

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Meteorologia



**Focos de incêndios em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul e suas relações com as
variáveis meteorológicas e eventos de friagens**

Müller Júnior Martins dos Santos

Pelotas, 2020

Müller Júnior Martins dos Santos

Focos de incêndios em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul e suas relações com as variáveis meteorológicas e eventos de friagens

Dissertação apresentada no Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito à obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Luciana Barros Pinto

Pelotas, 2020

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

S237f Santos, Müller Júnior Martins dos

Focos de incêndios em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul e suas relações com as variáveis meteorológicas e eventos de friagens / Müller Júnior Martins dos Santos; Luciana Barros Pinto, orientadora. — Pelotas, 2020.

84 f.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, 2020.

1. Fogo. 2. Queimadas. 3. Climatologia. 4. Centro-Oeste. I. Pinto, Luciana Barros, orient. II. Título.

CDD : 551.6

Müller Júnior Martins dos Santos

Focos de incêndios em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul e suas relações com as variáveis meteorológicas e eventos de friagens

Dissertação apresentada no Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito à obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Data da Defesa: 02 de Março de 2020.

Banca Examinadora:

Profª Dr. Luciana Barros Pinto (orientadora)
Doutora em Meteorologia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa, Brasil

Profº Dr. Marcelo Félix Alonso
Doutor em Meteorologia pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil



Profº Dr. José Guilherme Martins dos Santos
Doutor em Ciência do Sistema Terrestre pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Brasil

Dedico este trabalho aos meus
pais e irmã.

Agradecimentos

Incondicionalmente aos meus pais, Geraldo Cristino e Aparecida Cristina, e a minha irmã, Müllena Cristina, por sempre acreditarem em mim. Obrigado por existirem.

À Jackson Cardoso pelos momentos de felicidade compartilhada. Obrigado por fazer parte desta conquista!

À professora orientadora Dr. Luciana Barros Pinto pela confiança depositada no desenvolvimento desta pesquisa e por todos os conhecimentos compartilhados, os quais levarei para vida profissional e pessoal.

Ao Programa de Monitoramento de Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), pelo fornecimento dos dados.

À Coordenação da Pós-Graduação em Meteorologia e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela oportunidade do estudo e a oferta de bolsa na realização deste trabalho.

A todos que torceram pela minha felicidade profissional e pessoal.

Resumo

SANTOS, Müller Júnior Martins dos. **Focos de incêndios em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul e suas relações com as variáveis meteorológicas e eventos de friagens**. 2020. 84 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2020.

Em Mato Grosso (MT) e Mato Grosso do Sul (MS) características tropicais e extratropicais ocorrem ao longo do ano, com sazonalidade de precipitação pluviométrica e temperaturas que variam próximos dos 0°C e 40°C. No período seco, ocorrem altas concentrações de Focos de Incêndios (FI) e maior frequência de friagens na região. Assim, o estudo teve como objetivo determinar relações entre FI com as variáveis meteorológicas (temperatura do ar “T2M”, precipitação “TP” e umidade do ar “R”) e eventos de friagens em MT e MS (2003 a 2018). A região apresenta-se com regime de TP bem distribuídos ao longo do ano, sendo os meses de julho a setembro os mais secos, com menores valores de umidade específica (Q), maiores amplitudes térmicas e com menores valores de R, sobretudo em MT. A altitude e latitude foram fatores determinantes no comportamento das variáveis meteorológicas na região. O período de 2003 a 2018 foi mais aquecido, com menor teor de umidade e menos chuvoso em relação à normal climatológica (1981 a 2010). Os FI ocorreram com maior abrangência e quantidade em MT, sendo agosto e setembro os meses mais ativos em ambos os estados. A correlação foi maior entre FI e TP em MT, e FI e R em MS, sendo mais correlacionadas em meses úmidos. O ambiente atmosférico indicou em ambos os estados a presença de crista em altitude, escoamento anticiclônico em médios e baixos níveis; além do aumento de T2M e diminuição de R. Sobre a atuação de friagem, houve aumento do número diário de FI em ambos os estados, com maior proporção em MS. O fenômeno intensifica o quadro de baixos valores de R na região, o que pode ter contribuído para o maior número de FI.

Palavras-chave: fogo; queimadas; climatologia; Centro-Oeste

Abstract

SANTOS, Müller Júnior Martins dos. **Active fire in Mato Grosso and Mato Grosso do Sul and their relation ship with meteorological variables and cold events**. 2020. 84 f. Dissertation (Master in Meteorology) - Graduate Program in Meteorology. Federal University of Pelotas, Pelotas, 2020.

In Mato Grosso (MT) and Mato Grosso do Sul (MS), tropical and extratropical characteristics occur throughout the year, with seasonality of rainfall and temperatures varying between 0°C and 40°C. In the dry season, there are high concentrations of active fire (FI) and a higher frequency of cold in the region. Thus, the study aimed to determine relationships between FI, meteorological variables (air temperature “T2M”, precipitation “TP” and air humidity “R”) and cold events in MT and MS (2003 to 2018). The region presents itself with a TP regime well distributed throughout the year, with the months of July to September being the driest, with lower values of specific humidity (Q), greater thermal amplitudes and with lower values of R, especially in MT. Altitude and latitude were determining factors in the behavior of meteorological variables in the region. The period from 2003 to 2018 was warmer, with less moisture content and less rain compared to normal weather conditions (1981 to 2010). FIs occurred with greater scope and quantity in MT, with August and September being the most active months in both states. The correlation was greater between FI and TP in MT, and FI and R in MS, being more correlated in wet months. The atmospheric environment indicated in both states the presence of a crest at altitude, anticyclonic flow at medium and low levels; in addition to the increase in T2M and decrease in R. Regarding the cooling performance, there was an increase in the daily number of FI in both states, with a greater proportion in MS. The phenomenon intensifies the situation of low R values in the region, which may have contributed to the greater FI.

Keywords: fire; burned; climatology; Midwest

Lista de Figuras

Figura 1 - Localização do Brasil, com destaque para o Estado de Mato Grosso.....	19
Figura 2 - Biomas do Brasil e Chaco da América do Sul, com destaque para o Estado de Mato Grosso (MT) e Mato Grosso do Sul (MS).....	19
Figura 3 - Localização do Brasil, com destaque para o Estado de Mato Grosso do Sul....	20
Figura 4 - Fitofisionomias: campestres, savânicas e florestais de Cerrado.....	26
Figura 5 - Média de temperatura do ar (°C, sombreado) e umidade relativa do ar (% , linha pontilhada) em superfície entre os anos de 2003 e 2018 (A) e anomalia em relação à Normal Climatológica (1981 a 2010) (B) em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.....	37
Figura 6 - Média mensal de temperatura do ar (°C, sombreado) e umidade relativa do ar (% , linha pontilhada) em superfície entre os anos de 2003 a 2018 em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, sendo A (janeiro), B (fevereiro), C (março), D (abril), E (maio) e F (junho).	39
Figura 7 - Média mensal de temperatura do ar (°C, sombreado) e umidade relativa do ar (% , linha pontilhada) em superfície entre os anos de 2003 a 2018 em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, sendo A (julho), B (agosto), C (setembro), D (outubro), E (novembro) e F (dezembro).....	40
Figura 8 - Precipitação total média (m) entre os anos de 2003 a 2018 (A) e anomalia em relação a Normal Climatológica (1981 a 2010) (B) em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.....	41
Figura 9 - Precipitação acumulada (m) em Mato Grosso (TP_MT, barra preto), Mato Grosso do Sul (TP_MS, barra vermelho) e precipitação acumulada média em Mato Grosso (TP_Med_MT, linha pontilhada preta) e Mato Grosso do Sul (TP_Med_MS, linha pontilhada vermelha) entre 2003 a 2018.	42

Figura 10 - Precipitação total média (m) mensal em superfície entre os anos de 2003 a 2018 em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, sendo A (janeiro), B (fevereiro), C (março), D (abril), E (maio), F (junho), G (julho), H (agosto), I (setembro), J (outubro), K (novembro) e L (dezembro).....	43
Figura 11 - Umidade específica média (g.kg^{-1}) entre os anos de 2003 a 2018 (A) e anomalia em relação à Normal Climatológica (1981 a 2010) (B) em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.	44
Figura 12 - Média mensal de umidade específica (g.kg^{-1}) entre os anos de 2003 a 2018 em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, sendo A (janeiro), B (fevereiro), C (março), D (abril), E (maio) e F (junho).	45
Figura 13 - Média mensal de umidade específica (g.kg^{-1}) entre os anos de 2003 a 2018 em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, sendo A (julho), B (agosto), C (setembro), D (outubro), E (novembro) e F (dezembro).....	46
Figura 14 - Ocorrência de focos de incêndios entre os anos de 2003 e 2018 em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.....	47
Figura 15 - Ocorrência de focos de incêndios em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul em 2003 (A), 2004 (B), 2005 (C), 2006 (D), 2007 (E), 2008 (F), 2009 (G), 2010 (H), 2011 (I), 2012 (J), 2013 (K), 2014 (L), 2015 (M), 2016 (N), 2017 (O) e 2018 (P)..	48
Figura 16 (A-B) Distribuição anual dos focos de incêndios em Mato Grosso (A) e Mato Grosso do Sul (B) entre os anos de 2003 a 2018.	49
Figura 17 - Distribuição mensal dos focos de incêndios em Mato Grosso (A) e Mato Grosso do Sul (B) entre os anos de 2003 a 2018.	50
Figura 18 - Distribuição da média anual de precipitação total (TP, barra preta) e média do período (MED_TP) (A), temperatura média (T2M, barra preta) e média do período (MED_T2M) (B) e umidade relativa do ar (R, barra preta) e média do período (MED_R) (C) com relação ao número de focos de incêndios (NF, linha vermelha) (A, B e C) em Mato Grosso (MT), entre os anos de 2003 a 2018.	53
Figura 19 - Distribuição da média anual de precipitação total (TP, barra preta) e média do período (MED_TP) (A), temperatura média (T2M, barra preta) e média do período (MED_T2M) (B) e umidade relativa do ar (R, barra preta) e média do período (MED_R) (C) com relação ao número de focos de incêndios (NF, linha vermelha) (A, B e C) em Mato Grosso do Sul (MS), entre os anos de 2003 a 2018.....	54

- Figura 20 - Compostos de magnitude (colorido) e escoamento dos ventos (linhas de correntes) (m/s) em 250 hPa em D-2 (A) e D0 (B); 500 hPa em D-2 (C) e D0 (D); e 850 hPa em D-2 (E) e D0 (F) para os 10 casos com maior número de focos de incêndios em Mato Grosso.....58
- Figura 21 - Compostos de geopotencial (mvp) (linha sólida preta) e anomalia (colorido) em D-2 (A), D-1 (B), D0 (C) e D+1 (D) para os casos 10 casos com maior número de focos de incêndios em Mato Grosso.59
- Figura 22 - Compostos de pressão ao nível do mar (hPa) (linha sólida preta) e anomalia (colorido) em D-2 (A), D-1 (B), D0 (C) e D+1 (D) para os casos 10 com maior número de focos de incêndios em Mato Grosso.60
- Figura 23 - Compostos de temperatura do ar (°C) em superfície (linha sólida preta) e anomalia (colorido) em D-2 (A) e D0 (B); e compostos de umidade relativa do ar (%) em 925 hPa (linha sólida preta) e anomalia (colorido) em D-2 (A) e D0 (B) para os 10 casos com maior número de focos de incêndios em Mato Grosso.61
- Figura 24 - Compostos de magnitude (colorido) e escoamento dos ventos (linhas de corrente) (m/s) em 250 hPa em D-2 (A) e D0 (B); 500 hPa em D-2 (C) e D0 (D); e 850 hPa em D-2 (E) e D0 (F) para os 10 casos com maior número de focos de incêndios em Mato Grosso do Sul.63
- Figura 25 - Compostos de geopotencial (mvp) (linha sólida preta) e anomalia (colorido) em D-2 (A), D-1 (B), D0 (C) e D+1 (D) para os casos 10 casos com maior número de focos de incêndios em Mato Grosso do Sul.64
- Figura 26 - Compostos de pressão ao nível do mar (hPa) (linha sólida preta) e anomalia (colorido) em D-2 (A), D-1 (B), D0 (C) e D+1 (D) para os casos 10 com maior número de focos de incêndios em Mato Grosso do Sul.....65
- Figura 27 - Compostos de temperatura do ar (°C) em superfície (linha sólida preta) e anomalia (colorido) em D-2 (A) e D0 (B); e compostos de umidade relativa do ar (%) em 925 hPa (linha sólida preta) e anomalia (colorido) em D-2 (A) e D0 (B) para os 10 casos com maior número de FI em Mato Grosso do Sul.67
- Figura 28 - Quantidade (%) de casos em que houve aumento do número de focos de incêndios sob atuação de friagens intensas em Mato Grosso (A) e Mato Grosso do Sul (B), sendo os eventos de friagens definidos por Santos (2017).....67

- Figura 29 - Proporção (%) do aumento ou diminuição do número de focos de incêndios sob atuação de friagem em relação a três dias anteriores ao fenômeno para cada evento em Mato Grosso (pontos em vermelho) e Mato Grosso do Sul (pontos em preto), com base nos eventos intensos por Santos (2017).68
- Figura 30 - Compostos de pressão atmosférica ao nível médio do mar (hPa, linhas sólidas pretas) e anomalia (colorido) destes em relação a agosto e setembro de 1981 a 2010 em D-2 (A), D0 (B), D+2 (C) e D+4 (D) para os casos 27 casos de friagens intensas em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.....69
- Figura 31 - Compostos de temperatura do ar em superfície (°C, linha sólida preta) para os casos 27 casos de friagens intensas em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, e anomalia (colorido) destes em relação a agosto e setembro de 1981 a 2010.70
- Figura 32 - Compostos de umidade do ar em 925 hPa (% , linha sólida preta) para os casos 27 casos de friagens intensas em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, e anomalia (colorido) destes em relação a agosto e setembro de 1981 a 2010.71

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Dia e máximos diários do total de focos de incêndios selecionados para análises dos campos compostos em Mato Grosso (MT) e Mato Grosso do Sul (MS), entre 2003 a 2018.	33
Tabela 2 - Concentração anual e mensal (% “total”) da ocorrência de focos de incêndios em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul entre o período de 2003 e 2018.	51
Tabela 3 - Coeficiente de correlação de Pearson (COR) entre focos de incêndios e as variáveis meteorológicas (T2M), precipitação (TP) e umidade relativa do ar (R), através de uma análise mensal em Mato Grosso.	56
Tabela 4 - Coeficiente de correlação de Pearson (COR) entre focos de incêndios e variáveis meteorológicas temperatura (T2M), precipitação (TP) e umidade relativa do ar (R), através de uma análise mensal em Mato Grosso do Sul.	56

Sumário

1 Introdução.....	16
2 Revisão de Literatura.....	18
2.1 Caracterização geral da região de estudo	18
2.2 Focos de incêndios (queimadas)	24
2.2.1 Terminologia	24
2.2.2 Causas.....	24
2.2.3 Monitoramento por satélites e dinâmica espaço-temporal das queimadas.....	27
2.3 Friagens.....	29
3 Metodologia	31
3.1 Variáveis meteorológicas.....	31
3.2 Focos de incêndios.....	32
3.3 Campos compostos na ocorrência de focos de incêndios	33
3.4 Relações entre focos de incêndios e eventos de friagens	34
4 Resultados e Discussões.....	36
4.1 Variáveis meteorológicas.....	36
4.1.1 Distribuição média anual e mensal de temperatura e umidade relativa do ar.....	36
4.1.2 Distribuição média anual e mensal do regime pluviométrico	40
4.1.3 Distribuição média anual e mensal da umidade específica	44
4.2 Focos de Incêndios.....	46

4.2.1 Distribuição anual de focos de incêndios	46
4.2.2 Distribuição mensal de focos de incêndios	49
4.3 Relações e correlação entre focos de incêndios e variáveis meteorológicas	51
4.4 Campos compostos para eventos com maior número de focos de incêndios	57
4.4.1 Mato Grosso	57
4.4.2 Mato Grosso do Sul	62
4.5 Relações entre focos de incêndios e eventos de friagens	67
5 Conclusões	73
6 Referências Bibliográficas	75

1 Introdução

Durante o período seco, ocorrem altos índices de queimadas nos estados do Mato Grosso (MT) e Mato Grosso do Sul (MS) (INPE, 2018), fazendo com que estas regiões tropicais, sobretudo o MT, estejam entre as que mais queimam biomassa no mundo (CRUTZEN e ANDREAE, 1990; ANDREAE, 1991; PRINS et al., 1998; MAGALHÃES NETO, 2017). As queimadas ou número de focos de incêndios (FI) estão associados em grande parte à ação humana, utilizando o fogo como principal meio para a limpeza e renovação dos cultivos durante o período seco (MAGALHÃES NETO, 2017). Dentre os biomas que compõe a região, a Amazônia e o Cerrado destacam-se tanto pela maior abrangência como também por corresponderem às áreas de maior FI (INPE, 2019).

A seca, como uma das principais características do clima da região, resume-se não somente ao baixo regime pluviométrico, geralmente de maio a outubro (NIMER, 1989), mas também as grandes amplitudes de temperaturas absolutas, podendo atingir valores tanto próximos dos 40°C (por vezes superiores), quanto baixas temperaturas próximas de 0°C (por vezes inferiores), sendo a maior parte dessas temperaturas mínimas associadas à incursão de ar frio que penetra na região. Essa incursão de ar frio é denominada por diversos autores como fenômeno de friagem (MYERS, 1964; HAMILTON e TARIFA, 1978; FISCH, 1996; MARENGO et al., 1997a; MARENGO et al., 1997b; GARREAUD, 2000; OLIVEIRA et al., 2004; VILHENA, 2008; AMORIM NETO, 2013; RICARTE et al., 2014; FERNANDES, 2014; GOMES, 2015; SANTOS, 2017).

Sendo a prática da queimada ainda bastante recorrente em MT e MS (INPE, 2018), onde normalmente a propagação do fogo está fortemente associada às condições de tempo (variáveis meteorológicas) (ARANHA, 2016), e climatologicamente as incursões de ar frio ocorrem anualmente e similarmente na região (PINTO, et al., 2018), torna-se importante a necessidade de novos estudos sobre como as variáveis meteorológicas

influenciam no comportamento do FI e quais as relações entre eventos de friagens e o número de FI.

Desde modo, o objetivo geral deste trabalho é relacionar a ocorrência de focos de incêndios com as variáveis meteorológicas e eventos de friagens, entre os anos de 2003 e 2018, nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Especificamente, pretende-se realizar um estudo sobre a (i) Distribuição espacial e temporal das variáveis meteorológicas e dos FI (anual e mensal); (ii) Analisar as relações e correlações entre o FI com as variáveis meteorológicas; (iii) Analisar o ambiente sinótico por campos compostos durante a ocorrência do número máximo de FI e (iv) Analisar as relações preliminares entre os eventos de friagens e FI.

2 Revisão de Literatura

2.1 Caracterização geral da região de estudo

A região Centro-Oeste (CO), em função de sua posição central no continente e por sua grande extensão territorial, possui características geográficas distintas. O CO possui mecanismos atmosféricos que são de certa forma homogênea, por causa de seu relevo e latitude, porém com a alteração da altitude e latitude, tornam propícia a heterogeneidade (NIMER, 1989). Os biomas que compõe a região são: Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica e o Pantanal.

Os estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, inseridos na região CO, por compreenderem boa parte de sua extensão territorial, possibilitam o entendimento dos principais conceitos necessários para a discussão dos aspectos geográficos da região e, ainda, a sua interação com a atmosfera.

O Mato Grosso caracteriza-se por ocupar a maior extensão territorial do CO, com uma área de aproximadamente 903.357,908 km² (IBGE, 2010). Faz divisa com Mato Grosso do Sul, Goiás, Tocantins, Pará, Amazonas e Rondônia, além da fronteira com a Bolívia.

O estado está inserido em duas das maiores bacias hidrográficas brasileiras, com dimensões continentais: a Bacia do Paraguai (Bacia do Rio Paraná) e a Bacia da Amazônia (COUTINHO, 2005). Conforme Sette (2005), sua extensão territorial na porção central do continente sul americano, proporciona características específicas dos Climas Continentais das latitudes intertropicais da América do Sul, sendo uma das principais propriedades climatológicas o fato de estar situado em área de transição entre os Climas Tropicais Continentais, composto com Cerrado, e os Climas Equatoriais Continentais integrados com a Floresta Amazônica.

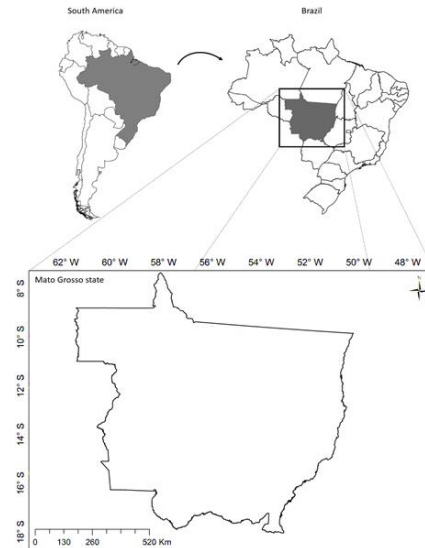


Figura 1 - Localização do Brasil, com destaque para o Estado de Mato Grosso.

Fonte: Adaptado de Di Raimo et al. (2018).

A cobertura vegetal mato-grossense corresponde a características de três biomas (Figura 2), que são: o bioma do Cerrado (39%), o bioma do Pantanal (7%) e o bioma da Floresta Amazônica (54%) (SEPLAN-MT, 1990; IBGE, 2004), os quais favorecem a grande diversidade ecológica, social, econômica, cultural e de processos de produção agrosilvipastoril (COUTINHO, 2005).

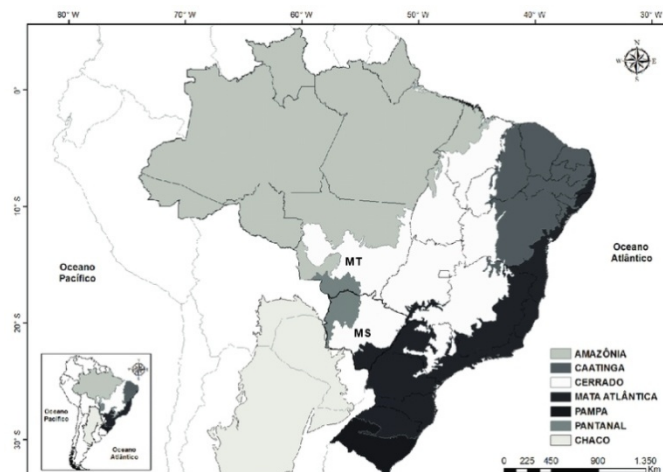


Figura 2 - Biomas do Brasil e Chaco da América do Sul, com destaque para o Estado de Mato Grosso (MT) e Mato Grosso do Sul (MS).

Fonte: Adaptado de Bueno et al. (2018).

O relevo do estado é formado por nove grandes unidades geomorfológicas as quais se agrupam em planaltos, planaltos residuais, depressões e planícies (SEPLAN-MT,

1990). No geral, apresenta grandes superfícies aplainadas, talhadas em rochas sedimentares, sendo a porção centro-norte do estado, a dos chapadões sedimentares e planaltos cristalinos com maiores altimetria (entre 400 e 800m), que integram o planalto central brasileiro (GOVERNO DO MT, 2019).

O Mato Grosso possui uma população estimada de 3.441.998 habitantes, de acordo com os dados do censo demográfico de 2018 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Conforme o instituto, à sua extensão territorial e o fato de ocupar o décimo nono lugar do ranking demográfico dos estados da federação, a densidade demográfica é de apenas 3,36 hab.Km⁻², ou o vigésimo quinto do ranking (penúltimo) se comparado aos demais estados do país.

Cada vez mais, como discutido por Dentz (2018), ao abordar a dinâmica espacial da acumulação de capital do agronegócio mato-grossense, o montante de área plantada no estado apresenta um aumento considerável de hectares cultivados. Logo, a agricultura, como base da economia do estado, teve uma grande expansão ao longo do tempo.

Assim como o Mato Grosso, o Mato Grosso do Sul (Figura 3) se destaca em cenário nacional por sua grande extensão territorial e, como discutido por Nimer (1989), a alteração da altitude e latitude do estado, resulta em características geográficas heterogênicas. De acordo com o IBGE (2010), a extensão territorial sul-mato-grossense é de 357.145,531 km². Faz divisa com os estados de Mato Grosso, Goiás, Minas Gérias, São Paulo e Paraná, além da fronteira com o Paraguai e a Bolívia.

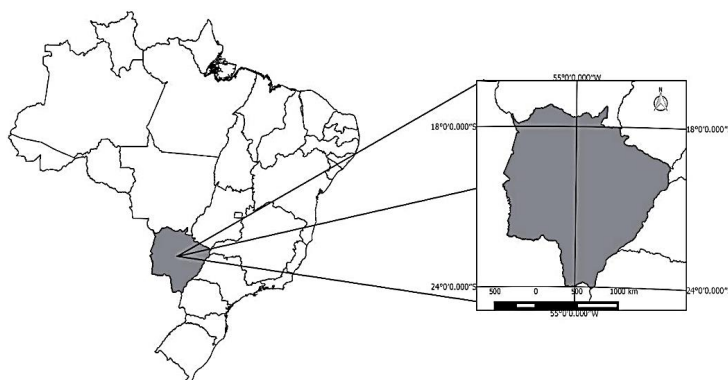


Figura 3 - Localização do Brasil, com destaque para o Estado de Mato Grosso do Sul.

Fonte: Adaptado de Borlachenco e Gonçalves (2017).

O estado totaliza uma população estimada em 2018 de 2.748.023 habitantes, ocupando a vigésima primeira posição dos estados federativos mais populosos e, apresenta baixa densidade demográfica, sendo atualmente de aproximadamente 6,8 hab/km², ou o décimo nono do ranking na comparação com os demais estados do país (IBGE, 2018).

A cobertura vegetal sul-mato-grossense corresponde a características de três biomas, que são: o bioma do Cerrado, o bioma do Pantanal e o bioma da Mata Atlântica (IBGE, 2004) (Figura 2).

