

RELAÇÃO ENTRE PROFUNDIDADE ÓPTICA DO AEROSSOL E PRECIPITAÇÃO TENDO A UMIDADE RELATIVA COMO FATOR DE INFLUÊNCIA

Amaury de Souza¹

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Marcel Carvalho Abreu²

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Widinei Alves Fernandes³

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Flavio Aristone⁴

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Guilherme Henrique Cavazzana⁵

Universidade Católica Dom Bosco

Débora Aparecida da Silva Santos⁶

Universidade Federal de Mato Grosso

1. Doutor em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. E-mail: amaury.de@uol.com.br; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8168-1482>.

2. Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa. Professor adjunto do Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. E-mail: marcelc.abreu@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6457-421X>.

3. Doutor em Geofísica Espacial pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2005). E-mail: widinei.fernandes@ufms.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9481-3413>.

4. Doutor em Física pela Universidade de São Paulo. Professor Titular da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. E-mail: flavio.aristone@ufms.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3172-7520>.

5. Doutor em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. E-mail: cavazzana.ea@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6878-3687>;

6. Doutora em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande. E-mail: deboraassantos@hotmail.com; Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1862-7883>.

Enviado em 13 set. 2018 | Aceito em 7 ago. 2020

Resumo: Os aerossóis atmosféricos influenciam a precipitação, alteram o balanço de energia da Terra e também as propriedades das nuvens. Este trabalho foi desenvolvido no estado de Mato Grosso do Sul com o objetivo de estudar as relações entre a profundidade óptica do aerossol e o nível de precipitação, levando em conta a umidade relativa do ar. Os dados mensais de profundidade óptica em 550 nm (AOD) foram adquiridos do sensor MODIS/Terra, e os dados climatológicos do CEMTEC-MS, para o período de 2002-2011. Os valores mensais de AOD 550 nm apresentam um padrão sazonal, com mínimos e máximos nas estações chuvosa e seca, respectivamente. As médias mensais de AOD 550nm foram correlacionadas com os registros mensais de precipitação e de umidade relativa do ar (UR) no MS. As análises de correlação de Pearson para as escalas mensais revelaram que a UR pode ser o fator de influência dominante na relação entre AOD e precipitação. Quando análises de correlação parcial são conduzidas para os dados mensais da precipitação, nota-se que a maioria das correlações negativas observadas diminuem ou não são significativas, isso ocorre sempre que a UR é usada como variável de controle.

Palavras-chave: mudanças climáticas, impactos climáticos, variabilidade espaço-temporal, Giovanni NASA

RELATIONSHIP BETWEEN AEROSOL OPTICAL DEPTH AND PRECIPITATION CONSIDERING THE RELATIVE HUMIDITY AS AN INFLUENCE FACTOR

Abstract: Atmospheric aerosols influence precipitation, modify the balance of Earth's energy, and alter the cloud properties. This work has been developed in the state of South Mato Grosso to study the correlation between aerosol optical depth and precipitation index, considering the relative air humidity. The monthly data of optical depth at 550 nm (AOD) come from the MODIS/TERRA sensor, and the climatological data come from CEMTEC-MS. They are considered for the period 2002-2011. The monthly values of AOD 550 nm show seasonal patterns, with minimum and maximum during the rainy and dry seasons, respectively. The monthly averages of AOD 550nm have been correlated with the records of precipitation and relative humidity for the state of South Mato Grosso. The analysis of Pearson's correlation for the monthly scales reveals that the UR may be the dominant influence factor in the relationship between AOD and precipitation. When partial correlation analyses are conducted for monthly rainfall data, most of the resulting negative correlations decrease or are insignificant. It happens when the UR is used as a controlling variable.

Keywords: climatic changes, climatic impacts, spatio-temporal variability, Giovanni NASA

RELACIÓN ENTRE PROFUNDIDAD ÓPTICA DEL AEROSOL Y PRECIPITACIÓN CONSIDERANDO LA HUMEDAD RELATIVA COMO FACTOR DE INFLUENCIA

Resumen: Los aerosoles atmosféricos influyen en la precipitación, alteran el equilibrio energético de la Tierra, y también las propiedades de las nubes. El trabajo se desarrolló en el estado de Mato Grosso del Sur con el objetivo de estudiar la relación entre la profundidad óptica del aerosol y la precipitación, teniendo en cuenta la humedad relativa del aire. Los datos mensuales de profundidad óptica a 550 nm (AOD) fueron adquiridos del sensor MODIS/TERRA, y los datos climatológicos del CEMTEC-MS, todos para lo período 2002-2011. Los valores mensuales de AOD 550 nm muestran un patrón estacional, con mínimos y máximos en las estaciones lluviosa y seca, respectivamente. Los promedios mensuales de 550 nm AOD se correlacionan con los registros mensuales de precipitación y humedad relativa en el estado de Mato Grosso del Sur. Los análisis de correlación de Pearson para las escalas mensuales revelan que UR puede ser el factor de influencia dominante en la relación entre AOD y precipitación. Cuando se realizan análisis de correlación parcial para los datos de lluvia mensual, se observa que la mayoría de las correlaciones negativas disminuyeron o no son significativas siempre que se utiliza UR como variable de control.

Palabras clave: cambio climático, impactos climáticos, variabilidad espacio-temporal, Giovanni NASA



Introdução

Os aerossóis atmosféricos são partículas, sólidas ou líquidas, em suspensão na atmosfera, que apresentam propriedades óticas tais como, espalhamento e absorção da radiação solar. Essas propriedades, associadas ao perfil de distribuição e de tamanho dos aerossóis e de sua elevada variabilidade espaço-temporal, modificam as propriedades térmicas, óticas, e químicas da atmosfera (PALÁCIOS et al, 2016; ARTAXO et al., 2006).

Os seres humanos participam como agentes causais da mudança climática (KARL & TRENBERTH, 2003; McCARTHY, 2009; COLLINS et al., 2013). Embora a maior parte do fenômeno do aquecimento global tenha sido atribuída ao aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE) - (SOLOMON et al., 2009), pesquisas recentes também mostraram que os aerossóis antropogênicos podem afetar o clima por meio de mudanças nos balanços global da radiação e energia (RAMANATHAN et al., 2001; BELLOUIN et al., 2005; SANAP & PANDITHURAI, 2015). Além dos efeitos sobre o balanço de energia da Terra, os aerossóis influenciam o clima via mudanças no ciclo hidrológico (KVALEVÅG, SAMSET & MYHRE, 2013; ALLAN et al., 2014). As complexidades do ciclo hidrológico e a falta de observações adequadas tornam pouco conhecidos os efeitos de aerossóis antropogênicos, em comparação com seus efeitos no balanço de radiação (ANDREAE et al., 2004, 2005). Existe um interesse crescente em estudar as interações entre aerossóis antropogênicos e o elemento mais importante no ciclo hidrológico, a precipitação.

Os aerossóis atmosféricos influenciam a precipitação através dos efeitos diretos, dos indiretos, e dos semidiretos (ROSENFELD et al., 2008; TAO et al., 2012; FAN et al., 2016). O efeito direto refere-se à dispersão e à absorção da radiação solar recebida pelos aerossóis atmosféricos. Esse efeito reduz a quantidade de radiação que é capaz de atingir a superfície do solo e, assim, resfria-a e afeta a estabilidade atmosférica (ROSENFELD et al., 2008; LIU et al., 2011; FAN et al., 2016; CHEN et al., 2017). Os processos de evaporação e os padrões de circulação também podem ser afetados, o que leva às mudanças no regime de precipitação.

O efeito indireto é um mecanismo pelo qual os aerossóis modificam as propriedades microfísicas da nuvem e, portanto, suas propriedades radiativas. Existem dois efeitos indiretos diferentes. O primeiro efeito indireto refere-se à redução no tamanho dos núcleos de condensação das nuvens (NCN), devido ao aumento do número de aerossóis quando há um conteúdo constante de água líquida (TWOMEY, 1977; ARTAXO et al., 2013). Essas gotículas de nuvens menores resultam na supressão da precipitação em nuvens rasas e de vida curta. O segundo efeito indireto é uma extensão do primeiro, onde a supressão da precipitação resulta em um aumento na vida útil da nuvem. Essa extensão constante de nuvens em sistemas convectivos torna as condições favoráveis à precipitação extrema (ANDREAE et al., 2004).

O efeito semidireto é descrito como o mecanismo pelo qual os aerossóis absorventes aquecem as nuvens com qual misturam. Posteriormente, as gotículas de nuvens evaporam (HUANG et al., 2004) fazendo com que a cobertura que elas exercem seja reduzida. Como resultado, mais radiação solar atingirá a camada atmosférica sob as nuvens (KOREN et al., 2012), o que vai resultar em aumento da temperatura na baixa atmosfera. Isso induz um aumento na estabilidade atmosférica sob a pluma de aerossol, o que pode atenuar a evaporação da superfície e os processos de convecção. Assim, pode haver uma diminuição na precipitação (Ng et al., 2017). Devido a esses fatores, ainda há alta incerteza sobre os efeitos gerais que os aerossóis podem ter na precipitação.

