

VARIABILIDADE DA PROFUNDIDADE ÓTICA DE AEROSSÓIS ATMOSFÉRICOS SOBRE O PANTANAL BRASILEIRO

PALÁCIOS, Rafael da Silva – rafael.pgfa@gmail.com
Pós-Graduação (Mestrando) em Física Ambiental pela Universidade Federal

SALLO, Fernando da Silva – fdss88@gmail.com
Pós-Graduação (Doutorando) em Física Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso

MARQUES, João Basso – jbassofisico@gmail.com
Pós-Graduação (Mestrando) em Física Ambiental pela Universidade Federal

MENEZES, Jorge Almeida de – jorgejamjam@gmail.com
Pós-Graduação (Mestrando) em Física Ambiental pela Universidade Federal

NOGUEIRA, José de Souza – nogueira@ufmt.br
Professor Doutor – Pós-Graduação em Física Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso

RESUMO: 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. Nesse sentido, este estudo objetivou analisar a variabilidade espaço-temporal da AOD 550 nm sobre o Pantanal brasileiro através de produtos de sensoriamento remoto. Os máximos da AOD 550 nm ocorrem na estação seca e os mínimos na estação chuvosa. Para a estação seca de 2010 a AOD 550 nm atingiu 3.6, sendo a média para toda a estação de 0.62 ± 0.77 . A alta variabilidade temporal para a AOD 550 nm na estação seca foi explicada em função dos registros de focos de queimada em todo o Brasil. A análise da distribuição espacial constatou que praticamente não há variações da AOD 550 nm na estação chuvosa. Entretanto, na estação seca os valores de AOD 550 nm são maiores sobre as regiões norte e centro-oeste do Pantanal brasileiro. Foi verificado que a variabilidade espacial da AOD 550 nm está diretamente relacionada a sua variabilidade temporal e as movimentações das massas de ar sobre o Pantanal brasileiro.

Palavras – chave: Focos de queimadas, variabilidade espaço-temporal, Giovanni NASA, HYSPLIT.

DEPTH OPTICAL VARIABILITY OF ATMOSPHERIC AEROSOLS ON THE BRAZILIAN PANTANAL

ABSTRACT: Study of the optical properties of atmospheric aerosols assist in the understanding of the direct and indirect effects of aerosol particles in the Earth-atmosphere system energy fluxes. In this sense, this work aimed to analyze the spatial and temporal variability of the AOD 550 nm on the Brazilian Pantanal using remote sensing products. The maximum AOD 550 nm occurred in the dry seasons and the minimum in the wet seasons. For the dry season 2010, AOD 550 nm reached 3.6 and the average for the whole period was 0.62 ± 0.77 . The high temporal variability for AOD 550 nm in the dry seasons has explained as result of outbreaks of fire records in Brazil. Analysis of the spatial distribution found that there were virtually no changes in AOD 550 nm for the wet seasons. However, in the dry seasons the AOD 550 nm values are higher on the north and Midwest of Brazil's Pantanal. It was found that the variability of the AOD 550 nm is directly related to its temporal variability and the movement of air masses on the Brazilian Pantanal.

Keywords: Outbreaks of fires, spatiotemporal variability, Giovanni NASA, HYSPLIT.

1. INTRODUÇÃO

Os aerossóis atmosféricos são partículas sólidas ou líquidas em suspensão na atmosfera. As propriedades óticas dos aerossóis atmosféricos, tais como espalhamento e absorção da radiação solar, perfil de distribuição de tamanho e sua

elevada variabilidade espaço-temporal modificam as propriedades térmicas, óticas e químicas da atmosfera (Artaxo et al., 2006). Os aerossóis podem influenciar o clima de duas formas: de forma direta, absorvendo e espalhando a radiação e de forma indireta, agindo como núcleos de condensação das nuvens (Artaxo et al., 2013).

