



## Variabilidade espaço-temporal da profundidade ótica de aerossóis nos biomas cerrado e pantanal da região central do Brasil

Rafael da Silva PALÁCIOS<sup>1\*</sup>, Fernando da Silva SALLO<sup>1</sup>, João Basso MARQUES<sup>1</sup>,  
Anna Carolinna Albino SANTOS<sup>1</sup>, Jorge Almeida MENEZES<sup>1</sup>, Marcelo Sacardi BIUDES<sup>1</sup>,  
José de Souza NOGUEIRA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, Brasil.  
E-mail: [rafael.pgfa@gmail.com](mailto:rafael.pgfa@gmail.com)

Recebido em maio/2017; Aceito em agosto/2017.

**RESUMO:** As análises das propriedades óticas dos aerossóis atmosféricos auxiliam no entendimento dos efeitos diretos e indiretos dessas partículas nos fluxos de energia do sistema Terra-atmosfera. Este estudo avalia a variação espaço-temporal dos valores de Profundidade Ótica de Aerossóis (AOD) sobre uma região no centro-oeste do Brasil, utilizando produtos de sensoriamento remoto (MYD08\_D3.051, C005 versão 5.1, de nível 3 do MODIS), de 2010 a 2013. A análise temporal evidenciou variações sazonais da AOD 550 nm, justificadas pela ocorrência de inúmeros registros de queima de biomassa em todo o Brasil, contexto no qual se destaca o ano de 2010, cujos valores de AOD 550 nm atingiram os máximos de todo o período analisado. Com relação à variação espacial, os maiores valores de AOD 550 nm foram obtidos sobre uma região sazonalmente alagada, o Pantanal mato-grossense, que, em comparação com a Savana, região conhecida localmente como Cerrado, praticamente não apresenta registros de queimadas na estação seca. Foi aplicado o modelo de trajetória HYSPLIT para explicar as possíveis contribuições externas. Foram encontradas evidências de que a região do Pantanal é fortemente influenciada por movimentações de ar vindas do sudeste e norte do Brasil, justamente regiões com altos índices de queima de biomassa na estação seca.

**Palavra-chave:** focos de queimadas, propriedades óticas de aerossóis, HYSPLIT.

## Spatiotemporal variability of the optical depth of aerosols in areas of the savannah and of the pantanal in the central region of Brazil

**ABSTRACT:** The analyses of the optical properties of atmospheric aerosols assist in the understanding of the direct and indirect effects of these particles in the Earth-atmosphere energy system flows. This study evaluates the spatial and temporal variation of the values of the Aerosol Optical Depth (AOD) in a region in the midwest of Brazil using remote sensing products (MYD08\_D3.051, C005 version 5.1, Level 3 of MODIS), between 2010 and 2013. The temporal analysis showed seasonal variations of the AOD 550 nm, that are justified by the occurrence of numerous records of biomass burning all over Brazil, especially in the year of 2010, whose AOD values reached a peak in the analyzed period. Regarding the spatial variation, the highest AOD 550 nm values were obtained in a seasonally flooded region, the Pantanal in the state of Mato Grosso, which, compared to the Savannah, presents nearly no records of fires during the dry season. The HYSPLIT trajectory model was used to explain the possible external contributions. Evidences was found that the Pantanal region is highly influenced by air movements originated from the southeast and north of Brazil were found - these are precisely regions with high levels of biomass burning during the dry season.

**Keywords:** biomass burning, optical properties of aerosols, HYSPLIT.

### 1. INTRODUÇÃO

Os aerossóis atmosféricos podem influenciar significativamente os fluxos de energia no sistema Terra-atmosfera por meio de seus efeitos diretos e indiretos sobre a atenuação e espalhamento da radiação solar (WRIGHT et al., 2010; ALAM et al., 2010; ALAM et al., 2011b; KUMAR, 2014). A alteração na concentração dos aerossóis resulta em forçamentos radiativos com efeitos globais (SENA et al., 2013). As maiores incertezas relacionadas aos modelos climáticos, até mesmo nos melhores modelos de circulação global atmosférica, são devidas às incertezas provocadas pelo forçamento radiativo dos aerossóis (IPCC, 2007), assim como pela falta de medições confiáveis das propriedades do

material particulado em escala global para quantificar a variação espacial dos aerossóis (KOUKOULI et al., 2010; BENNOUNA et al., 2013; KUMAR, 2014).

A variação espacial e temporal das propriedades óticas e físicas dos aerossóis, tais como a extinção da radiação ou mesmo a distribuição de tamanho das partículas, modifica as propriedades físicas e químicas da atmosfera (ARTAXO et al., 2006; PALÁCIOS et al., 2016). Nesse sentido, a interação dos aerossóis com o ambiente pode impactar decisivamente a atmosfera de forma global à medida que os efeitos locais predominam (MURTHY et al., 2014). Devido à falta de informações precisas sobre a distribuição global das

propriedades dos aerossóis, é muito difícil quantificar seus efeitos líquidos (WANG et al., 2010).

A AOD (*Aerosol Optical Depth*) é um indicador da quantidade de aerossóis na coluna vertical atmosférica. Desta forma, essa variável é um parâmetro extremamente relevante na avaliação do forçamento radiativo dos aerossóis na atmosfera e seus impactos sobre o clima (BALAKRISHNAIAH et al., 2011; ZHANG et al., 2014). A variação temporal da AOD tem sido medida por fotômetros instalados em áreas representativas do globo terrestre pela AERONET (Aerosol Robotic Network). No Brasil, esses fotômetros estão distribuídos na bacia Amazônica e em fragmentos de Savana (regiões conhecidas localmente com Cerrado) e fornecem continuamente os valores de AOD entre outros parâmetros de aerossóis (HOLBEN et al., 1998; SMIRNOV et al., 2000). Entretanto, existem várias regiões do globo que não possuem pontos de medição da AOD, necessitando-se assim de outras formas de monitoramento.

As Savanas tropicais cobrem cerca de 12% da superfície terrestre e são caracterizadas pela alta diversidade de espécies de plantas (GIAMBELLUCA et al., 2009). No Brasil, a Savana ou simplesmente Cerrado, abrange cerca de 24% do país, sendo que sua vegetação dominante está sobre áreas sujeitas a uma estação seca prolongada (RODRIGUES et al., 2013; RODRIGUES et al., 2014). O cerrado, no Brasil, tem sido fortemente impactado pelas atividades antrópicas, que em geral, aumentam a frequência de incêndios (Oliveira et al., 2005). Essas alterações afetam significativamente as propriedades e os processos atmosféricos (NIYOGI et al., 1999; RODRIGUES et al., 2014).

No Brasil, estudos relacionados às propriedades óticas de aerossóis e de seus impactos nos ciclos biogeoquímicos e processos físicos do meio são realizados na bacia Amazônica, assim como em algumas regiões de Cerrado, em pontos estratégicos pertencentes a região conhecida como 'arco do desmatamento' (PACIFICO et al., 2015; CIRINO et al., 2014; BRITO et al., 2014; SENA; ARTAXO, 2014; RIZZO et al., 2013; ARTAXO et al., 2013; SENA et al., 2013). O Pantanal brasileiro se estende por aproximadamente 140.000 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 1,6% do território nacional. A estrutura geofísica do Pantanal é composta por grandes planícies aluviais e deltas na bacia do Paraguai, formando um elo entre os biomas da Amazônia, do Cerrado brasileiro, do Chaco e da Mata Atlântica (CURADO et al., 2012).