Uma série de estudos apresenta resultados sobre a influência dos aerossóis no índice de precipitação. Esses estudos relataram correlações positivas ou negativas entre aerossóis, como a Profundidade Óptica de Aerossóis, doravante denominada AOT, e o índice de precipitação, a radiação a saúde humana, e a qualidade do ar com base em produtos de dados observacionais (SOUZA et al., 2020; CHENG et al., 2017; COSTA et al., 2015; PALACIO et al., 2014; CAMPONOGARA et al., 2014; CARREA et al., 2013; COELHO et al., 2013; SILVA DIAS et al., 2012; COELHO et al., 2012; FREITAS, 2011; TORRES et al., 2010; VENDRASCO et al., 2009; FREITAS, 2005; SENA et al., 2013; SISENANDO et al.,

2012, 2011; ROSÁRIO et al., 2011; YAMASOE et al., 2006; PROCOPIO, S. et al., 2004; ARTAXO et al, 1998; GOTO et al., 2011; PIRES-NETO et al, 2007; LONGO et al., 2013; PEREIRA et al., 2011; FREITAS et al., 2011, 2005). No entanto, é importante notar que as correlações observadas não implicam causalidades e que podem ser atribuídas a fatores externos. Tais fatores incluem a deposição úmida de aerossóis devido a precipitação, e o crescimento higroscópico de aerossóis devido à condensação do vapor d'água com o aumento da UR (GRANDEY et al., 2014; GRYSPEERDT & PARTRIDGE, 2014; HÄNEL, 1976; JONES, WESTRA & SHARMA, 2010). Estudos relataram que a UR pode influenciar a relação entre aerossóis e precipitação (JONES, WESTRA, & SHARMA, 2010; ALTARATZ et al., 2013). Evidências recentes também sugerem que a UR é um dos fatores importantes na relação precipitação - AOT baseada em produtos recuperados por satélite (KHAIN, ROSENFELD & POKROVSKY, 2005; GREAVES, 1881). A UR representa a quantidade de vapor de água no ar expressa como uma porcentagem da quantidade necessária para a saturação, em temperatura constante (Ng et al, 2017). Assim, é uma medida importante da saturação da atmosfera (GREAVES, 1881) e está intimamente relacionada aos processos microfísicos no desenvolvimento de nuvens e na precipitação (ACKERMAN et al., 2004). Portanto, é apropriado avaliar se a UR é um fator que influencia a relação entre aerossóis e precipitação.

A precipitação anual na região centro-oeste do Brasil excede 1500 mm/ano. Os sistemas atmosféricos que atuam nessa região são tanto de origem tropical quanto extratropical (Climanálise, 1986). O setor mais ao norte sofre influências de sistemas que atuam na Amazônia como, por exemplo, CCMs tropicais. Já a região mais ao sul sofre influências de sistemas extratropicais, tais como frentes frias e linhas de instabilidade. A precipitação na região centro-oeste do Brasil é máxima no verão, pois também é afetada pelo sistema de monção da AS (SOUZA et al, 2020; TEODORO et al, 2015; REBOITA et al, 2010; VERA et al., 2006).

No Centro Oeste também há ocorrências frequentes de queimadas (de Souza et al., 2017a), que emitem enormes quantidades de aerossóis na atmosfera. Esses aerossóis são transportados sobre a região, causando neblina de fumaça transfronteiriça. Assim, é importante entender se esses aerossóis têm impacto na precipitação sobre essa região. Neste contexto, o presente estudo tem por objetivos efetuar uma análise da variabilidade temporal de AOT e verificar a possível relação entre o índice de precipitação e aerossóis, levando em consideração a influência da umidade relativa.

Metodologia

Área de estudo

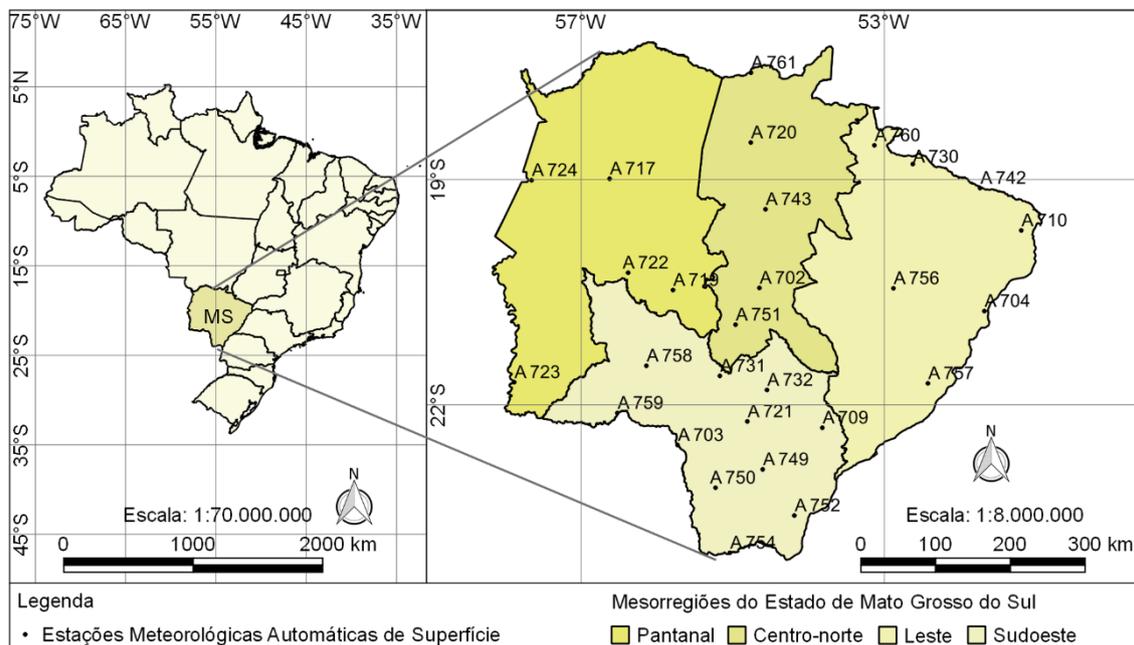
A área de estudo é o estado de Mato Grosso do Sul (Fig. 1), localizado na região Centro-Oeste do Brasil. O estado possui uma área de 357.145.320 km², abrangendo 79 municípios, dos quais 32 possuem estações pluviométricas utilizadas neste estudo (Tabela 1).

Tabela 1 - Altitude (m), latitude e longitude (°), e período de observação da precipitação mensal em 32 municípios do estado de Mato Grosso do Sul, Brasil

Local	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)
Água Clara	-20.50	-52.90	303
Amambai	-23.10	-55.00	480
Anastácio	-19.57	-56.20	106
Anaurilândia	-22.20	-52.70	284
Aparecida do Tabuado	-20.00	-51.10	375
Aquidauana	-22.47	-55.79	147
Bataguassu	-21.70	-52.40	329
Bodoquena	-19.90	-57.00	133
Caarapó	-22.60	-54.80	454
Camapuã	-19.50	-55.00	404
Campo Grande	-20.40	-54.60	532
Chapadão do Sul	-18.80	-52.60	790
Corumbá	-19.00	-57.60	118
Costa Rica	-18.50	-53.10	641
Coxim	-18.50	-54.70	238
Dourados	-22.20	-54.80	430
Glória de Dourados	-22.40	-54.20	422
Iguatemi	-23.70	-54.60	333
Inocência	-19.70	-52.00	502
Maracajú	-21.60	-55.10	384
Miranda	-20.24	-56.38	125
Naviraí	-23.10	-53.10	366
Nova Andradina	-21.60	-53.10	271
Paranaíba	-19.70	-51.20	374
Ponta Porã	-22.50	-55.70	655
Porto Murtinho	-21.70	-57.90	90
Ribas do Rio Pardo	-20.50	-53.80	373
Rio Brillhante	-21.80	-54.60	312
Rio Negro	-19.40	-55.00	233
Santa Rita do Pardo	-21.30	-52.80	393
Selvíria	-20.40	-51.40	348
Três Lagoas	-20.80	-51.70	319

Fonte: Autores (2020).

Figura 1. Localização do estado do Mato Grosso do Sul no Brasil, suas regiões e as estações pluviométricas utilizadas neste estudo



O estado de Mato Grosso do Sul possui várias características edafoclimáticas distribuídas entre três biomas com atributos climáticos peculiares: Cerrado, Mata Atlântica, e Pantanal. As altitudes variam de 24 a 1.000 m. No estado existem três grandes unidades topográficas: (a) o Pantanal ocidental, com uma rede de drenagem única, espalhada por uma vasta planície de modestas altitudes que variam entre 80 e 200 m; b) a região central, um platô divisor ou Serra de Maracaju, estendido na direção NE-SW, separando as águas das bacias dos rios Paraguai e Paraná, com altitudes que variam de 300 m (Serra de Bodoquena) a mais de 650 m (Planalto de Amambaí); e (c) a porção leste, caracterizada pelo alto do rio Paraná, drenado por grandes rios do platô arenito-basalto, com altitudes variando entre 200 e 250 m ao longo do vale (Zavattini 2009).