As altitudes médias do estado ficam entre 200 e 600 metros, sendo sua maior porção territorial formada por uma planície aluvial sujeita a inundações periódicas, a planície do Pantanal, cujas altitudes oscilam entre 100 e 200 metros (GOVERNO MS, 2019). No entanto, em meio à planície do Pantanal ocorrem alguns maciços isolados, como o de Urucum, com 1.160m de altitude, próximo à cidade de Corumbá. Ainda, o planalto da bacia do Paraná ocupa toda a porção Leste do Estado, apresentando extensas superfícies planas, com 400m a 1.000m de altitude (GOVERNO MS, 2019).

O agronegócio é uma das principais atividades econômicas do estado, sendo a produção do milho e a soja como contribuintes de 10% e 7% da produção de grãos do Brasil, respectivamente (CONAB, 2013).

O clima em ambos os estados foi contextualizado como tropical do tipo Aw com maior abrangência (NIMER, 1989), conforme classificação climática de Köppen (1948), ou seja, clima tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. Cabe ressaltar, que a classificação climática de Köppen, também conhecida como classificação climática de Köppen-Geiger, é o sistema de classificação global dos tipos climáticos mais utilizada em diversas ciências, como geografia, ecologia, meteorologia, dentre outros (FARIA, 2010).

Apesar de o clima Aw ser de maior abrangência, em Mato Grosso, sobretudo na região norte e noroeste do estado, o domínio da floresta Amazônica faz com que o clima caracteriza-se como transitório ao equatorial (*Am* – Temperaturas elevadas com alto índice pluviométrico), conforme Alves (2009), devido a alta pluviosidade e estação seca pouco definida; enquanto que a carga da altitude e do comportamento da temperatura anual, somada ao regime pluviométrico, apresente localidade caracterizada como clima Cwa (clima mesotérmico úmido, verões quentes e invernos secos), como no distrito de

São Vicente da Serra (pertencente ao município de Santo Antônio do Leverger) com 800 m de altitude (SOUZA et al., 2013).

Ainda, ao sul de Mato Grosso do Sul, características subtropicais também são notadas, principalmente em áreas do bioma Mata Atlântica (IBGE, 2004). No município de Dourados, por exemplo, Fietz et al. (2017), fazendo análise de alguns variáveis meteorológicos da região e do uso da classificação de Köppen, caracterizaram o clima da cidade do tipo Cwa.

No período chuvoso, como discutido por Nimer (1989), os principais mecanismos atmosféricos que atuam na região, sobretudo em Mato Grosso, derivam da massa de ar equatorial continental que se desloca para o interior do país no sentido noroeste para sudeste, provocando chuvas. Por outro lado, durante o período seco, tanto a entrada de ar frio providas de massa polar atlântica no sentido sul para o norte (FISCH, 1996; PINTO et al., 2018), como o estabelecimento de um anticiclone em altitude/troposfera, condicionam a falta de chuvas (estiagem) (SETTE, 2005), sendo este mecanismo atmosférico com menor influência no norte do Mato Grosso (bioma Amazônia).

Assim como a chuva está diretamente relacionada com diversos setores da sociedade, como a economia e o meio ambiente (SILVA et al., 2007), a falta dessa variável meteorológica também causa transtornos, como aos agricultores no planejamento e desenvolvimento das atividades agrícolas pautadas no comportamento da chuva.

Além da precipitação, as principais variáveis meteorológicas que caracterizam tanto o tempo presente como o clima de um determinado local dá-se pela temperatura, umidade do ar e a radiação solar, sendo estas amplamente investigadas na literatura. Apesar da interação entre essas variáveis, a precipitação sobressai quanto aos efeitos diretos e indiretos nas demais (EMBRAPA, 2005). No entanto, como discutido por Aranha (2016), a temperatura e a umidade do ar também são muito importantes por causarem diferentes fenômenos meteorológicos e impactos, como na melhoria da qualidade do conforto ambiental e no aumento de combustão para o fogo na vegetação, alvo de estudo do trabalho.

No que diz respeito à temperatura do ar, diversos fatores exercem influência na distribuição desta sobre a superfície, como por exemplo, a presença de corpos hídricos, a altitude (relevo), os ventos predominantes, as correntes oceânicas e a continentalidade (PARRA, 2001).

Sabe-se, em função apenas da disponibilidade de radiação solar, que a temperatura apresenta um ciclo diário bem definido, sendo diferente essa energia recebida em uma região equatorial comparada a polares, por exemplo. Na área de estudo, este ciclo geralmente apresenta maiores temperaturas entre 13 e 15 horas e a mais baixas antes do sol nascer (VIANELLO e ALVES, 2000; PEREIRA et al., 2002; GOMES, 2010).

Além disso, na tocante temperatura correlacionada a radiação solar e precipitação, como indagado por Parra (2001) e Santos et al. (2013), na maioria das localidades da região de estudo, o índice de variação térmica (diferença entre a maior e menor temperatura diária) é maior na estação seca, pois na estação chuvosa, sob condições de céu nublado, os efeitos da radiação solar são reduzidos, sendo o vapor d'água um grande potencial de atenuação, mantendo maior uniformidade térmica (PARRA, 2001). Ainda, a região sofre interferência direta do fator climático de continentalidade (NASCIMENTO, 2016), podendo então, somada a sistemas meteorológicos favoráveis, serem percebidas grandes amplitudes térmicas.

No período seco, normalmente registra-se a temperatura máxima absoluta anual em praticamente todas as áreas de estudo. Contudo, baixas temperaturas também são reportadas neste período na região, devido à influência de sistemas meteorológicos extratropicais (ALVES, 2009; SANTOS, 2017; PINTO et al., 2018), sobretudo em Mato Grosso do Sul.

A influência da topografia (relevo) na temperatura é comum na literatura, por exemplo, Fritzsons et al. (2015). Um exemplo típico dessa característica na área de estudo encontra-se entre a capital mato-grossense Cuiabá (180 metros) e a região serrana no distrito de São Vicente da Serra (800 metros), no município de Santo Antônio do Leverger. Nestas regiões apesar de se situarem em latitudes semelhantes (0,2° de diferença) e em torno de 80 km de distância, apresentam diferenças nas médias mensais de até 5 °C decorrentes da diferença de altitude (SOUZA et al., 2013).

Além da precipitação e a temperatura, a umidade relativa do ar também é uma importante variável meteorológica a ser considerada, principalmente à sazonalidade pluviométrica bem definida na região de estudo. Durante o inverno, é comum a umidade relativa do ar ficar extremamente baixa (ALVES, 2009). Um dos motivos a isso, como discutido por Torres (2006), deve-se pela ausência de chuvas e as altas temperaturas.

A umidade relativa apresenta um comportamento inverso ao da temperatura (LOPES e JARDIM, 2012), desde que não ocorra a saturação do ar, ou seja, esta será mais alta nos horários de menor temperatura e mais baixa nas horas mais quentes do dia (PEREIRA et al., 2002). Moreira et al. (2015), por exemplo, mostraram a umidade relativa do ar com maiores valores na manhã às 6 horas em Tangará da Serra (região de transição dos biomas Cerrado-Amazônia em Mato Grosso); e mais baixa no período da tarde, por exemplo as 14 horas em Alta Floresta (bioma Amazônia em Mato Grosso).

Conforme a EMBRAPA (2005), a umidade relativa do ar abaixo de 60% pode ser prejudicial por aumentar a taxa de transpiração da planta e, acima de 90%, reduz a absorção de nutrientes, devido à redução da transpiração, além de favorecer a propagação de doenças fúngicas.

2.2 Focos de incêndios (queimadas)

2.2.1 Terminologia

Para melhor entendimento, é apresentada a definição de diferentes modos de abordagem das queimadas. O termo (a) **fogo** refere-se a uma reação química de oxidação com desprendimento de luz e calor (SENAR, 2015), sendo a combinação de calor, ar (comburente), combustível e reação em cadeia o tetraedro da formação do fogo, devendo coexistir para que o fogo se mantenha (SALDANHA, 2017); (b) **queimada**, refere-se ao processo de combustão de fitomassa e/ou subprodutos desta combustão; (c) **queimada controlada**, refere-se ao uso do fogo com combustão controlada, trazendo inúmeros benefícios à sociedade humana (OLIVEIRA, 2017); (d) **incêndio florestal**, ação do fogo sem nenhum controle que afeta combustíveis vegetais naturais e se propaga através da vegetação, para locais de aptidão florestal (arborizados ou não arborizados), sendo capaz de provocar prejuízos ambientais, materiais, queimaduras e intoxicações pelo fumo (GOMES, 2012).

2.2.2 Causas

O uso do fogo, como discutido por Soares (1995), sempre esteve lado a lado para o desenvolvimento de toda a civilização humana até o presente. No entanto, o uso sem

planejamento e desenfreado em muitos momentos, condicionou-o o papel de inimigo potencial para prejuízos materiais e humanos.

Em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, o fogo é majoritariamente associado à queimada, sendo sua origem tanto natural como antrópica. Pereira e Cabral (2011) apontaram as descargas elétricas (raios) e o vulcanismo, como alguns iniciadores naturais do fogo no planeta, sendo o primeiro mais frequente. Neste contexto, Coutinho (2005) indicou que as queimadas ocasionadas por raios ocorrem principalmente no período das chuvas, sendo supridas mais facilmente devido a vegetação não estar seca, a umidade do ar estar elevada e, sobretudo, geralmente serem seguidas por chuva.

Em 1996-97, Ramos-Neto (1997) estimou que 1% a 2% das causas de incêndios florestais no Parque Nacional Emas, sudoeste de Goiás e sob domínio do Cerrado, foram provocados por raios, sendo um dos primeiros registros *in loco* de queimadas naturais no bioma.

Por outro lado, as queimadas antrópicas podem ocorrer por várias causas, desde ao controle de arbustos em pastagens, controle de pragas e negligência no manejo do fogo em áreas queimadas intencionalmente (COUTINHO, 1990; FIEDLER et al., 2006); assim como em práticas urbanas como o fogo no fundo de quintais, terrenos e áreas abandonadas, lotes sem construção com vegetação de pequeno e médio porte (SILVA e SILVA, 2006), cigarros descartados em vegetação seca, pequenas fogueiras e práticas de cultos religiosos (VETTORAZZI e FERRAZ, 1998); como também as queimadas antrópicas podem serem agravadas por consequência do período de estiagem, onde a falta ou baixo regime pluviométrico facilita a propagação do fogo diante a vegetação seca, somado a baixa umidade relativa do ar e o vento (COUTINHO, 1990; TORRES, 2006). Os vegetais mais secos formam uma maior quantidade de material de combustão, potencializando a ocorrência de fogo (queimada) (NOBRE et al., 2007).

A conversão da floresta em agricultura e para o controle de plantas invasoras tem sido uma das principais causas do uso do fogo no bioma Amazônia, sendo o método mais barato para fertilizar o solo de novas áreas agrícolas (NEPSTAD et al., 1999). Grande parte desta prática é associado ao desmatamento (MORTON et al., 2006), na região conhecida como Arco do Desmatamento (ROCHA, 2012; Rocha, 2014).

Coutinho (1990) estimou que cerca de 20 a 30% do Cerrado são queimados anualmente devido ao uso em práticas agropecuárias. A essa prática, Corrêa (2007) frisa

que dentre as fitofisionomia (paisagens naturais diferenciadas) presentes no Cerrado, as do tipo “florestal” (matas ciliares ou de galeria) e o “cerradão”, são os mais sensíveis ao fogo; enquanto as formações do tipo “savânica” (cerrado *sentido restrito*) e “campestre” (campo cerrado, sujo +e limpo) constituem fisionomias adaptadas à presença desse fenômeno no ecossistema e por isso são relativamente mais resistentes a esses impactos (Figura 4). Desses, a forma de campo “cerradão”, sensível ao fogo, ocupa 53% da área total do Cerrado (DIAS, 1992).

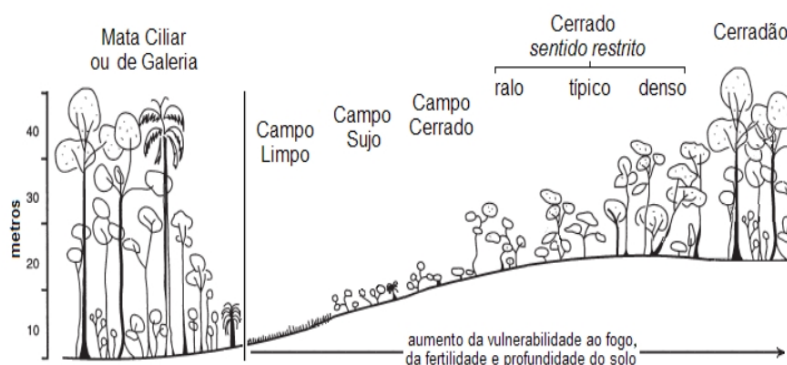


Figura 4 - Fitofisionomias: campestres, savânicas e florestais de Cerrado.

Fonte: Adaptado de Ribeiro e Walter (1998), Furley (1999) e Ottmar et al. (2001), apud Corrêa (2007).

Essa diversidade fitofisionômica pode ser explicada por se tratar de um bioma de grande extensão territorial, apoiado sobre diversas feições geológicas e, por isso, apresentam grandes variações ambientais de classes de solo, altitude, latitude e longitude, distribuição de chuvas ao longo do ano, susceptibilidade a incêndios e variações de temperaturas (RPPN GALHEIRO, 2018).

Apesar de parecer contraditório, não se pode negar a importância do fogo na região de estudo, sobretudo nas áreas de Cerrado e Amazônia. Conforme França et al. (2007), o fogo desempenha um papel ecológico importante no bioma Cerrado, influenciando na rebrota das gramíneas, principalmente do capim, estimula a floração de herbáceas, que geram resinas ricas em carboidratos; além das cinzas servirem como alimentos para mamíferos, herbívoros e onívoros. Além disso, na Amazônia o fogo converte as árvores abatidas no desmatamento em cinzas ricas em nutrientes que são incorporados ao solo, além de limpar o terreno do emaranhado de troncos e galhos derrubados (NEPSTAD et al., 1999).

Contudo, independentemente da origem (natural ou antrópica), é extremamente importante associar estes ao ambiente inserido, pois geralmente a propagação do fogo está fortemente associada às condições de tempo (variáveis climáticas), sendo que a intensidade de um incêndio e a velocidade com que ele avança está diretamente ligada à umidade relativa, à temperatura do ar e à precipitação (ARANHA, 2016).

Coutinho (1978), por exemplo, frisa o papel importante das condições iniciais tanto da umidade do solo quanto do teor de água na vegetação do bioma Cerrado; além do horário de ocorrência em função da temperatura e umidade do ar. Conforme o autor, se uma queimada ocorre na estação chuvosa ou na estação seca, os seus efeitos sobre o aquecimento do solo e a combustão em função da vegetação, são diferentes.

Na literatura, o acúmulo de dias sem chuvas também é indicado para estimar o perigo de incêndios (queimadas), como o Índice de Inflamabilidade ou de Nesterov (SOARES e BATISTA, 2007). A utilização de dados meteorológicos a partir do número de dias sem chuva implica a secagem do material vegetal e, conseqüentemente, o aumento favorável do fogo e propagação de grandes queimadas.

2.2.3 Monitoramento por satélites e dinâmica espaço-temporal das queimadas

A distribuição espaço-temporal das queimadas na área de estudo e no continente sul-americano foi motivo de diversos estudos na literatura, seja através do uso de estatísticas, sensoriamento remoto, dentre outros. Coutinho (2009), por exemplo, avaliou através de análises espaciais e estatísticas, a hipótese da aleatoriedade da distribuição da ocorrência de queimadas em MT entre 1995 a 1999 e 2003, identificando a ocorrência de queimadas não se comportando de forma aleatória e desordenada no espaço, mas sim com tendências e padrões bem definidos, possibilitando medidas preventivas antes mesmo da ocorrência e identificação do fenômeno.

No entanto, a maioria dos estudos de queimadas utiliza produtos de imagens de satélites do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O monitoramento de queimadas e incêndios florestais a partir de imagens de satélites é particularmente útil para regiões remotas (INPE, 2017), frente à grande extensão territorial e a relativa falta de condições de controle e fiscalização do fogo (MESQUITA, 2010).

Conforme Silva et al. (2013), os dados de focos de calor extraídos de imagens de satélites contribuem de forma eficaz na prevenção, no monitoramento e combate destes eventos, possibilitando gerar informações e estimativas sobre localização, período e frequência dos incêndios para estudos de dinâmica espaço-temporal.

No entanto, durante a detecção de fogo via satélite, algumas limitações técnicas podem impedir a contagem final dos focos de incêndios, por exemplo, incêndios de pequeno porte, geralmente com linha de frente do fogo com largura inferior a 30 metros; situações como focos de pequena duração, ocorrendo durante o intervalo de passagem dos satélites; presença de nuvens na área dos focos; fogo superficial em vegetação com dossel fechado; e fogo em encostas de montanhas enquanto o satélite só observou o outro lado (INPE, 2017). De todo modo, são processadas operacionalmente diferentes imagens de satélites, dentre eles o AQUA_M-T (sensor MODIS, passagem no início da tarde), sendo operado a partir de julho de 2002, quando substituiu o NOAA-12 (INPE, 2017).

Santos et al. (2014), por exemplo, analisaram a incidência de áreas queimadas na América do Sul com base em dados de sensor dos satélites AQUA e TERRA, entre os anos de 2000 e 2012, relacionando estes ao total de focos detectado no Globo e na América do Sul. Os autores destacaram que as queimadas no continente corresponderam com aproximadamente 16% dos focos ocorridos em todo o Globo, sendo 2007 o ano com o maior número de incêndios, onde 46% ocorreram apenas na América do Sul. Além disso, frisaram a região central do continente como a de maior incidência dos focos, sendo a floresta tropical e o Cerrado brasileiro as áreas mais atingidas.

Abreu e Souza (2016), baseando em dados dos focos de calor detectados pelos sensores a bordo dos satélites NOAA-12 e NOAA-15 entre os anos de 2005 e 2010, analisaram a distribuição espaço-temporal dos FI em no leste mato-grossense, onde constatarem aumento de FI a partir de julho, atingindo o máximo em setembro.

Leite e Faria (2018), através de estudo da dinâmica espaço-temporal dos focos de calor na sub-região da Nhecolândia (Mato Grosso do Sul), utilizaram o sensoriamento remoto para detecção dos focos de calor e sua espacialização em mapas. Com base em análises de imagens do satélite Landsat 8, sensor OLI, dentre outros métodos, os autores mostraram que a maior concentração dos focos de calor ocorreram entre os meses de julho a outubro (70%); enquanto o comportamento espacial foi notadamente maior em

áreas de Savana-Cerrado e de Tensão ecológica, comparada as região onde concentram-se as lagoas entre cordilheiras com cerrado e transição planalto-planície.

Ferreira et al. (2018) procuraram analisar os focos de incêndio no bioma Pantanal numa série histórica de 17 anos (2000 a 2016) com o uso do sensoriamento remoto, para assim identificar a distribuição espaço-temporal desses eventos. Como principais resultados, quantificaram cerca de 460 mil focos de calor neste bioma e descaram que estes foram bem distribuídos, mesmo nos anos com menor quantidade.

2.3 Friagens

Ao longo deste trabalho, muitos foram as considerações atribuídas entre o clima, às características de ambientes e as condições para a prática do fogo na região de estudo, destacando suas principais causas e consequências. Contudo, é de extrema importância ressaltar algumas situações onde este contexto torna-se vulnerável a quebra de padrões do tempo meteorológico, seja com um aumento ou diminuição dos efeitos acumulados até então. A isto, destaca-se a ocorrência de um fenômeno atmosférico bastante conhecido, mas pouco estudado na região, sobretudo sua relação com o fogo e, como visto anteriormente, as causas à saúde humana – o fenômeno de Friagem.

Conforme Fisch (1996), a friagem ocorre quando se verifica a passagem de frentes frias em regiões de latitudes tropicais, como Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, desde que estejam associadas à incursão de ar frio, gerando diversas alterações nas variáveis meteorológicas.

Sob atuação de friagem, destaca-se o papel do vento ao contribuir na “limpeza” da poluição (fumaça) do ar presente na baixa troposfera, provenientes das queimadas, para regiões remotas (causa benéfica), uma vez que o fluxo de sul dos ventos das latitudes maiores para a região tropical normalmente não estão associados à poluição prejudicial à saúde. No entanto, dependendo da intensidade do vento em superfície somado as outras variáveis meteorológicas, pode influenciar diretamente no bem estar animal e humano, causando não só problemas para a saúde pelo desconforto/estresse térmico ao frio (maléfico), mas também podem resultar em mortes por hipotermia em alguns casos (SANTOS et al, 2012) e ocasionar problemas de saúde da população, agravando as possíveis enfermidades já existentes provindos da fumaça das queimadas.

Na literatura, diversos trabalhos buscaram compreender o fenômeno através de diferentes metodologias, especialmente na região Amazônica, por exemplo, Myers (1964), Hamilton e Tarifa (1978), Nunes (1994), Fisch (1996), Oliveira et al. (2004), Vilhena (2008), Amorim Neto (2013), Ricarte et al. (2014) e Gomes (2015); e, mais recentemente alguns trabalhos na região pantaneira sul-mato-grossense, como Santos (2017) e Pinto et al. 2018, e em Mato Grosso por Escobar et al. (2019).

Com relação à identificação, sinótica, análises espaços-temporais e variações nas variáveis meteorológicas, por exemplo, podemos citar Hamilton e Tarifa (1978), ao detalharem os aspectos sinóticos que caracterizaram um evento de friagem em julho de 1972 na Amazônia, concluindo que o episódio de entrada de ar frio para baixas latitudes decorreu da formação de uma ciclogênese próxima à fronteira norte da massa de ar frio; Garreaud (2000) ao utilizar reanálises para analisar as características sinóticas de diversos eventos de friagem entre 1979 e 1995 na América do Sul, descrevendo a advecção de ar frio sendo impulsionada por uma circulação de baixa pressão atmosférica em superfície sobre o Atlântico sudoeste; e recentemente, Pinto et al. (2018), ao quantificarem friagens em Mato Grosso do Sul no período de 2007 a 2012, verificando a ocorrência de 60 episódios do fenômeno, com média de 10 eventos por ano, sendo a variável temperatura máxima a mais afetada e o primeiro dia de evento o mais propício à ocorrência de precipitação.

3 Metodologia

3.1 Variáveis meteorológicas

Para análises da série temporal (anual e mensal) e espacial das variáveis meteorológicas em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, entre os anos de 2003 a 2018, utilizou-se de dados de reanálises mensais do ERA-5, sendo a quinta e última geração de reanálises atmosféricas do clima global *do Europe an Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF). Dentre as principais características do ERA-5, a reanálise destaca-se por fornecer dados sobre diversos parâmetros atmosféricos, de superfície terrestre e do estado do mar, juntamente com estimativas de incerteza (CLIMATE CHANGE SERVICE, 2019).

Foram utilizados dados médios mensais de precipitação total (TP, em metros “m”), temperatura do ar (T2M, °C), umidade relativa do ar (R, %), sendo regularmente distribuídas sobre uma grade latitude-longitude a uma resolução de 0,25° x 0,25° e processados no Grid Analysis and Display System (GrADS). Devido o ERA-5 disponibilizar dados de TP em m, foi feita a conversão para milímetros (mm) na discussão, ou seja, multiplicado por mil (x 1000).

A utilização de reanálise meteorológica deu-se por considerar baixa ou insuficiente densidade de estações meteorológicas em superfície disponíveis na região do estudo, sendo este um conjunto de dados obtidos de modelos de circulação global com dados medidos, sintetizando os dados disponíveis em um contexto físico (STÜKER et al., 2016).

Primeiramente, foi verificada a climatologia anual e mensal do período e, posteriormente, foi calculado o valor médio de todos os pontos de grade para os dois estados, a fim de se analisar pontualmente a climatologia anual e mensal do período. Além disso, foi calculado a Normal Climatológica (NC) de 1981 a 2010, a fim de comparar

o comportamento recente dos variáveis meteorológicas. O cálculo de TP anual deu-se pelo somatório total de TP em todos os pontos de grade ao longo do tempo de um ano, a fim de verificar os máximos valores em todo respectivo estado.

Uma vez apresentada a variabilidade temporal e espacial das variáveis meteorológicas e da ocorrência dos focos de incêndios (FI), foram analisadas as relações anuais e os coeficientes de correlação de Pearson e teste t de Student a um nível de significância de 95%, entre NF e cada variável meteorológica, através de uma análise mensal, ou seja, todos os janeiros de 2003 a 2018, todos os fevereiro de 2003 a 2018, e assim sucessivamente até o mês de dezembro.

Os coeficientes da correlação variam entre -1 e 1, onde 1 significa uma correlação linear positiva perfeita entre as duas variáveis, indicando que ambos os valores aumentam ou diminuem juntos; e valor igual a -1 indica uma correlação linear negativa perfeita entre as duas variáveis, ou seja, se uma aumenta, a outra sempre diminui e vice-versa. Valores iguais a 0 indicam que as duas variáveis não dependem linearmente uma da outra. Para a interpretação do grau das correlações foi adotada a seguinte classificação dos coeficientes de correlação: desprezível (0 a 0,3), fraca ($> 0,3$ a $< 0,5$), moderada ($> 0,5$ a $< 0,7$), forte ($> 0,7$ a $< 0,9$) e muito forte ($> 0,9$ a 1) (MUKAKA, 2012).

As correlações e o teste t de Student foram calculados utilizando o software R, um conjunto integrado de facilidades para manipulação de dados, cálculo e visualização gráfica (BEASLEY, 2004).

3.2 Focos de incêndios

Foram utilizados dados de focos de incêndios (FI), como indicadores de ocorrência de fogo, gerados a partir do satélite AQUA_M-T, que possui sensores óticos operando na faixa termal-média de 4 μm , sendo processadas operacionalmente na Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais (DSA), disponibilizados pelo Programa de Monitoramento de Queimadas do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE).