No Brasil, as regiões norte e centro-oeste são influenciadas fortemente por aerossóis emitidos pela queima de biomassa na estação seca (Sena et al., 2013; Palácios et al., 2014). A mudança na forma de utilização do solo na região norte do estado de Mato Grosso (sul da floresta Amazônica), devido à grande ocupação antrópica, associada aos altos registros de queima de biomassa no fim da estação seca em boa parte do Brasil emitem grandes cargas de aerossóis atmosféricos que atingem toda a região central do Brasil, incluindo o Pantanal.

O Pantanal é uma das maiores planícies sedimentares do planeta, é caracterizado por ser uma planície intermitente e sazonalmente inundada. Esta região representa uma das maiores extensões úmidas de água doce do globo (Junk, 2005). O Pantanal está localizado entre as fronteiras do Brasil, Bolívia e Paraguai, sendo que boa parte do seu território está localizado no Brasil, distribuída entre os estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. As variações anuais do nível de água (pulsos de inundação) regulam os processos ecológicos que ocorrem nessa região.

No Brasil, a grande maioria dos estudos relacionados às propriedades óticas de aerossóis são realizados na bacia Amazônica, assim como no Cerrado, em regiões estratégicas conhecidas como 'arco do desmatamento' (Pacífico et al., 2015; Cirino et al., 2014; Rizzo et al., 2013; Artaxo et al., 2013; Sena et al., 2013). Entretanto, poucos estudos avaliam ou caracterizam os impactos do material particulado no bioma Pantanal.

Uma forma de se avaliar as propriedades físicas dos aerossóis atmosféricos é analisar a profundidade ótica dos aerossóis (AOD, *Aerosol Optical Depth*). A AOD representa a atenuação da radiação solar ao longo da coluna atmosférica em faixas específicas do comprimento de onda (Zhang et al., 2014). A sazonalidade das propriedades físicas dos aerossóis é bem representada pela AOD, os máximos atingidos nas regiões de Cerrado e mesmo na região sul da floresta Amazônica ocorrem no período crítico da estação seca, no mês de setembro (Sena et al., 2013; Palácios et al., 2014).

As propriedades óticas dos aerossóis são monitoradas globalmente pela NASA através do programa AERONET (*AEROSOL ROBOTIC NETWORK*) (Holben et al., 1998). Essa rede monitora as propriedades físicas dos aerossóis através de medidas em solo. Esse programa fornece um banco de dados de domínio público para a pesquisa e caracterização de aerossóis atmosféricos. Entretanto algumas regiões do globo, como exemplo o Pantanal, não possuem a cobertura da rede AERONET, de forma que outras metodologias sejam necessárias.

O Sensoriamento remoto fornece medidas recuperadas de aerossóis em grandes áreas de forma contínua (Alam et al., 2011). Entre os diversos sensores orbitais, o MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) tem sido amplamente utilizado em estudos de aerossóis atmosféricos. O sensor MODIS está a bordo dos satélites Terra e Aqua e foi lançado através do programa EOS (Earth Observing System), da NASA, para obter medidas remotas diárias de aerossóis sobre o continente e o oceano e também para melhor compreender as quantificações de aerossóis atmosféricos (Remer et al., 2005; Wang et al., 2010).

Nesse sentido esse trabalho objetivou analisar e quantificar a variabilidade espaço-temporal da AOD 550 nm sobre o Pantanal brasileiro através da aplicação dos produtos MODIS para aerossóis.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Esse trabalho foi desenvolvido sobre o bioma Pantanal brasileiro (Figura 1), do qual foram extraídos os produtos MOD08_D3.051 e MYD08_D3.051, produto de profundidade ótica de aerossóis para a faixa de 550 nm, do sensor MODIS a bordo dos satélites Terra e Aqua, respectivamente. Os produtos mencionados acima possuem uma resolução espacial de $1^{\circ} \times 1^{\circ}$, de forma que para essa análise, a área selecionada abordou um retângulo cujas coordenadas dos vértices são dadas por: $55^{\circ}00'$ a $58^{\circ}00'$ W e $16^{\circ}00'$ a $20^{\circ}00'$ S. O intervalo de tempo abordado nesse estudo foi de janeiro de 2010 a dezembro de 2014.