A savana (ou cerrado) é o segundo maior bioma da América do Sul (AS) e cobre 22% do território brasileiro. Esse bioma é a fonte de três principais fontes de água do AS (Amazonas/Tocantins, São Francisco e Prata), resultando em alto potencial aquífero e grande biodiversidade. Devido à sua posição latitudinal, a região é caracterizada pela transição entre climas quentes de baixa latitude e climas mesotérmicos temperados de média latitude (Nimer, 1989).

A Mata Atlântica é um complexo ambiental que inclui cadeias de montanhas, de vales, e de planaltos. Já foi um dos conjuntos mais ricos e variados de floresta tropical da AS, mas agora é reconhecido como o bioma brasileiro menos característico.

O Pantanal cobre 25% do estado de Mato Grosso do Sul, sendo um bioma quase exclusivo do Brasil, com uma área de aproximadamente 138.183 km². É caracterizado por inundações de longo prazo, devido à baixa permeabilidade do solo, que ocorrem todos os anos nas terras baixas e causam mudanças no ambiente, na vida selvagem, e na vida cotidiana das populações locais (DOMINGUES et al. 2004). O clima do Pantanal é "AW", com precipitação total entre 1.000 e 2.000 mm e duas

estações distintas: uma seca (maio a setembro) e outra chuvosa (outubro a abril), sendo essa última responsável por mais de 80% da precipitação total anual (MESQUITA et al. 2013).

Série histórica de precipitação, umidade relativa do ar mensal, e concentração de aerossóis

As séries históricas utilizadas neste trabalho descrevem dados sobre as chuvas médias mensais e anuais de 32 estações chuvosas no estado de Mato Grosso do Sul, no período de 2002 a 2011 (Fig. 1 e Tabela 1). São valores extraídos do banco de dados hidrometeorológico da Agência Nacional de Águas (ANA), disponível no portal Hidroweb - Sistema de Informações Hidrológicas (<http://hidroweb.ana.gov.br/>).

Os dados de umidade relativa do ar foram obtidos em 32 estações meteorológicas automáticas pertencentes ao Centro de Monitoramento de Recursos Hídricos do estado do Mato Grosso do Sul (CEMTEC-MS), com séries entre os anos de 2002 a 2011. A concentração de aerossol é inferida por meio dos dados mensais de profundidade óptica em 550 nm (AOD), da sigla em inglês para *Aerosol Optical Depth*, do sensor MODIS/Terra (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), cuja resolução espacial é de 100 km. É proveniente da base de dados da NASA - National Aeronautics and Space Administration, através do software GIOVANNI (<http://disc.sci.gsfc.gov/giovanni/>). Esse aplicativo é uma ferramenta projetada para a visualização e análise de dados ambientais globais diários. A profundidade óptica do aerossol é um parâmetro físico adimensional, definida como a relação da radiação incidente no topo da atmosfera e a radiação incidente na superfície (SOUZA e

SCHUSH, 2001). Ela indica quanto um feixe de radiação é atenuado pelos aerossóis à medida que ele se propaga em uma determinada camada da atmosfera contendo esses aerossóis (PRADA e COELHO, 2017).

Análises de correlação

A análise de correlação de Pearson foi aplicada para identificar as relações entre AOD e o índice de precipitação. A análise de correlação é geralmente usada para investigar a relação entre precipitação e AOD (CHENG et al., 2017; CHOI et al., 2008; VINOJ et al., 2014). O valor de p derivado do teste t também é comumente usado para estimar a significância estatística das correlações resultantes. Neste estudo, as correlações foram consideradas significativas quando o valor de p foi menor que o nível de significância de 0,05. A análise de correlação de Pearson foi usada para identificar a relação entre as variáveis AOD e o índice de precipitação com a UR na escala mensal. Adicionalmente, a análise de correlação parcial foi empregada para detectar possíveis influências da UR na relação entre AOD e a precipitação. A correlação parcial envolve o cálculo da correlação entre duas variáveis que mantêm constantes as influências externas de um terceiro (SAJI & YAMAGATA, 2003).

Resultados

Os resultados para a variação média mensal da precipitação para o intervalo compreendido entre 2002 e 2011 são: média mensal anual de 116 mm, com um valor máximo de 204 em janeiro e mínimo de 11 mm em julho (Figura 2). A UR média foi de 68%, com um valor máximo de 77% em

fevereiro e mínimo de 52% em setembro (Figura 3). Os aerossóis tiveram valor médio de 0,16, com um valor máximo de 0,34 em setembro e mínimo de 0,06 em junho (Figura 4).

Figura 2 - Distribuição espacial e temporal da precipitação (mm) para o estado de Mato Grosso do Sul no período de 2002 a 2011

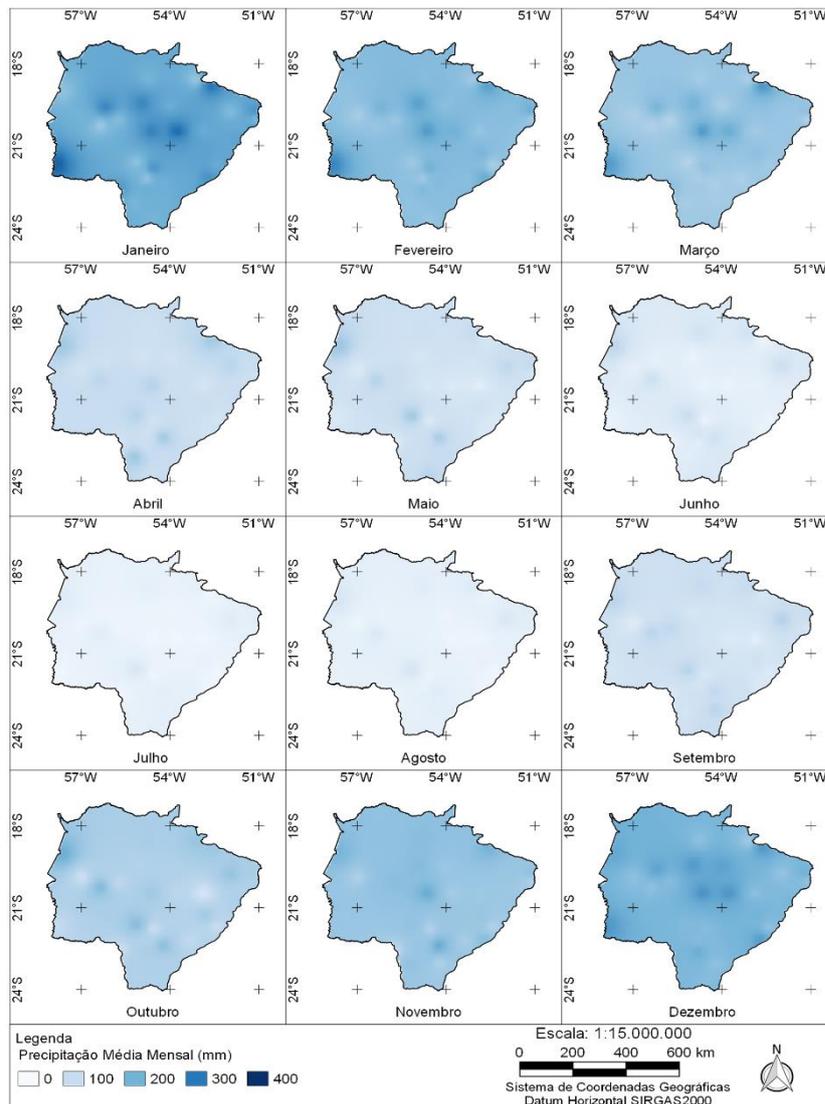


Figura 3 - Distribuição espacial e temporal da UR (%) para o estado de Mato Grosso do Sul no período de 2002 a 2011.