Através das estimativas de sensoriamento remoto por satélites é possível se obter medidas recuperadas das propriedades óticas dos aerossóis sobre grandes áreas de forma contínua (ALAM et al., 2010; ALAM et al., 2011a). O sensor orbital MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), devido a sua alta resolução espectral, tem sido amplamente utilizado na análise das propriedades ótica dos aerossóis atmosféricos. O sensor MODIS está acoplado aos satélites Terra e Aqua e foi lançado através do programa EOS (Earth Observing System), da NASA, com o objetivo de obter medidas remotas com resolução diária de aerossóis sobre o continente e o oceano, ajudando na compreensão e quantificação das propriedades os aerossóis atmosféricos (REMER et al., 2005; WANG et al., 2010).

Os dados dos produtos MODIS para aerossóis possibilitam monitorar características espaciais e temporais, a longo prazo, dos aerossóis globais tanto no continente (KAUFMAN et al., 1997), quanto no oceano (TANRÉ et al.,

1997), utilizando sete canais de bandas espectrais (0,47-2,1 µm). O produto MODIS para aerossóis emprega técnicas de calibrações robustas assim como triagem de nuvens, proporcionando valores de AOD com alta precisão (ou seja, ± 0,05 para AOD sob um céu sem a presença de nuvens) sobre o continente, com uma cobertura de medidas, do globo, praticamente diária (REMER et al., 2005; KUMAR et al., 2014).

Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi analisar a variabilidade espacial e temporal dos valores de AOD na faixa espectral de 550 nm (AOD 550 nm) nos biomas Cerrado e Pantanal do Brasil entre 2010 e 2013, além de analisar o desempenho dos produtos de sensoriamento remoto aplicado a aerossóis na região de estudo. As hipóteses deste trabalho foram que os valores de AOD 550 nm sejam maiores na região de Cerrado devido às altas incidências de focos de queimadas na estação seca; e que o produto MODIS MYD08\_D3.051 seja sensível à variação de AOD 550 nm nas regiões de Cerrado e Pantanal no Brasil.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Localização da área de estudo

A área de estudo encontra-se no Centro-Oeste do Brasil, no Estado de Mato Grosso. Essa região é composta por Cerrado ao nordeste e por Pantanal ao sudoeste. Entre os extremos da área de estudo encontra-se uma região de transição entre a Cerrado e o Pantanal (Figura 1).

O fotômetro CIMEL da rede AERONET encontra-se em uma região de transição entre Cerrado e Pantanal. Neste trabalho, os valores de AOD 500 nm obtidos pelo fotômetro CIMEL foram tratados especificamente como valores provenientes da região de Cerrado.

Os valores de AOD 500 nm foram obtidos pelo fotômetro CIMEL, a região é caracterizada por vegetação mista de pastagem e arbustos (conhecida localmente como Cerrado campo sujo) (BIUDES et al., 2015). As médias anuais de precipitação e temperatura são de 1200 mm e 27 °C, respectivamente, com um intervalo de seca bem caracterizado de maio a setembro (BIUDES et al., 2015). A região do Pantanal apresenta médias anuais de precipitação e temperatura de 1400 mm e 26,1 °C, respectivamente, com um intervalo de seca bem caracterizado, também de maio a setembro (BIUDES et al., 2015).

### 2.2. Aquisição e processamento dos dados MODIS (MYD08\_D3.051)

O sensor MODIS, lançado em dezembro de 1999 abordo do satélite Terra e posteriormente, em maio de 2002, do satélite Aqua, possui 36 bandas espectrais, que variam de 0,4 a 41,2 µm. O sensor possui ainda três diferentes resoluções espaciais. As bandas 1 e 2 possuem resolução espacial de 250 m, as bandas 3 a 7 possuem resolução de 500 m e as demais possuem resolução de 1 km. A partir de sua órbita polar a 700 km do nível do mar, varre uma área com campo de imagem de 2300 km proporcionando uma cobertura praticamente diária da superfície e atmosfera da Terra (CHENG et al., 2012). O algoritmo do MODIS para aerossóis sobre o continente é baseado na técnica de 'alvos escuros', baseado na detecção de superfícies escuras (KAUFMAN et al., 1997).

O algoritmo que inverte as irradiâncias medidas pelo sensor em propriedades óticas dos aerossóis utiliza três

relações empíricas. A primeira relação é que o efeito da radiação solar decresce com o comprimento de onda, seguindo uma lei de potências de primeiro e segundo grau. A segunda relação empírica diz que no efeito líquido sobre as superfícies mais escuras o espalhamento é predominante. Por fim, a terceira relação empírica diz que a refletância de superfície apresenta graus de correlação ao longo da faixa espectral. Baseando-se nos resultados empíricos é realizado o método de detecção dos aerossóis.

No processo de detecção, primeiramente se determinam os pixels escuros da imagem em um canal do infravermelho (2,1  $\mu\text{m}$ ), pela correlação existente entre o canal infravermelho e o visível. Após essa etapa, estima-se a refletância da superfície nos canais azul (0,47  $\mu\text{m}$ ) e vermelho (0,66  $\mu\text{m}$ ) (KAUFMAM et al., 1997; ARTAXO et al., 2006). Dessa forma, determinam-se os tipos de aerossóis a partir de informações de sua distribuição média global e por

meio das refletâncias do aerossol dos canais do vermelho e do azul (ARTAXO et al., 2006).

Nesse trabalho, foram adquiridos os dados de AOD 550 nm da coleção C005(versão 5.1) de nível 3 do MODIS, produto MYD08\_D3.051, de 2010 a 2013. O produto foi adquirido e processado através do aplicativo Giovanni (<http://disc.sci.gsfc.gov/giovanni/>). Os produtos de profundidade ótica de aerossóis MODIS possuem uma resolução espacial de  $1^\circ \times 1^\circ$ . O aplicativo Giovanni (versão 3) é uma ferramenta projetada para a visualização e análise de dados ambientais globais diários. Essa ferramenta foi utilizada tanto para a extração das séries temporais de AOD 550 nm para os biomas de Cerrado e Pantanal, quanto para a geração de mapas das distribuições espaciais da AOD 550 nm para toda a região de estudo, com os valores críticos de AOD (pico da estação seca).

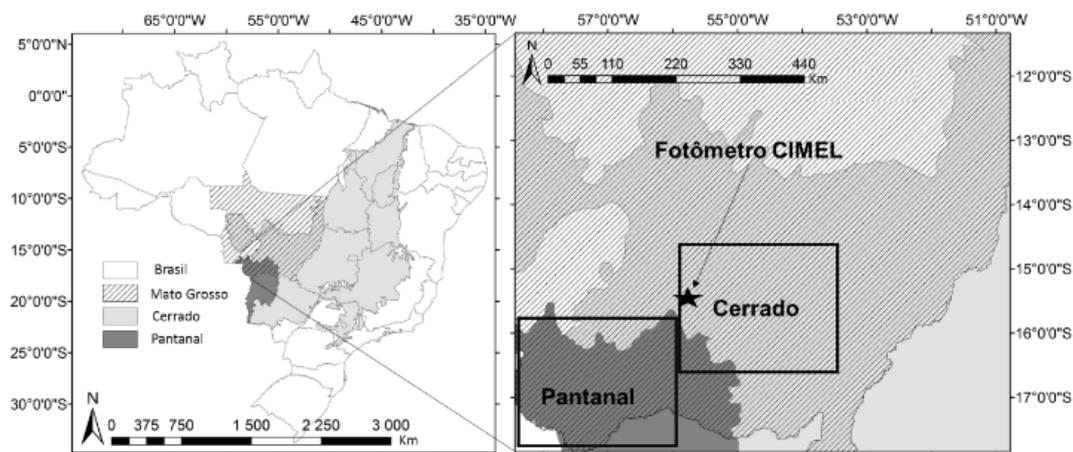


Figura 1. Localização da área de estudo. No detalhe, as grades de  $2^\circ \times 2^\circ$  para as regiões de Cerrado e Pantanal e a posição do fotômetro CIMEL.