O satélite de referência AQUA_M-T, cujo sensor é dado pelo Moderate Resolution Imaging Spectro radiometer (MODIS) e com passagem no início da tarde, é utilizado para compor uma série temporal de focos detectados ao longo dos anos, sendo operado a

partir de julho de 2002, quando substituiu o NOAA-12 que operava desde junho de 1998 (sensor AVHRR, passagem no final da tarde) (INPE, 2019).

Foram analisados os FI geoespacializados na resolução de 25 km (grade latitude-longitude a uma resolução de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$) em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, entre os anos de 2003 a 2018, processados no Grid Analysis and Display System (GrADS). Posteriormente, foi calculado o valor médio de todos os pontos de grade para os dois estados, a fim de se analisar pontualmente a climatologia anual e mensal do período.

3.3 Campos compostos na ocorrência de focos de incêndios

A análise da média dentro de um fenômeno específico (campos compostos) deu-se a partir de escala diária, sendo analisado o ambiente sinótico da ocorrência de 10 casos com maiores detecções diários de FI em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, entre 2003 e 2018 (Tabela 1), e suas possíveis relações com as variáveis meteorológicas usando dados de reanálises ERA-5.

Tabela 1 - Dia e máximos diários do total de focos de incêndios selecionados para análises dos campos compostos em Mato Grosso (MT) e Mato Grosso do Sul (MS), entre 2003 a 2018.

Caso	Dia Máximo NF - MT	Total NF - MT	Dia Máximo NF - MS	Total NF - MS
1	29/09/2007	7025	29/08/2005	940
2	06/09/2004	5132	21/09/2010	730
3	16/09/2005	4868	06/09/2012	676
4	06/09/2007	4228	09/09/2007	646
5	13/09/2007	3692	24/08/2007	586
6	21/09/2010	3618	04/08/2005	545
7	23/09/2005	2926	06/09/2004	538
8	18/09/2004	2857	23/08/2012	446
9	22/08/2010	2798	13/08/2010	444
10	06/10/2004	2738	25/08/2006	400

Não foi encontrado metodologias que definissem algum critério para seleção de casos de FI e do ciclo de dias de duração do mesmo. No entanto, neste trabalho a seleção dos 10 casos de FI e o ciclo de vida destes, deu-se a partir dos máximos totais diários em todos os pontos de grade organizados em ordem de valores decrescente, sendo o limite de dois dias para cada caso. Ressalta-se que os casos independem da localização dos FI, mas sim do total diário FI registrados no respectivo dia e estado, ou

seja, mesmo que eventualmente em um dia qualquer os FI ocorreram em regiões distintas do estado (distribuídos em localidades diferentes), todos foram contabilizados para compor um único total diário.

Para caracterizar o ciclo de vida dos eventos, embora não encontrado metodologia que definisse o número de dias que perduram FI, foram verificados neste trabalho FI de dois dias anteriores (D-2 e D-1) e posteriores (D+1 e D+2) ao máximo diário (D0) de FI em ambos os estados. Dependendo das variáveis analisadas, não foi considerado relevante apresentar todos os compostos diários.

As variáveis selecionadas para o estudo dos compostos foram: pressão ao nível médio do mar (hPa), escoamento dos ventos zonal (u) e meridional (v) em 250, 500 e 850 hPa (m/s), altura geopotencial em 500 hPa (m_gp), umidade relativa do ar (%) em 925 hPa e temperatura do ar (°C). Também foram analisados campos de anomalias dessas variáveis pela diferença da climatologia de 1981 a 2010 com os meses de maiores números de FI, calculada através do ERA-5, a fim de comparar o comportamento destes à média de similar período.

3.4 Relações entre focos de incêndios e eventos de friagens

A partir do conjunto de dados dos 27 eventos considerados intensos de friagens na região do Pantanal por Santos (2017), entre 2007 e 2014, onde insere os estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, foi analisado o aumento ou não do FI sob a influência do fenômeno, e a proporção destes, sendo desconsiderado nas análises casos com dados faltantes. Assim, ressalta-se que eventualmente durante os eventos de friagens não necessariamente ocorreram os máximos diários de FI na região, pois o objetivo foi verificar se as friagens aumentaram ou não os FI que já estavam acontecendo durante o período analisado. Para tal, foram verificados todos os D0 destes eventos e analisado o total diário de FI de dois dias anteriores (D-2, D-1) e três dias posteriores (D+1, D+2 e D+3) a D0, separando assim em dois intervalos, ou seja, D-2 a D0 como intervalo 1 e D+1 a D+3 como intervalo 2.

Os eventos intensos de friagens definidos por Santos (2017), foram aqueles em que as temperaturas mínimas e máximas (°C) diária apresentaram desvio negativo igual ou superior a 4°C no mesmo dia em relação à normal climatológica do respectivo mês. Os

casos ocorreram com maior frequência mensal em julho e agosto (8 eventos cada), seguido por maio (5 eventos), setembro (3 eventos), junho (2 eventos) e abril (1 evento).

Posteriormente, com o intuito de verificar de forma preliminar como as variáveis meteorológicas se comportam com a atuação do fenômeno de friagem e consequente influência nos FI na região, foram analisados os campos compostos (D-2, D0, D+2 e D+4) da pressão atmosférica ao nível médio do mar (PNMM), temperatura do ar em superfície e umidade relativa do ar em 925 hPa. Foram analisados também os campos de anomalias dessas variáveis pela diferença da climatologia de 1981 a 2010 com os meses de maiores números de FI, calculada através do ERA-5, a fim de comparar a configuração atmosférica destes à média de similar período.

4 Resultados e Discussões

4.1 Variáveis meteorológicas

4.1.1 Distribuição média anual e mensal de temperatura e umidade relativa do ar

Por meio da análise da temperatura do ar média anual em superfície (T2M_A) do período de 2003 a 2018 em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul (Figura 5 A, sombreado), nota-se valores sempre acima de 20°C em ambos estados, evidenciando ser uma região consideravelmente quente. As maiores T2M_A foram observadas na faixa Leste e no extremo Norte de Mato Grosso, enquanto as menores T2M_A ocorreram no sul de Mato Grosso do Sul, especificamente nas regiões de fronteira com o Paraguai. Quando comparado os valores de temperatura do período à Normal Climatológica (1981 a 2010) (Figura 5 B, sombreado), nota-se que o período mais recentemente apresentou T2M_A maior (aquecimento) em ambos os estados, sobretudo na região Noroeste de Mato Grosso.

Pode-se notar a importância da altitude no comportamento da temperatura média anual, sendo determinante para menores valores em localidades de maiores altitudes no meio Oeste e Sudeste de Mato Grosso, e o Nordeste, partes da área Central e região de fronteira com o Paraguai em Mato Grosso do Sul; enquanto determinou os maiores valores de temperatura média anual nas áreas com menores altitudes da planície pantaneira e nas localidades de planície do Bananal no Leste e Nordeste de Mato Grosso.

Resultados semelhantes no tocante temperatura e topografia na região de estudo foram frisados por Nimer (1989), Zavatinni (2009) e Souza et al. (2013). Em Mato Grosso do Sul, as características de clima subtropicais também apresentaram papel importante para tal comportamento (NIMER, 1989).

Com relação à umidade relativa do ar média anual (R_A), os maiores valores foram observados nas regiões Norte, Noroeste e extremo Oeste de Mato Grosso (Figura 5 A, linha tracejada). Por outro lado, nas regiões Leste e Nordeste de Mato Grosso e Leste e Norte de Mato Grosso do Sul, observa-se as menores médias. Quando comparado o comportamento da R_A do período à Normal Climatológica (NC, 1981 a 2010) (Figura 5 B, linha tracejada), nota-se que o período mais recente apresentou menor (mais seco) em ambos estados, sobretudo na região Noroeste de Mato Grosso e áreas centrais do Pantanal sul-mato-grossense.

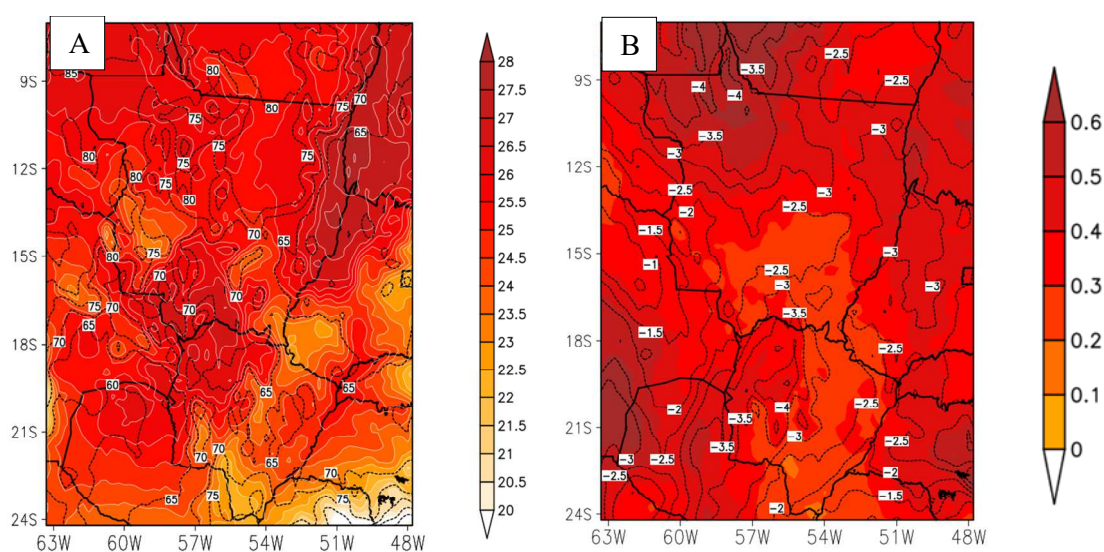


Figura 5 - Média de temperatura do ar (°C, sombreado) e umidade relativa do ar (% , linha pontilhada) em superfície entre os anos de 2003 e 2018 (A) e anomalia em relação à Normal Climatológica (1981 a 2010) (B) em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

O fato do Noroeste do Mato Grosso ter apresentado como mais seco no período de estudo com relação a toda área do estado e de Mato Grosso do Sul, pode estar relacionado pelo mesmo estar localizado na região conhecida pelo Arco do Desmatamento. Nesta região, é característico por ter a redução da absorção de radiação solar à superfície (pastagem reflete mais radiação que a floresta), redução da evapotranspiração (consequentemente aumento da temperatura do ar) e redução da umidade do ar na pastagem em comparação com a floresta (CORREA et al., 2007).

Pela distribuição mensal de temperatura média ($T2M_M$) (Figura 6 A-F e Figura 7 A-F, sombreado), observam-se as variações de temperaturas ao longo do ano, onde as maiores amplitudes térmicas (diferença entre a menor e maior temperatura) ocorreram em

Mato Grosso do Sul. Na região Leste de Mato Grosso, foi observado as maiores T2M_M em setembro (Figura 7 C, sombreado), enquanto as menores T2M_M ocorreram em julho no extremo sul de Mato Grosso do Sul (Figura 7 A, sombreado).

Pode-se notar também o papel da altitude no comportamento espacial da T2M_M, onde tanto os maiores como menores valores responderam as características do relevo, com incremento climatológico no Sul do Mato Grosso do Sul. Estes resultados corroboram com os encontrados na literatura para a região, como Alves (2009) para a Região Centro-Oeste e Souza et al. (2013) para Mato Grosso. Além disso, os maiores valores de T2M_M nos meses de inverno possivelmente respondem a maior disponibilidade da radiação solar em superfície neste período, comparado aos meses de verão, uma vez que no inverno é comum dias praticamente sem nuvens (SETTE, 2005).

Com relação à umidade relativa do ar mensal (R_M), foram observados os maiores valores em Mato Grosso entre janeiro a maio (Figura 6 A-E, linha tracejada) e outubro a dezembro (Figura 7 D-F, linha tracejada), enquanto os menores valores médios foram observados entre julho a setembro (Figura 7 A-C, linha tracejada), sendo o mês de agosto (Figura 7 B, linha tracejada) o mais seco, sobretudo na região Leste mato-grossense. Já em Mato Grosso do Sul, fevereiro foi o mais úmido no extremo Noroeste do estado (Pantanal) (Figura 6 B, linha tracejada), enquanto agosto foi o mais seco em partes da região Nordeste (Figura 7 B, linha tracejada).

Assim, em toda região de estudo, o nível de R_M é maior no período do verão, ocorrendo o inverso no inverno. No período característico de seca, Sette (2005) frisa que geralmente os índices de umidade relativa do ar diários caem a valores extremamente baixos na região, em torno de apenas 15%, condição essa que acarreta em um dos ambientes ideais para ocorrência de FI.

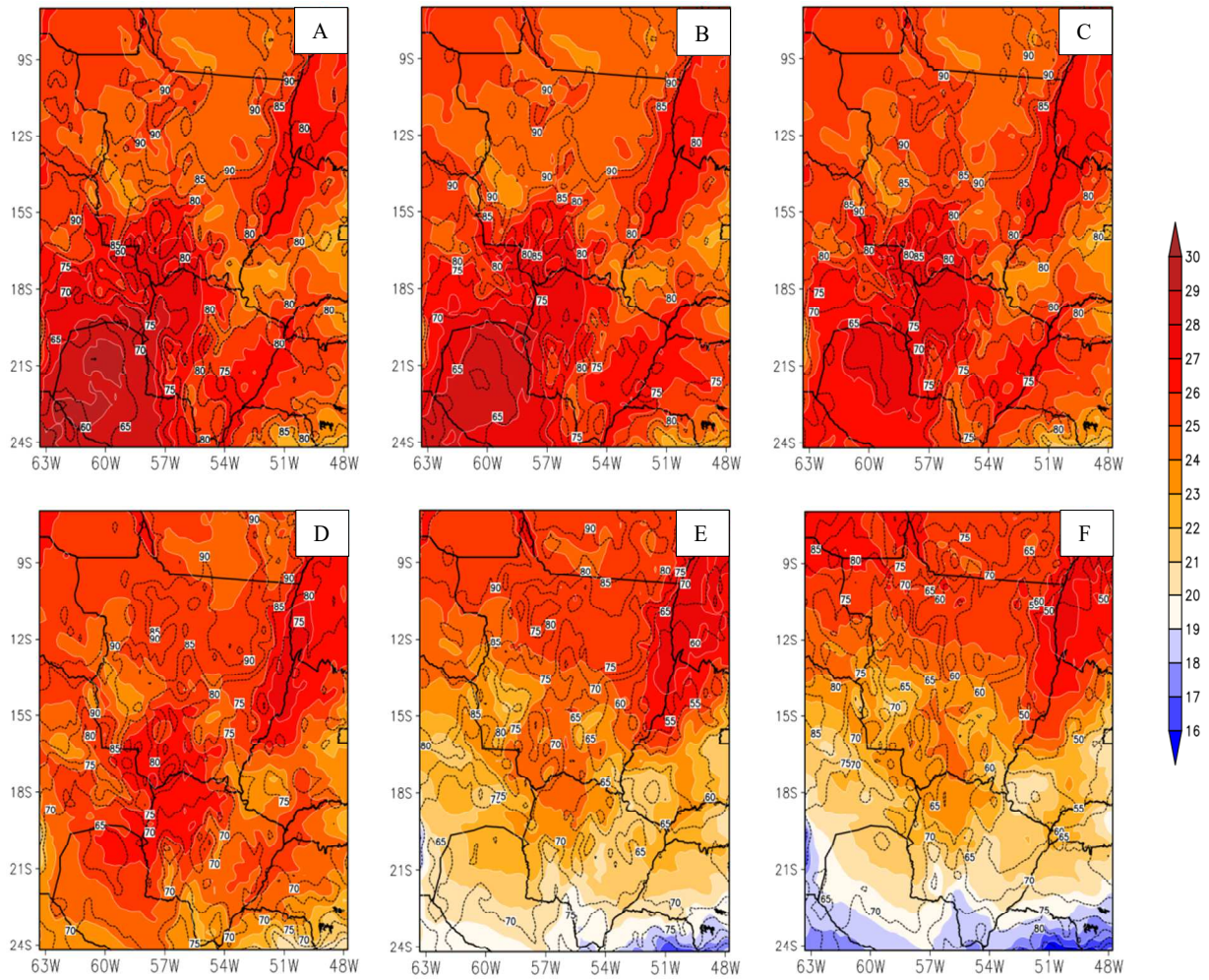


Figura 6 - Média mensal de temperatura do ar (°C, sombreado) e umidade relativa do ar (% , linha pontilhada) em superfície entre os anos de 2003 a 2018 em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, sendo A (janeiro), B (fevereiro), C (março), D (abril), E (maio) e F (junho).

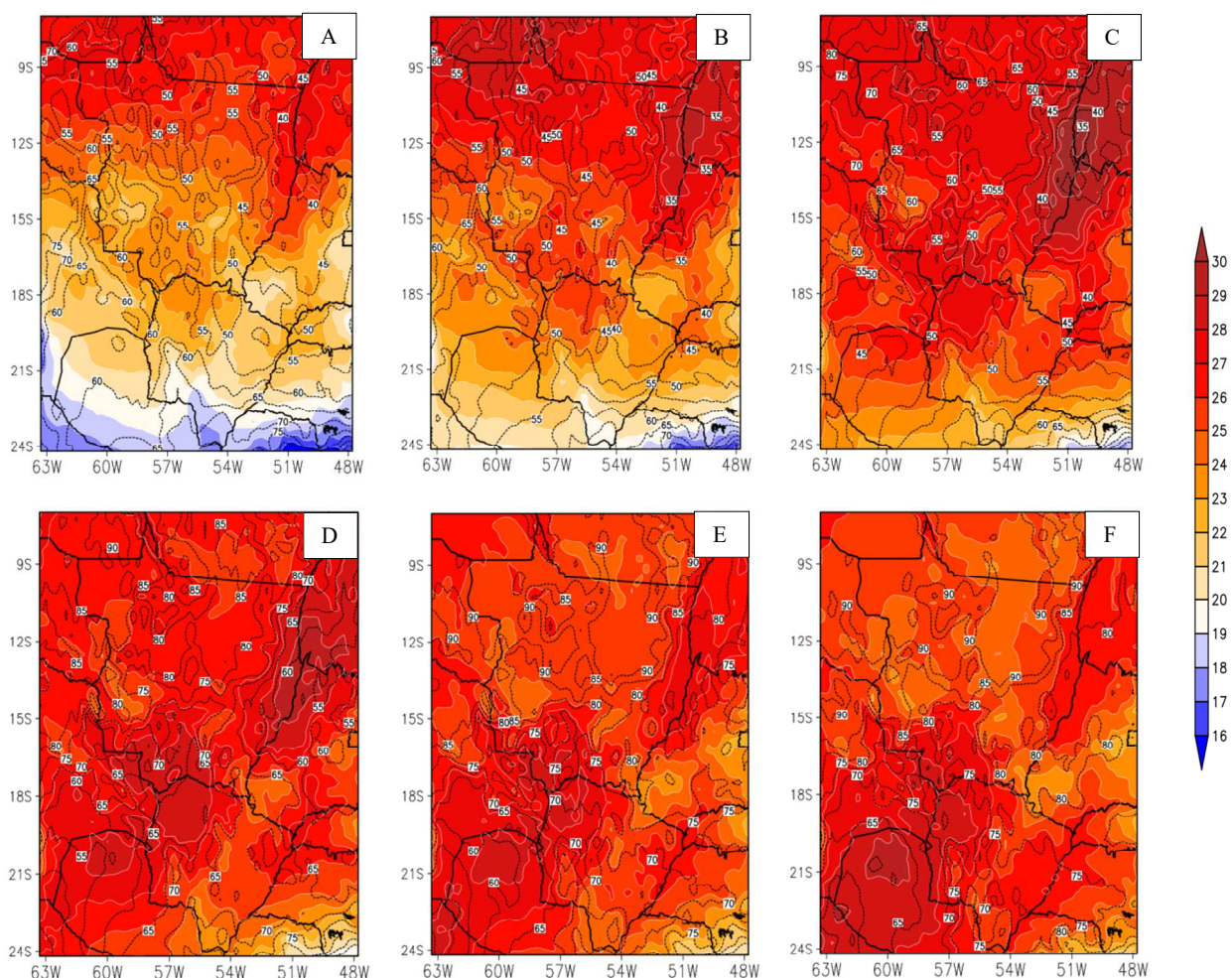


Figura 7 - Média mensal de temperatura do ar (°C, sombreado) e umidade relativa do ar (% , linha pontilhada) em superfície entre os anos de 2003 a 2018 em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, sendo A (julho), B (agosto), C (setembro), D (outubro), E (novembro) e F (dezembro).

4.1.2 Distribuição média anual e mensal do regime pluviométrico

A precipitação média anual (TP_A) do período de 2003 a 2018 em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul (Figura 8 A) apresentou diferença de 1.460 mm em relação à maior e menor pluviosidade observada, onde os maiores valores ocorreram nas regiões Norte, Noroeste e áreas do Oeste e Sudeste de Mato Grosso, sendo as duas primeiras regiões em resposta a maior influência de floresta (BRITO et al., 2015), enquanto nas duas últimas áreas o efeito é maior possivelmente pela efeito da altitude. Destaca-se no Sudoeste de Mato Grosso do Sul os maiores volumes de chuva também em função da orografia (MARCUIZZO e COSTA, 2012), embora menos intenso comparado as áreas de Mato Grosso. Já os menores volumes ocorreram em áreas irregulares do Centro, Leste,

Norte e Pantanal sul-mato-grossense e o Sudoeste mato-grossense, resultados estes semelhantes ao encontrado por Marcuzzo e Costa (2012).

Quando comparado os valores de TP_A do período à NC (1981 a 2010) calculada (Figura 8 B), nota-se que o período recente ficou em média mais seco em boa parte do Mato Grosso, especialmente no Leste com valores de até 255 mm; e em todo o Mato Grosso do Sul, sendo áreas do complexo pantaneiro mais seco (182 mm). Por outro lado, anomalias positivas de precipitação são observadas no Noroeste do Mato Grosso, sobre domínio da floresta Amazônica, o que não corroborou com o que normalmente é encontrado na literatura, quando apontam a diminuição do regime de chuvas e prolongação da estação seca em resposta ao desmatamento e aos FI ocorrem nesta região (COSTA e PAULIQUEVIS, 2009; ROCHA et al., 2012).

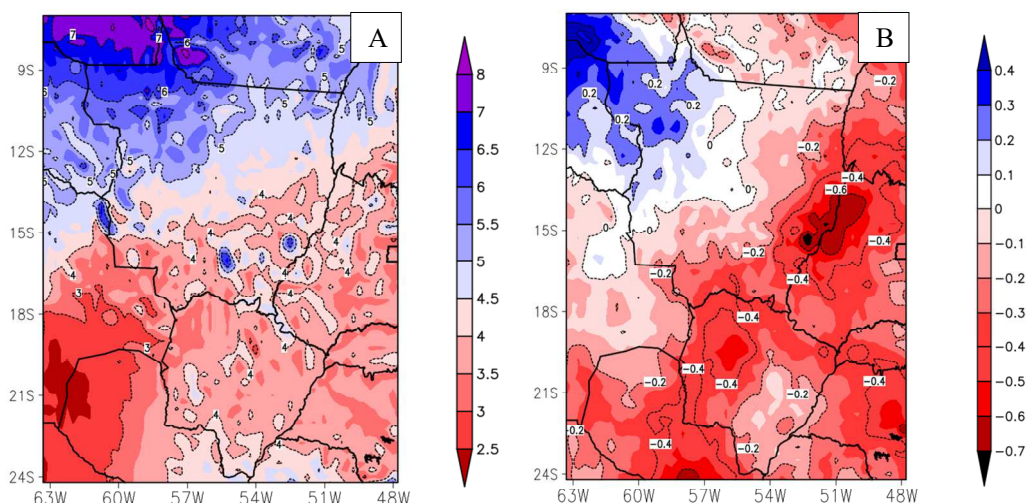


Figura 8 - Precipitação total média (m) entre os anos de 2003 a 2018 (A) e anomalia em relação a Normal Climatológica (1981 a 2010) (B) em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

Com relação à variabilidade pluviométrica anual, verificou-se em Mato Grosso que em todos os anos o somatório dos pontos de grade da precipitação (acumulativa de todas as localidades) ultrapassou ao menos 18.250 mm (Figura 9, barra preta). Em três anos (2007, 2010 e 2015) restringiu-se na faixa de 18.250 a 20.075 mm, enquanto nos anos restantes foi de até 23.761 mm, sendo a média anual estadual da soma das precipitações de 21.243 mm (Figura 9, linha pontilhada preta) e o ano mais chuvoso e seco 2013 e 2015, respectivamente. Já em Mato Grosso do Sul, o somatório anual da precipitação ultrapassou 14.600 mm em todo o período (Figura 8, barra vermelha), onde em oito anos (2003-2007, 2010, 2012 e 2018) restringiu-se na faixa de 14.600 a 16.425 mm, e os anos

restantes de até 18.969 mm, sendo a média estadual de 16.589 mm (Figura 9, linha pontilhada vermelha), o ano mais chuvoso e seco em 2015 e 2007, respectivamente.

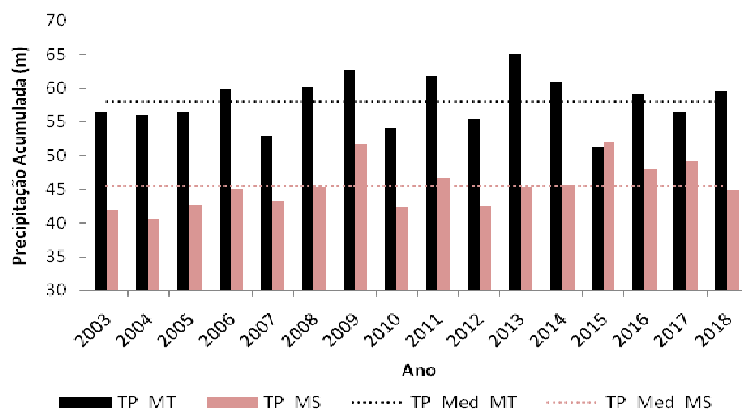


Figura 9 - Precipitação acumulada (m) em Mato Grosso (TP_MT, barra preta), Mato Grosso do Sul (TP_MS, barra vermelho) e precipitação acumulada média em Mato Grosso (TP_Med_MT, linha pontilhada preta) e Mato Grosso do Sul (TP_Med_MS, linha pontilhada vermelha) entre 2003 a 2018.