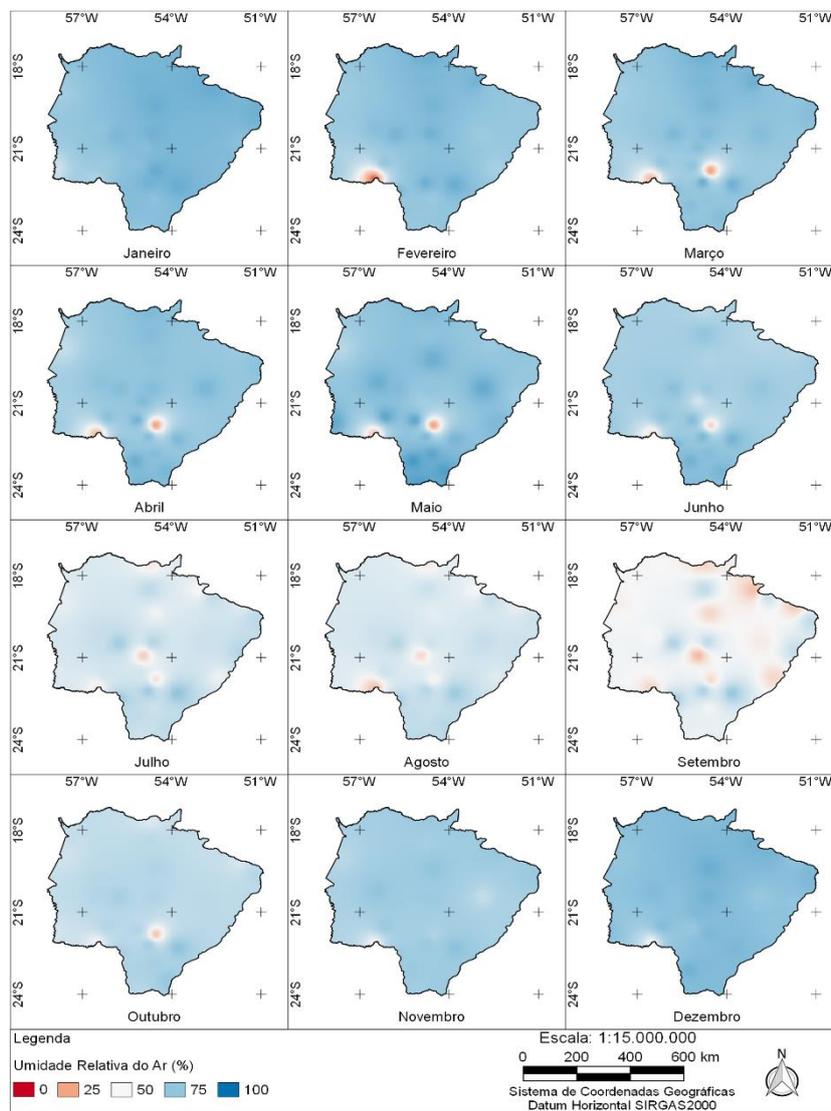
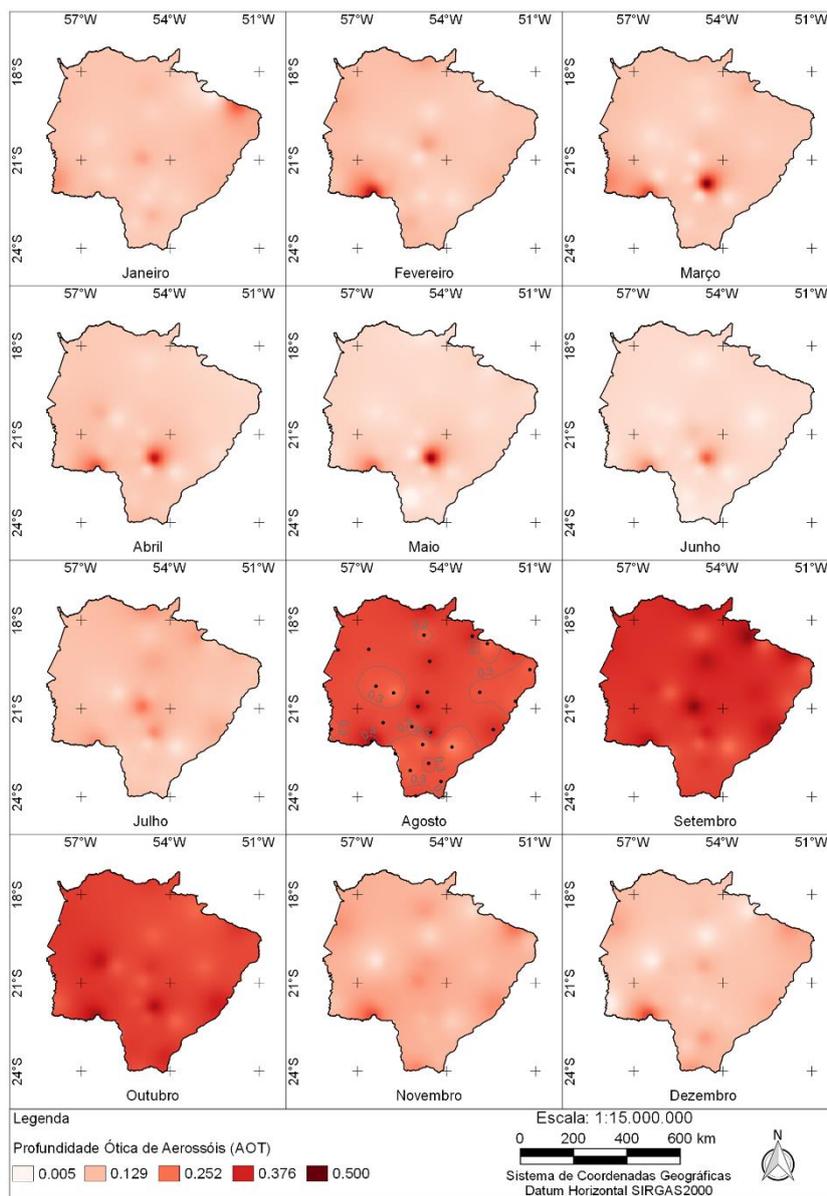


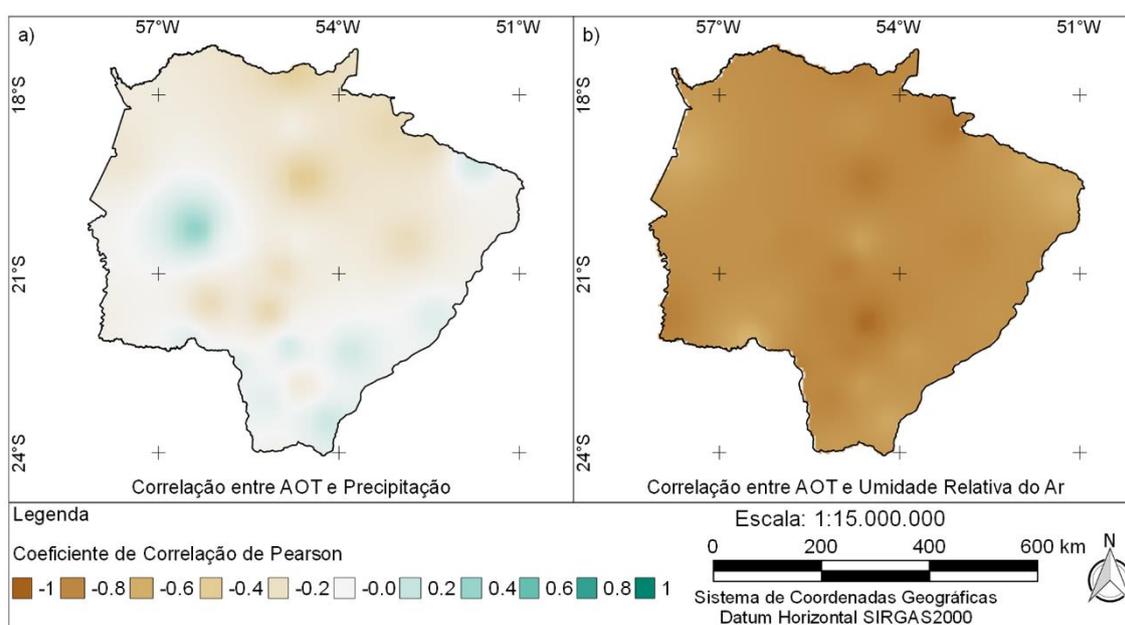
Figura 4 - Distribuição espacial e temporal dos aerossóis (AOD) para o estado de Mato Grosso do Sul no período de 2002 a 2011.



Correlação sazonal da Precipitação e AOD

Os pontos de dispersão revelam que existe uma relação linear entre Precipitação e AOD em todas as quatro estações. No entanto, a precisão do monitoramento da precipitação e da AOD varia com a sazonalidade. A relação regressional foi maior no verão e outono com um índice de correlação igual a 0,70, mas foi mais fraca na primavera com -0,36, e no inverno com 0,63 (Figura 5).

Figura 5 - Distribuição espacial das correlações entre aerossóis (AOT) e precipitação, aerossóis AOD (painel a) e umidade relativa do ar (painel b) para o estado de Mato Grosso do Sul no período de 2002 a 2011



É necessário examinar as condições meteorológicas em diferentes estações a fim de identificar quaisquer padrões que sejam responsáveis pelas variações sazonais observadas no valor do coeficiente de determinação (R^2). A precipitação tem um coeficiente de correlação baixo, de cerca de -0,36 com AOD na primavera. Situação contrária ocorre nas estações de verão e de outono, com um coeficiente de aproximadamente 0,70. A UR é maior no verão, sendo próxima dos valores no outono (Figuras 6 e 7).