O sensor MODIS foi lançado em dezembro de 1999 a bordo do satélite Terra e posteriormente em maio de 2002 a bordo do satélite Aqua, esse sensor possui 36 bandas espectrais, que variam de 0.4 a $41.2 \mu\text{m}$. Possui 3 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 (Cheng et al., 2012). O algoritmo do MODIS para aerossóis sobre o continente é baseado na técnica de 'alvos escuros', essa técnica baseia-se na detecção de superfícies escuras (Kaufman et al., 1997).

A aplicação do algoritmo para aerossóis sobre o continente faz o uso de três relações empíricas (I) o efeito da radiação solar decresce com o comprimento de onda em uma lei de potências de primeiro e segundo grau; (II) o efeito radiativo líquido sobre superfícies escuras que o aerossol exerce, o espalhamento de radiação é predominantemente; e (III) a refletância de superfície apresenta graus de correlação ao longo da faixa espectral solar. Com base nos resultados empíricos citados, o método de detecção é realizado.

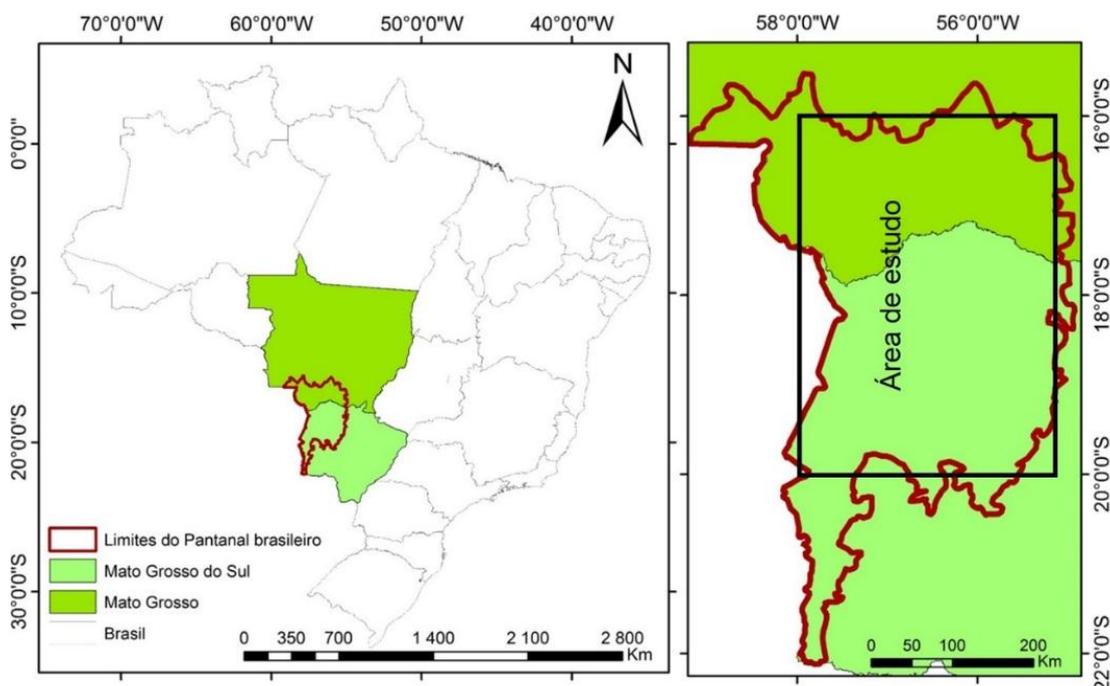


Figura 1. Localização da área de estudo, no detalhe o Pantanal brasileiro e a limitação da área de onde foram extraídos os produtos MODIS para aerossóis.