Apenas em 2015 a TP acumulada em Mato Grosso do Sul foi superior ao Mato Grosso. O observado, embora com pequena diferença, torna-se relevante quando considerado que nos outros anos o somatório da precipitação anual em Mato Grosso tenha sido superior. O evento pode estar relacionado com a ocorrência do fenômeno meteorológico El Niño no respectivo ano, classificado como *Muito Forte* (2015-16) (L'HEUREUX, 2016), onde consistiu em boa parte do Mato Grosso do Sul anomalias positivas de TP, sobretudo entre julho a dezembro (INMET, 2020).

Pela distribuição mensal de precipitação média (TP_M) (Figura 10 A-L), nota-se um período chuvoso e de estiagem bem definido em praticamente toda a região de estudo, ou seja, variabilidade sazonal bem característica. Embora esse regime de TP_M também esteja presente no Sul de Mato Grosso do Sul, os efeitos são menores devido à influência de sistemas frontais associados à precipitação, como visto por Pinto et al. (2018).

O mês com a maior abrangência espacial de TP_M foi janeiro (Figura 10 A), enquanto fevereiro (Figura 10 B) ocorreu os maiores volumes pontuais na região de floresta no Norte e Noroeste de Mato Grosso (bioma Amazônia). Por outro lado, em julho (Figura 10 G) ocorre a maior abrangência dos menores índices TP_M, sendo de junho a agosto (Figura 10 E-G) os mais secos, sobretudo nas áreas de cerrado. Resultados semelhantes foram visto por Sette (2005), Marcuzzo et al. (2010) e Souza et al. (2013).

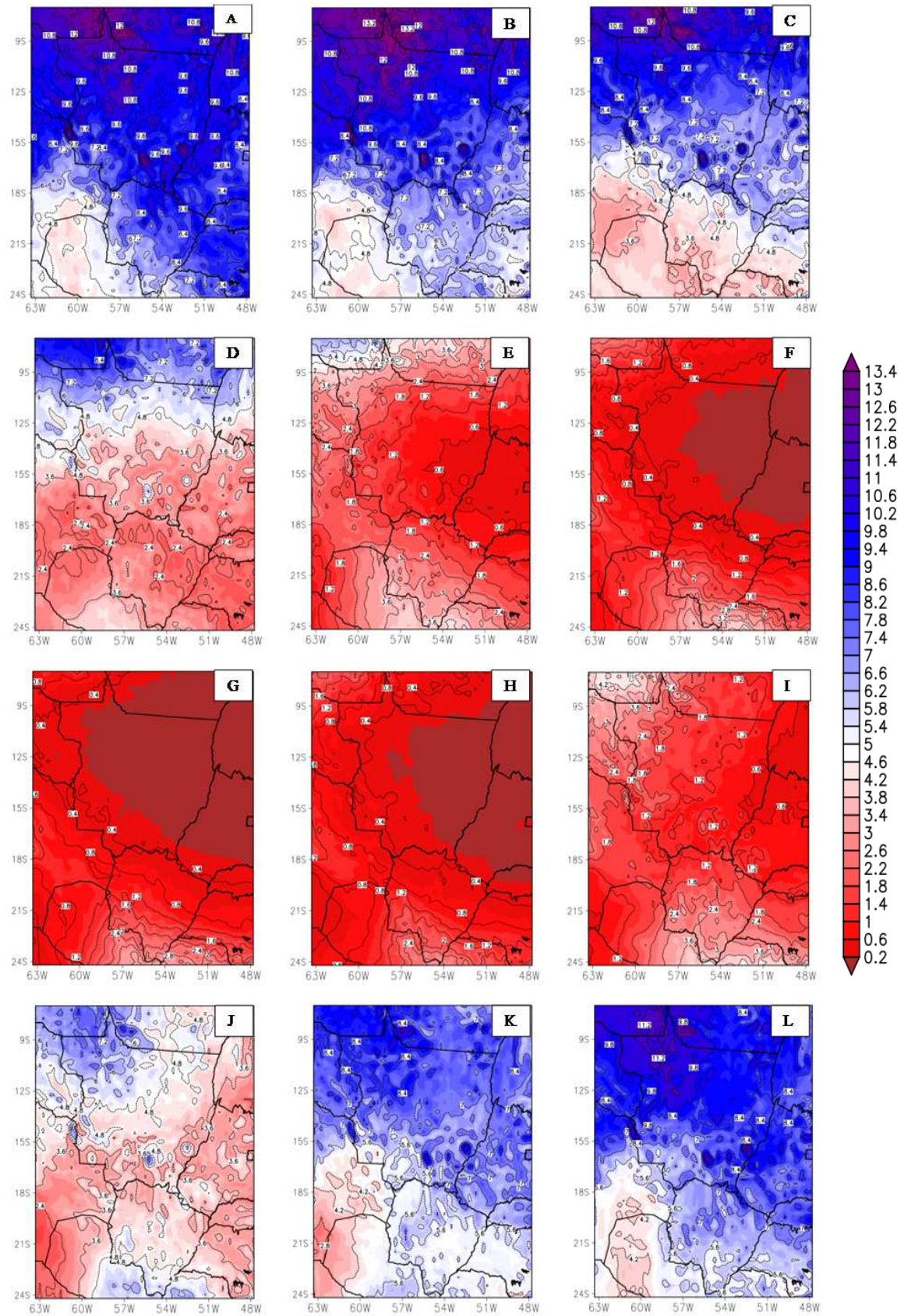


Figura 10 - Precipitação total média (m) mensal em superfície entre os anos de 2003 a 2018 em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, sendo A (janeiro), B (fevereiro), C (março), D (abril), E (maio), F (junho), G (julho), H (agosto), I (setembro), J (outubro), K (novembro) e L (dezembro).

4.1.3 Distribuição média anual e mensal da umidade específica

A umidade específica anual (Q_A) do período de 2003 a 2018 na área do estudo (Figura 11 A) foi cerca de $17,5 \text{ g.kg}^{-1}$ no extremo noroeste a 13 g.kg^{-1} no extremo sudeste de Mato Grosso, e cerca de $15,5 \text{ g.kg}^{-1}$ do noroeste a 13 g.kg^{-1} em boa parte do Mato Grosso do Sul.

Quando comparado os valores de Q_A do período à NC (1981 a 2010) calculada (Figura 11 B), nota-se que o período recente ficou com menor presença de vapor d'água na atmosfera em toda área de estudo, sendo mais pronunciado no noroeste de Mato Grosso ($-0,5 \text{ g.kg}^{-1}$). Nesta região, apesar do excedente hídrico visto anteriormente (anomalias positivas de TP_A), os valores negativos de Q_A possivelmente foram associados a eventos de chuva estarem ocorrendo de forma mais expressivas na época chuvosa na região, e assim não refletindo nas anomalias de Q_A . Por outro lado, houve concordância entre anomalias negativas de Q_A com os resultados anteriores de $T2M_A$ (mais quente), R_A (mais seco) e redução de TP_A (menos chuva) na maioria das localidades.

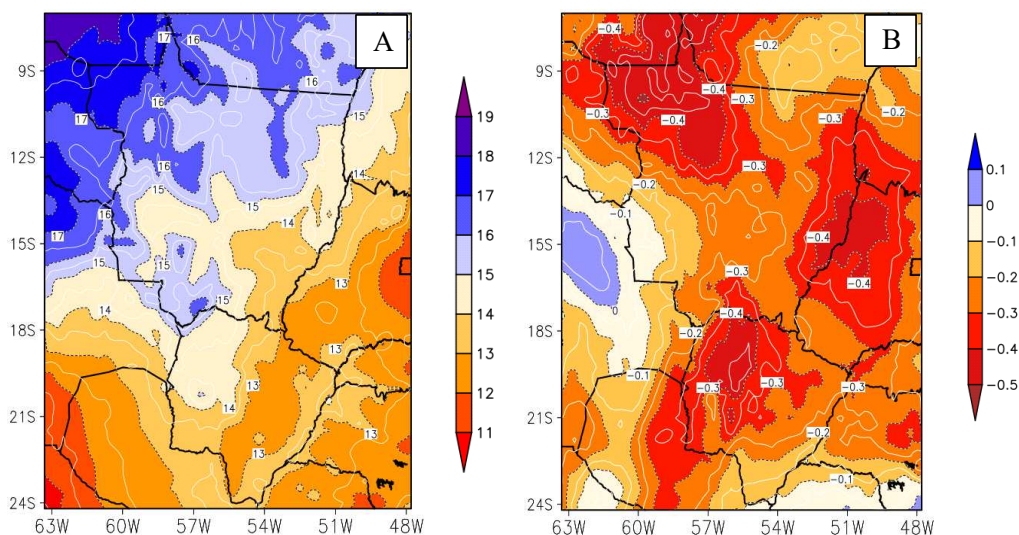


Figura 11 - Umidade específica média (g.kg^{-1}) entre os anos de 2003 a 2018 (A) e anomalia em relação à Normal Climatológica (1981 a 2010) (B) em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

A variabilidade espacial mensal de Q (Figura 12 A-F e Figura 13 A-F) evidenciou o decréscimo de vapor d'água na atmosfera à medida que se configura o período de déficit de chuva (baixo regime de TP), sendo os meses de julho e agosto (Figura 13 A-B) com

menores valores (inferiores a 9 g.kg^{-1}), especialmente no Leste e Sudeste de Mato Grosso e boa parte da metade Leste de Mato Grosso do Sul.

Em Mato Grosso, na maior parte das áreas sob bioma Amazônia foi observado que os valores da Q variaram de 17 a 20 g.kg^{-1} entre os meses de outubro a abril (Figura 12 A-D e Figura 13 D-F), sendo inferiores de maio a setembro, sobretudo nas localidades do médio-norte do estado em julho e agosto, onde ocorreram valores médios de 9 a 10 g.kg^{-1} , possivelmente associado à maior transformação de florestas em pastagens nesta região, uma vez que há menor disponibilidade hídrica em pastagens e/ou áreas de transição Amazônia/Cerrado (GOMES et al., 2015).

No complexo pantaneiro, foi observado valores de Q similares ao bioma amazônico nos meses chuvosos e superiores no período seco comparado as áreas de cerrado, especialmente de julho a agosto ($10 \text{ a } 11 \text{ g.kg}^{-1}$) (Figura 13 A-B). Tal comportamento na seca, considerado a sazonalidade do regime pluviométrico semelhante, pode estar relacionado à grande disponibilidade de vapor de água as características de a planície ter áreas permanentemente inundadas ao longo dos anos (MORAES et al., 2009).

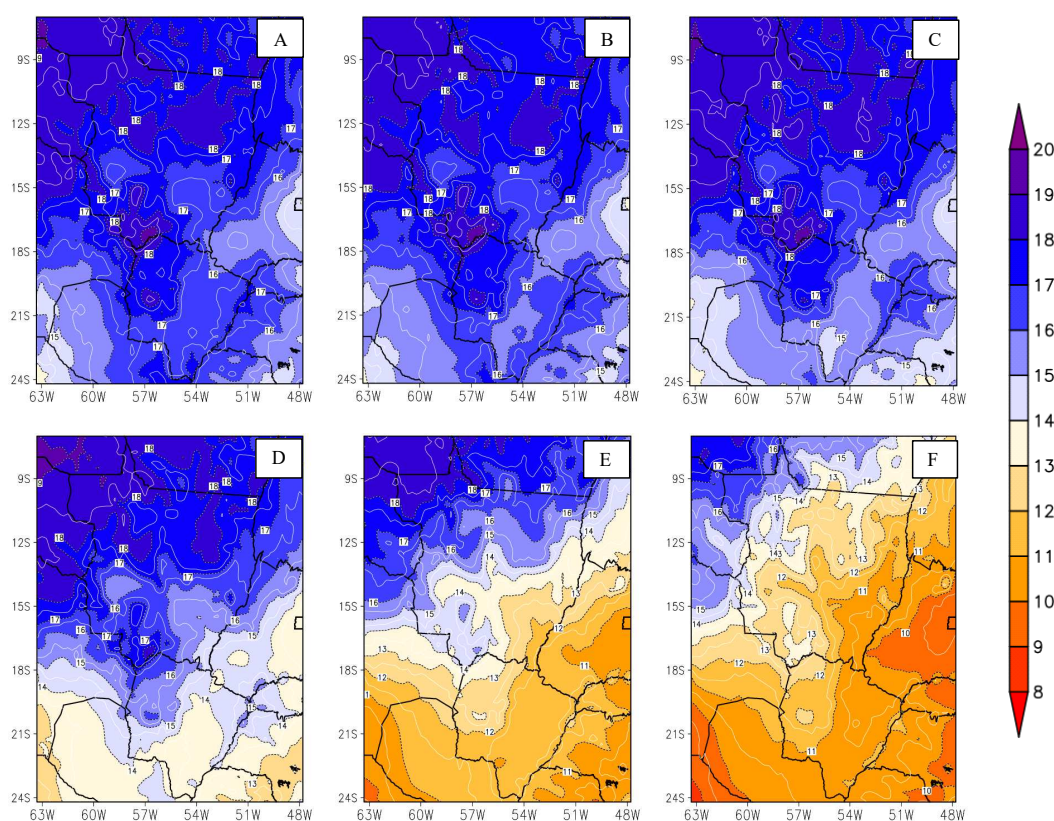


Figura 12 - Média mensal de umidade específica (g.kg^{-1}) entre os anos de 2003 a 2018 em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, sendo A (janeiro), B (fevereiro), C (março), D (abril), E (maio) e F (junho).

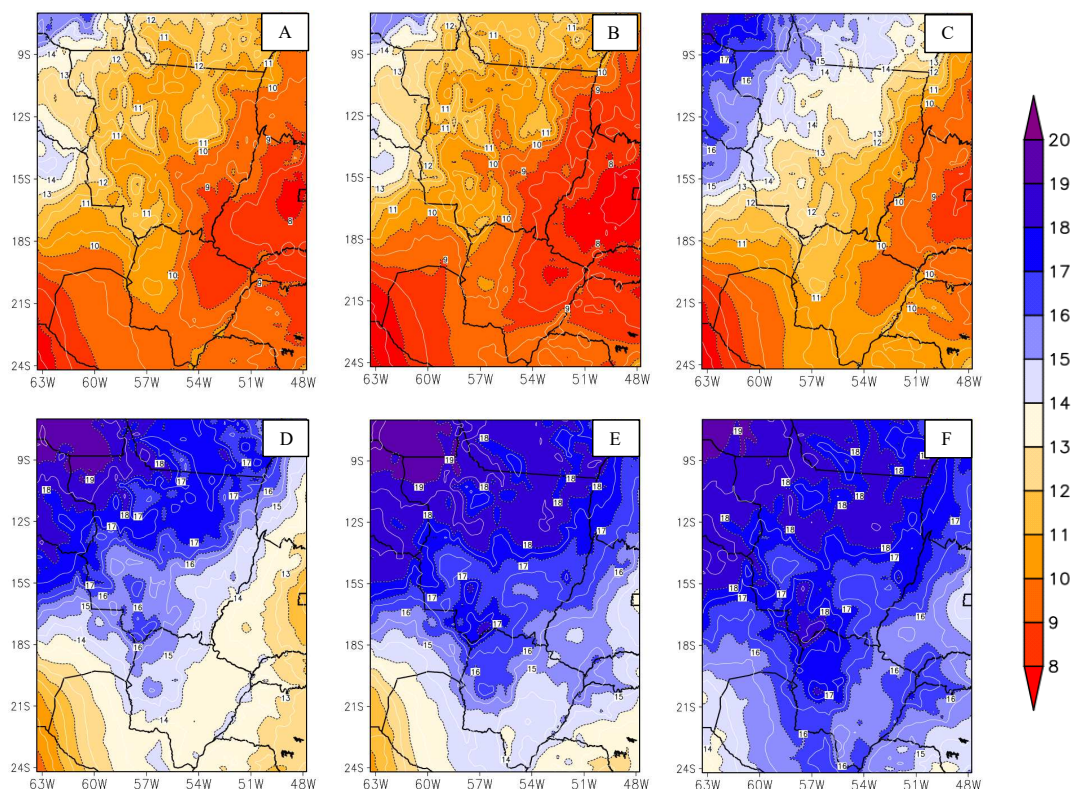


Figura 13 - Média mensal de umidade específica (g.kg^{-1}) entre os anos de 2003 a 2018 em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, sendo A (julho), B (agosto), C (setembro), D (outubro), E (novembro) e F (dezembro).

4.2 Focos de Incêndios

4.2.1 Distribuição anual de focos de incêndios

O total de focos de incêndios (queimadas, FI) do período de 2003 a 2018 na área de estudo (Figura 14) apresentou tanto maior número de FI quanto densidade espacial em Mato Grosso (692.143 FI), quando comparado ao Mato Grosso do Sul (111.071 FI), mesmo considerados a extensão territorial dos estados. Em Mato Grosso, as maiores detecções do número de FI ocorreram na região Noroeste, sob domínio da floresta amazônica e no Arco do Desmatamento (IPAM, 2015), enquanto em Mato Grosso do Sul ocorreram no complexo pantaneiro, sendo uma das possíveis causas o uso do fogo com baixo nível tecnológico para o manejo de áreas pastoris em material vegetal acumulado após o período da cheia (LEITE e FARIA, 2018). Houve maior número de FI no cerrado mato-grossense comparado ao mesmo bioma sul-mato-grossense.

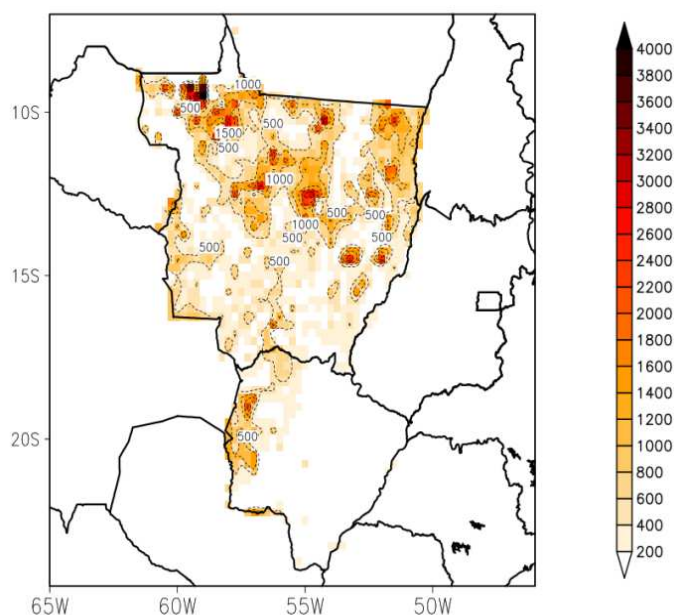


Figura 14 - Ocorrência de focos de incêndios entre os anos de 2003 e 2018 em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

Dentre os anos analisados (Figura 15 A-P), 2004, 2005, 2007 e 2010 foram os que apresentaram maior abrangência espacial de FI na área de estudo, sendo os anos de 2004 (101.230) e 2007 (84.554) com maior número FI em Mato Grosso, e 2005 (14.603) e 2007 (12.484) em Mato Grosso do Sul. Por outro lado, os menores registros espaciais de FI ocorreram 2009, 2011 e 2018, especialmente em Mato Grosso do Sul, sendo os anos de 2009 (15.967) e 2011 (18.519) com menor número de FI em Mato Grosso e 2018 (2.907) e 2013 (4.134) em Mato Grosso do Sul. Considerando os 16 anos de estudo, houve média de 43.508 FI em Mato Grosso (Figura 16 A, linha vermelha) e 6.941 FI em Mato Grosso do Sul (Figura 16 B, linha vermelha).

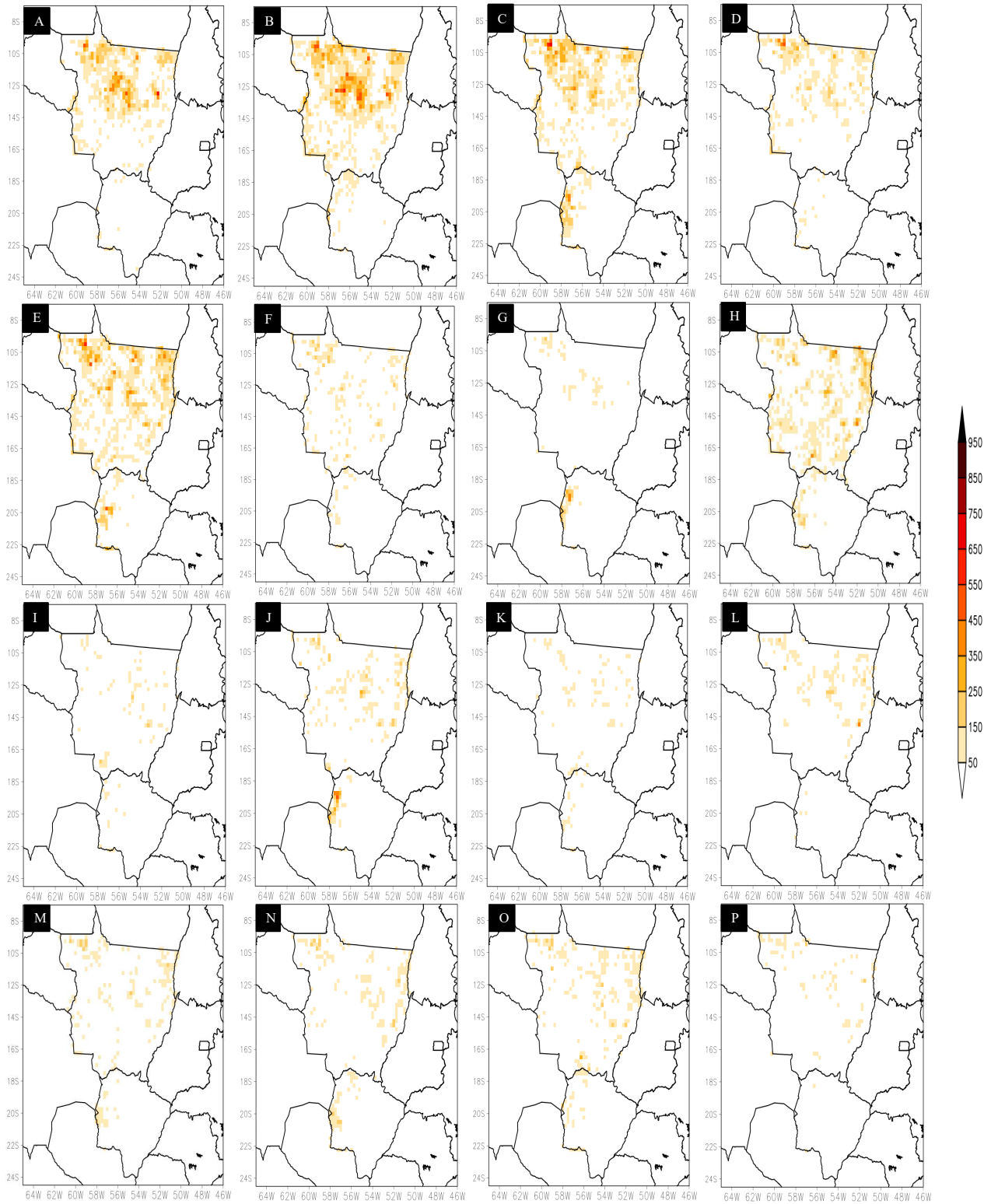


Figura 15 - Ocorrência de focos de incêndios em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul em 2003 (A), 2004 (B), 2005 (C), 2006 (D), 2007 (E), 2008 (F), 2009 (G), 2010 (H), 2011 (I), 2012 (J), 2013 (K), 2014 (L), 2015 (M), 2016 (N), 2017 (O) e 2018 (P).

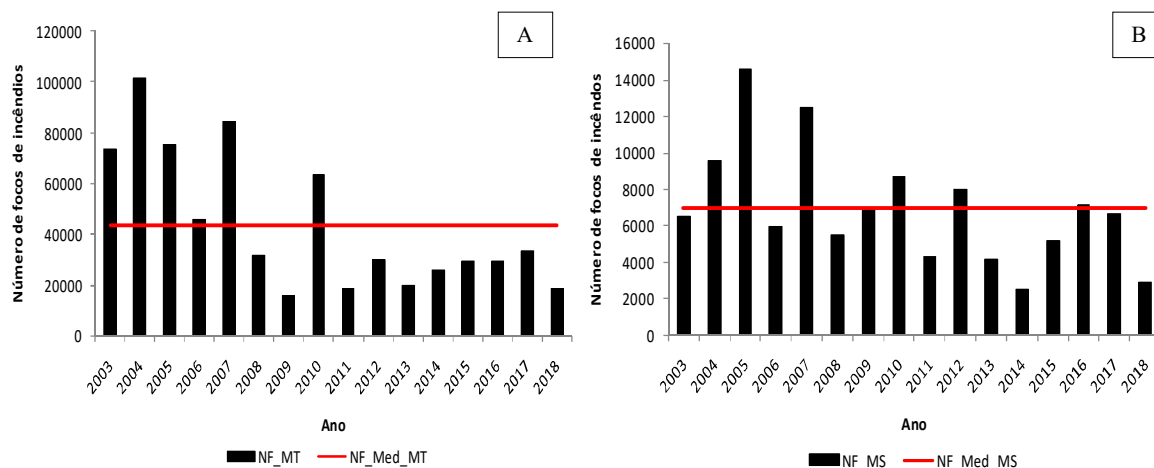


Figura 166 (A-B) Distribuição anual dos focos de incêndios em Mato Grosso (A) e Mato Grosso do Sul (B) entre os anos de 2003 a 2018.

Conforme Alencar et al. (2011), há uma estreita relação entre FI anualmente e indicadores climáticos de seca local, na qual há maior variação de área queimada ocorrendo durante os anos com menor quantidade de precipitação e estação seca prolongada. No entanto, quando comparado o encontrado ao regime de chuvas anual em Mato Grosso, essa relação não foi direta, pois 2015 e 2007 foram os mais secos, respectivamente, enquanto 2004 e 2007 foram sequencialmente os anos mais ativos de FI, sendo 2015 bem abaixo da própria média do período. Com relação a Mato Grosso do Sul, 2013 e 2015 foram os mais secos, respectivamente, enquanto 2005 e 2007 com maiores números de FI.