Figure 1. Location of the study area. The grids of  $2^\circ \times 2^\circ$  for the Cerrado and Pantanal regions and the position of the CIMEL photometer.

### 2.3. Dados Obtidos pelo Fotômetro CIMEL da AERONET

Os dados da AERONET são amplamente utilizados por vários estudos relacionados à recuperação e validação de produtos de aerossóis por satélite. Essa rede é bem consolidada com mais de 700 estações pelo globo terrestre que fornecem medições de aerossóis de elevada qualidade, utilizadas como referência (CHENG et al., 2012). Os dados da rede AERONET (<http://aeronet.gsfc.nasa.gov/>) medidos pelo fotômetro CIMEL são baseados em medidas terrestres. Esses dados são disponibilizados em três níveis de qualidade: nível 1.0 (dados brutos), nível 1.5 (com filtragem por nuvens) e nível 2.0 (qualidade assegurada) (HOLBEN et al., 1998). Neste estudo, foram utilizados os dados diários da AOD 500nm (2010 a 2013) de nível 2.0 no bioma Cerrado.

Para realizar a comparação entre os dados de AOD 550 nm do MODIS, os dados de AOD 500 nm medidos no fotômetro CIMEL foram interpolados de forma a se atingir o comprimento de onda comum de 550 nm, conforme realizado no trabalho de Alam et al (2011a), que utiliza a lei de potência (Equação 1):

$$\text{AOD } 550\text{nm} = \text{AOD } 500\text{nm} (550/500)^{-\alpha} \quad (\text{Equação 1})$$

em que:  $\alpha$  representa o expoente de Angstrom para o intervalo de 440-870 nm, sendo esse um parâmetro que caracteriza a dependência espectral dos aerossóis.

### 2.4. Modelo de trajetória HYSPLIT

O modelo de trajetória HYSPLIT (*Hybrid Single Particle Lagrangian Integrate Trajectory Model*) é um sistema completo para o cálculo de trajetórias simples de pacotes de ar, bem como transações complexas, dispersão, transformação química e simulações de deposição (DRAXLER; ROLPH, 2003). O HYSPLIT continua a ser um dos modelos de transporte e dispersão atmosférica mais utilizados na comunidade de ciências atmosféricas. O modelo pode ser executado de forma interativa na Web (<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>) ou instalado em uma estação de trabalho PC (Mac) ou LINUX e executado usando uma interface gráfica de usuário (GUI) ou script.

Neste estudo, o modelo HYSPLIT foi utilizado para prever a trajetória de uma parcela de ar antes de sua chegada no local de interesse, a chamada 'backward trajectory'. Para isso, foi utilizada a versão web do modelo, da qual foram gerados arquivos de saída no formato shapefile. A aplicação do modelo considerou o intervalo de 96 horas para o cálculo de cada trajetória, sendo que as trajetórias foram calculadas para os períodos mais críticos de cada ano (de 2010 a 2013), quando os valores de AOD atingiram seus limites máximos.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Comparação AOD MODIS versus AOD CIMEL para o Cerrado

Realizada a análise entre os dados de AOD entre os sensores MODIS abordo dos satélites Terra e Aqua, este estudo optou por trabalhar com os dados do satélite Aqua, cujo horário local de passagem é por volta das 13h30 min. Essa escolha foi baseada no número de dados disponíveis para a área de estudo. Foi constatado que para o horário de passagem do satélite Terra (10h30min, horário local) houve um maior número de falha de dados (23,37% de um total de 1827 dias), enquanto que para o horário de 13h30min houve a quantidade de falhas correspondente a 22,82%. Esse resultado é diferente do trabalho de Sena et al. (2013), que obteve um maior número de dados disponíveis para o horário das 10h30 min na região da bacia Amazônica.

Através da Equação 1 os valores de AOD 500 nm do fotômetro CIMEL foram interpolados de forma a se atingir o comprimento de onda comum de 550 nm. Dessa forma, esses valores foram correlacionados aos valores de AOD 550 nm do MODIS. O teste de correlação de Spearman resultou em um  $\rho$  de 0.78, a relação direta e linear entre os valores de AOD 550 nm ainda é representada na Figura 2. Observa-se que poucos valores de AOD do MODIS foram utilizados, uma vez que, para tal análise, esses valores foram sincronizados com as medidas disponíveis do fotômetro CIMEL.

A Figura 3 representa a comparação das séries temporais para a AOD 550nm obtidas com o MODIS e com o fotômetro CIMEL.

A comparação entre os valores de AOD MODIS e CIMEL torna evidente a proximidade entre as distribuições em suas séries temporais (Figura 3a e 3b). Os dados são diários, computados para dias com disponibilidade de ambas fontes. Com relação aos picos atingidos (Figura 3 a), eles não representam os valores máximos atingidos para a AOD 550 nm na região de Cerrado, uma vez que essa relação leva em consideração somente os dados pareados entre AOD 550 nm MODIS e CIMEL.

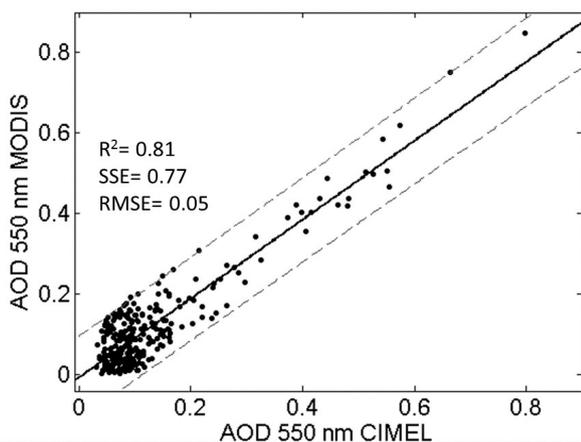


Figura 2. Regressão linear entre os valores de AOD 550 nm obtidos pelo fotômetro CIMEL da rede AERONET e os valores de AOD 550 nm estimados pelo produto MODIS no bioma Cerrado.

Figure 2. Linear regression between the 550 nm AOD values obtained by the AERONET CIMEL photometer and the 550 nm AOD values estimated by the MODIS product Cerrado biome.

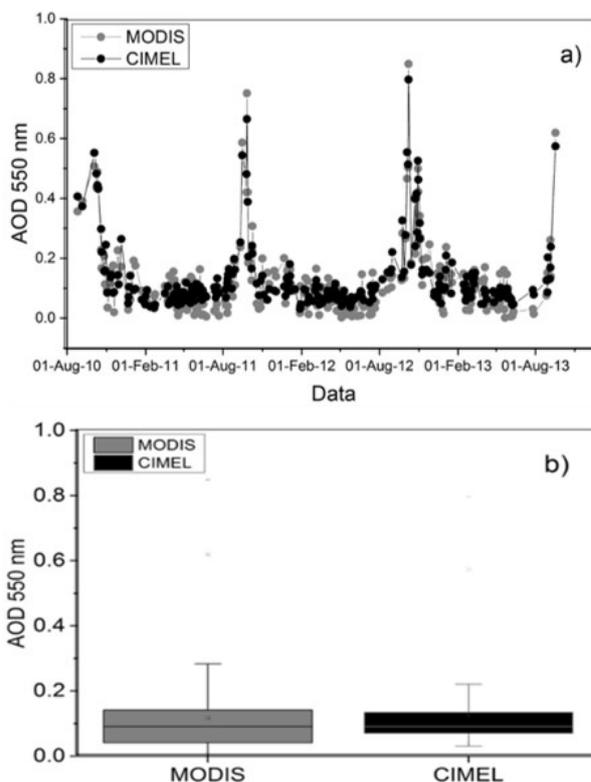


Figura 3. a) as distribuições temporais dos valores de AOD 550 nm para o MODIS e para o fotômetro CIMEL sobre a região de Savana; em b), Boxplot para ambas distribuições de AOD 550 nm.