Nesse trabalho, os dados de AOD 550 nm da coleção C005 (versão 5.1) de nível 3 do MODIS, foram adquiridos através do aplicativo Giovani

(<http://disc.sci.gsfc.gov/giovanni/>). O aplicativo *Giovani* (versão 3) é uma ferramenta projetada para a visualização e análise de dados ambientais globais diários. Esse estudo também utilizou o modelo de trajetórias HYSPLIT (*Hybrid Single Particle Lagrangian Integrate Trajectory Model*), um modelo utilizado para o cálculo de trajetórias e simulações de dispersão e deposição de partícula atmosférica (Draxler e Rolph, 2003). O modelo pode ser executado de forma interativa através da web (<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>). A versão disponível via web possui algumas limitações para evitar a saturação computacional do sistema. No entanto, existe a opção do modelo na forma de código executável disponíveis para os sistemas MS Windows e MACOS.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A distribuição temporal da AOD 550 nm obtida através do sensor MODIS a bordo dos satélites Terra e Aqua (Figura 2a) evidencia a sazonalidade dos valores de profundidade ótica sobre o Pantanal brasileiro. Assim como na região sul da floresta Amazônica e em boa parte do Cerrado Mato-grossense, os máximos da AOD 550 nm ocorrem entre os meses de agosto, setembro e outubro de cada ano (Sena et al., 2013).

Observa-se (Figura 2a) que os valores de AOD 550 nm para o ano de 2010 foram os maiores registrados em todo o período analisado. Mao et al. (2014) afirma que neste ano todo o continente Sul Americano foi fortemente impactado pela queima de biomassa na estação seca, o que influenciou inclusive a média global da AOD.

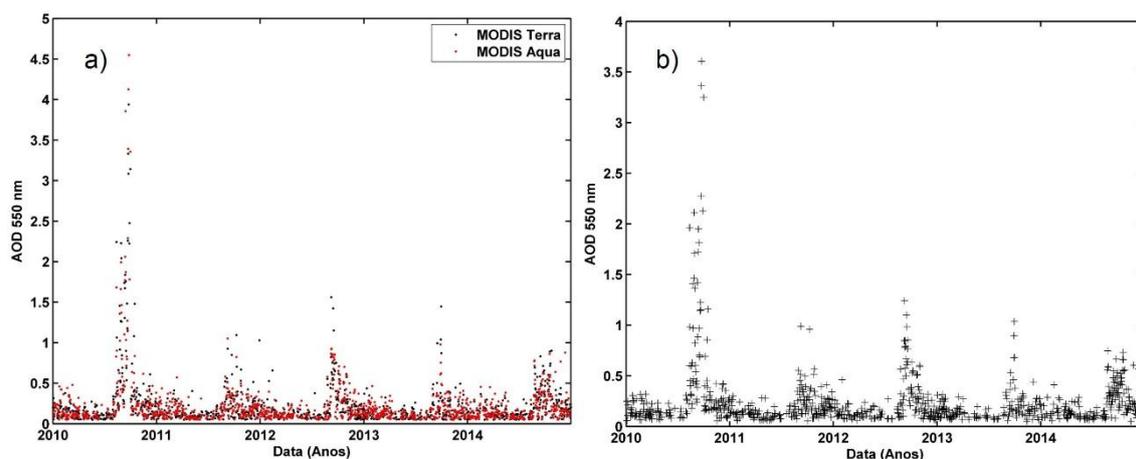


Figura 2. a) Distribuição temporal da AOD 550 nm obtidos pelo sensor MODIS (Terra e Aqua) sobre o Pantanal brasileiro, b) média entre as estimativas MODIS Terra e Aqua para a AOD 550 nm.

Com relação aos sensores abordo dos satélites Terra e Aqua, foi observado uma boa concordância entre suas medidas, haja vista que o intervalo de passagens entre os satélites é de aproximadamente 3 horas, o satélite Terra passa sobre a área de estudo as 10:30 horas aproximadamente enquanto o Aqua passa as 13:30 horas aproximadamente. A correlação encontrada entre as estimativas do MODIS Terra e Aqua foi de 0.94, onde a raiz quadrada do erro quadrático médio da regressão (RMSE) foi de 0.09. Para avaliar as variações da AOD 550 nm de forma geral foi realizada uma média entre os valores do MODIS Terra e do MODIS Aqua, a distribuição temporal dessa média é representada na Figura 2b.