Figura 6 - Valores do coeficiente para correlação entre AOD e precipitação no intervalo 2002–2011. Marrom indica correlação negativa significativa (valor de $p < 0,05$), enquanto azul indica correlação positiva significativa (valor de $p < 0,05$)

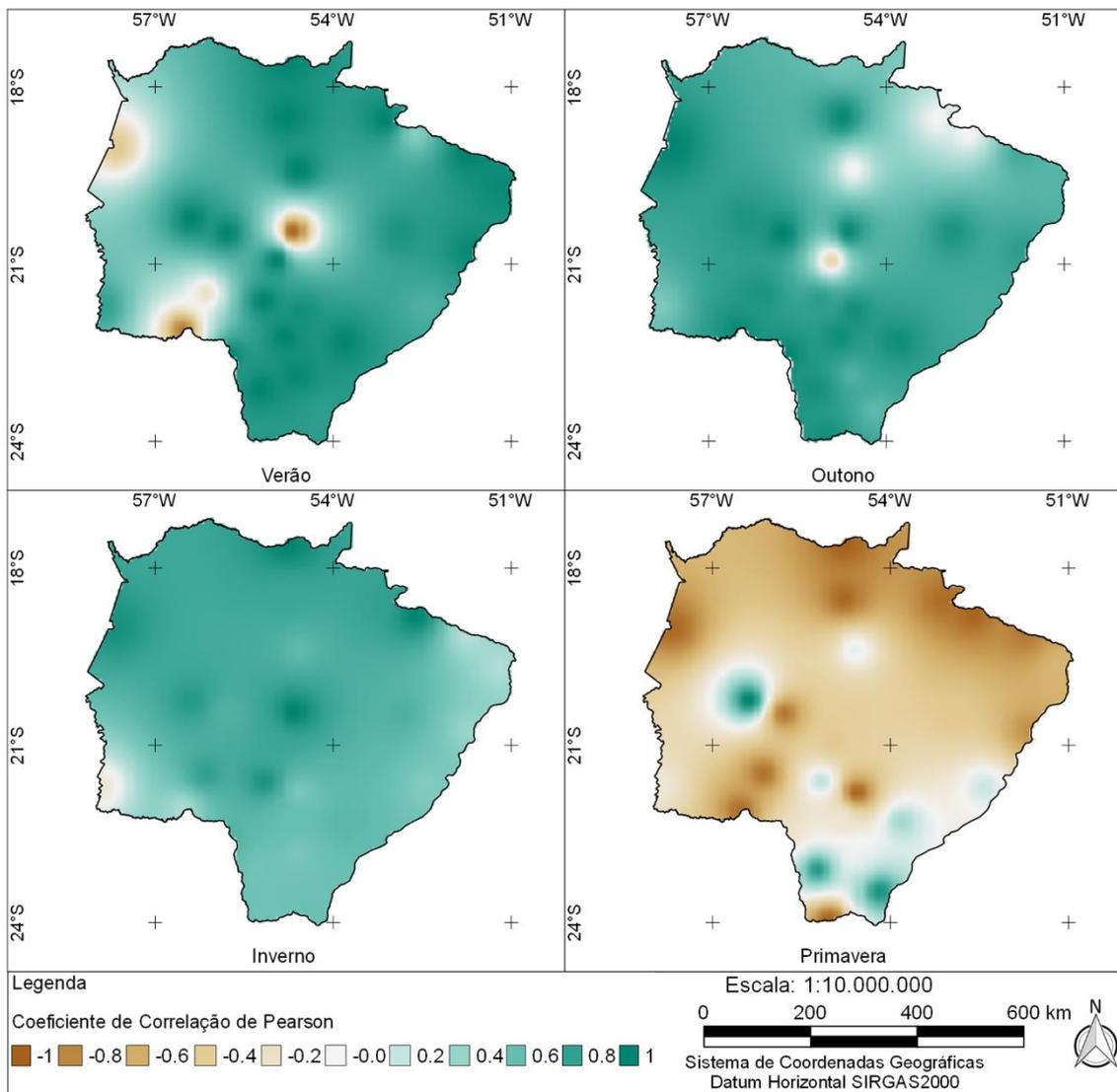
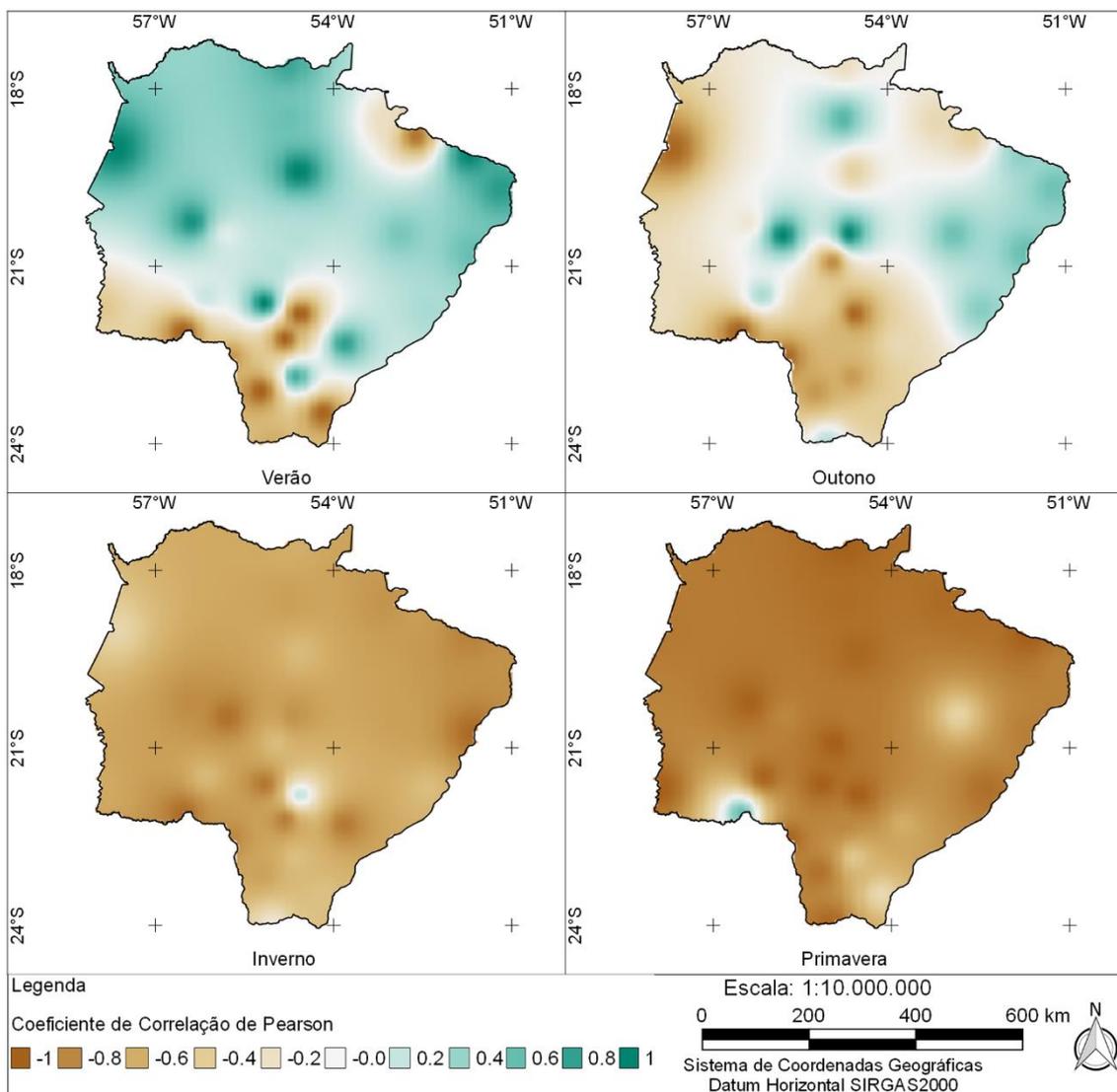


Figura 7 - Valores do coeficiente de correlação entre (AOT) e umidade relativa do ar para 2002–2011. Marrom indica correlação negativa significativa (valor de $p < 0,05$), enquanto azul indica correlação positiva significativa (valor de $p < 0,05$)



Discussão

Análise de correlação de Pearson entre AOD e precipitação

A Figura 5 apresenta os coeficientes de correlação entre a precipitação mensal e AOD em cada ponto de grade. A precipitação foi correlacionada positivamente e negativamente com o AOD com um valor máximo de 0,41 para a cidade de Miranda (Latitude: 20° 14' 26" S, Longitude: 56° 22' 42" W, altitude: 125m) e valor mínimo de 0,40 para a cidade de São Gabriel do Oeste (Latitude: 19° 23' 43" S, Longitude: 54° 33' 59" W, altitude: 658m). Os coeficientes de correlação negativos indicaram que a variação espacial do campo de precipitação está fora de fase com as variações dos AODs. A variabilidade da precipitação foi negativamente correlacionada com a variabilidade induzida pela queima de biomassa de AOD. Embora esses resultados de correlações positivas sejam similares a estudos realizados anteriormente (LIN et al., 2006; KOREN et al., 2012), é importante notar que a correlação isolada não implica causalidade e foi necessário considerar a covariação entre AOD e precipitação com UR. Isso se refletiu em estudos que observaram que a variabilidade da umidade induz perturbações nos AODs devido ao crescimento higroscópico de aerossóis (JONES, WESTRA & SHARMA, 2010; ALTARATZ et al., 2013). Além de impactar o crescimento higroscópico de aerossóis e, conseqüentemente, alterar as propriedades físicas e ópticas dos aerossóis (GREAVES, 1881), a UR também influencia a relação observada entre os aerossóis e a precipitação através dos processos de nuvem.