Figure 3. a) the temporal distributions of the values of AOD 550 nm for MODIS and for the CIMEL photometer over the Savana region (b), Boxplot for both AOD distributions 550 nm.

#### 3.2. Comparação entre os valores de AOD entre Cerrado e Pantanal

Para realizar a comparação dos valores de AOD 550 nm entre Cerrado e Pantanal, a área de estudo foi dividida em duas grades (ou células) de  $2^\circ \times 2^\circ$  (latitude e longitude). A área de Cerrado foi tomada como um quadrado cujos vértices foram  $14.5^\circ \text{ S}$ ,  $16.5^\circ \text{ S}$ ,  $53.8^\circ \text{ W}$  e  $55.8^\circ \text{ W}$ ; o Pantanal,  $15.5^\circ \text{ S}$ ,  $17.5^\circ \text{ S}$ ,  $56.0^\circ \text{ W}$  e  $57.0^\circ \text{ W}$  (Figura 1). As séries temporais para cada uma das regiões apresentam seus máximos de AOD 550 nm para estação seca, especificamente no mês de setembro (Figura 4a e 4b), tanto para o Cerrado como para o Pantanal. As linhas e pontos sombreados (Figura 4) representam o mês de setembro de cada ano. Esse destaque enfatiza o período crítico para os valores de AOD 550 nm nas regiões de estudo, período no qual os registros de focos de queimadas são máximos em todo o Brasil (SENA et al., 2013).

Para confirmar a hipótese de que os valores de AOD 550 nm foram maiores sobre a região de Pantanal esse estudo aplicou o teste não paramétrico de Wilcoxon-Mann-Whitney sobre as distribuições de dados. O teste apontou uma diferença significativa para as amostras sendo os valores de AOD 550 nm no Pantanal maiores que os valores obtidos no Cerrado. O p-valor encontrado no teste foi de  $6.396 \times 10^{-7}$ , o que evidencia uma diferença altamente significativa. A Tabela 1 representa os parâmetros estatísticos do teste realizado para os dados pareados de AOD 550 nm para o Cerrado e o Pantanal.

Para a verificação da variabilidade espaço-temporal dos valores de AOD 550 nm sobre toda a área de estudo, foram gerados mapas da distribuição dos valores médios de AOD

550 nm para os meses de março e setembro de cada ano (Figura 5). Os altos valores de AOD 550 nm durante 2010 chamam atenção na região noroeste da área de estudo (Figura 5e). O trabalho de Mao et al. (2014), sobre a distribuição global da AOD de 2003 a 2012, relata o aumento acentuado dos valores de AOD para o ano de 2010 na região central da América do Sul, provocado pelos altos índices de focos de queimadas ao longo da bacia Amazônica, no chamado “arco do desmatamento”.

Tabela 1. Parâmetros estatísticos do teste pareado para amostras independentes de Wilcoxon-Mann-Whitney.

Table 1. Statistical parameters of the paired test for independent samples of Wilcoxon-Mann-Whitney.

		N	Média	Soma	P-valor
Pantanal	-	172 <sup>a</sup>	179.81	30927	6.396e <sup>-7</sup>
	+	243 <sup>b</sup>	227.95	55393	
Cerrado	=	5 <sup>c</sup>			
	Todos	420			

a. AOD Pantanal < AOD Cerrado; b. AOD Pantanal > AOD Cerrado; c. AOD Pantanal = AOD Cerrado.

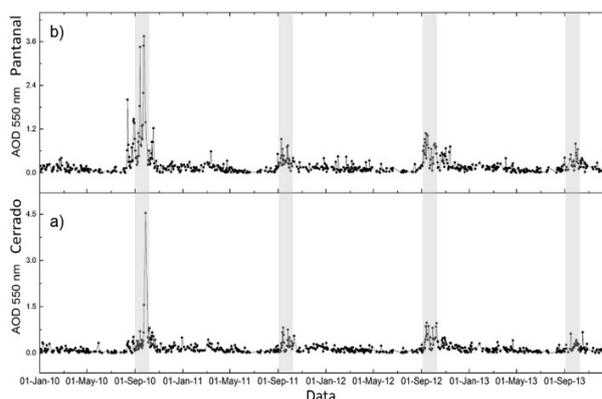


Figura 4. Distribuição temporal dos valores de AOD 550 nm; a) sobre o Cerrado; b) sobre o Pantanal. As áreas sombreadas representam o mês de setembro de cada ano (de 2010 a 2013).

Figure 4. Time distribution of AOD values 550 nm; a) on the Cerrado; b) on the Pantanal. The shaded areas represent the month of September of each year (from 2010 to 2013).

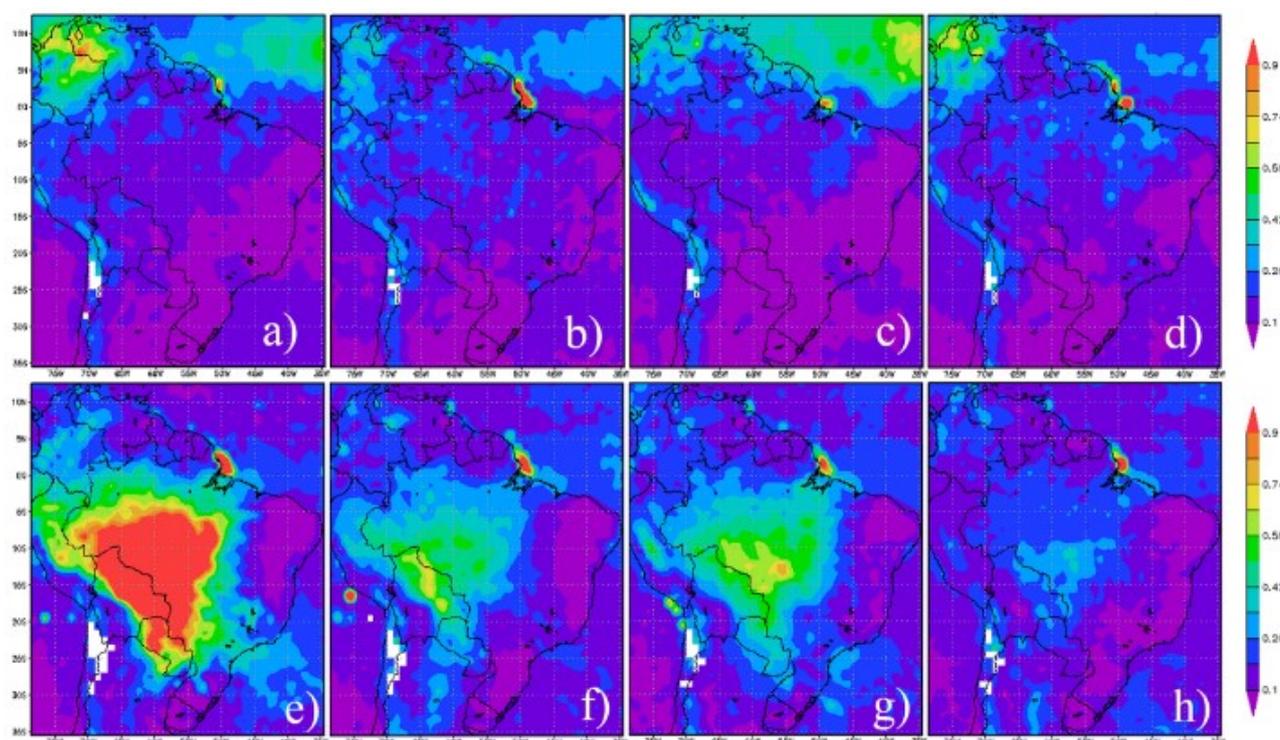


Figura 5. Distribuição espacial dos valores médios mensais para a AOD 550 nm; a) março de 2010; b) março de 2011; c) março de 2012; d) março de 2013; e) setembro de 2010; f) setembro de 2011; g) setembro de 2012; h) setembro de 2013.