A distribuição temporal para a AOD 550 nm sobre o Pantanal brasileiro (Figura 2b) representa as variações sazonais desta variável. A sazonalidade observada é similar as variações encontradas em outras localidades do Brasil, como

na região sul da floresta Amazônica (Sena et al., 2013) e em fragmentos de Cerrado e Pantanal (Palácios et al., 2015).

Os trabalhos de Hoelzemann et al. (2009) e Artaxo et al. (2013) afirmam que todo o continente Sul Americano é fortemente influenciado pela queima de biomassa na estação seca, desta forma a sazonalidade dos registros de queima sobre o Brasil impulsiona a sazonalidade dos valores de AOD 550 nm sobre o Pantanal Brasileiro. As relações estatísticas para a distribuição temporal da AOD 550 nm são apresentadas na Tabela 1.

O tratamento estatístico dos dados foi aplicado considerando os meses de agosto, setembro e outubro com estação seca e fevereiro, março e abril, como estação chuvosa. Esta definição foi baseada nos valores críticos de AOD para a estação seca. Embora o ano de 2010 tenha atingido máximo de 3.60 observa-se que a média para o período considerado como seca em 2010 foi de 0.62 ± 0.77 . A grande redução dos valores médios quando comparados aos máximos atingidos são justificados pela alta variabilidade da AOD 550 nm. O fator preponderante nas variações da AOD é o surgimento dos registros de queima de biomassa, que geralmente se elevam no mês de setembro de cada ano. Os altos valores de desvio padrão confirmam a grande variabilidade temporal em praticamente todos os anos na estação seca.

Tabela 1. Estatística descritiva da AOD 550 nm, Média, desvio padrão, máximos e mínimos para as estações seca e chuvosa de cada ano.

	Média \pm DP (AOD 550 nm)		Estação Seca		Estação Chuvosa	
	Estação Seca	Estação Chuvosa	Max	Min	Max	Min
2010	0.62 ± 0.77	0.07 ± 0.08	3.60	0.00	0.32	0.00
2011	0.18 ± 0.19	0.13 ± 0.05	0.98	0.00	0.28	0.05
2012	0.41 ± 0.27	0.04 ± 0.07	1.24	0.08	0.46	0.00
2013	0.12 ± 0.19	0.05 ± 0.07	1.03	0.00	0.29	0.00
2014	0.33 ± 0.17	0.15 ± 0.06	0.74	0.07	0.41	0.06

A relação entre as médias das estações seca e chuvosa de cada ano com os registros de queima de biomassa no Brasil é representada na Figura 3.

Os baixos registros de queimadas na estação chuvosa de cada ano (Figura 3) evidenciam os menores desvios da AOD 550 nm, assim como os valores mínimos de todo o período estudado. Entretanto observa-se que no ano de 2010 os registros ultrapassaram 150000, o que resultou em uma grande variabilidade da AOD 550 nm, com os valores máximos sobre o Pantanal Brasileiro. No ano de 2011 houve uma gradativa redução da AOD 550 nm mas voltou a se elevar em 2012, fato justificado, mais uma vez através dos eventos de queimadas sobre o Brasil. A média da AOD 550 nm para a estação seca de 2013 foi menor que em 2012, entretanto para 2014 os registros voltaram a se elevar. De forma geral, a variabilidade temporal da AOD 550 nm sobre o Pantanal brasileiro está diretamente relacionada aos registros de queimadas que ocorrem por todo o Brasil.