Assim, mesmo que as condições meteorológicas apresentam condições e ambientes essenciais para o fogo, é sempre importante considerar questões provocadas pelo homem. Neste contexto, Santos et al. (2014) frisaram que o início dos incêndios geralmente está voltada para o desmatamento, avanço da fronteira agrícola e manutenção de pastagem, o que torna necessário a intervenção de políticas públicas.

4.2.2 Distribuição mensal de focos de incêndios

Os meses de pico de ocorrência de FI foram agosto e setembro tanto em Mato Grosso (Figura 17 A) como em Mato Grosso do Sul (Figura 17 B), sendo setembro com maior número de detecção em ambos os estados. Por outro lado, os meses de janeiro a março foram com menor número de FI, sendo fevereiro o menos ativo em ambos os

estados. Resultados semelhantes em estudos na região foram encontrados por Goulart et al. (2011), Abreu e Souza (2016) e Neve et al. (2018).

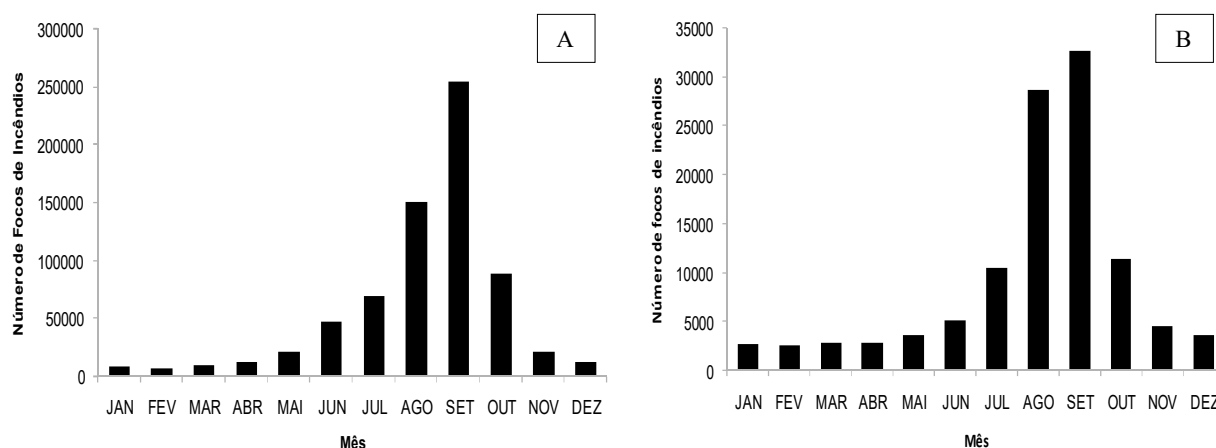


Figura 17 - Distribuição mensal dos focos de incêndios em Mato Grosso (A) e Mato Grosso do Sul (B) entre os anos de 2003 a 2018.

Nos anos de 2005-2007, 2010, 2012 e 2017, mais de 60% dos FI anual ocorreram entre agosto e setembro em Mato Grosso, sendo 2010 o ano com a maior porcentagem da área total queimada concentrada apenas neste período (Tabela 2). Em todos os anos, o mês de setembro foi o mais ativo em relação à detecção anual, onde apenas em 2014 dividiu a densidade com agosto. Destaca-se ainda setembro de 2017 com a maior concentração anual em apenas um único mês no estado, sendo a menor máxima em 2009 (Tabela 2).

Análises semelhantes para Mato Grosso do Sul indica menor número de anos em que ao menos 60% da concentração total de FI foram detectados apenas entre agosto e setembro, vindo ocorrerem em 2005, 2007 e 2012 (três anos), sendo 2007 o ano com a maior porcentagem da área total queimada concentrada tanto neste intervalo como ao conjunto do período no estado (Tabela 2). Além disso, diferente do Mato Grosso em que o mês de setembro foi o mais ativo, em quatro anos isso não ocorreu em Mato Grosso do Sul (2005, 2006, 2012 e 2014), sendo agosto o mês preferencial para essa análise e também com a maior concentração anual em apenas um único mês. Destaca-se ainda setembro de 2009 com a menor máxima concentração anual em apenas um único mês no estado (19%) (Tabela 2).

Tabela 2 - Concentração anual e mensal (% “total”) da ocorrência de focos de incêndios em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul entre o período de 2003 e 2018.

ANO	MATO GROSSO			MATO GROSSO DO SUL		
	1º MÊS MAIS NF (%)	2º MÊS MAIS NF (%)	(%)	1º MÊS MAIS NF (%)	2º MÊS MAIS NF (%)	(%)
2003	Setembro (28)	Agosto (19)	47	Setembro (21)	Agosto (19)	40
2004	Setembro (35)	Agosto (17)	52	Setembro (37)	Agosto (19)	56
2005	Setembro (38)	Agosto (26)	64	Agosto (49)	Setembro (17)	66
2006	Setembro (40)	Agosto (24)	64	Agosto (30)	Setembro (22)	52
2007	Setembro (46)	Agosto (24)	70	Setembro (46)	Agosto (22)	68
2008	Setembro (34)	Outubro (25)	59	Setembro (35)	Agosto (17)	52
2009	Setembro (25)	Outubro (21)	46	Setembro (19)	Agosto/Outubro (14)	23
2010	Setembro (40)	Agosto (31)	71	Setembro (30)	Agosto (26)	56
2011	Setembro (38)	Agosto (15)	53	Setembro (28)	Agosto (17)	45
2012	Setembro (39)	Agosto (23)	62	Agosto (37)	Setembro (30)	67
2013	Setembro (32)	Agosto (21)	53	Setembro (30)	Agosto (21)	51
2014	Setembro/Agosto (26)	Setembro/Agosto (26)	52	Outubro (25)	Setembro (16)	41
2015	Setembro (32)	Outubro (21)	53	Setembro (28)	Agosto (26)	54
2016	Setembro (31)	Agosto (23)	54	Setembro (35)	Agosto (20)	55
2017	Setembro (48)	Agosto (16)	64	Setembro (37)	Agosto (20)	57
2018	Setembro (37)	Agosto (15)	52	Setembro (26)	Agosto (21)	47

Esses comportamentos, quando comparado as variáveis meteorológicas, especialmente a TP_M, evidenciou o papel importante das condições meteorológicas na ocorrência de FI. Maior TP aumenta o teor de R do material combustível e diminui a possibilidade de FI na vegetação (TROLLOPE et al., 2004), enquanto a falta de TP tanto diminui o teor de R do material combustível quanto acrescenta esse material no ambiente, tornando-o mais suscetível ao fogo (NEPSTAD et al., 2007). Assim, os meses de agosto e setembro sendo os mais secos também apresentaram como com maior número de FI.

Além disso, a prática do fogo pelas ações antrópicas, como principal fonte de ignição, possivelmente aumentam ou diminuem em anos de seca ou chuva excessiva na região, ou seja, os variáveis meteorológicas influenciado no número de FI.

4.3 Relações e correlação entre focos de incêndios e variáveis meteorológicas

Relacionando FI e TP em Mato Grosso (Figura 18 A), observou-se comportamento inverso entre as variáveis em todo o período, ou seja, sempre que a TP apresentou menor (maior) volume, os FI foi maior (menor), mas com amplitudes diferentes. Com relação a FI e T2M (Figura 18 B), em quase todos os anos seguinte a maior T2M média, foram seguidos por aumento de FI, exceto nos anos de 2004-2005, 2008-2009 e 2016-2017. Já

a relação entre FI e R (Figura 18 C) não apresentou no geral variações diretas no estado, mas foi possível observar, por exemplo, anos seco como 2010 seguido por crescentes FI.

Em Mato Grosso do Sul, a relação FI e TP (Figura 19 A) foi semelhante a mesma análise para o Mato Grosso, embora nos anos de 2005 e 2009 o aumento de TP não resultou em queda de FI. Com relação a FI e T2M (Figura 19 B), também foi observado anos em que maior T2M média resultaria em aumento de FI, mas com exceções nos anos de 2010, 2011, 2014, 2016 e 2017. Já a relação preliminar entre FI e R (Figura 19 C), foi observado relação semelhante a TP, onde a medida que aumenta a R estadual, foi notado a redução do número de FI, exceto nos anos de 2009, 2012 e 2015.

Em suma, o fato da época de estiagem com relação à TP em Mato Grosso ser mais abrangente e intensa do que em Mato Grosso do Sul, pode ter resultado na maior relação entre FI e TP em Mato Grosso comparado a Mato Grosso do Sul. Por outro lado, em Mato Grosso do Sul, condições sinóticas de características extratropicais podem no período de estiagem provocar mudanças de tempo mais significativas em relação ao Mato Grosso, como o aumento da nebulosidade, eventuais chuvas, mas, principalmente, aumento da R. Assim, R foi melhor relacionada em Mato Grosso do Sul.

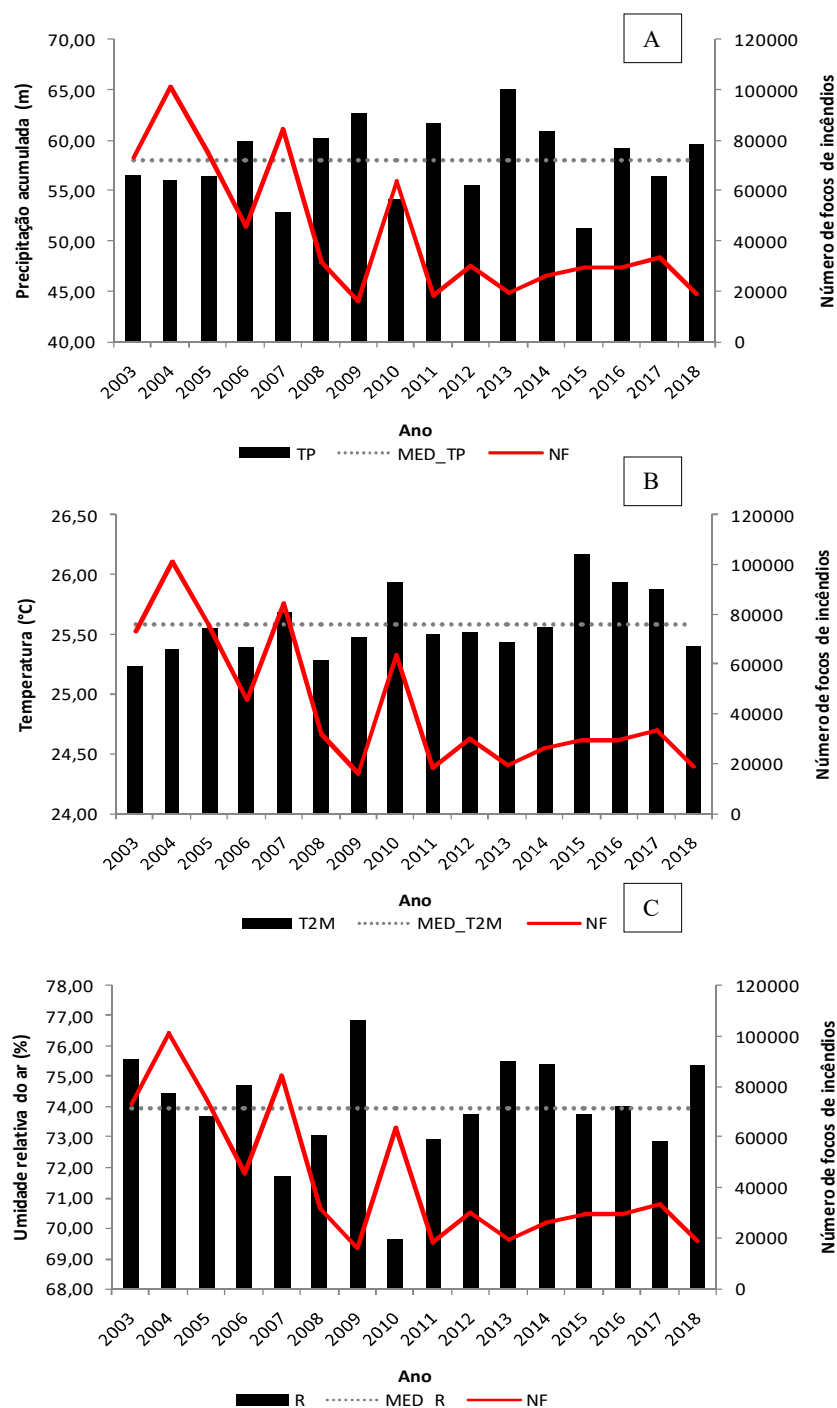


Figura 18 - Distribuição da média anual de precipitação total (TP, barra preta) e média do período (MED_TP) (A), temperatura média (T2M, barra preta) e média do período (MED_T2M) (B) e umidade relativa do ar (R, barra preta) e média do período (MED_R) (C) com relação ao número de focos de incêndios (NF, linha vermelha) (A, B e C) em Mato Grosso (MT), entre os anos de 2003 a 2018.

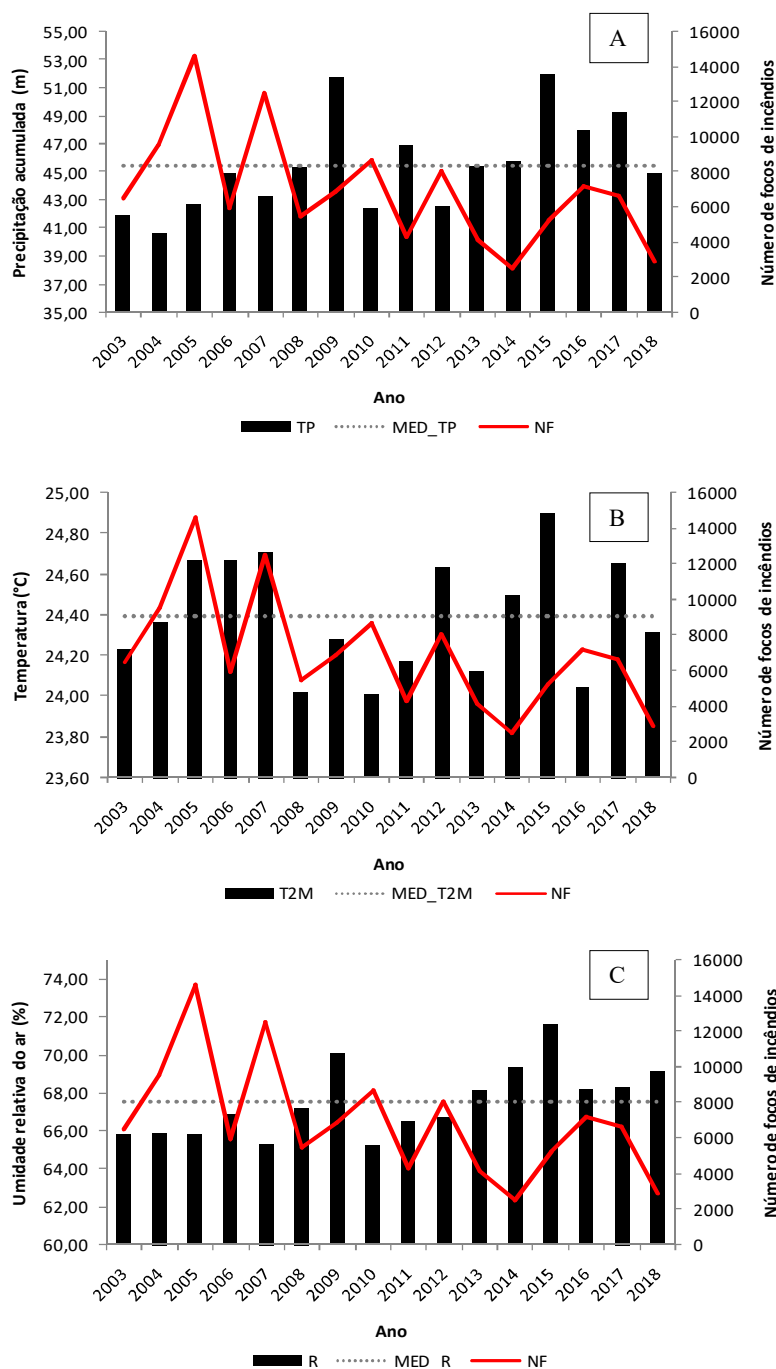


Figura 19 - Distribuição da média anual de precipitação total (TP, barra preta) e média do período (MED_TP) (A), temperatura média (T2M, barra preta) e média do período (MED_T2M) (B) e umidade relativa do ar (R, barra preta) e média do período (MED_R) (C) com relação ao número de focos de incêndios (NF, linha vermelha) (A, B e C) em Mato Grosso do Sul (MS), entre os anos de 2003 a 2018.

Com relação aos coeficientes de correlação de Pearson e o test t de Student, observou-se coeficiente positivo entre FI e T2M em Mato Grosso (Tabela 3) de setembro a abril e negativo de maio a agosto, sendo *Forte* de fevereiro a abril, *Moderado* em

dezembro e *Fraco* entre julho a agosto, e *Desprezível* nos meses de janeiro, maio a junho e setembro a novembro. Já em Mato Grosso do Sul (Tabela 4), análise semelhante indicou correlação positiva em praticamente todos os meses, onde somente julho e outubro obtiveram correlação negativa, mas *Desprezível*. Apenas no mês de março houve correlação *Forte* entre FI e T2M no estado, sendo *Moderado* em fevereiro, *Fraco* de abril a junho, agosto e setembro e *Desprezível* nos meses restantes. Assim, em ambos os estados nota-se que na maior parte do ano ocorre correlação positiva entre o número de FI e a T2M, ou seja, indicando que o aumento ou diminuição do número de FI na região também é possivelmente seguido pelo aumento ou diminuição de T2M.

A correlação entre FI e TP em Mato Grosso (Tabela 3) indicou melhor correlação comparado a T2M, mas negativa em praticamente todo o ano, sendo *Forte* em fevereiro, abril e novembro a dezembro. Somente em julho obteve-se coeficiente positivo, mas *Desprezível*. Em janeiro, a correlação foi *Moderado*, e *Fraco* de setembro a outubro, sendo *Desprezível* nos meses restantes. Já em Mato Grosso do Sul (Tabela 4), nota-se correlação negativa em todos os meses, sendo *Forte* em fevereiro e março; *Moderado* em janeiro, abril, junho, setembro e novembro; *Fraco* em maio, julho, agosto e dezembro; e *Desprezível* apenas no mês de outubro. Comparado a T2M, a correlação de TP com FI foi melhor no estado. No geral, em ambos os estados as correlações foram negativas, indicando que se o número de FI aumenta, a TP observada será menor (diminui) e vice-versa.

Com relação ao coeficiente de correlação entre FI e R em Mato Grosso (Tabela 3), observou-se comportamento similar a TP e, conseqüentemente, inverso a T2M. Comparado as correlações anteriores, a R apresentou menor associação com FI, mas ainda assim foi *Forte* em novembro e dezembro. Destacou-se ainda como *Moderado* de fevereiro a abril; *Fraco* em janeiro e entre agosto a outubro; e *Desprezível* nos meses restantes. Já em Mato Grosso do Sul (Tabela 4), análise semelhante indicou correlação negativa em todos os meses, sendo *Forte* de dezembro a janeiro e em março; *Moderada* em fevereiro, abril a junho e agosto a setembro; e *Fraco* em julho e outubro. Como visto em nenhum mês a associação entre FI e R foi *Desprezível* no estado. Assim como em relação à TP, no geral, em ambos os estados as correlações foram negativas, indicando que o maior número de FI é visto similarmente a menores teor de R observados e vice-versa, principalmente em Mato Grosso do Sul.

Tabela 3 - Coeficiente de correlação de Pearson (COR) entre focos de incêndios e as variáveis meteorológicas (T2M), precipitação (TP) e umidade relativa do ar (R), através de uma análise mensal em Mato Grosso.

	TEMPERATURA (T2M)		PRECIPITAÇÃO (TP)		UMIDADE DO AR (R)	
	COR	GRAU	COR	GRAU	COR	GRAU
JAN	0,258	DESPREZÍVEL*	-0,548	MODERADO*	-0,358	FRACO*
FEV	0,706	FORTE*	-0,731	FORTE*	-0,629	MODERADO*
MAR	0,819	FORTE*	-0,283	DESPREZÍVEL*	-0,590	MODERADO*
ABR	0,763	FORTE*	-0,764	FORTE*	-0,662	MODERADO*
MAI	-0,190	DESPREZÍVEL*	-0,275	DESPREZÍVEL*	-0,162	DESPREZÍVEL*
JUN	-0,116	DESPREZÍVEL*	-0,054	DESPREZÍVEL*	-0,137	DESPREZÍVEL*
JUL	-0,451	FRACO*	0,138	DESPREZÍVEL*	0,091	DESPREZÍVEL*
AGO	-0,394	FRACO*	-0,277	DESPREZÍVEL*	-0,350	FRACO*
SET	0,024	DESPREZÍVEL*	-0,376	FRACO*	-0,376	FRACO*
OUT	0,155	DESPREZÍVEL*	-0,442	FRACO*	-0,354	FRACO*
NOV	0,226	DESPREZÍVEL*	-0,742	FORTE*	-0,708	FORTE*
DEZ	0,660	MODERADO*	-0,775	FORTE*	-0,740	FORTE*

* Significativos a 5% pelo teste t.

Tabela 4 - Coeficiente de correlação de Pearson (COR) entre focos de incêndios e variáveis meteorológicas temperatura (T2M), precipitação (TP) e umidade relativa do ar (R), através de uma análise mensal em Mato Grosso do Sul.

	TEMPERATURA (T2M)		PRECIPITAÇÃO (TP)		UMIDADE DO AR (R)	
	COR	GRAU	COR	GRAU	COR	GRAU
JAN	0,239	DESPREZÍVEL*	-0,569	MODERADO*	-0,713	FORTE*
FEV	0,596	MODERADO*	-0,701	FORTE*	-0,698	MODERADO*
MAR	0,727	FORTE*	-0,776	FORTE*	-0,814	FORTE*
ABR	0,375	FRACO*	-0,543	MODERADO*	-0,678	MODERADO*
MAI	0,363	FRACO*	-0,401	FRACO*	-0,532	MODERADO*
JUN	0,425	FRACO*	-0,553	MODERADO*	-0,686	MODERADO*
JUL	-0,067	DESPREZÍVEL*	-0,398	FRACO*	-0,417	FRACO*
AGO	0,315	FRACO*	-0,335	FRACO*	-0,604	MODERADO*
SET	0,426	FRACO*	-0,631	MODERADO*	-0,684	MODERADO*
OUT	-0,014	DESPREZÍVEL*	-0,176	DESPREZÍVEL*	-0,449	FRACO*
NOV	0,219	DESPREZÍVEL*	-0,658	MODERADO*	-0,709	FORTE*
DEZ	0,355	FRACO*	-0,488	FRACO*	-0,707	FORTE*

* Significativos a 5% pelo teste t.

Quando considerado os meses com maiores FI (agosto e setembro), em Mato Grosso as correlações foram *Desprezível* e *Fraco*, embora significativos; enquanto em Mato Grosso do Sul a TP e R apresentaram correlações relevantes, sobretudo a R. Esses resultados para Mato Grosso do Sul novamente reflete a importância das características extratropicais no período de seca, uma vez que podem provocar mudanças de tempo

mais significativas no estado em relação ao Mato Grosso, como o aumento da nebulosidade, eventuais chuvas e, principalmente, aumento da R em ocasionais passagens de sistemas frontais.

4.4 Campos compostos para eventos com maior número de focos de incêndios

A partir da seleção dos 10 eventos com maior número de FI, foi avaliado as condições atmosféricas dividido por estado, uma vez que as datas desses máximos FI não são coincidentes, conforme visto na Tabela 1 do item 3.3, e apresentados a seguir.

4.4.1 Mato Grosso

A análise dos campos compostos de magnitude e direção dos ventos em 250 hPa (Figura 20 A-B) de D-2 a D0 em Mato Grosso, mostraram um escoamento de ar associado a uma crista estendendo-se desde o oceano Pacífico até a região central da Argentina, onde em D0 o escoamento dos ventos ficam praticamente com fluxo meridional (Figura 20 B). Nesta época do ano, a orientação noroeste-sudeste da corrente de jato somado a sua posição mais ao sul do continente, impede que sistemas frontais avancem para latitudes menores do continente, como na região de Mato Grosso, de modo que o ar mais frio fique restrito a latitudes maiores. Com isso, nas áreas de latitudes menores a troposfera geralmente fica ainda mais aquecida.

Em 500 hPa (Figura 20 C-D), além do reflexo da crista de altos níveis, é possível observar a circulação anti-horária dos ventos sobre o sul Mato Grosso tanto em D-2 (Figura 20 C) como em D0 (Figura 20 D). Esse tipo de configuração em médios níveis não só resulta em estabilidade atmosférica, uma vez que os movimentos subsidentes do ar na vertical impedem que convecções profundas se intensifiquem como também indicam a presença de uma troposfera aquecida (camada quente), onde normalmente resultam em temperaturas absolutas em superfície próximas ou superiores a 40°C.

Os compostos do escoamento dos ventos em 850 hPa (Figura 20 E-F) indicaram a presença de parte da circulação anticiclônica sobre o Mato Grosso em D-2 (Figura 20 E), vindo a intensificar em D0 (Figura 20 F) quando associado ao anticiclone centrado sobre a Região Sul e Sudeste do Brasil, sobretudo na costa do Sudeste. Ainda que não presente sobre o estado, nota-se que a magnitude do vento mostrava-se mais intensa em D0 sobre

o sul da Bolívia, norte do Paraguai e da Argentina, no qual forçava os ventos de norte a dirigir-se para sul, onde em determinadas situações esta configuração associada às configurações de altitude anteriormente descrita, impediria avanço de sistemas frontais.