Figure 5. Spatial distribution of monthly mean values for AOD 550 nm; a) March 2010; b) March 2011; c) March 2012; d) March 2013; e) September 2010; f) September 2011; g) September 2012; h) September 2013.

A variação temporal da AOD 550 nm na área de estudo pode ser analisada em função dos registros de focos de queimadas (Figura 6). Tanto no estado de Mato Grosso como nos estados do Amazonas e Goiás, os valores máximos da AOD 550 nm são atingidos no mês de setembro de cada ano (Figuras 6b, 6c e 6d), quando os registros de focos de queimadas são máximos. Essa tendência é acompanhada por todo o país (Figura 6a).

As variações temporais da AOD 550 nm (Figura 5) são facilmente explicadas analisando-se os registros de focos de queimadas (Figura 6). Para setembro de 2010, período com pico máximo de AOD 550 nm, ocorreram os maiores

registros de focos de queimadas em todo o Brasil, para o estado de Mato Grosso, o número de registros atingiu 18000 focos (INPE, 2015). Para setembro de 2012, os valores médios de AOD 550 nm foram maiores que para o mesmo período de 2011 (Figura 5). Esse fato também é explicado através dos registros de focos de queimadas para os respectivos períodos. Além do estado de Mato Grosso, também foram analisados os registros de queimadas para os estados do Amazonas e Goiás, devido à proximidade e à possível influência desses estados na área de estudo. A Figura 7 apresenta as estatísticas mensais (média e desvio) para os valores de AOD 550 nm para o Pantanal e Cerrado.

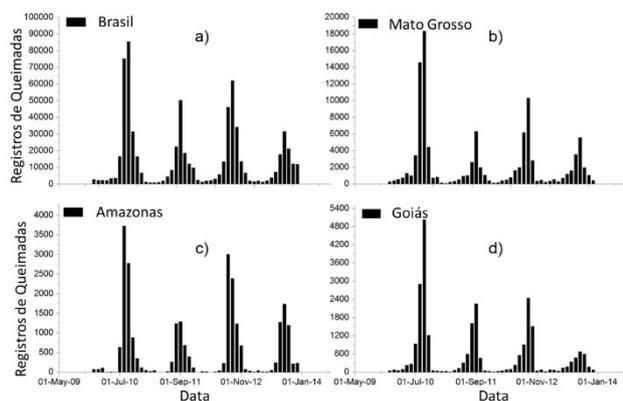


Figura 6. a) distribuição dos focos de queimadas para o todo o Brasil; b) estados de Mato Grosso; c) Amazonas; d) Goiás.

Figure 6. a) distribution of fires for the whole of Brazil; b) states of Mato Grosso; c) Amazonas; d) Goiás.

Em relação à comparação da AOD 550 nm entre Cerrado e Pantanal, realizada neste estudo, foram obtidas as médias mensais para cada região com seus respectivos desvios (Figura 7). Observam-se que os maiores desvios ocorrem justamente para os períodos nos quais os valores de AOD 550 nm são mais elevados devido à rápida elevação da AOD 550 nm durante o mês de setembro. Para setembro de 2010, observa-se que a média da AOD 550 nm para o Pantanal atinge valor superior a 0,9, enquanto que, sobre o Cerrado, para o mesmo período, a AOD 550 nm fica em torno de 0,3.

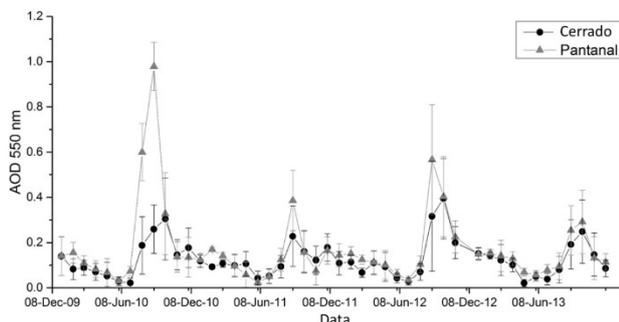


Figura 7. Distribuição das médias mensais e desvios médios da AOD 550 nm para as regiões de Cerrado e Pantanal para o período de estudo.

Figure 7. Distribution of the monthly averages and mean deviations of the 550 nm AOD for the Cerrado and Pantanal regions for the study period.

#### 4. DISCUSSÃO

Com base no teste de Spearman foi constatado uma correlação com  $\rho$  de 0,78, já na regressão da AOD 550 nm entre CIMEL e MODIS (Figura 2), observa-se um valor de  $R^2$  de 0,81, valor esse coerente com a maioria das validações dos produtos MODIS através de valores de AOD CIMEL. O trabalho de Alam et al. (2011b) reporta um  $R^2$  de 0,59 de 2002 a 2008 sobre a região de Karachi, no Paquistão. Já o trabalho de Koukoulis et al. (2010) sobre a região sul de Balcãs, entre a Grécia e Bulgária, encontrou uma variação entre 0,72 e 0,82 para o  $R^2$  para a AOD na faixa de 470 nm no período de 2000 a 2006. Ainda sobre o Paquistão, Bibi et al. (2015) encontrou um  $R^2$  variando de 0,61 a 0,71 de 2007 a 2013. As variações de  $R^2$  encontradas nesses trabalhos são obtidas levando-se em consideração a variabilidade espacial dos valores de AOD.

Com relação às magnitudes atingidas em cada eixo, percebe-se que, no eixo representado pela AOD 550 nm MODIS, o valor máximo é moderadamente mais elevado. Isso é justificado pelo trabalho de Remer et al. (2008), que, em sua avaliação dos produtos da coleção 005 MODIS / Terra e Aqua, verificou que existe uma diferença em torno de 41% entre os dados MODIS e CIMEL, sendo os de AOD MODIS mais elevados. Remer et al. (2008) avaliou 205 estações da AERONET pelo globo. No presente trabalho, essa diferença também é verificada (Figura 3a e 3b).

Com relação aos valores máximos de AOD (Figura 4), percebe-se que a amplitude da AOD 550 nm sobre o Pantanal é mais elevada do que a AOD 550 nm na região de Cerrado. Entretanto, no ano de 2010, há um registro diário para o Cerrado onde a AOD 550 nm ultrapassou 4,5. Mesmo sendo um único valor, esse não foi desconsiderado devido à grande intensidade de registros de focos de queimadas no ano de 2010. De forma geral, os resultados encontrados sobre o Pantanal sugerem que os valores de AOD 550 nm sobre essa região são mais elevados do que os valores de AOD 550 nm sobre o Cerrado.

De forma geral, as distribuições espaciais dos valores de AOD 550 nm para os meses de março e setembro de cada ano de estudo (Figura 5) evidenciam os altos valores de AOD 550 nm sobre o Pantanal Mato-grossense. Com relação à variabilidade temporal, percebe-se que os valores de AOD 550 nm são reduzidos significativamente durante o intervalo de tempo abordado nesse estudo. Essa redução ocorre em decorrência da diminuição dos focos de queima em todo o Brasil. A Figura 5 ainda representa a variação sazonal dos valores de AOD 550 nm. Comparando a Figura 5a com a Figura 5e (ano de 2010) observa-se claramente a diferença entre o mês de março e setembro.

