando principalmente nos seguintes temas: Estudos Regionais, Ensino de Climatologia, Saúde Ambiental e Aprendizagem Criativa. É credenciada no Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFG – Goiânia, com orientações em nível de mestrado e doutorado. Realiza pesquisas sobre inovação no ensino de ciências; chefiou convênios entre a UFG, a California State University Northridge e a University of Massachusetts – UMass Amresth; estabeleceu convênio de cooperação em pesquisa entre a UFG e a Universidade Nacional da República Tcheca. Atualmente, coordena projeto sobre práticas para o ensino de Climatologia e seus conteúdos escolares, financiado pelo CNPq, em parceria com o Massachusetts Institute of Technology – MIT MediaLab.

LEANDRO DE OLIVEIRA RABELO – Doutor em Educação na Universidade de São Paulo (2021), mestre em Ensino de Ciências (Modalidade Física) pela Universidade de São Paulo (2016) e graduado em Licenciatura em Física pela Universidade Estadual Paulista (2012). Investiga a formação de professores, com ênfase na Teoria da Atividade Sócio-Histórica-Cultural, em especial sobre os temas: estágio supervisionado com pesquisa, o início da carreira docente e PIBID.”

LETÍCIA DE PAULA E SILVA ANDRADE – Graduada em Geografia, na modalidade de licenciatura, na Universidade Federal de Uberlândia (2019). Atualmente é mestranda do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, na linha de Educação Geográfica e Representações Sociais.

LUCAS BARBOSA E SOUZA – Bacharel (1999) e licenciado (2000) em Geografia pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), mestre (2003) e doutor (2006) em Geografia (Análise da Informação Espacial) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Campus de Rio Claro. Pós-doutorado (2018) em Geografia pela Universidade Federal de Goiás (UFG). Professor associado da Universidade Federal do Tocantins (UFT) desde 2004, onde atua junto ao Curso de Geografia (Campus de Porto Nacional) e aos Programas de Pós-Graduação em Geografia (Campus de Porto Nacional) e em Ciências do Ambiente (Campus de Palmas). Desenvolve pesquisas nas áreas de Climatologia Geográfica, Percepção Ambiental e Planejamento Urbano.

RILDO APARECIDO COSTA – Possui graduação em Geografia pela Universidade Federal de Uberlândia (1997), mestrado em Geografia pela Universidade Federal de Goiás (2001) e doutorado em Geografia pela Universidade Federal de Uberlândia (2008). Atualmente é professor associado I da Universidade Federal de Uberlândia – Campus Pontal. É também coordenador do Programa de Pós-Graduação em Geografia do Pontal (2018-2019), professor orientador (mestrado) do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Goiás – Campus

Catalão. Professor orientador (mestrado) do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia – Campus Pontal. Coordenador do Laboratório de Climatologia da FACIP/UFU. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Geografia Física, atuando nos seguintes temas: Riscos Ambientais Urbanos, Climatologia Urbana, Climatologia Médica e Riscos, e Eventos Climáticos Extremos.

SYLVIA ELAINE MARQUES FARIAS – Possui graduação em Meteorologia, modalidade bacharelado, pela Universidade Federal de Alagoas, graduação, modalidade bacharelado, em Administração de Empresas pelo Centro de Estudos Superiores de Maceió, mestrado em Agronomia (Física do Ambiente Agrícola) pela Universidade de São Paulo e doutorado em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Goiás. Atualmente é técnico em Meteorologia da Universidade Federal de Goiás. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Meteorologia, Climatologia e Sensoriamento Remoto atuando nos seguintes temas: Climatologia sinótica do Cerrado, Climatologia urbana, Mudanças e variabilidade do clima no Cerrado, Cenários do Clima futuro e Energia renovável no Cerrado, Dispersão particular atmosférica por queimadas e energia fotovoltaica.

WASHINGTON SILVA ALVES – Doutorando em Geografia pela UFG-REJ (2017-2020), mestre em Geografia pela UFG – Regional de Jataí (2014), especialista em Gestão e Conservação do Meio Ambiente pela FMB (Faculdades Montes Belos) em 2010, e graduado em Geografia pela Universidade Estadual de Goiás (2008). Atualmente é professor e coordenador do curso de Geografia da Universidade Estadual de Goiás, Campus de Iporá, membro do NEPECA – Núcleo de Estudo, Pesquisa e Extensão para a Conservação das Águas e professor no curso de *Lato Sensu* em Ordenamento Ambiental e Desenvolvimento Sustentável. Tem experiência na área de Geografia, com ênfase em Geografia Física, onde atua nos seguintes temas: Climatologia Geográfica e Hidrogeografia. Também coordena e desenvolve pesquisas na área de Variabilidade Climática, El Niño e La Niña, Clima Urbano, Clima Rural e, Análise Climática e Morfométrica de Bacias Hidrográficas.

SOBRE O LIVRO

Formato: 16x23 cm

Tipologia: Minion Pro

Número de Páginas: 272

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS



C&A ALFA COMUNICAÇÃO

Rua 14, Qd. 12, Lt. 21, St. Itatiaia III – CEP 74.690-390 – Goiânia-GO
editoraalfacomunicacao@gmail.com



**Estação meteorológica
instalada na Bacia Hidrográfica
do Ribeirão Santo Antônio,
município de Iporá (GO),
primavera de 2018**

Acervo: Valdir Specian, 2018.