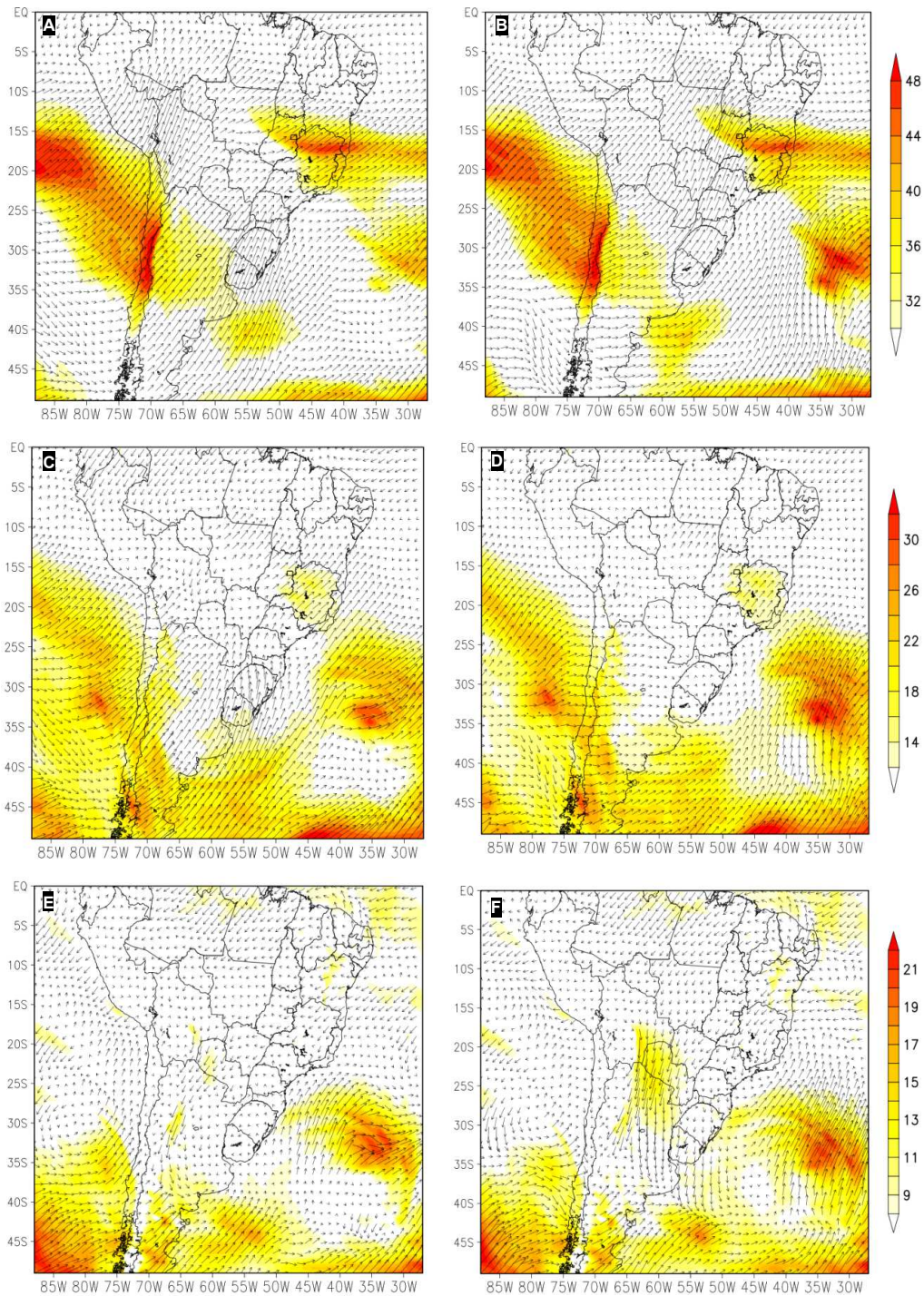


Figura 20 - Compostos de magnitude (colorido) e escoamento dos ventos (linhas de correntes) (m/s) em 250 hPa em D-2 (A) e D0 (B); 500 hPa em D-2 (C) e D0 (D); e 850 hPa em D-2 (E) e D0 (F) para os 10 casos com maior número de focos de incêndios em Mato Grosso.

A partir dos compostos do geopotencial (Figura 21 A-D), verifica-se que em todo o período não houve alteração de comportamento no Mato Grosso, o que induzia as condições de estabilidade no tempo. Por outro lado, no sul do continente, nota-se a propagação de ondas de menores valores de geopotencial, possivelmente associado à passagem de sistemas frontais transientes na região, mas estes sem apresentarem influência direta no comportamento de FI no estado.

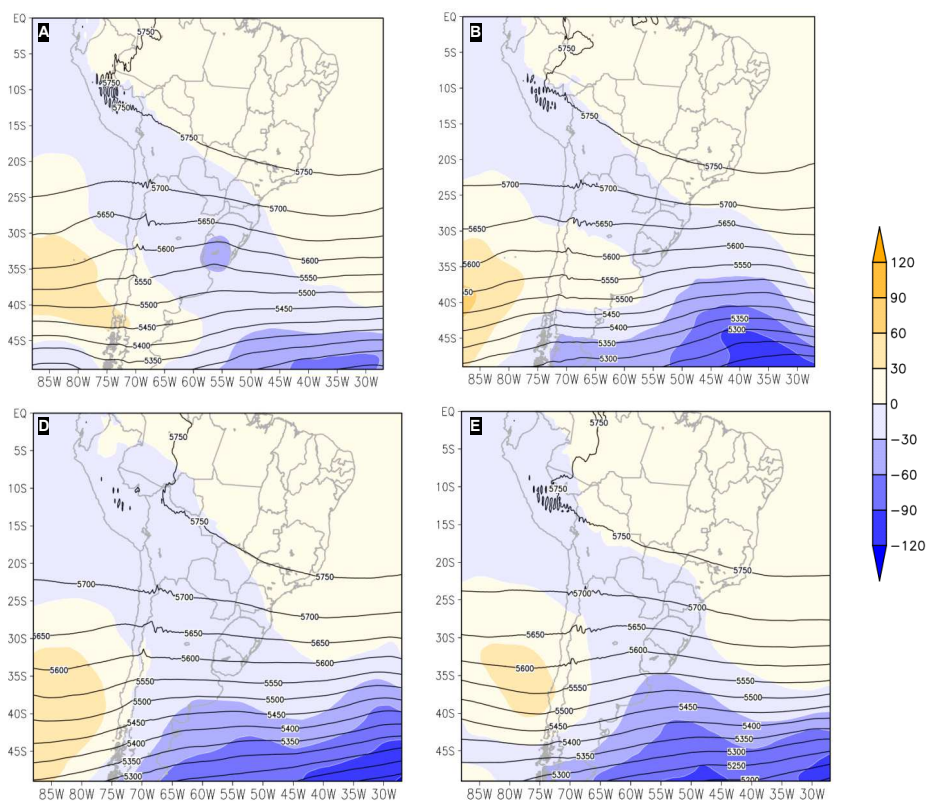


Figura 21 - Compostos de geopotencial (mvp) (linha sólida preta) e anomalia (colorido) em D-2 (A), D-1 (B), D0 (C) e D+1 (D) para os casos 10 casos com maior número de focos de incêndios em Mato Grosso.

Em superfície pelos compostos da pressão média ao nível médio do mar (PNMM) (Figura 22 A-D), nota-se a presença de um amplo centro de alta pressão atmosférica (anomalias positivas) sobre o centro-sul do continente em D-2 (Figura 22 A), vindo seu centro a se deslocar para direção nordeste em D0, já sobre a costa da Região Sul (Figura 22 D), e a ganhar configurações mais oceânicas em D+1. Nesta condição, normalmente o anticiclone migratório se associa posteriormente a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), com posição central mais próxima ao continente (mais a oeste), sendo esta

configuração um dos principais responsáveis pela predominância da estabilidade no Brasil central nos meses de inverno (REBOITA et al., 2010). Cabe destacar a configuração de uma baixa pressão atmosférica no Noroeste da Argentina em D+1 (Figura 22 D), o que resulta no ganho de anomalia negativa de PNMM neste dia e induzia o aquecimento em superfície.

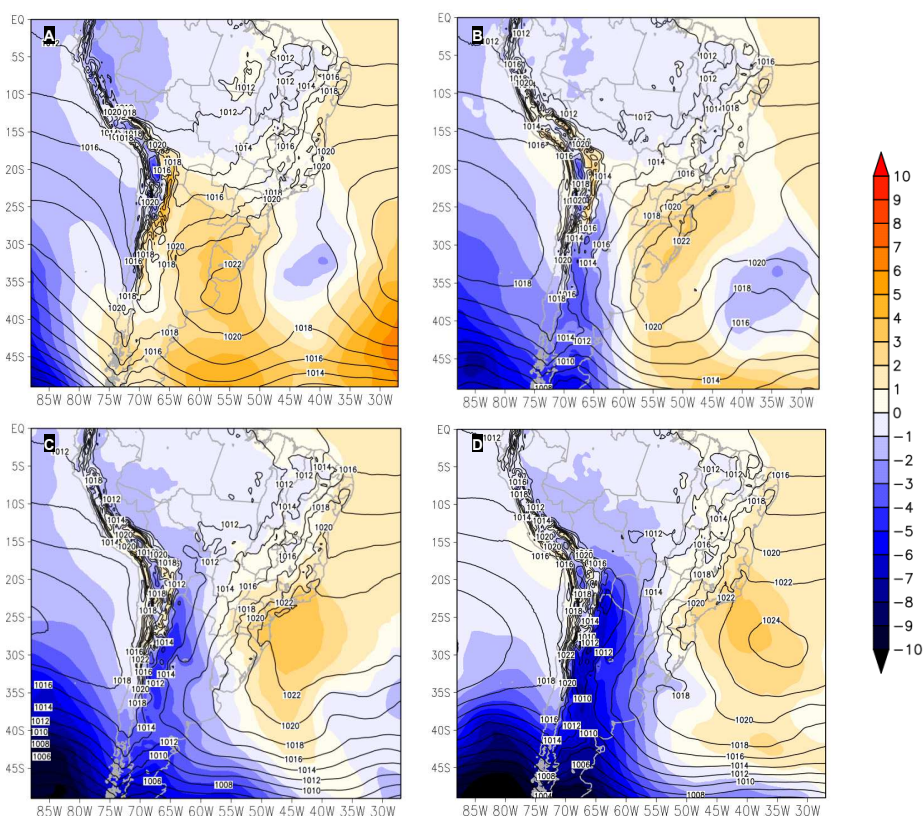


Figura 22 - Compostos de pressão ao nível do mar (hPa) (linha sólida preta) e anomalia (colorido) em D-2 (A), D-1 (B), D0 (C) e D+1 (D) para os casos 10 com maior número de focos de incêndios em Mato Grosso.

Com relação à T2M em superfície (Figura 23 A-B), em D-2 (Figura 23 A) boa parte do Mato Grosso apresenta anomalias próximas à média climatológica dos meses de agosto e setembro ($-1,0^{\circ}\text{C}$ a $+1,0^{\circ}\text{C}$), com maiores temperaturas médias na região leste superiores a 27°C . Neste dia, nota-se a influência do anticiclone sobre o Sul do país nas anomalias negativas de temperaturas. Já em D0 (Figura 23 B), notadamente é visto o ganho de anomalia positiva no continente, assim como no Mato Grosso, com maiores valores no centro-sul e sudoeste do estado, saindo em algumas áreas de $-1,0^{\circ}\text{C}$ em D-2 até $+2,0^{\circ}\text{C}$ em D0; sendo esta condição possivelmente influenciada pelo o núcleo mais

intenso de anomalia positiva de PNMM sobre a região da baixa pressão atmosférica a leste dos Andes descrita anteriormente.

Em suma, o período em que os FI ocorrerem já são os mais quentes ao longo do ano no estado. Isso, somado a ganho de temperatura, mesmo que não tão intensos, possivelmente influencia indiretamente em ambiente ainda mais propício ao fogo, especialmente na indução da ação antrópica a prática do mesmo, uma vez que maior T2M é visto como uma das condições essenciais para maior número de FI na região.

Similarmente, quando analisado os compostos de R em 925 hPa (Figura 23 C-D), percebe-se em baixos níveis da troposfera que há um ganho de secura do ar entre D-2 a D0 em Mato Grosso, onde em D-2 (Figura 23 C) as anomalias negativas de até 10% em boa parte do estado passam a até -30% em D0 (Figura 23 D) em um período já considerado seco, evidenciando a presença de uma massa de ar seca dominando a região. Destaca-se o valor de 30% a inferior em partes do leste do estado em D0, região esta vista como a mais seca em relação à média anual.

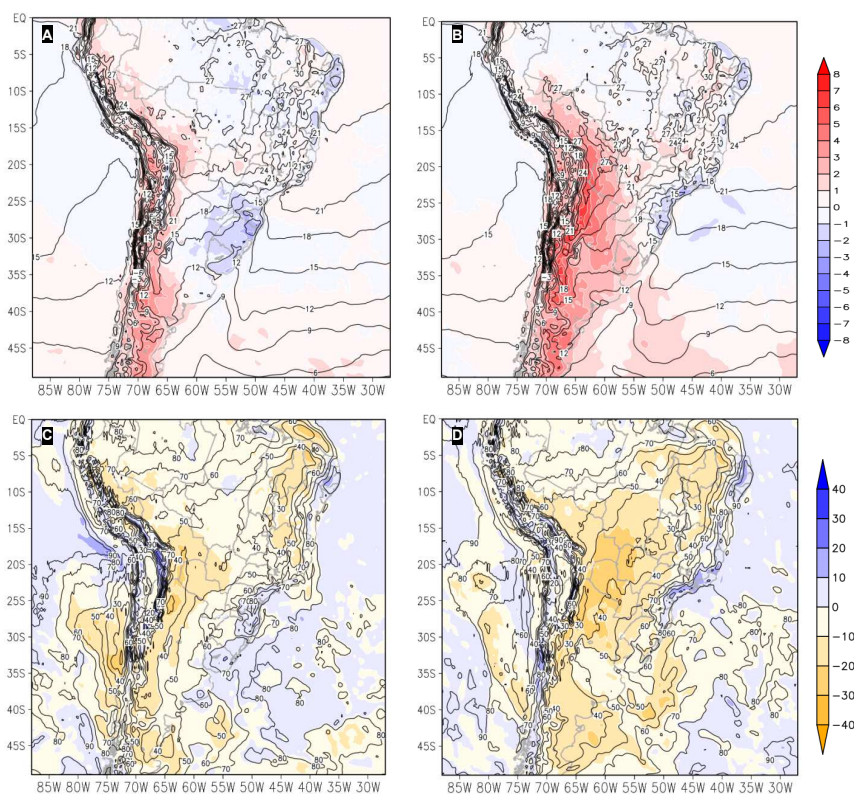


Figura 23 - Compostos de temperatura do ar (°C) em superfície (linha sólida preta) e anomalia (colorido) em D-2 (A) e D0 (B); e compostos de umidade relativa do ar (%) em 925 hPa (linha sólida preta) e anomalia (colorido) em D-2 (A) e D0 (B) para os 10 casos com maior número de focos de incêndios em Mato Grosso.

Notadamente, na região da configuração da baixa pressão atmosférica a leste dos Andes, com anomalias negativas de PNMM e positivas de T2M vistos anteriormente, resulta em anomalias negativas de R, sendo essa condição possivelmente associada às maiores perdas do teor de R no Mato Grosso. No entanto, ressalta-se ainda que a circulação anticiclônica sobre o oceano condicione o transporte de ar relativamente mais úmido do oceano para as regiões costeiras do país, mas que à medida que adentra o continente passa a ganhar características de massa de ar seca, onde em dias com máximos números de FI no estado, também influencie nos baixos valores de R e anomalias negativas descritos.

4.4.2 Mato Grosso do Sul

A análise dos campos compostos de magnitude e direção dos ventos em 250 hPa (Figura 24 A-B) de D-2 a D0 em Mato Grosso do Sul sob dias com máximo número de FI, mostraram um escoamento de ar associado a uma crista em D-2 (Figura 24 A) estendendo-se desde o oceano Pacífico até a região sul da Argentina. A oeste desta crista nota-se a presença de um cavado frontal, cujo eixo apresenta inclinação meridional estendendo até a região central do Chile (Figura 24 A). Em D0 (Figura 24 B), o escoamento dos ventos apresenta sentido sudoeste-nordeste sobre o estado.

Com relação aos compostos em médios níveis (Figura 24 C-D), nota-se em D-2 reflexos tanto do cavado frontal como a presença de um escoamento anticiclônico sobre a região central da Argentina, provavelmente associado à crista em altitude. Sobre o Mato Grosso do Sul, o fluxo mantém do sentido sudoeste-nordeste associado ao anticiclone centrado sobre o Mato Grosso, permanecendo em D0 (Figura 24 D).

Assim como visto nos compostos em Mato Grosso, esse tipo de configuração associada a anticiclone em médios níveis não só resulta em estabilidade atmosférica, uma vez que os movimentos subsidentes do ar na vertical impedem que convecções profundas se intensifiquem como também indicam a presença de uma troposfera aquecida (camada quente).

Os compostos do escoamento dos ventos em 850 hPa (Figura 24 E-F) indicaram a presença de circulação anticiclônica sobre o Mato Grosso do Sul em D-2 (Figura 24 E), assim como predomina na Região Centro-Oeste do país, no qual contribui para estabilidade atmosférica. No extremo sudoeste do estado, o fluxo dos ventos apresentam

escoamento meridional (norte-sul) bem definido, vindo a ganhar magnitude em D0 (Figura 24 F) quando converge com o escoamento de nordeste induzido pela circulação anticiclônica centrada sobre a Região Sudeste do país. Estas configurações resultam no transporte de ar aquecido das localidades tropicais para o sul do continente, sendo esta dinâmica em fase com a crista em altos níveis da troposfera, como esperado na literatura.

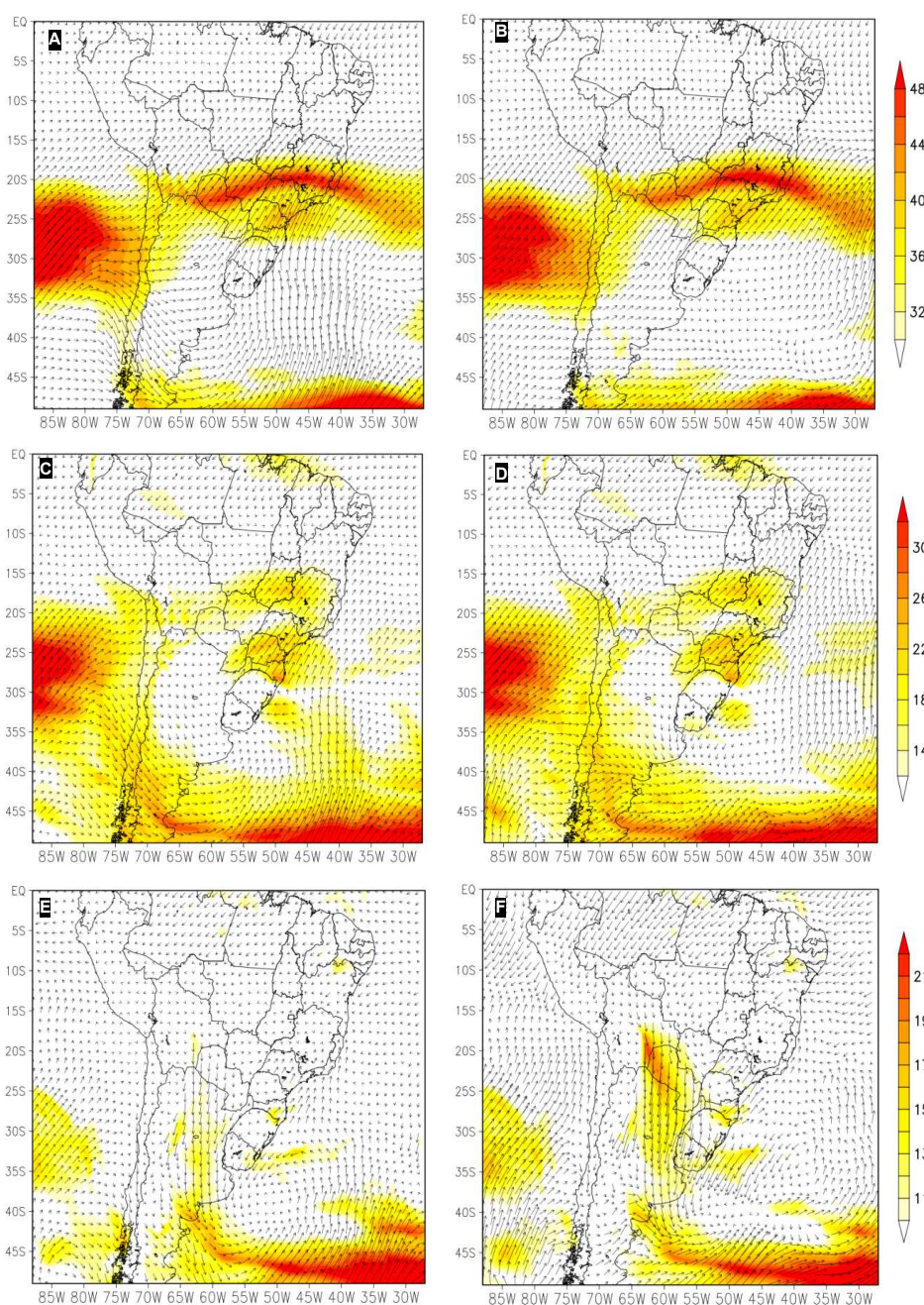


Figura 24 - Compostos de magnitude (colorido) e escoamento dos ventos (linhas de corrente) (m/s) em 250 hPa em D-2 (A) e D0 (B); 500 hPa em D-2 (C) e D0 (D); e 850 hPa em D-2 (E) e D0 (F) para os 10 casos com maior número de focos de incêndios em Mato Grosso do Sul.

Quando comparado estes resultados com os compostos do escoamento dos ventos de Mato Grosso (item 4.4.1), foi possível observar semelhanças, uma vez que em ambas notou-se a presença de cristas em altitude, a presença do escoamento anticiclônico em médios e baixos níveis influenciando os estados, e a intensificação da magnitude dos ventos em baixos níveis de norte para sul a leste dos Andes, no qual indica transporte de ar quente das regiões tropicais para áreas de maiores latitudes.

A partir dos compostos do geopotencial (Figura 25 A-D), verifica-se a abrangência dos valores de anomalia positiva de geopotencial D-2 sobre boa parte do continente, sendo os máximos associados à configuração do escoamento dos ventos em médios e altos níveis da troposfera visto anteriormente. À medida que um cavado frontal cruza os Andes no sul do continente, o que reflete em anomalias negativas de geopotencial, valores positivos de anomalia de geopotencial também se desloca para oeste e ganha abrangência. No entanto, em Mato Grosso do Sul não foi observado alterações relevantes de geopotencial no intervalo.

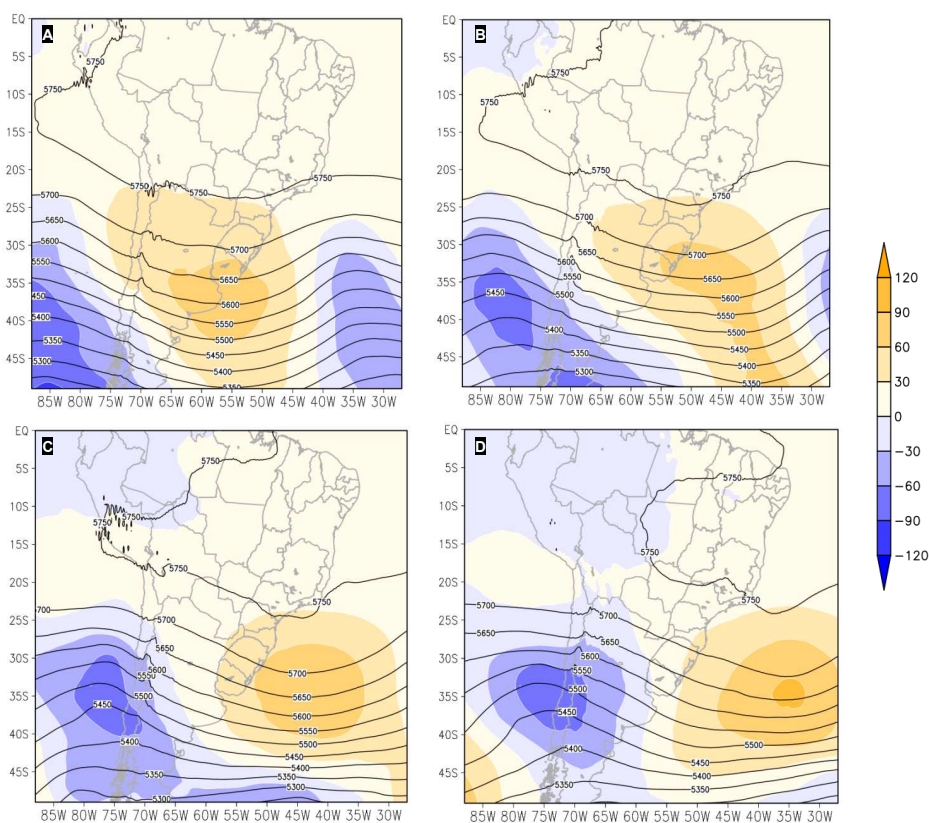


Figura 25 - Compostos de geopotencial (mgp) (linha sólida preta) e anomalia (colorido) em D-2 (A), D-1 (B), D0 (C) e D+1 (D) para os casos 10 casos com maior número de focos de incêndios em Mato Grosso do Sul.

Como esperado dado as configurações da troposfera, um amplo centro de alta pressão atmosférica e anomalia positivas de PNMM são observados sobre o oceano Atlântico, no qual influenciam nas condições de tempo desde a Região Sul a partes da Região Nordeste brasileira e, de forma menos intensa, sobre a metade leste do Mato Grosso do Sul com valor de 1016 hPa. Com o passar dos dias, enquanto o anticiclone mantém características marítimas, sobre o norte da Argentina é observado o aprofundamento de um sistema de baixa pressão atmosférica (Figura 26 B-D), vindo a influenciar na queda de pressão atmosférica para até 1008 hPa na metade oeste sul-mato-grossense, especialmente entre D0 e D+1 (Figura 26 C-D).