Na região de estudo, assim como em boa parte do Brasil, as variações da AOD 550 nm são provocadas principalmente pelo aumento de focos de queimadas no período de seca (SENA et al., 2013), diferentemente do que ocorre em outras regiões do globo, como na Ásia por exemplo. Alam et al. (2011a) constataram que as variações sazonais da AOD sobre o Paquistão ocorrem devido às Monções da Ásia. Constataram também que as altas intensidades de ventos no verão provocam suspensão de poeira do solo, aumentando, assim, os valores de AOD. Entretanto, no inverno (período de Monção), as chuvas provocam a diminuição das concentrações de aerossóis, reduzindo, assim, os valores da AOD. O trabalho desenvolvido por Kumar (2014) sobre a Índia também reporta a variação sazonal da AOD devido aos efeitos das Monções. Já no sul da África, Kumar et al. (2014) explicam a variação sazonal da AOD em função da queima de biomassa local e ainda consideram as contribuições de material particulado provenientes da América do Sul (partículas de queimadas) levadas pela movimentação atmosférica.

Os resultados encontrados neste trabalho, diferentemente do que se esperava, sugerem que os valores da AOD 550 nm são mais elevados no Pantanal do que sobre a região de Cerrado. Entretanto, as maiores incidências de focos de queimadas no Brasil na estação seca estão concentradas a nordeste da área de estudo (região de Cerrado) e ao norte (transição entre Cerrado e floresta Amazônica). Assim, para se entender os elevados valores de AOD 550 nm sobre o Pantanal, este estudo aplicou o modelo de trajetórias

HYSPLIT, verificando, assim, as contribuições de regiões externas ou vizinhas nos valores de AOD 550 nm sobre o Pantanal (Figura 8).

Aplicando-se o modelo de trajetória HYSPLIT, 'backward trajectory', e considerando o intervalo de 96 horas para o cálculo de cada trajetória, foram gerados mapas de trajetórias para os registros mais críticos de AOD 550 nm. Para o ano de 2010, foi verificado que os máximos de AOD 550 nm ocorreram de 19 a 29 de setembro; para 2011, de 14 a 24 de setembro; para 2012, de 08 a 18 de setembro; e para 2013, de 03 a 13 de setembro. Com base nesse intervalo de 10 dias críticos de setembro para cada ano, foram geradas três trajetórias, buscando-se as principais contribuições para o incremento da AOD 550 nm no Pantanal.

Observa-se que, para o ano de 2010, a região do Pantanal foi influenciada por movimentações de ar originadas ao sudeste, nordeste e norte do Brasil (Figura 8a). Todas as trajetórias foram calculadas para os dias com os maiores registros nos valores de AOD (Figura 4b).

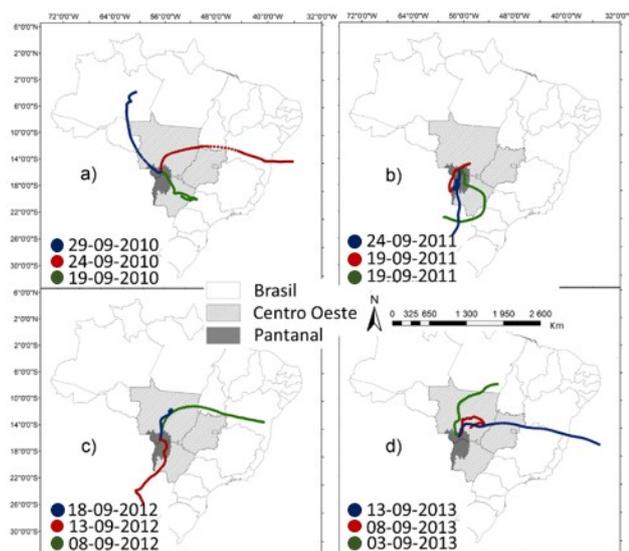


Figura 8. Modelo de trajetórias HYSPLIT 'backward trajectory'; a) 2010; b) 2011; c) 2012; d), 2013. As trajetórias convergem para a região de Pantanal no Brasil.

Figure 8. HYSPLIT trajectory model 'backward trajectory'; a) 2010; b) 2011; c) 2012; d), 2013. The trajectories converge to the Pantanal region in Brazil.

Para o dia 19 de setembro de 2010, o Pantanal recebeu contribuições de parcelas de ar oriundas dos Estado de Mato Grosso do Sul e São Paulo, regiões essas com históricos de queima de biomassa no período de seca (VIEIRA-FILHO et al., 2013). Já para os dias 24 e 29 de setembro de 2010, as contribuições devido à movimentação atmosférica são oriundas do próprio Estado do Mato Grosso e Amazonas. Este trabalho sugere que os altos índices de focos de queimadas na bacia Amazônica para o ano de 2010 tenham influenciado significativamente a região do Pantanal. Embora o Pantanal não tenha registros de queimadas tal como a região sul da Amazônia e os fragmentos de Cerrado no Estado de Mato Grosso, a movimentação atmosférica convergente ao Pantanal faz com que os valores de AOD 550 nm sejam maiores que nas regiões de Cerrado.

De forma geral (Figura 8), as possíveis contribuições externas para os elevados valores de AOD 550 nm sobre o Pantanal na estação seca provêm principalmente das regiões

leste, nordeste e norte da área de estudo. As movimentações atmosféricas convergentes sobre o Pantanal são resultado dos principais sistemas de movimentação de larga escala que afetam diretamente a região central do Brasil (LONGO et al., 1999). Para latitudes médias (área deste estudo, o Pantanal), os principais sistemas de movimentação atmosférica de larga escala são a Zona de Convergência Intertropical (ITCZ) e a Alta Subtropical do Atlântico Sul (SASH) (NOBRE et al., 1998). O deslocamento da SASH para o oeste, juntamente com a movimentação da ITCZ para a norte provocam uma região de alta subsidência sobre a região central do Brasil (LONGO et al., 1999), justamente onde este trabalho obteve os maiores valores de AOD 550 nm (Figura 5).

## 5. CONCLUSÕES

Os valores obtidos através do MODIS para região de Cerrado foram validados com medidas de superfície do fotômetro CIMEL da AERONET, cujo  $R^2$  foi de 0.81. Em relação à distribuição temporal, foi verificado que a sazonalidade dos valores de AOD 550 nm está intimamente relacionada aos focos de queimadas durante a estação seca no Brasil. Os valores de AOD 550nm apresentam uma considerável diminuição durante o período abordado neste estudo, fato que também foi justificado pela redução dos registros de focos de queimadas em todo o Brasil.

Diferentemente da primeira hipótese levantada nesse trabalho, a análise espacial verificou que os maiores valores de AOD 550 nm foram obtidos sobre uma região sazonalmente alagada, o Pantanal, que, em comparação ao Cerrado, praticamente não apresenta registros de queimadas na estação seca. Foi constatado que a região do Pantanal é fortemente influenciada por movimentações de ar vindas do sudeste e norte do Brasil, justamente de regiões com altos índices de queima de biomassa na estação seca.

A convergência de massas de ar sobre o Pantanal pode ser explicada em função das variações dos principais sistemas de circulação atmosférica global sobre a América do Sul. O deslocamento da SASH para o oeste juntamente com a movimentação da ITCZ para a norte provocam uma região de alta subsidência sobre a região central do Brasil, justamente onde este trabalho obteve os maiores valores de AOD 550 nm.

## 6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a CAPES, pelo apoio financeiro (Processo nº 01439213127), ao grupo de pesquisa do Programa de Pós-graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, Projeto de processo 457824/2013-1 aprovado na Chamada Nº 68/2013 MCTI/CNPq/FNDCT - Ação Transversal/LBA. Ao Air Resources Laboratory, NOAA (ARL) pelo modelo de transporte e dispersão HYSPLIT e ao grupo de Estudos do Instituto de Física da USP pela utilização dos dados da rede AERONET.