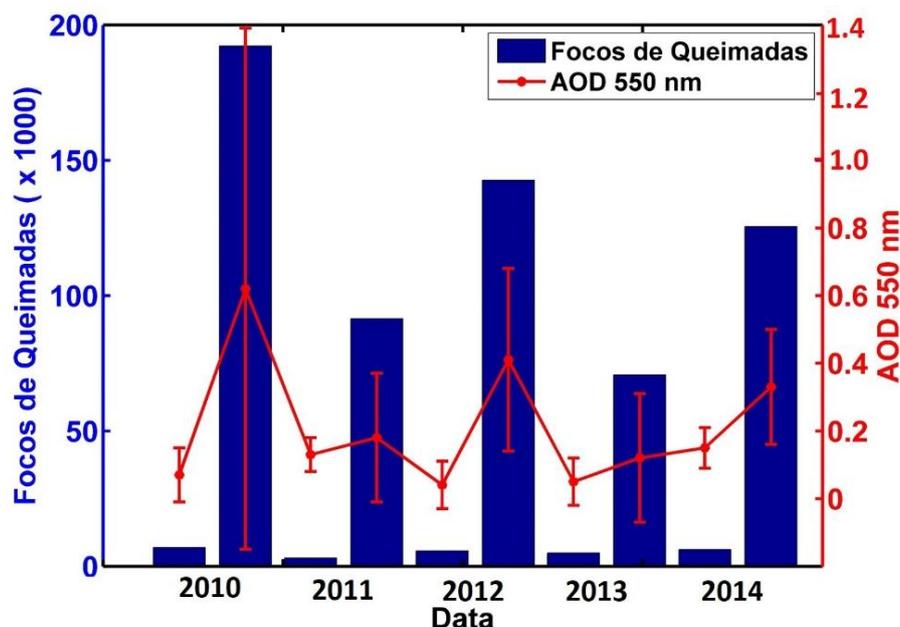


Figura 3. Relação entre a somatória dos registros de queima de biomassa para todo o Brasil nas estações chuvosa e seca com as médias da AOD 550 nm para as respectivas estações de cada ano. Registro de queimadas (INPE, 2015).

A distribuição espacial da AOD 550 nm sobre o Pantanal Brasileiro para a estação chuvosa (Figura 4) evidencia que praticamente não existe variabilidade espacial.

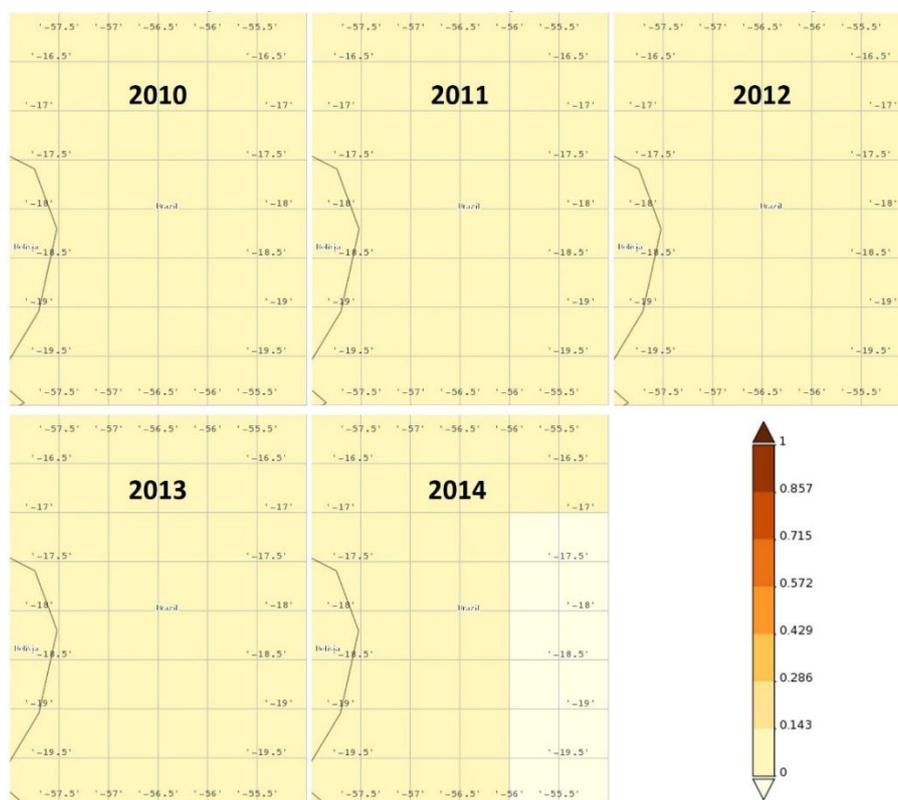


Figura 4. Distribuição espacial da AOD 550 nm sobre o Pantanal brasileiro na estação chuvosa.