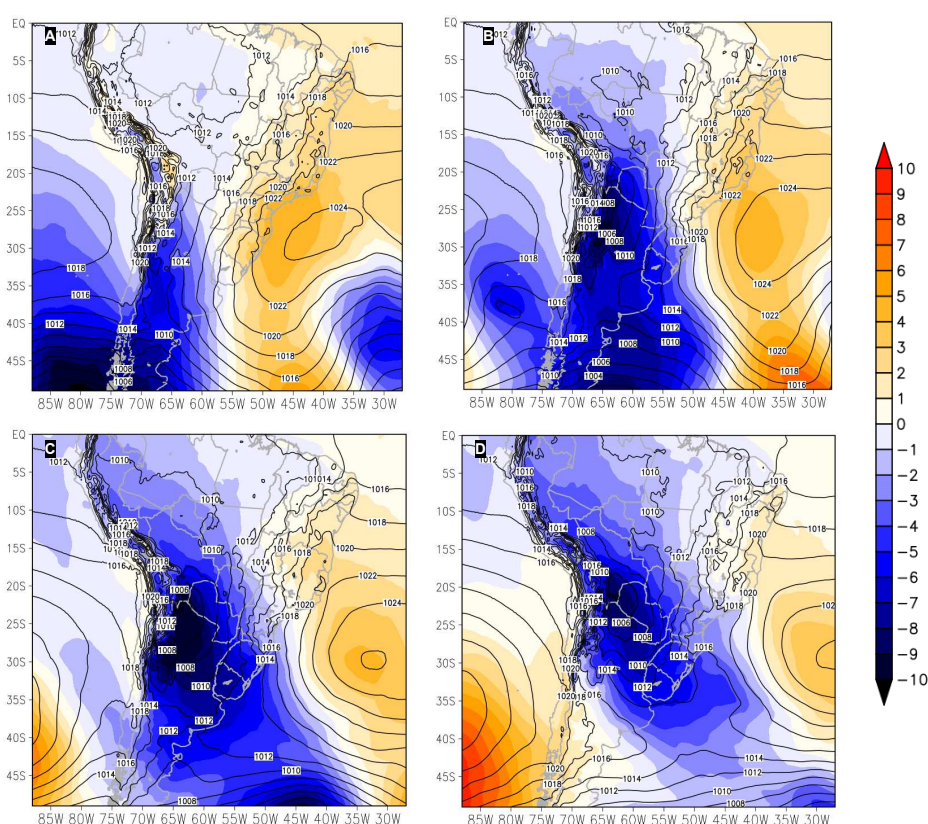


Figura 26 - Compostos de pressão ao nível do mar (hPa) (linha sólida preta) e anomalia (colorido) em D-2 (A), D-1 (B), D0 (C) e D+1 (D) para os casos 10 com maior número de focos de incêndios em Mato Grosso do Sul.

Seluchi e Saulo (2012) verificaram casos em que sistema de baixa pressão respondem ao aquecimento da baixa e média troposfera, onde a subsidência associada à presença da crista nos altos níveis gera um aquecimento dominante nas camadas mais altas da troposfera e, mesmo atenuado pelo esfriamento evaporativo nesses níveis, o

aquecimento é reforçado na baixa troposfera pela liberação de calor latente decorrente da convecção, condicionado a formação do sistema.

Com relação à T2M em superfície (Figura 27 A-B), em D-2 (Figura 27 A) boa parte do Mato Grosso do Sul apresenta anomalias positivas de temperatura comparadas à média climatológica de agosto e setembro na região, com marcas de até $+3,0^{\circ}\text{C}$, sobretudo na porção central do estado. Com o passar dos dias, em D0 (Figura 27 B) a anomalia positiva mostra-se mais abrangente com valores de até $+3,0^{\circ}\text{C}$ em praticamente todo o estado, sendo o oeste (no complexo pantaneiro) verificado os maiores valores de anomalia positiva de até $+5,0^{\circ}\text{C}$. Tanto nestas localidades como nas áreas da baixa pressão atmosférica anteriormente descrita, configuram como a região de maior anomalia positiva de temperatura no continente.

Assim como discutido em Mato Grosso, nesta época do ano em Mato Grosso do Sul já é geralmente observado as maiores temperaturas anuais na região, similarmente aos maiores números de FI. Isso, somado a ganho de temperatura (aquecimento), possivelmente influencia indiretamente em ambiente ainda mais propício ao fogo, especialmente na indução da ação antrópica a prática do mesmo.

Para os compostos de umidade relativa do ar em 925 hPa (Figura 27 C-D), percebe-se em baixos níveis da troposfera que há um ganho de secura do ar entre D-2 a D0 em Mato Grosso do Sul. Em D-2 (Figura 27 A) mesmo com todo o estado apresentando anomalias negativas de até 30% em relação a média climatológica do período, já considerada de estiagem, ainda intensifica o baixo teor de umidade do ar em até -40% D0 (Figura 27 D), evidenciando a presença de uma massa de ar seca dominando a região, condição essencial para possivelmente refletir em maior número de FI.

Em suma, quando comparado os resultados com os compostos do escoamento dos ventos de Mato Grosso (item 4.4.1), em ambos foi observada a formação de um sistema de baixa pressão atmosférica sobre a região Noroeste da Argentina, possivelmente resultado do aquecimento térmico, e a presença de anticiclone no centro-sul do continente a propagar-se para o oceano, mas com características continentais em Mato Grosso e marítimas para Mato Grosso do Sul. Ainda, é notado em ambos compostos o ganho de T2M (aquecimento) e diminuição de R (mais seco) sobre os estados em dias com maior número de FI, considerando o intervalo mensal analisado.

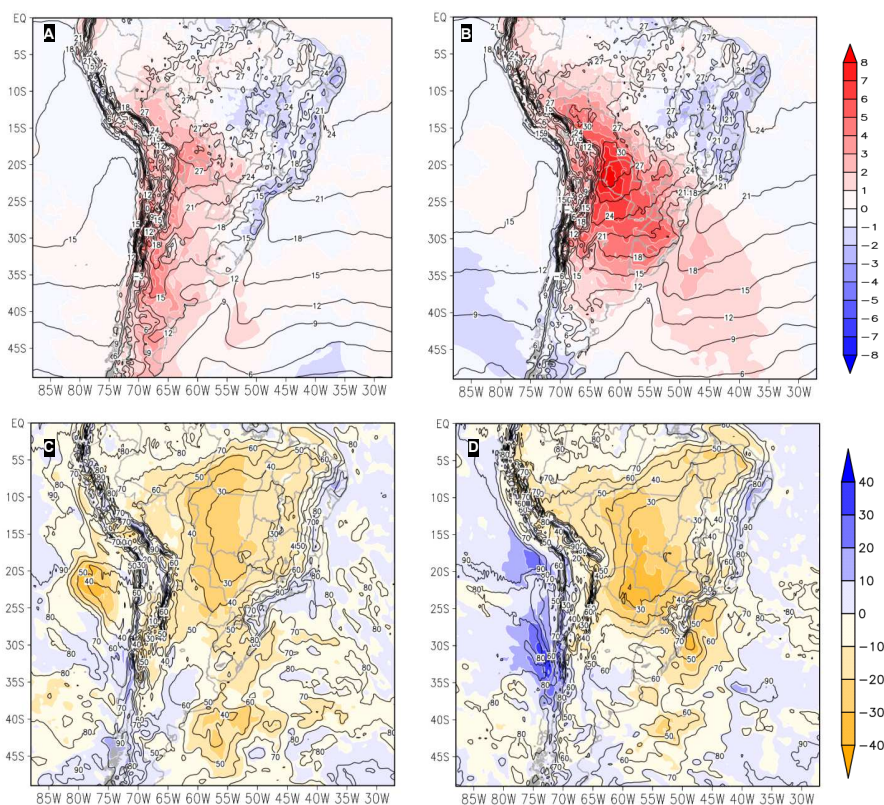


Figura 27 - Compostos de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) em superfície (linha sólida preta) e anomalia (colorido) em D-2 (A) e D0 (B); e compostos de umidade relativa do ar (%) em 925 hPa (linha sólida preta) e anomalia (colorido) em D-2 (A) e D0 (B) para os 10 casos com maior número de FI em Mato Grosso do Sul.

4.5 Relações entre focos de incêndios e eventos de friagens

A partir do conjunto de dados dos 27 eventos de incursão de ar frio entre 2007 e 2014 na região de estudo, foi notado em grande maioria dos casos que a atuação de friagem favoreceu o aumento de FI na região, mais especificamente em 81% (21 de 26 eventos) no Mato Grosso (Figura 28 A) e em 79% (19 de 24 eventos) em Mato Grosso do Sul (Figura 28 B).

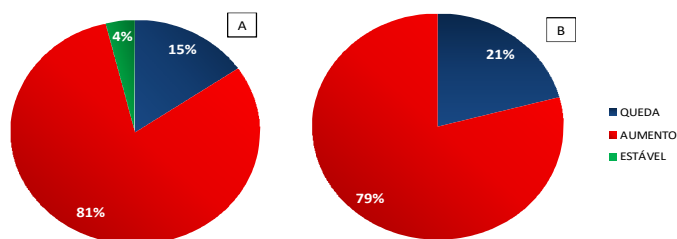


Figura 28 - Quantidade (%) de casos em que houve aumento do número de focos de incêndios sob atuação de friagens intensas em Mato Grosso (A) e Mato Grosso do Sul (B), sendo os eventos de friagens definidos por Santos (2017).

A proporção média em que o fenômeno de friagem intensifica o número total diário de FI em Mato Grosso é de 83,60% no intervalo 2 (considerados no estudo de D+1 a D+3), enquanto que em Mato Grosso do Sul o aumento é de 254% (Figura 29). Apesar do maior aumento em Mato Grosso do Sul, cabe destacar que o total de FI em Mato Grosso é majoritariamente maior, como já apresentado em itens anteriores. Destaca-se o máximo aumento de até 960% de FI em Mato Grosso do Sul sob o evento 22, e 508% em Mato Grosso no evento 20. Em alguns casos, a incursão do fenômeno resultou em queda do número de FI em ambos os estados, sobretudo em Mato Grosso do Sul, mas em proporções consideravelmente menores quando visto o contrário, sendo estes possivelmente associados à precipitação, como visto por Pinto et al. (2018).

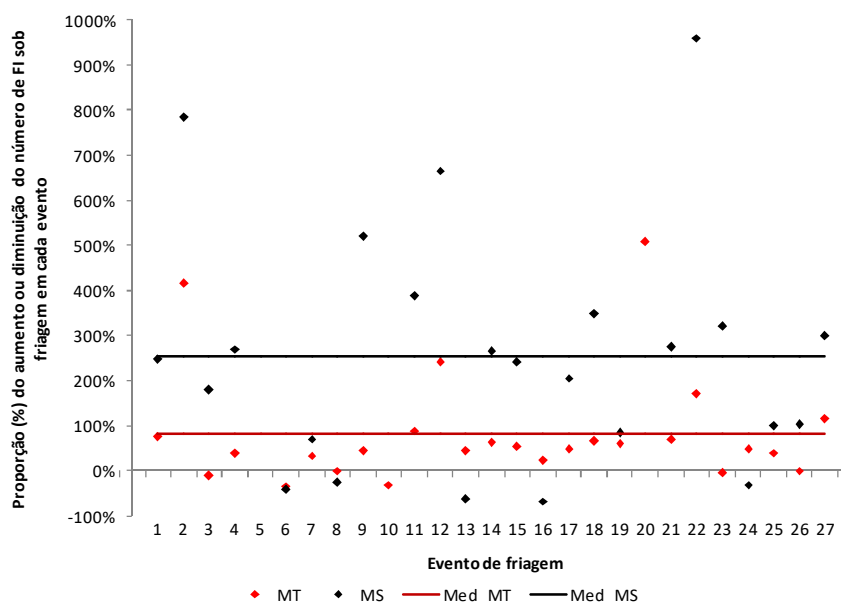


Figura 29 - Proporção (%) do aumento ou diminuição do número de focos de incêndios sob atuação de friagem em relação a três dias anteriores ao fenômeno para cada evento em Mato Grosso (pontos em vermelho) e Mato Grosso do Sul (pontos em preto), com base nos eventos intensos por Santos (2017).

Analisando o ambiente atmosférico com a atuação do fenômeno de friagem e, por consequência, ao aumento do número de FI na região de estudo, observa-se com relação à PNMM (Figura 30 A-D) uma ampla área de anomalia positiva (ganho anticiclônico) sobre o oceano Pacífico e que se desloca ao longo do intervalo do sul do Chile e Argentina à região central do continente, em áreas tropicais, como o Mato Grosso do Sul e o Mato Grosso. Essa configuração é similar ao padrão sinótico mais frequente sob incursão de ar frio na região verificado por Escobar et al. (2019).

Enquanto que em D-2 (Figura 30 A) é observado valores mínimos de PNMM de aproximadamente 1011 hPa no norte sul-mato-grossense e anomalias negativas (perda ciclônica) em todo o estado, em D0 há um ganho de pressão atmosférica de oeste devido o ingresso de um anticiclone continental, com valores de até 1020 hPa no extremo oeste, cujo o centro de 1026 hPa localiza-se sobre o centro da Argentina. Com isso, anomalias positivas de PNMM atuam e prevalecem em D+2 e D+4 em ambos os estados (Figura 30 C-D, colorido), sendo este comportamento também esperado pela literatura, como em Hamilton e Tarifa (1978) e Escobar et al. (2019).

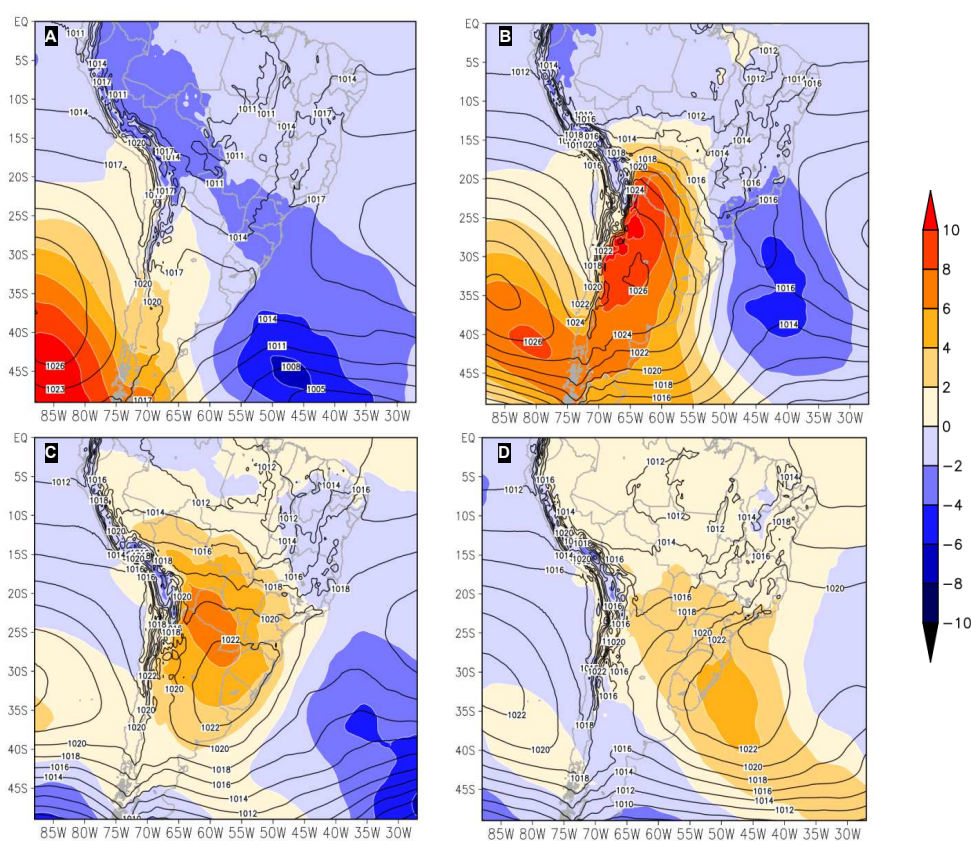


Figura 30 - Compostos de pressão atmosférica ao nível médio do mar (hPa, linhas sólidas pretas) e anomalia (colorido) destes em relação a agosto e setembro de 1981 a 2010 em D-2 (A), D0 (B), D+2 (C) e D+4 (D) para os casos 27 casos de friagens intensas em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

Conforme Lichtenstein (1989), durante a passagem de anticiclones através dos Andes, o escoamento dos ventos em baixos níveis não pode cruzar a parte alta da montanha a sudoeste do continente, assim o sistema frontal contorna a barreira girando anticiclonicamente, aumentando sua vorticidade anticiclônica e, consequentemente,

favorecendo a ampla presença de um anticiclone migratório em superfície, como observado nos compostos acima apresentados.

Além disso, cabe destacar que o giro anti-horário do ingresso do anticiclone pós-frontal em superfície a leste dos Andes, favorece ventos variantes do quadrante Sudoeste para Sul do sul do continente para latitudes menores, o que corroborou com o que normalmente se observa em eventos de friagens discutidos por outros autores para áreas tropicais, por exemplo, Fischer (1996), Garreaud (2000) e Ricarte et al. (2014).

Com relação à T2M em superfície (Figura 31 A-F), em D-2 observa-se condições praticamente dentro da média do período em toda região de estudo (Figura 31 A, colorido). No entanto, conforme há o ingresso do anticiclone continental nos dias seguintes, anomalias negativas de temperaturas intensificam na região, causando o fenômeno de friagem, com maiores valores negativos em Mato Grosso do Sul. Verifica-se que a advecção de ar frio em superfície avança ao menos até 12°S, sobre a região central de Mato Grosso, mas com boa parte da metade leste do estado fica sem variações significativas (Figura 31 C). Conforme Longo et al. (2004), a topografia acidentada no leste do Mato Grosso dificulta o avanço do ar mais frio nesta região.

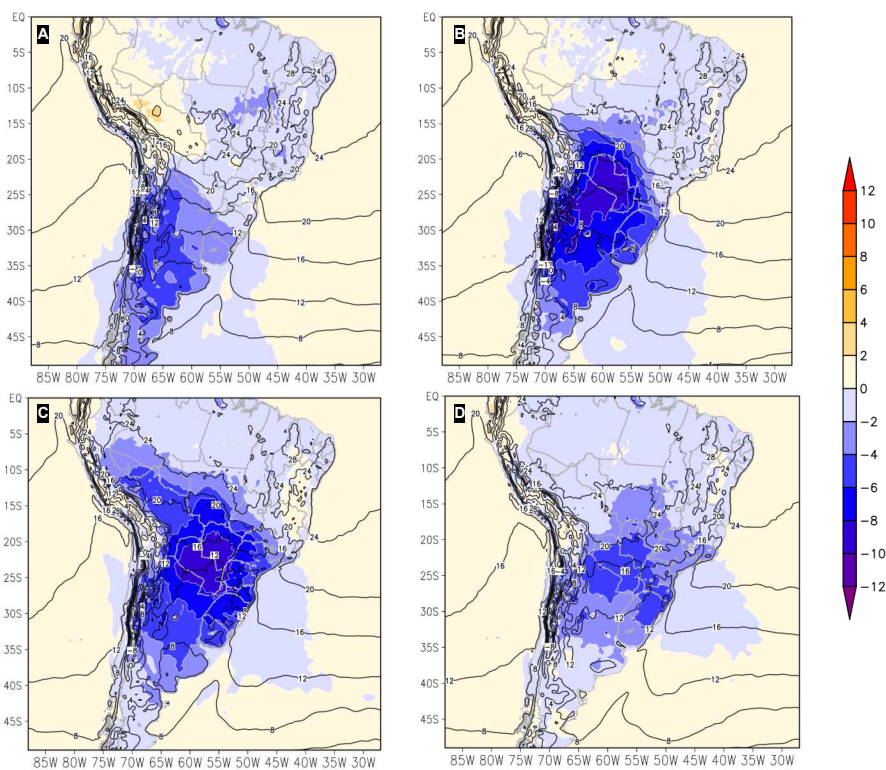


Figura 31 - Compostos de temperatura do ar em superfície (°C, linha sólida preta) para os casos 27 casos de friagens intensas em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, e anomalia (colorido) destes em relação a agosto e setembro de 1981 a 2010.

Para os compostos de R em 925 hPa (Figura 32 A-D), percebe-se em D-2 (Figura 32 A, colorido) uma troposfera neste nível mais seca (anomalias negativas) em praticamente toda região de estudo, sobretudo em Mato Grosso, onde nota-se R inferior a 10% em boa parte do estado. Com o passar dos dias, destaca-se o ganho de R conforme o fenômeno de friagem ingressa na região, com maior intensidade em Mato Grosso do Sul, especialmente em D0. No entanto, em D+2 (Figura 32 C, colorido), embora ainda com anomalias positivas, nota-se redução do teor de umidade comparado aos dias anteriores em Mato Grosso do Sul, devido o ingresso do anticiclone pós-frontal com características seca; enquanto em Mato Grosso observa-se a permanência de anomalias positivas de até 20% no centro-sul neste dia, e um ganho de até 10% de R em boa parte do estado. Por outro lado, em D+4 (Figura 32 D) é observado o retorno de condições semelhantes do teor de R antes dos episódios de friagem na região de estudo, mas em grande maioria das localidades com perda do teor de R, sobretudo no noroeste de Mato Grosso, com anomalias negativas de até 20% (Figura 32 F, colorido).

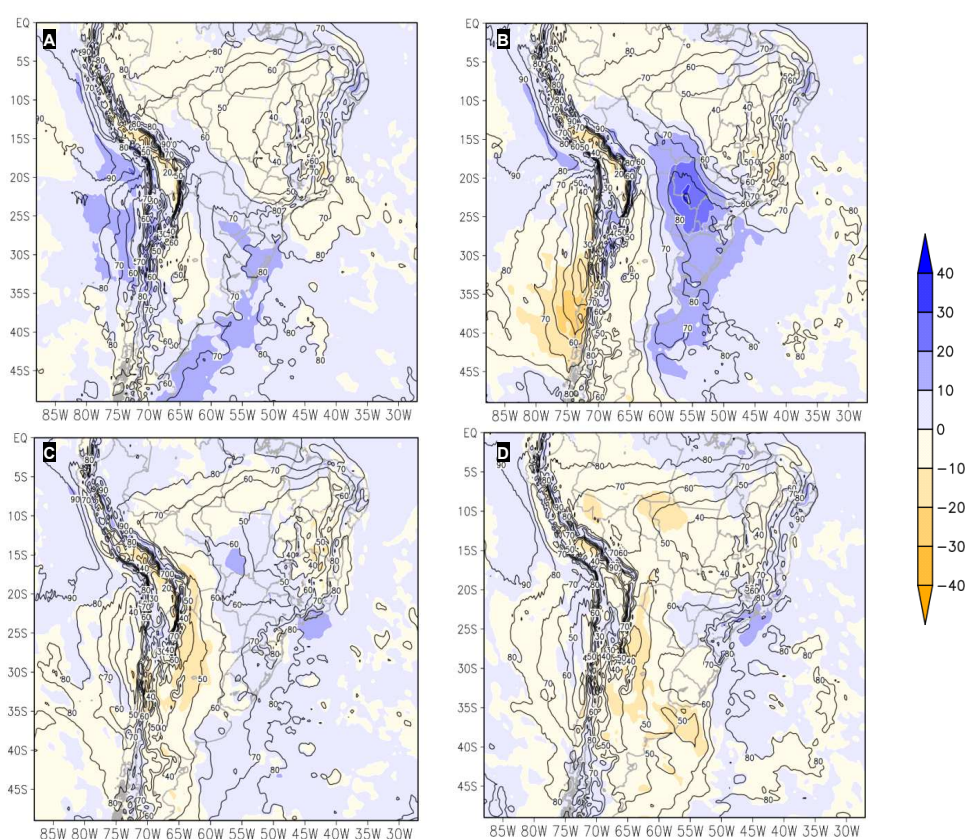


Figura 32 - Compostos de umidade do ar em 925 hPa (%), linha sólida preta) para os casos 27 casos de friagens intensas em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, e anomalia (colorido) destes em relação a agosto e setembro de 1981 a 2010.

Em suma, fica caracterizada a influência do anticiclone pós-frontal sobre a região de estudo nas anomalias negativas de T2M e R nos níveis analisados, uma vez que o sistema condiciona a advecção de ar frio e seco das latitudes maiores para regiões tropicais (PINTO et al., 2018). Com relação as anomalias positivas das variáveis meteorológicas, cabe frisar a época quente e seca na região, onde a perca de T2M próxima a média climatológica não necessariamente significa inibir a condição favorável ao fogo, assim como o ganho do teor de R em mesma análise não necessariamente significa melhora da qualidade do ar, a ponto de inibir ambiente favorável ao fogo.

Pelo contrário, notadamente nas regiões norte, noroeste e leste mato-grossense, e em boa parte sul-mato-grossense, o fenômeno de friagem acarreta em intensificar o quadro de baixa umidade do ar nestas áreas enquanto perde suas características, como indicado nas configurações dos compostos, o que preliminarmente pode ter contribuído para o maior número total de FI na região após a friagem, uma vez que quanto menor os índices de R, maior é o ambiente favorável ao fogo, especialmente quando adicionado a ação antrópica.

5 Conclusões

No período de 2003 e 2018, as variáveis meteorológicas (temperatura “T2M”, precipitação “TP” e umidade relativa do ar “R”) evidenciaram Mato Grosso e Mato Grosso do Sul estarem em uma região consideravelmente quente e com regime de chuvas bem distribuídos ao longo do ano, sendo os meses de julho a setembro os mais secos, com maiores amplitudes térmicas e menores valores de R, sobretudo em Mato Grosso. Os maiores valores de T2M, TP, Q e R ocorreram em Mato Grosso, enquanto os menores foram observados em Mato Grosso do Sul, com exceção a R. A altitude e latitude exerceram maior influência no comportamento das variáveis meteorológicas na região. O período recente foi mais aquecido, com menor teor de umidade e menos chuvoso na média quando comparado a normal climatológica de 1981 a 2010.

O número de focos de incêndios (FI) ocorreu com maior abrangência e quantidade em Mato Grosso, sendo os meses de agosto e setembro com maiores casos em ambos os estados.