## 7. REFERÊNCIAS

- ALAM, K.; IQBAL, M. J.; BLASCHKE, T.; QURESHI, S.; KHAN, G. Monitoring spatio-temporal variations in aerosols and aerosol-cloud interactions over Pakistan using MODIS data. *Advances in Space Research*, v. 46, p. 1162-1176, 2010.
- ALAM, K.; QURESHI, S.; BLASCHKE, T. Monitoring spatio-temporal aerosol patterns over Pakistan based on MODIS, TOMS and MISR satellite data and a HYSPLIT

- model. **Atmospheric Environment**, v. 45, p. 4641-4651, 2011a, doi: 10.1016/j.atmosenv.2011.05.055.
- ALAM, K.; TRAUTMANN, T.; BLASCHKE, T. Aerosol optical properties and radiative forcing over mega-city Karachi. **Atmospheric Research**, v. 101, p. 773-782, 2011b. doi: 10.1016/j.atmosres.2011.05.007.
- ARTAXO, P.; OLIVEIRA, P. H.; LARA, L. L.; PAULIQUEVIS, T. M.; RIZZO, L. V.; PIRES JUNIOR, C.; PAIXÃO, M. A.; LONGO, K. M.; FREITAS, S.; CORREIA, A. L. Efeitos climáticos de partículas de aerossóis biogênicos e emitidos em queimadas na Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, p. 167-189, 2006.
- 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. Atmospheric aerosol in Amazonia and land use change: from natural biogenic to biomass burning conditions. **Faraday Discussions**, v. 13, p. 203-235, 2013, doi: 10.1039/c3fd00052d.
- BALAKRISHNAIAH, G.; KUMAR, K. R.; KUMAR, R. B. S. K.; GOPAL, K. R.; REDDY, R. R.; REDDY, L. S. S.; AHAMMED, Y. N.; NARASIMHULU, K.; MOORTHY, K. K.; BABU, S. S. Analysis of optical properties of atmospheric aerosols inferred from spectral AODs and Ångström wavelength exponent. **Atmospheric Environment**, v. 45, p. 1275-1285, 2011, doi: 10.1016/j.atmosenv.2010.12.002.
- BENNOUNA, Y. S.; CACHORRO, V. E.; TORRES, B.; TOLEDANO, C.; BERJON, A.; DE FRUTOS, A. M.; COPPEL, I. A. F. Atmospheric turbidity determined by the annual cycle of the aerosol optical depth over north-center Spain from ground (AERONET) and satellite (MODIS). **Atmospheric Environment**, v. 67, p. 352-364, 2013. doi: 10.1016/j.atmosenv.2012.10.065.
- BIBI, H.; ALAM, K.; CHISHTIE, F.; BIBI S.; SHAHID, T. B. Intercomparison of MODIS, MISR, OMI and CALIPSO aerosol optical depth retrievals for four locations on the Indo-Grangetic plains and validation AERONET data. **Atmospheric Environment**, v. 111, p. 113-126, 2015, doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.04.013.
- BIUDES, M. S.; VOURLITIS, G. L.; MACHADO, N. G.; ARRUDA, P. H. Z.; NEVES, G. A. R.; LOBO, F. A.; NEALE, C. M. U.; NOGUEIRA, J. S. Patterns of energy exchange for tropical ecosystems across a climate gradient in Mato Grosso, Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 202, p. 112-124, 2015 doi: 10.1016/j.agrformet.2014.12.008.
- BRITO, J.; RIZZO, L. V.; MORGAN, W. T.; COE, H.; JOHNSON, B.; HAYWOOD, J.; LONGO, K.; FREITAS, S.; ANDREAE, M. O.; ARTAXO, P. Ground-based aerosol characterization during the South America Biomass Burning Analysis (SAMBRA) field experiment. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 14, p. 12069-12083, 2014, doi: 10.5194/acp-14-12069-2014.
- CHENG, T.; CHEN, H.; GU, X.; YU, T.; GUO, J.; GUO, H. The inter-comparison of MODIS, MISR and GOCART aerosol products against AERONET data over China. **Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer**, v. 113, p. 2135-2145, 2012, doi: 10.1016/j.jqsrt.2012.06.016.
- CIRINO, G. G.; SOUZA, R. A. F.; ADAMS, D. K.; ARTAXO, P. The effect of atmospheric aerosol particles and clouds on net ecosystem exchange in the Amazon. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 14, p. 6523-6543, 2014, doi: 10.5194/acp-14-6523-2014.
- CURADO, L. F. A.; NOGUEIRA, J. S.; SANCHES, L.; BIUDES, M. S.; RODRIGUES, T. R. Interannual Variability of Energy flux in Atmospheric Instability Conditions at Pantanal of Mato Grosso – Brazil. **Atmospheric and Climate Sciences**, v. 2, p. 518-524, 2012, doi: 10.4236/acs.2012.24046.
- DRAXLER, R. R.; ROLPH, G. D. HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) **Model Access via the NOAA ARL READY Website**. NOAA Air Resour. Lab., Silver Spring, 2013. Md. Available at: <http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>.
- GIAMBELLUCA, T. W.; SCHOLZ, F. G.; BUCCI, S. J.; MEINZER, F. C.; GOLDSTEIN, G.; HOFFMANN, W. A.; FRANCO, A. C.; BUCHERT, M. P. Evapotranspiration and energy balance of Brazilian savannas with contrasting tree density. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, p. 1365-1376, 2009, doi: 10.1016/j.agrformet.2009.03.006.
- HOLBEN, B. N.; ECK, T. F.; SLUTSKER, I.; TANRÉ, D.; BUIS, J. P.; SETZER, A.; VERMOTE, E.; REAGAN, J. A.; KAUFMAN, Y. J.; NAKAJIMA, T.; LAVENU, F.; JANKOWIAK, I.; SMIRNOV, A. AERONET – a federated instrument network and data archive for aerosol characterization. **Remote Sensing of the Environment**, v. 66, p. 1-16, 1998, doi: 10.1016/S0034-4257(98)00031-5.
- INPE, **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios. Disponível em <http://www.inpe.br/queimadas>, 2012 Acesso em: 29/03/2015.
- IPCC, Climate Change. The physical science basis. 996. In: SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K.B.; TIGNOR, M.; MILLER, H.L. (Eds.), **Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.
- KAUFMAN, Y. J.; TANRÉ, D.; REMER, L. A.; VERMOTE, E. F.; CHU, A.; HOLBEN, B. N. Operational remote sensing of tropospheric aerosol over land from EOS moderate resolution imaging spectroradiometer. **Journal of Geophysical Research**, v. 102, p. 17051-17067, 1997, doi: 10.1029/96JD03988.
- KOUKOULI, M. E.; KAZADZIS, S.; AMIRIDIS, V.; ICHOCU, C.; BALIS, D. S.; BAIS, A. F. Signs of a negative trend in the MODIS aerosol optical depth over the Southern Balkans. **Atmospheric Environment**, v. 44, p. 1219-1228, 2010, doi: 10.1016/j.atmosenv.2009.11.024.
- KUMAR, A. Long term (2003-2012) spatio-temporal MODIS (Terra/Aqua level 3) derived climatic variations of aerosol optical depth and cloud properties over a semi arid urban tropical region of Northern India. **Atmospheric Environment**, v. 83, p. 291-300, 2014, doi: 10.1016/j.atmosenv.2013.10.030
- KUMAR, K. R.; SIVAKUMAR, V.; YIN, Y.; REDDY, R. R.; KANG, N.; DIAO, A. J. A.; YU, X. Long-term