Além disso, as correlações negativas podem não ser um reflexo da supressão da precipitação por aerossóis, pois outros processos também podem resultar em uma correlação negativa. Tais processos incluem o efeito de deposição, que é um dos principais sumidouros de aerossóis (CHATE, 2005). Assim, quanto maior a intensidade das chuvas, menores os valores de AOD. Ademais, durante a temporada de inverno, o MS experimenta condições secas com precipitação mínima (DE SOUZA et al., 2010). Isso leva a incêndios generalizados que emitem grandes quantidades de aerossóis, como, por exemplo, fuligem. Essas condições secas também resultam em correlação negativa entre os aerossóis e a precipitação e altos índices de internações hospitalares por doenças respiratórias (DE SOUZA et al., 2018; 2017a; 2017b).

Análise de correlação de Pearson entre AOD e UR

Como objetivo de compreender a influência da umidade relativa do ar atmosférica na relação entre os aerossóis e a precipitação, foi realizada outra análise de correlação de Pearson entre o AOD e a UR média. A partir da Figura 5 verifica-se que o mapa de correlação entre os AOD e a UR mensal mostra altas correlações negativas. Isso pode ser devido a condições de seca sobre as regiões, o que acarreta aumentos nas emissões de aerossol. Assim, é provável que a relação entre UR e AOD influencie a relação observada entre AOD e precipitação.

Quando a análise foi repetida para a UR média durante as estações do ano, correlações positivas mais fracas foram observadas (0,11) para o verão e negativas para as estações de outono, inverno, e primavera (-0,12; -0,63 e -0,79), ver Figura 6. Isso indica que as correlações positivas observadas entre o AOD e a precipitação sobre essas áreas poderiam ser dominadas por correlações positivas entre UR e AOD. Além disso, durante as estações de inverno e primavera, também houve forte correlações negativas entre RH e AOD, em algumas áreas que anteriormente mostravam uma relação negativa entre AOD e precipitação (Figura 6). Da mesma forma que a análise para AOD e UR

na escala mensal, as correlações negativas podem ser devidas a um aumento nas emissões de aerossol durante condições secas.

A redução na intensidade da correlação pode ser explicada pelo efeito de eliminação da umidade mencionado anteriormente. O ambiente com alta UR é favorável para a precipitação, e a maioria dos aerossóis é removida da atmosfera por meio de limpeza úmida. Comparando-se com o cenário de alta UR, o ambiente com baixa UR apresenta menos precipitação (KHAIN, ROSENFELD, & POKROVSKY, 2005), o que configura condições de seca favoráveis ao surgimento de focos de incêndios, retendo assim partículas de aerossóis na atmosfera (WU, WEN & HE, 2013). Esses resultados indicam que as correlações negativas entre a precipitação mensal e os AOT nas regiões do pantanal são principalmente derivadas de flutuações na saturação atmosférica, ao invés de interações entre aerossóis e precipitação.

A análise de correlação para a estação de outono foi conduzida com a UR média e as áreas que anteriormente mostraram correlações positivas ou negativas. Assim, pode-se inferir que a maioria das correlações observadas entre AOD e precipitação na estação de outono são devidas à influência da UR, tanto pelo efeito do crescimento higroscópico, quanto pelo aumento de aerossóis devido às condições secas.

Com base em análise semelhante para a estação de inverno, constataram-se correlações positivas significativas, mesmo após o controle da influência de UR. Isso sugere que a UR pode não ser o fator dominante que influencia a relação entre AOD e precipitação no inverno. É provável que essas correlações sejam devidas ao fortalecimento das nuvens por aerossóis (BAE et al., 2012), o que leva a um aumento na precipitação sobre aquela região específica, ou a outras condições meteorológicas.

Conclusão

Foram realizadas análises de correlação de Pearson entre AOD e UR para as escalas mensais. Os resultados revelaram que a UR pode ser o fator de influência dominante na relação entre AOD e o índice de precipitação na região. Ao se realizar uma análise de correlação parcial tratando os dados mensais de precipitação, nota-se que a maioria das correlações negativas anteriormente observadas diminuem, ou não são significativas quando a UR é usada como variável de controle. Essa observação parece indicar que a UR é o fator dominante que impulsiona a relação entre AOD e o índice de precipitação na escala mensal.

Isso leva à possibilidade da existência de um fator de influência diferente na estação de inverno, ou então que os aerossóis são capazes de revigorar as nuvens durante a temporada de inverno. Assim, enquanto o estudo é capaz de mostrar que nem todas as correlações significativas entre (AOD) e precipitação são devidas a efeitos induzidos por aerossóis, os efeitos induzidos por aerossóis ainda podem existir sobre o Mato Grosso do Sul, especialmente durante o inverno. Além disso, o uso de dados observacionais não foi capaz de determinar com precisão os mecanismos subjacentes para as correlações positivas observadas entre (AOD) e precipitação no inverno.

Foi verificado também que não existe uma correlação significativa direta da AOD com as variáveis meteorológicas de precipitação, temperatura, e umidade relativa. No entanto, as variações diárias dessas variáveis contribuem para as variações da AOD, principalmente a precipitação. As características climatológicas locais favoreceram, através das estiagens, o aumento dos registros de focos de queimadas no Estado de Mato Grosso, fato diretamente correlacionado ao aumento da AOD.

Financiamento: Esta pesquisa não recebeu financiamento externo.

Agradecimentos: Os autores gostariam de agradecer suas universidades pelo apoio. F. Aristone agradece ao CNPq pelo apoio recebido.

Conflitos de interesse: Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Declaração do banco de dados / disponibilidade dos dados: o banco de dados meteorológicos é de domínio público e está disponível em:

- <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>

- <ftp://ana.agencia@ftp2.ana.gov.br/Upload/SGH/GEINF/PluMS.zip>

Referências

- ACKERMAN, A. S.; KIRKPATRICK, M. P.; STEVENS, D. E.; TOON, O. B. 2004. The impact of humidity above stratiform clouds on indirect aerosol climate forcing. *Nature*, v.432, n. 7020, p.1014–1017.
- ALLAN, R. P. et al. 2014. Physically Consistent Responses of the Global Atmospheric Hydrological Cycle in Models and Observations. *Surveys in Geophysics*, v.35, n. 3, p.533–552.
- ALTARATZ, O.; BAR-OR, R. Z.; WOLLNER, U.; KOREN, I. 2013. Relative humidity and its effect on aerosol optical depth in the vicinity of convective clouds. *Environmental Research Letters*, v. 8, n. 3, L034025.
- ANDREAE, M. O.; Jones, C.D.; and Cox, P.M. 2005. Strong present-day aerosol cooling implies a hot future, *Nature*, 435-1187-1190.
- ANDREAE, M. O.; ROSENFELD, D.; ARTAXO, P.; COSTA, A.; FRANK, G.P.; LONGO, K.M. and SILVA-DIAS, M.A.F. 2004. Smoking rain clouds over the Amazon, *Science*, 303, 1342_1345.
- ARTAXO, P.; FERNANDES, E.T.; MARTINS, J.V.; YAMASOE, M.A.; HOBBS, P.V.; MAENHAUT, W.; LONGO, K.M.; CASTANHO, A. 1998. Large-scale aerosol source apportionment in Amazonia. *Journal of Geophysical Research* v. 103, n. D24, p. 31837.
- ARTAXO, P.; RIZZO, L.V.; BRITO, J.F.; BARBOSA, H.M.J.; ARANA, A.; SENA, E.T.; CIRINO, G.G.; BASTOS, W.; MARTIN, S.T.; ANDREAE, M.O. 2013. Atmospheric aerosol in Amazonia and land use change: from natural biogenic to biomass burning conditions. *Faraday Discussions*, v. 13, p. 203-235. doi:10.1039/c3fd00052d.
- BAE, S. Y.; PARK, R. J.; KIM, Y. P.; WOO, J. H. 2012. Effects of below-cloud scavenging on the regional aerosol budget in East Asia. *Atmospheric environment*, n. 58, p.14–22.
- BELLOUIN, N.; BOUCHER, O.; HAYWOOD, J.; REDDY, M. S., 2005. Global estimate of aerosol direct radiative forcing from satellite measurements. *Nature*, v.438, n. 7071, p.1138–1141.
- CAMPONOGARA, G.; SILVA DIAS, M.A.F.; CARRIÓ, G.G., 2014. Relationship between Amazon biomass burning aerosols and rainfall over the la Plata Basin. *Atmospheric Chemistry and Physics* v. 14, n. 9, p. 4397-4407.
- CHATE, D. M. 2005. Study of scavenging of submicron-sized aerosol particles by thunderstorm rain events. *Atmospheric Environment*, v. 39, n. 35, p.6608–6619.
- CHEN, S. et al., 2017. Emission, transport, and radiative effects of mineral dust from the Taklimakan and Gobi deserts: comparison of measurements and model results. *Atmospheric Chemistry and Physics*, v. 17, n. 3, p.2401–2421.
- CHENG, F. et al., 2017. Analysis of aerosol-cloud-precipitation interactions based on MODIS data. *Advances in Space Research*, v. 59, n. 1, p.63–73.
- CHOI, Y.-S.; HO, C.-H.; KIM, J.; GONG, D.-Y.; PARK, R. J., 2008. The Impact of Aerosols on the Summer Rainfall Frequency in China. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, v. 47, n. 6, p.1802–1813.
- CLIMANÁLISE: 1986. Boletim de Monitoramento e Análise Climática- INPE/CPTEC. Número especial. CPTEC-INPE, 125p.