A correlação entre os FI com as variáveis meteorológicas mostrou maior associação entre FI e TP em Mato Grosso e FI e R em Mato Grosso do Sul, o primeiro em função da sazonalidade de TP ser mais bem definida, pronunciada e abrangente; e o segundo em função da influência de condições extratropicais presentes, sobretudo à incursão de sistemas frontais. As correlações em ambos os estados foram maiores em meses relativamente mais úmidos, onde a ocorrência de FI é menor comparado ao período seco, evidenciando a importância do acompanhamento das informações do tempo e a possíveis medidas preventivas ao fogo serem levadas em consideração ao longo de todo o ano, e não somente à estiagem.

Os compostos do ambiente atmosférico em dias com máximos números de FI mostrou que em ambos os estados houve a presença de crista em altitude, escoamento

anticiclônico em médios e baixos níveis, e a intensificação da magnitude dos ventos em baixos níveis de norte para sul a leste dos Andes. Em ambos compostos houve a presença de anticiclone no centro-sul do continente a propagar-se para o oceano, com características continentais em Mato Grosso e marítimas para Mato Grosso do Sul. Ganho de T2M (aquecimento) e diminuição de R (mais seco) sobre os estados foram observados pelos compostos.

Sob a atuação de friagem, houve aumento do número total diário de FI em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, mas com maior proporção média em Mato Grosso do Sul. Quando associado às condições atmosféricas pelos campos compostos, o fenômeno acarreta em intensificar o quadro de baixos valores de R na região, o que pode ter contribuído para o maior total de FI.

Destaca-se a importância de novos estudos e investigações mais detalhadas do tema na região, especialmente acerca da influência das ações antrópicas nos FI frente ao clima, visto que em muito contribui para ambiente favorável ao fogo. Sugere-se ainda investigar as consequências dos FI à saúde humana, uma vez que a prática da queimada ainda é recorrente na região.

6 Referências Bibliográficas

ABREU, F. A.; SOUZA, J. S. A. Dinâmica Espaço-temporal de Focos de Calor em Duas Terras Indígenas do Estado de Mato Grosso: uma Abordagem Geoespacial sobre a Dinâmica do Uso do Fogo por Xavantes e Bororos. **Floresta e Ambiente**, v. 23(1), p. 1-10, 2016.

ALENCAR, A.; ASNER, G. P.; KNAPP, D.; ZARIN, D. Temporal variability of forest fires in eastern Amazonia. **Ecological Applications**, v. 21, n. 7, p. 2397-2412, 2011.

ALVES, L. M. Clima da Região Centro-Oeste. In: CAVALCANTI, I. F. A. et. al. (Org.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. cap. 15, p. 235-241, 2009.

AMORIM NETO, Alcides de Castro. **Estrutura e evolução de frentes frias intensas na região amazônica brasileira**. 2013. 182 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) — Curso de Pós-Graduação, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2013.

ANDREAE, M. O. Biomass burning: its history, use, and distribution and its impact on environmental quality and global climate. In: Levine, J.S. (ed.). *Global biomass burning: atmospheric, climatic, and biospheric implications*. **Cambridge: MIT Press**, cap. 1, p. 3-121, 1991.

ARANHA, P. S. **Análise de correlação de focos de queimadas com variáveis climáticas no município de marabá**. 2016. 70 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

BEASLEY, C. R. 2004. Apostila de exemplos para biólogo – Bioestatística usando R. Disponível em: cran.r-project.org/doc/contrib/Beasley-BioestatisticaUsandoR.pdf. Acesso em: 03 set. 2019.

CLIMATE CHANGE SERVICE. 2019. **Climate reanalysis**. Disponível em: <https://climate.copernicus.eu/climate-reanalysis>. Acesso em: 04 jan. 2019.

CONAB. 2013. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em 24 abr. 2018.

CORREIA, S. C. **A influência dos sistemas climáticos sobre os incêndios florestais – Estudo de caso: Evento de incêndio ocorrido em setembro de 2005 no Jardim Botânico de Brasília**. 2007. 70 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) — Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

COSTA, A. A.; PAULIQUEVIS, T. M. Aerossóis, nuvens e clima: resultados do experimento LBA para o estudo de aerossóis e microfísica de nuvens. **Revista brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 2, p. 234-253, 2009.

COTTON, W. R., et al. RAMS 2001: current status and future directions. **Meteorology and Atmospheric Physics**. v. 82, p. 5–29, 2003.

COUTINHO, L.M. O conceito de cerrado. **Revista Brasileira de Botânica** 1: 17-23, 1978.

COUTINHO, L. M. Fire in the Ecology of Brazilian Cerrado. In J. G. Goldammer (Ed.). Fire in the tropical biota: Ecological processes and global challenges. **Ecological Studies**, p. 82-105, 1990.

COUTINHO, L. M. O conceito de bioma. **Acta bot. bras.** 20(1): 13-23, 2005

COUTINHO, A. C. Padrões da distribuição espacial de queimadas no Estado de Mato Grosso. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 2285-2292. **Anais XIV SBSR**, 2009.

CRUTZEN, P. J.; ANDREAE, M. O. Biomass burning in the tropics: impacts on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles. **Science**, v. 250, n. 4988, p. 1669-1678, 1990.

DALLACORT, R.; MOREIRA, P. S. P.; INOUE, M. H.; SILVA, D. J.; CARVALHO, I. F.; SANTOS, C. Wind speed and direction characteristics in Tangará da Serra, Mato Grosso State, Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 25, n. 3, p. 359-364, 2010.

DENTZ, E. V. **Dinâmica espacial da acumulação de capital do agronegócio: o caso do Mato Grosso**. 2018. 205 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) — Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Francisco Beltrão, 2018.

DIAS, B. F. S. Cerrado: uma caracterização. In: Dias, B. F. S., ed. **Alternativas de desenvolvimento dos Cerrados: manejo e conservação dos recursos naturais renováveis**. Brasília: Fundação Pró-Natureza (FUNATURA), p. 15-26, 1992.

DUARTE, A. F. Aspectos da climatologia do Acre, Brasil, com base no intervalo 1971 –2000. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.3b, 308-317, 2006.

ESCOBAR, G. C. J; VAZ, J. C. M; REBOITA, M. S. Circulação Atmosférica em Superfície Associada às Friagens no Centro-Oeste. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, Vol. 42 – 1, 241-254, 2019.

EMBRAPA. 2005. **Zoneamento agrícola de risco climático: instrumento de gestão de risco utilizado pelo seguro agrícola do Brasil**. Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuárias – Disponível em: http://w.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Zoneameno_agricola_000fl7v6vox02wyiv80ispcrruh04mek.pdf>. Acesso em 03 de Jun. 2018.

FERNANDES, Bruno Maon. **Estudo de friagem na região do Pantanal. 2014. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação em Meteorologia) – Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014.

FERREIRA, W. T. S.; RABELO, A. P. C. Análise da distribuição espaço-temporal dos focos de incêndio no Pantanal (2000-2016). Anais 7º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Jardim. **Anais**, 2018.

FIEDLER, N. C.; MERLO, A. M.; MEDEIROS, M. B. Ocorrência de incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, Goiás. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, p. 153-161, 2006.

FIETZ, C. R.; FISCH, G. F.; COMUNELLO, E.; FLUMIGNAN, D. L. O clima da Região de Dourados, MS. **Embrapa Agropecuária Oeste**, 3 ed., 2017.

FIGUEROA, S. N., NOBRE, C. A. Precipitation distribution over central and western tropical South America. **Climanálise**, v.5, p.36-45. 1990.

FISCH, G. **Camada limite amazônica: aspectos observacionais e de modelagem**. 1996. 203 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Curso de Pós-Graduação, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1996.

FISCH, G.; MARENGO, J.; NOBRE, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazônica**, v.28, n.2, p.101-126. 1998.

FRANÇA, H.; NETO, M. B. R.; SETZER, A. O Fogo no Parque Nacional das Emas. Brasília: **MMA**, p. 140, 2007.

FREITAS, S. R.; LONGO, K. M.; DIAS, M.; SILVA, A. F.; DIAS, P. L. S. Emissões de queimadas em ecossistemas da América do Sul. **Estudos Avançados**. São Paulo, v. 19, n. 53, p. 167-185, 2005.

FRITZSONS, E. et al. Altitude e temperatura: estudo do gradiente térmico no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.16, p.108-119, 2015.

GARCIA, E. A. C. O clima no Pantanal Mato-Grossense. **Circular Técnica**. Corumbá: n. 14, p. 36, 1984.

GARREAUD, R. D. Cold air incursions over subtropical South America: mean structure and dynamics. **Monthly Weather Review**, v. 128, n. 7, p. 2544-2559, 2000.

GOMES, M. S. **Incêndios e detidos por crime de incêndio florestal em Portugal**. 2012. 162 f. Dissertação (Mestrado em Geografia – Área de especialização em Planejamento e Gestão do Território) – Universidade do Minho, Braga (Portugal), 2012.

GOMES, M. S. **Efeito dos Eventos de Friagem nas Condições meteorológicas do Sudoeste da Amazônia**. 2015. 75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Meteorologia) – Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2015.

GOULART, A. A.; MORELLI, F.; SETZER, A. Focos de queimadas e incêndios detectados por satélites nas unidades de conservação do cerrado no mato grosso em 2010. XIV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada “Dinâmicas socioambientais, das inter-relações às interdependências”. **Anais XIV SBGFA**, Dourados, 2011.

GOVERNO DE MS. Geografia de Mato Grosso do Sul. Disponível em: <<http://www.ms.gov.br/a-historia-de-ms/>>. Acesso: 11 mar. 2018.

GOVERNO DE MT. Geografia de Mato Grosso. Disponível em: <http://www.mt.gov.br/geografia>. Acesso: 11 mar. 2018.

HAMILTON, M. G.; TARIFA, J. R. Synoptic aspects of a polar outbreak lead ingto frost in tropical Brazil, July, 1972. **Monthly Weather Review**, v. 106, n. 11, p. 1545-1556, 1978.

IBDF - Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal. Parque Nacional das Emas: plano de manejo. Brasília, 1978.

IBGE. 2004. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapa de Biomas e de Vegetação. Disponível em: < <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>>. Acesso em: 14 jun. 2018.

IBGE. 2010. Geografia de Mato Grosso do Sul. Disponível em: < <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>>. Acesso em: 14 jun. 2018.

IBGE. 2018. Geografia de Mato Grosso. Disponível em: < <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>>. Acesso em: 19 ago. 2018.

IPAM. 2015. Arco do Desmatamento. Portal do Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia. Disponível em <https://ipam.org.br/glossario/arco-do-desmatamento/>. Acesso em: 10 fev. 2020.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2018. Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios. Disponível em <http://www.inpe.br/queimadas>. Acesso em: 25 jun. 2018.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2019. Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios. Disponível em <http://www.inpe.br/queimadas>. Acesso em: 10 fev. 2019.

LEITE, E. F.; FARIA, R. R. Dinâmica espaço-temporal dos focos de calor na sub-região da Nhecolândia, Pantanal-MS. 7º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Jardim, 2018. **Anais**, 2018.

LICHTENSTEIN, E. **Some influences of the Andes cordillera on the synoptic scale circulation**. Preprints, Third Int. Congress on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, Buenos Aires, Argentina. AMS, p. 156-159, 1989.

LONGO, R. C. M.; DIAS, M. A. F. S. Análise das características dinâmicas e sinóticas de um evento de friagem durante a estação chuvosa no sudoeste da Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n. 1, p. 59-72, 2004.

LONGO, K.M.; FREITAS, S.R.; ANDREAE, M.O.; YOKELSON, R.; ARTAXO, P.. Queima de biomassa na Amazônia: emissões, transporte de fumaça em longa distância e seus impactos regionais e remotos. **Amazonia and global change**, Geophysical monograph series 186, p. 207-232, 2009.

LOPES, L. C. S; JARDIM, C. H. Variações de temperatura e umidade relativa do ar em área urbana e rural durante o segmento temporal de inverno de 2011 em contagem e betim (mg). **ACTA Geográfica**, Boa Vista, Ed. Esp. Climatologia Geográfica, pp.205-221, 2012.

LOPES, M. N. G.; DE SOUZA, E. B.; FERREIRA, D. B. S. Climatologia regional da precipitação no estado do Pará. **Revista Brasileira de Climatologia**, n. 9, v. 12, p. 84-102, 2013.

MACIEL, A. S.; BARCELOS, B. F.; OLIVEIRA, L. A. A análise da influência da altitude na temperatura e na precipitação da mesorregião Norte de Minas – Minas Gerais. **Revista Geonorte**, v. 2, p. 250-261, 2012.

L'HEUREUX, M.; TAKAHASHI, K.; WATKINS, A.B.; BARNSTON, A.G.; BECKER, E.J. et al. Observing and Predicting the 2015-16 El Niño. **Bulletin American Meteorological Society**, v. 98, 2016.

MAGALHÃES NETO, N. **Contribuição das queimadas na América do Sul para o derretimento das geleiras andinas: estudo de caso sobre o impacto do aerossol "blackcarbon" na geleira Zongo – Bolívia**. 2017. 142 f. Tese (Doutorado em Geociências - Geoquímica Ambiental) - Universidade Federal Fluminense, 2017.

MARCUZZO, F. F. N.; FARIA, T. G.; CARDOSO, M. R. D. Chuvas no cerrado mato-grossense: análise histórica e tendência futura. **Repositório Institucional de Geociências**, 2010.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C.; CULF, A. D. Climatic impactsof —friagensll in forestedanddeforestedareasofoftheAmazonbasin. **Journal of AppliedMeteorology**, v. 36, n. 11, p. 1553-1566, 1997a.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C.; CULF, A. D. Cold surges in tropical and extratropical South America: the strong event in June 1994. **Monthly Weather Review**, v. 125, n. 11, p. 2759-2786, 1997b.

MESQUITA, A. G. G. 2010. **Impactos das queimadas sobre o ambiente e a biodiversidade acreana**. Mimeo. Disponível em: http://queimadas.cptec.inpe.br/~rqueimadas/material3os/impacto_queimadas_ambiente_biodiversidade.pdf. Acesso em: 18 mar. 2019.

MYERS, V. A. A cold front invasion of Southern Venezuela. **Monthly Weather Review**, v. 92, n. 11, p. 513-521, 1964.

MOLION, L.C. B. Climatologia dinâmica da Região Amazônica: mecanismos de precipitação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 2, p. 107-117, 1987.

MORAES, E. C.; PEREIRA, G.; ARAI, E. Uso dos produtos EVI do sensor MODIS para a estimativa de áreas de alta variabilidade intra e interanual no bioma Pantanal. **Geografia**, v. 34, p. 757-767, 2009.

MOREIRA, P. S. P.; GALVANIN, E. A. S.; DALLACORT, R.; NEVES, R. J. Análise de agrupamento aplicado ao ciclo diário das variáveis meteorológicas nos biomas do estado de Mato Grosso. **Acta Iguazu**, v. 5, p. 80-94, 2016.

MORTON, D.C.; DE FRIES, R.S.; SHIMABUKURO, Y.E.; ANDERSON, L.O.; ARAI, E.; ESPIRITO-SANTO, F.D.; FREITAS, R.; MORISETTE, J. Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v.103, n.39, p.14637-14641, 2006.

MUKAKA, M.M. Statistics Corner: A guide to appropriate use of Correlation coefficient in medical research. **Malawi Medical Journal**, v. 24, p. 69–71.

NASCIMENTO, W. F. Efeitos da temperatura sobre a soja e milho no estado de Mato Grosso do Sul. 2016. 69 p. Dissertação (Mestrado em Agronegócios) — Programa de Pós-Graduação em Agronegócios, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2016.

NEPSTAD, D. C., A. Moreira e A. A. Alencar. **A Floresta em Chamas: Origens, Impactos e Prevenção de Fogo na Amazônia**. Programa Piloto para Proteção das Florestas Tropicais do Brasil, Brasília, Brasil, 1999.

NEPSTAD, D. C. et al. Mortality of large trees and lianas following experimental drought in an Amazon forest. **Ecology**, v. 88, p. 2259–2269, 2007.

NEVES, L. F. S.; MORIMON, B. S.; ANDERSON, L. O.; NEVES, S. M. A. S. Dinâmica de fogo no parque estadual do araguaia, zona de transição amazônia-cerrado. **Revista Ra'e GA**, v. 44, p. 85-103, 2018.

NIMER, E. Geografia do Brasil – Região Centro-Oeste. Rio de Janeiro, **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, v. 1, p. 23-34, 1989.

NOBRE, A.C.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. Mudanças climáticas e Amazônia. **Ciência e Cultura**, v. 59, p. 22-27, 2007.

NUNES, Haroldo Sérgio Martins. **Estudo da variação da estrutura termodinâmica da atmosfera durante o RBLE-2**. 1994. 43p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Meteorologia) – Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 1994.

OLIVEIRA, P. J.; ROCHA, E. J. P.; FISCH, G.; KRUIJT, B.; RIBEIRO, J. B. M. Efeitos de um evento de friagem nas condições meteorológicas na Amazônia: um estudo de caso. **Acta Amazonica**, v. 34, n. 4, p. 613-619, 2004.

OLIVEIRA, H. L. **Processo de prevenção, controle e combate a incêndios florestais no estado do Mato Grosso**. 2017. 22p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2017.

OKUMA, M. **A Amazônia Ameaçada**. PlanetaBio – Artigos Especiais. Disponível em: <http://www.planetabio.com/amazonia.pdf>. Acesso: 27 abr. 2018.

PARRA, M. A. T. **Estudos Climáticos no Estado de Mato Grosso do Sul: as Médias e a Dinâmica atmosférica**. Departamento de Ciências Humanas do Centro Universitário de Dourados-UFMS (DCH, CEUD/UFMS). Editor da UFMS, nº11, 2001.

PENHA, R. C. **Morbimortalidade de doenças respiratórias e cardiovasculares atribuível à fumaça na Amazônia Legal**. Dissertação (Mestrado) – Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro, 2014.

PEREIRA, R. R. P.; CABRAL, I. L. L. Agentes causadores das queimadas no Parque Nacional de Chapada dos Guimarães – MT. **Geográfica de América Central**, nº especial, p. 1-17, 2011.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia: Fundamentos e aplicações práticas. – Guaíba: **Agropecuária**, 2002, 478 p.
PINTO, L. B.; FERNANDES, B. M.; SANTOS, M. J. M.; CAMPOS, C. R. J. Eventos de friagem na região do Pantanal, Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências** – UFRJ, Vol. 41 – 2, 223-232, 2018.

PRINS, E. M.; FELTZ, J. M.; MENZEL, W. P.; WARD, D. E. An Overview of GOES-8 Diurna Fire and Smoke Results for SCAR-B and 1995 Fire Season in South America. **J. Geophys. Res.**, 103, D24, 31821-31835, 1998.

RAMOS-NETO, M. B. Natural occurrence of fire in Emas Natural Park, Central Brazil. In: **Bushfire '97: Australian Bush Fire Conference**. Darwin, p. 8-10, 1997.

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

RICARTE, R. M. D.; HERDIES, D. L.; BARBOSA, T. F. Patterns of atmospheric circulation associated with cold outbreaks in southern Amazonia. **Meteorological Applications**, v. 22, p. 129-140, 2014.

ROCHA, J. C. S. **Dinâmica de ocupação no bioma cerrado: caracterização dos desmatamentos e análise das frentes de expansão**. 2012. 82p. Dissertação (Mestrado em Agronegócio) – Programa de Pós-Graduação em Agronegócio, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012.

ROCHA, G. F. **Trajectoria e contexto espacial dos desmatamentos no bioma cerrado**. 2014. 82p. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

ROLDÁN G. A. Condiciones Sinópticas de La Incursión de una Masa de Aire Frío em Sudamérica: caso julio 2000 y su impacto em la Selva Peruana. Centro de Predicción Numérica - Dirección de Meteorología Sinóptica Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – **Senamhi** Cahuide 785, Jesús María – Lima 11, 2005.

RPPN GALHEIRO. **Revisão do plano de manejo da reserva particular do patrimônio natural RPPN GALHEIRO**. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/DCOM_1CEMG01F_1_69_REL_0001_7_Adequa%C3%A7%C3%A3o_do_Plano_de_Manejo_RPPN_Galheiro.pdf. Acesso em: 24 out. 2018.

SALDANHA, A. H. S. **Desenvolvimento de sistemas de gerenciamento de manutenção de extintores de incêndios**. 2017. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

SANTOS, B. S.; PINTO, A. P.; ANIZ, A. C. M.; ALMEIDA, A. P. M. G; FRANCO, G. L.; GUIMARAES, E. B.; LEMOS, R. A. A. Mortalidade de bovinos zebuínos por hipotermia em Mato Grosso do Sul. **Pesquisa Veterinária Brasileira**. v. 32, p. 204-210, 2012.

SANTOS, R. B.; SOUZA, A. P.; SILVA, A. C.; ALMEIDA, F. T.; ARANTES, K. R.; SIQUEIRA, J. L. Planejamento da pulverização de fungicidas em função das variáveis meteorológicas na região de Sinop-MT. **Global Science and Technology**.v. 06, p. 72-88, 2013.

SANTOS, P. R.; SILVÉRIO, A. C. M.; PEREIRA, G.; ROCHA, L. C.; CARDOZO, F. S. Análise da frequência da incidência de queimadas na América do Sul para o período de 2000 a 2012. **Territorium Terram**. V. 02, p. 101-112, 2014.

SANTOS, M. J. M. **Friagens no Pantanal: ocorrência de casos gerais e intensos, conforto térmico e análise sinótica do evento mais intenso**. 2017. 69 f. Trabalho de

Conclusão de Curso (Graduação em Meteorologia) – Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

SELUCHI, M. E.; SAULO, A. C. Baixa do Noroeste Argentino e Baixa do Chaco: características, diferenças e semelhanças. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, p.49-60, 2012.

SENAR. 2015. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. Disponível em: <http://ead.senar.org.br/>. Acesso em: 05 fev. 2020.

SEPLAN-MT (1990). **Secretaria de estado de planejamento e coordenação geral Superintendência de Estudos e Informações do estado de Mato Grosso**. Disponível em: <http://www.seplan.mt.gov.br/html/>. Acesso 11 fev. 2018.

SEROA da MOTA, R.; MENDES, A. P. Custos de Saúde Associados à Poluição do Ar no Brasil. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, 25 (1), p.165-198, 1995.

SETTE, D. M. Os climas do Cerrado do Centro-Oeste. **Revista Brasileira de Climatologia**. v. 1, nº 1, 2005.

SHIRATSUCHI, L. S.; FONTES, J. R. A. Tecnologia de aplicação de herbicidas. Planaltina, **Embrapa Cerrados**, 36 p, 2002.

SILVA, A. S.; SILVA, M. C. Prática de queimadas e as implicações sociais e ambientais na cidade de Araguaína-TO. **Caminhos da Geografia**, v 07, p. 8-16, 2006.

SILVA, J. C.; HELDWEIN, A. B.; MARTINS, F. B.; TRETIN, G.; GRIMM, E. L. Análise de distribuição de chuva para Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, p. 67-72, 2007.

SILVA, T. B.; ROCHA, W. J. S. F.; ANGELO, M. F. Quantificação e análise espacial dos focos de calor no Parque Nacional da Chapada Diamantina – BA. XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – **Anais SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2013.

SILVA, M. F. A.; WHITE, B. **Deteção de focos de calor através de satélites nos distintos biomas Brasileiros de 1999 a 2015**. 4º GeoAlagoas – Simpósio sobre as geotecnologias e geoinformação no Estado de Alagoas, Maceió, 2016.

SOARES, R. V..**Incêndios Florestais - Controle e uso do fogo**. Fundação de Pesquisas Florestais (Fupef) do Paraná. Curitiba – Paraná, 1995.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Incêndios florestais: controle, efeito e usos do fogo. Curitiba: **UFPR**, 250 p., 2007.

SOUZA, A. P.; MORTA, L. L.; ZAMADEL, T.; MARTIM, C. C.; ALMEIDA, F. T.; PAULINO, J. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no Estado de Mato Grosso. **Nativa**. Sinop, v. 01, p. 34-43, 2013.

STÜKER, E.; SCHUSTER, C. H.; SCHUSTER, J. J.; SANTOS, D. C.; MEDEIROS, L. E.; COSTA, F. D.; DEMARCO, G. e PUHALES, F. S. Comparação entre os dados de vento das reanálises meteorológicas ERA-Interim e CFSR com os dados das estações automáticas do INMET no Rio Grande do Sul. **Ciência e Natura** v.38 Ed. Especial- IX Workshop Brasileiro de Micrometeorologia, p. 284– 290, 2016.

TORRES, F. T. P. Relações entre fatores climáticos e ocorrências de incêndios florestais na cidade de Juiz de Fora (MG). **Caminhos de Geografia**, v. 7, n. 18, p. 162-171, 2006.

TROLLOPE, W. S. W.; DE RONDE, C.; GELDENHUYS, C. J. Fire Behaviour. In: GOLDAMMER, J. G.; RONDE, C. (Eds). **Wildland fire management handbook for Sub-Saharan Africa**. Alemanha: Frieberg University, p. 432, 2004.

VETTORAZZI, C. A.; FERRAZ, S. F. B. Uso de sistemas de informações geográficas aplicados à prevenção e combate a incêndios em fragmentos florestais. **Série Técnica IPEF** v. 12, n. 32, p. 111-115, dez. 1998.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: UFV, p. 449, 2000.

VILLAR, E. J. C.; RONCHAIL, J., GUYOT, J. L.; co-authors. Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador). **International Journal of Climatology**, v. 29, p. 1574–1594, 2009.

VILHENA, J. E. S.; MOTA, M. A. S.; CAVALCANTE, E. P.; DANTAS, V. A.; CHAGAS, G. F. B. Análise das Condições Termodinâmicas durante um Evento de Friagem em Vilhena-Ro: Estudo de Caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA - A METEOROLOGIA E AS CIDADES, São Paulo. **Anais CBMet**, São Paulo, 2008.

ZAVATTINI, JA. As chuvas e as massas de ar no estado de Mato Grosso do Sul: estudo geográfico com vista à regionalização climática. São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: **Cultura Acadêmica**, p. 212, 2009.