- (2003-2013) climatological trends and variations in aerosol optical parameters from MODIS over three stations in South Africa. **Atmospheric Environment**, v. 95, p. 400-408, 2014, doi: 10.1016/j.atmosenv.2014.07.001.
- LONGO, K. M.; THOMPSON, A. M.; KIRCHHOFF, V. W. J. H.; REMER, L. A.; FREITAS, S. R.; SILVA DIAS, M. A. F.; ARTAXO, P.; HART, W.; SPINHIRNE, J. D.; YAMASOE, M.A. Correlation between smoke and tropospheric ozone concentration in Cuiabá during Smoke, Clouds, and Radiation-Brazil (SCAR). **Journal of Geophysical Research**, v. 104, p. 12113-12129, 1999, doi: 10.1029/1999JD900044.
- MAO, K. B.; MA, Y.; XIA, L.; CHEN, W. Y.; SHEN, X. Y.; HE, T. J.; XU, T. R. Global aerosol change in the last decade: An analysis based on MODIS data. **Atmospheric Environment**, v. 94, p. 680-686, 2014, doi: 10.1016/j.atmosenv.2014.04.053.
- MURTHY, B. S.; LATHA, R.; KUMAR, M.; MAHANTI, N. C. Effect of aerosols on evapo-transpiration. **Atmospheric Environment**, v. 89, p. 109-118, 2014, doi: 10.1016/j.atmosenv.2014.02.029.
- NIYOGI, D. V.; RAMAN, S.; ALAPATY, K. Uncertainty in the specification of surface characteristics, Part II: Hierarchy of interaction-explicit statistical analysis. **Boundary Layer Meteorol.**, v. 91, p. 341-366, 1999.
- NOBRE, C. A.; MATTOS, L. F.; DEREZYNSKI, C. P.; TARASOVA, T. A.; TROSNIKOV, I. V. Overview of atmospheric conditions during the Smoke, Clouds, and Radiation-Brazil (SCAR-B) field experiment. **Journal of Geophysical Research**, v. 103, p. 31809-31820, 1998, doi: 10.1029/98JD00992.
- OLIVEIRA, R. S.; BEZERRA, L.; DAVIDSON, E. A.; PINTO, F.; KLIK, C. A.; NEPSTAD, D. C.; MOREIRA, A. Deep root function in soil water dynamics in cerrado savanas of central Brazil. **Functional Ecology**, v. 19, p. 574-581, 2005, doi: 10.1111/j.1365-2435.2005.01003.x.
- PACIFICO, F.; FOLBERT, G. A.; SITCH, S.; HAYWOOD, J. M.; RIZZO, L. V.; MALAVELLE, F. F.; ARTAXO, P. Biomass burning related ozone damage on vegetation over the Amazon forest: a model sensitivity study. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 15, p. 2791-2804, 2015, doi: 10.5194/acp-15-2791-2015.
- PALÁCIOS, R. S.; SALLO, F. S.; MARQUES, J. B.; MENEZES, J. A.; NOGUEIRA, J. S. Variabilidade da profundidade ótica de aerossóis atmosféricos sobre o Pantanal brasileiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, p. 27-37, 2016, doi: 10.5380/abclima.v18i0.44340.
- REMER, L. A.; KAUFMAN, Y. J.; TANRÉ, D.; MATTOO, S.; CHU, D. A.; MARTINS, J. V.; LI, R. R.; ICHOKU, C.; LEVY, R. C.; KLEIDMAN, R. G.; ECK, T. F.; VERMOTE, E.; HOLBEN, B. N. The MODIS Aerosol Algorithm, Products, and Validation. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 62, p. 847-973, 2005, doi: 10.1175/JAS3385.1.
- REMER, L. A.; KLEIDMAN, R. G.; LEVY, R. C.; KAUFMAN, Y. J.; TANRÉ, D.; MATTOO, S.; MARTINS, J. V.; ICHOKU, C.; KOREN, I.; YU H.; HOLBEN, B. N. Global aerosol climatology from the MODIS satellite sensors. **Journal of Geophysical Research**, v. 113, p. D14S07, 2008, doi: 10.1029/2007JD009661.
- RIZZO, L. V.; ARTAXO, P.; MÜLLER, T.; WIEDENSOHLER, A.; PAIXÃO, M.; CIRINO, G. G.; ARANA, A.; SWIETLICKI, E.; ROLDIN, P.; FORS, E. O.; WIEDEMANN, K. T.; LEAL, L. S. M.; KULMALA, M. Long term measurements of aerosol optical properties at a primary forest site in Amazonia. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 13, p. 2391-2413, 2013, doi: 10.5194/acp-13-2391-2013.
- RODRIGUES, T. R.; DE PAULO, S. R.; NOVAIS, J. W. Z.; CURADO, L. F. A.; NOGUEIRA, J. S.; OLIVEIRA, R. G.; LOBO, F. A.; VOURLITIS, G. L. Temporal Patterns of Energy Balance for Brazilian Tropical Savanna under Contrasting Seasonal Conditions. **Journal of Atmospheric Sciences**, v. 2013, p. 1-9, 2013, doi: 10.1155/2013/326010.
- RODRIGUES, T. R.; VOURLITIS, G. L.; LOBO, F. A.; OLIVEIRA, R. G.; NOGUEIRA, J. S. Seasonal variation in energy balance and canopy conductance for a tropical savana ecosystem of South central Mato Grosso, Brazil. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 119, p. 1-13, 2014, doi: 10.1002/2013JG002472.
- SENA, E. T.; ARTAXO, P. A novel methodology using MODIS and CERES for assessing the daily radiative forcing of smoke aerosols in large scale over the Amazonia. **Atmospheric Chemistry and Physics Discussions**, v. 14, p. 31515-31550, 2014, doi: 10.5194/acpd-14-31515-2014.
- SENA, E. T.; ARTAXO, P.; CORREIA, A. L. Spatial variability of the direct radiative forcing of biomass burning aerosol and the effects of land use change in Amazonia. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 13, p. 1261-1275, 2013, doi: 10.5194/acp-13-1261-2013.
- SMIRNOV, A.; HOLBEN, B. N.; ECK, T. F.; DUBOVIK, O.; SLUTSKER, I. Cloud screening and quality control algorithms for the AERONET data base. **Remote Sensing of the Environment**, v. 73, p. 337-349, 2000, doi: 10.1016/S0034-4257(00)00109-7.
- TANRÉ, D.; KAUFMAN, Y. J.; HERMAN, M.; MATTOO, S. Remote sensing of aerosol properties over oceans using the MODIS/EOS spectral radiances. **Journal of Geophysical Research**, v. 102, p. 16971-16988, 1997, doi: 10.1029/96JD03437.
- VIEIRA-FILHO, M. S.; PEDROTTI, J. J.; FORNARO, A. Contribution of long and mid-range transport on the sodium and potassium concentrations in Rainwater samples, São Paulo megacity, Brazil. **Atmospheric Environment**, v. 79, p. 299-307, 2013 doi: 10.1016/j.atmosenv.2013.05.047.
- WANG, L.; WANG, Y.; XIN, J.; LI, Z.; WAN, X. Assessment and comparison of three years of Terra and Aqua MODIS Aerosol Optical Depth Retrieval (C005) in Chinese terrestrial regions. **Atmospheric Research**, v. 97, p. 229-240, 2010, doi: 10.1016/j.atmosres.2010.04.004.
- WRIGHT, M. E.; ATKINSON, D. B.; ZIEMBA, L.; GRIFFIN, R.; HIRANUMA, N.; BROOKS, S.; LEFER, B.; FLYNN, J.; PERNA, R.; RAPPENGLÜCK, B.; LUKE, W.; KELLEY P. Extensive aerosol optical properties and aerosol mass related measurements during TRAMP/TexAQS 2006 – Implications for PM compliance and planning. **Atmosphere Environment**, v. 44, p. 4035-4044, 2010, doi: 10.1016/j.atmosenv.2008.12.055.

ZHANG, Z.; WENIG, M.; ZHOU, W.; DIEHL, T.; CHAN, K.; WANG, L. The contribution of different aerosol sources to the Aerosol Optical Depth in Hong Kong. **Atmospheric Environment**, v. 83, p. 145-154, 2014, doi: 10.1016/j.atmosenv.2013.10.047.