- COELHO, C.A.S.; CAVALCANTI, I.A.F.; COSTA, S.M.S.; FREITAS, S.R.; ITO, E.R.; LUZ, G.; SANTOS, A.F.; NOBRE, C.A.; MARENGO, J.A.; PEZZA, A.B, 2012. Climate diagnostics of three major drought events in the Amazon and illustrations of their seasonal precipitation predictions. *Meteorological Applications* p. 237-255.
- COELHO, C.A.S.; COSTA, S.M.S.; FREITAS, S.R., 2013. Diagnóstico do efeito do aerossol na precipitação durante os eventos de seca na Amazônia em 2005 e 2010. In: BORMA, Laura De Simone; NOBRE, Carlos. (Orgs.). *Secas na Amazônia: a Causas e Consequências*. 1. ed. São José dos Campos: Oficina de Textos, p. 117-121.
- COLLINS, M. et al. *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK, and New York.
- CORREIA, A.; CASTANHO, A.A; MARTINS, V.; LONGO, K. 2013. Produto de aerossóis. In: RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y.E.; CEBALLOS, J.C. (Orgs.). *O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil*. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos. 2 v. p. 297-314.
- COSTA, Y. T.; RODRIGUES, S. C. 2015. Efeito do Fogo Sobre a Vegetação e Solo a Partir de Estudo Experimental em Ambiente de Cerrado. *Revista do Departamento de Geografia (USP)* v. 30, p. 149-165.
- DE SOUZA, A.; ANDRADE, F. A.; OGUNTUNDE, P. E.; ARSIC, M.; SANTOS, D. A. S. 2018. Climate Indicators and The Impact On Morbidity And Mortality Of Acute Respiratory Infections. *Advanced Studies In Medical Sciences*, n. 6, p.5-20.
- DE SOUZA, A.; PAVAO, H.; LASTORIA, G.; GABAS, S. G.; CAVAZZANA, G. H., 2010. Modelo De Thom Para O Zoneamento Bioclimático De Mato Grosso Do Sul. *Revista De Geografia Norte Grande (Impresa)*, n. 46, p.137-147.
- DE SOUZA, A.; SANTOS, D. A. S.; ARISTONE, F.; KOVAČ, M.; BERISLAV, M. B.; PAVAO, H. G.; PIRES, J. C. M.; IKEFUTI, P. V. 2017c. Impacto De Fatores Meteorológicos Sobre As Concentrações De Ozônio Modelados Por Análise De Séries Temporais E Métodos Estatísticos Multivariados. *Holos (Natal. Online)*, n. 5, p. 2.
- DE SOUZA, A.; SANTOS, D. A. S.; CALDIN, L. P. G. 2017a. Poluição Atmosférica Urbana A Partir De Dados De Aerossóis Modis: Efeito Dos Parâmetros Meteorológicos. *Boletim Goiano De Geografia*, v. 37, p.466.
- DE SOUZA, A.; SANTOS, D. A. S.; IKEFUTI, P. V. 2017b. Association Between Climate Variables, Pollutants, Aerosols And Hospitalizations Due To Asthma. *O Mundo da Saúde*, n. 41, p.359-367.
- DOMINGUES, M. O.; MENDES JUNIOR, O.; CHOU, S. C.; ABREU SÁ, L. D.; MANZI, A. O. 2004. Análise das condições Atmosféricas Durante a 2ª Campanha do Experimento Interdisciplinar do Pantanal Sul Mato-Grossense. *Rev Bras Meteorol.* 19(1):73–88.
- FAN, J., WANG, Y., ROSENFELD, D. & LIU, X., 2016. Review of Aerosol–Cloud Interactions: Mechanisms, Significance, and Challenges. *Journal of the Atmospheric Sciences*, v. 73, n. 11, p.4221–4252.
- FREITAS, S.R.; LONGO, K.M.; SILVA DIAS, M.A.F.; SILVA DIAS, P.L.; CHATFIELD, R.; PRINS, E.; ARTAXO, P.; GRELL, G.A.; RECUERO, F.S. 2005. Monitoring the transport of biomass burning emissions in South America. *Environmental Fluid Mechanics* v. 5, n. 1-2, p. 135-167. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5094/APR.2011.031>.
- FREITAS, S.R.; RODRIGUES, L.F.; LONGO, K.M.; PANET- TA, J. 2011. Impact of a monotonic advection scheme with low numerical diffusion on transport modeling of emissions from biomass burning. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems* v. 3, n. 1, p. 1-26.

- GOTO, D.M.; LANÇA, M.; OBUTI, C.A.; BARBOSA, C.M.G.; SALDIVA, P.H.N.; ZANETTA, D.M.T.; FILHO, G.L.; SANTOS, U.P.; NAKAGAWA, N.K, 2011. Effects of biomass burning on nasal mucociliary clearance and mucus properties after sugarcane harvesting. *Environmental Research* v. 111, n. 5, p. 664-669.
- GRANDEY, B. S.; GURURAJ, A.; STIER, P.; WAGNER, T. M. 2014. Rainfall-aerosol relationships explained by wet scavenging and humidity. *Geophysical Research Letters*, v. 41, n. 15, p.5678–5684.
- GREAVES, C. 1881. Relative humidity. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, n. 7, p.132–138.
- GRYSPEERDT, E.; STIER, P.; PARTRIDGE, D. G., 2014. Links between satellite-retrieved aerosol and precipitation. *Atmospheric Chemistry and Physics*, v. 14, n. 18, p.9677–9694.
- HÄNEL, G., 1976. The Properties of Atmospheric Aerosol Particles as Functions of the Relative Humidity at Thermodynamic Equilibrium with the Surrounding Moist Air. *Advances in Geophysics*, n. 19, p.73–188. <https://doi.org/10.1590/0102-7786324012>
- HUANG, J. B. et al., 2006. Satellite-based assessment of possible dust aerosols semi-direct effect on cloud water path over East Asia. *Geophysical Research Letters*, v. 33, n. 19, L19802.
- JONES, H. R.; WESTRA, S.; SHARMA, A., 2010. Observed relationships between extreme sub-daily precipitation, surface temperature, and relative humidity. *Geophysical Research Letters*, v.37, n. 22, L22805.
- KARL, T. R.; TRENBERTH, K. E., 2003. Modern global climate change. *Science*, v. 302, n. 5651, p.1719–1723.
- KHAIN, A.; ROSENFELD, D.; POKROVSKY, A., 2005. Aerosol impact on the dynamics and microphysics of deep convective clouds. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 131, n. 611, p.2639–2663.
- KOREN, I. et al., 2012. Aerosol-induced intensification of rain from the tropics to the mid-latitudes. *Nature Geoscience*, Vol. 5, N 2, p.118–122.
- KVALEVÅG, M. M.; SAMSET, B. H.; MYHRE, G., 2013. Hydrological sensitivity to greenhouse gases and aerosols in a global climate model. *Geophysical Research Letters*, v.40, 7, p.1432–1438.
- LIN, J. C.; MATSUI, T.; PIELKE, R. A.; KUMMEROW, C., 2006. Effects of biomass-burning-derived aerosols on precipitation and clouds in the Amazon Basin: A satellite-based empirical study. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, n. 111, D19204.
- LIU, Y. et al. 2011. Aerosol optical properties and radiative effect determined from sky-radiometer over Loess Plateau of Northwest China. *Atmospheric Chemistry and Physics*, v. 11, n. 22, p.11455–11463.
- LONGO, K.M.; FREITAS, S.R.; PIRRE, M.; MARECAL, V.; RODRIGUES, L.F.; PANETTA, J.; ALONSO, M.F.; RO-SARIO, N.E.; MOREIRA, D.S.; GÁCITA, M.S.; ARTETA, J.; FONSECA, R.; STOCKER, R.; KATSURAYAMA, D.M.; FAZENDA, A.; BELA, M. 2013. The Chemistry CATT- BRAMS model (CCATT-BRAMS 4.5): A regional atmospheric model system for integrated air quality and weather forecasting and research. *Geoscientific Model Development* v. 6, n. 5, p. 1389-1405.
- MCCARTHY, J. J. 2009. Reflections on our planet and its life, origins, and futures. *Science*, v. 326, n. 5960, p.1646–1655.
- MESQUITA, F. L. L.; MARQUES FILHO, E. P., KARAM HA, ALVALA, R. C. S. 2013. Balanço de radiação no pantanal sul-mato-grossense durante a estação seca. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 28(1):65–74.
- NIMER, E., 1989. *Climatologia do Brasil*. 2 edn. Rio de Janeiro: Fundação IBGE, p 421.
- Ng, D.H.L., Li, R., RAGHAVAN, S.V. et al. 2017. Investigating the relationship between Aerosol Optical Depth and Precipitation over Southeast Asia with Relative Humidity as an influencing factor. *Sci Rep* 7, 13395. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-10858-1>

- PALÁCIOS, R.S.; SALLO, F.S.; PRADO, M.J.; MUSIS, C.R.; NOGUEIRA, J.S. 2014. Análise Da Profundidade Ótica De Aerossóis E Coeficiente De Angstrom No Cerrado Mato-Grossense. Revista Brasileira de Climatologia Ano 10 – Vol. 14 – JAN/JUL.
- PALÁCIOS, R.F.; SALLO, F.S.; MARQUES, J.B.; MENEZES, J.A.; NOGUEIRA, J.S. 2016. Variabilidade da profundidade ótica de aerossóis atmosféricos sobre o pantanal brasileiro. Revista Brasileira de Climatologia. Ano 12 – Vol. 18 – JAN/JUN.
- PEREIRA, G.; SHIMABUKURO, Y.E.; MORAES, E.C.; FREI-TAS, S.R.; CARDOZO, F.S.; LONGO, K.M. 2011. Monitoring the transport of biomass burning emission in South America. Atmospheric Pollution Research n. June 2016, p. 135-167.
- PIRES-NETO, R.C.; SALDIVA, P.H.N.; DOLHNIKOFF, MARISA. 2007. Efeitos da Poluição Atmosférica no Epitélio Respiratório das Vias Aéreas Superiores. Revista Brasileira de Medicina v. 2, p. 3-9.
- PRADO, N.V.; COELHO, S.M.S.C. 2017. Study of Aerosol Optical Depth Temporal Variability Using Remote Sensing Data in a Transition Region Between Amazon Forest and Brazilian's Savannah. Rev. bras. meteorol., vol.32, no.4, São Paulo, Oct./Dec.
- PROCOPIO, A.S.; ARTAXO, P.; KAUFMAN, Y.J.; REMER, L.A.; SCHAFER, J.S.; BOLBEN, B.N.2004. Multiyear analysis of amazonian biomass burning smoke radiative forcing of climate. Geophysical Research Letters v. 31, p. 1-4.
- RAMANATHAN, V. C. P. J.; CRUTZEN, P. J.; KIEHL, J. T.; ROSENFELD, D. 2001. Aerosols, climate, and the hydrological cycle. Science, v.294, n. 5549, p.2119–2124.
- REBOITA, M.S.; GAN, M.A.; ROCHA, R.P.R.; AMBRIZZI, T. 2010. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. Revista Brasileira de Meteorologia, v.25, n.2, 185 – 204.
- ROSÁRIO, N.E.; YAMASOE, M.A.; BRINDLEY, H.; ECK, T.F.; SCHAFER, J. 2011. Downwelling solar irradiance in the biomass burning region of the southern Amazon: Dependence on aerosol intensive optical properties and role of water va- por. Journal of Geophysical Research v. 116, n. D18, p. D18304. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1029/2011JD015956>.
- ROSENFELD, D. et al., 2008. Flood or drought: how do aerosols affect precipitation? Science, v. 321, n. 5894, p.1309–1313.
- SAJI, N. H.; YAMAGATA, T. 2003. Structure of SST and Surface Wind Variability During Indian Ocean Dipole Mode Events: COADS Observations. Journal of Climate, n. 16, p.2735–2751.
- SANAP, S. D. & PANDITHURAI, G., 2015. The effect of absorbing aerosols on Indian monsoon circulation and rainfall: A review. Atmospheric Research, n. 164, p.318–327.
- SENA, E. T.; ARTAXO, P.; CORREIA, A. L., 2013. Spatial variability of the direct radiative forcing of biomass burning aerosols and the effects of land use change in Amazonia. Atmospheric Chemistry and Physics v. 13, n. 3, p. 1261-1275.
- SILVA, I.C.; PERON, M.C.C.; ARBEX, M.A.; LICHTEN-FELDS, A.J.F.C.; LOBO, D.J.A.; GIOCONDO, M.P.; MACCHIONE, M.; SAIKI, M.; SALDIVA, P.H.N.; SOA-RES, C. P., 2012. Micronucleus formation induced by biomass burning particles derived from biomass burning induce high micronucleus frequency in Tradescantia pallida assay (TRAD-MN). Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology v. 7, n. 1, p. 1-7.
- SISENANDO, H.A.; MEDEIROS, S.R.; SALDIVA, P.H.N.; ARTAXO, P.; HACON, S.S. , 2011. Genotoxic potential generated by biomass burning in the Brazilian Legal Amazon by Tradescantia micronucleus bioassay: a toxicity assessment study. Environmental Health: A Global Access Science Source v. 10, n. 1, p. 41. Disponível em: <http://www.ehjournal.net/content/10/1/41>.
- SISENANDO, H.A.; MEDEIROS, S.R.B.; ARTAXO, P.; SALDIVA, P.H.N.; HACON, S.S, 2012. Micronucleus frequency in children exposed to biomass burning in the Brazilian Legal Amazon region: a control case study. BMC Oral Health v. 12, n. 1, p. 6. Disponível em: <http://www.biomedcentral.com/1472-6831/12>.

- SOLOMON, S.; PLATTNER, G. K.; KNUTTI, R.; FRIEDLINGSTEIN, P., 2009. Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions. *Proceedings of the national academy of sciences*, v.106, n. 6, p.1704–1709.
- SOUZA, A; ABREU, M. C.; IMA, J. F. O.; SANTOS, C. M.; FERNANDES, W.; POBOCIKOVA, I.; TORSSEN, E.; SILVA, E. B.; MBAGA, Y. V. 2020. STUDY OF AEROSOL OPTICAL DEPTH CLIMATOLOGY USING MODIS REMOTE SENSING DATA. *Eur. Chem. Bull.*, v. 9, p. 291-299.
- SOUZA, A.; ARISTONE, F. ; FERNANDES, W. A. ; OLAOFE, Z. ; OLIVEIRA, A. P. G. ; CARVALHO ABREU, M. ; OLIVEIRA-JUNIOR, J. F. ; CAVAZZANA, G. ; SANTOS, C. M. ; SOARES, D. G., 2020. Analysis of Ozone Concentrations Using Probability Distributions. *Ozone: Science & Engineering*, p. 1-12.
- SOUZA, M. P. e ECHER, E., SCHUSH J. N. 2001. A Lei de Beer aplicada na atmosfera terrestre. *Revista Brasileira de Ensino de Física* vol: 23 no 03.
- TAO, W. K., CHEN, J. P., LI, Z., WANG, C. & ZHANG, C., 2012. Impact of aerosols on convective clouds and precipitation. *Reviews of Geophysics*, v. 50, n. 2, RG2001.
- TEODORO, P.E. et al, 2015. Cluster analysis applied to the spatial and temporal variability of monthly rainfall in Mato Grosso do Sul State, Brazil. *Meteorology and Atmospheric Physics* 128(2). September. DOI:10.1007/s00703-015-0408-y
- TORRES, O.; CHEN, Z.; JETHVA, H.; AHN, C.; FREITAS, S.R.; BHARTIA, P.K. 2010. OMI and MODIS observations of the anomalous 2008-2009 Southern Hemisphere biomass burning seasons. *Atmospheric Chemistry and Physics* v. 10, p. 3505-3513.
- TWOMEY, S. 1977. The influence of Pollution on the Shortwave Albedo of Clouds. *Journal of Atmospheric Science*, n. 34, p.1149–1151.
- VENDRASCO, E.P.; SILVA DIAS, P.L.; FREITAS, E.D. 2009. A case study of the direct radiative effect of biomass burning aerosols on precipitation in the Eastern Amazon. *Atmospheric Research* v. 94, n. 3, p. 409-421. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2009.06.016>.
- VERA, C.; HIGGINS, W.; AMBRIZZI, T.; AMADOR, J.; GARREAU, R.; GOCHIS, D.; GUTZLER, D.; LETTENMAIER, D.; MARENGO, J.; MECHOSO, C. R.; NOGUES-PAEGLE; SILVA DIAS, P. L; ZHANG, C. 2006. Toward a Unified View of the American Monsoon Systems. *Journal of Climate*, v. 19, p. 4977-5000.
- VINOJ, V. et al. 2017. Short term modulation of Indian summer monsoon rainfall by west Asian dust. *Nature Geoscience*, n. 7, p.308–313.
- WU, R.; WEN, Z.; HE, Z. ENSO 2013. Contribution to Aerosol Variations over the Maritime Continent and the Western North Pacific during 2000–10. *Journal of Climate*, v. 26, n. 17, p.6541–6560.
- YAMASOE, M.A.; RANDOW, C.V.; MANZI, A.O.; SCHAFER, J.S.; ECK, T.F.; HOLBEN, B.N. 2006. Effect of smoke and clouds on the transmissivity of photosynthetically active radiation inside the canopy. *Atmospheric Chemistry and Physics* v. 6, p. 1645-1656. Disponível em: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00295923>.
- ZAVATTINI, J. A. 2009. As chuvas e as massas de ar no estado de Mato Grosso do Sul: estudo geográfico com vista à regionalização climática. Editora UNESP, São Paulo, p. 212.