A área analisada (3 pixels de largura por 6 pixels de comprimento) na estação chuvosa, apresentou uma média de AOD 550 nm abaixo de 0.2 para praticamente todos os anos, com uma pequena variação para o ano de 2014, onde

a região sudeste da área de estudo obteve valores ainda menores que as demais regiões.

Na estação seca (Figura 5) foi observado que as variabilidades espaciais ocorrem com maior intensidade em alguns anos. Além dos maiores registros de AOD 550 nm, o ano de 2010 também apresentou uma maior variabilidade espacial, a região norte e noroeste da área de estudo foi mais impactada que as demais regiões. A região sudeste foi a menos impactada.

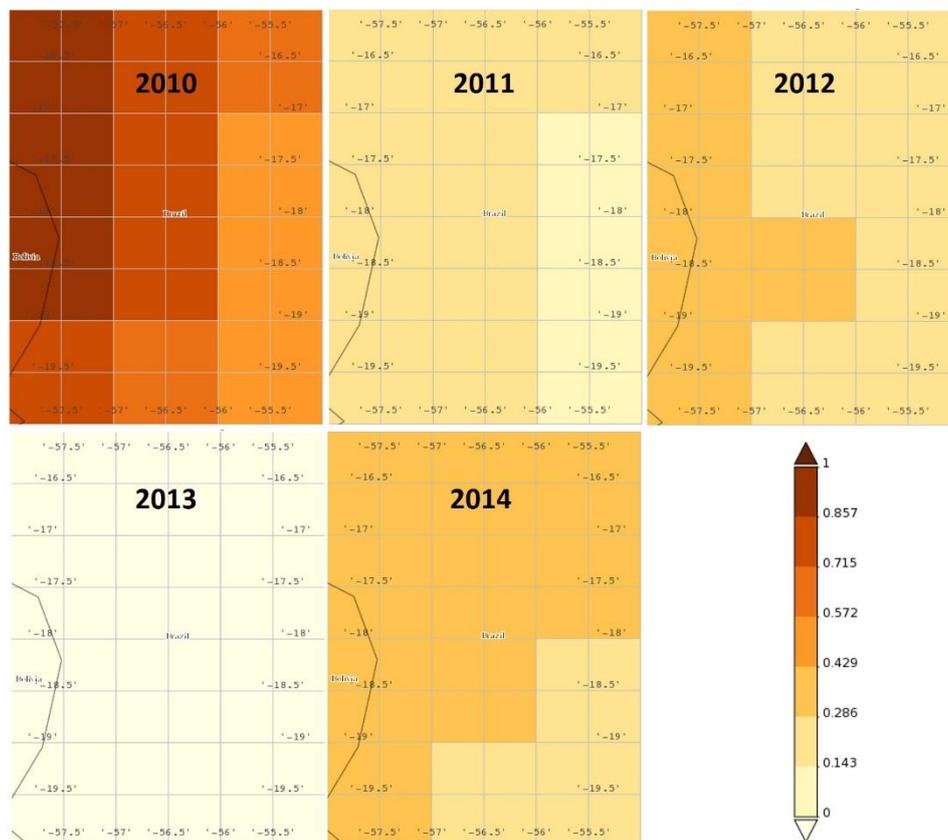


Figura 5. Distribuição espacial da AOD 550 nm sobre o Pantanal brasileiro na estação seca.

Para o ano 2011 foi observada uma pequena variabilidade espacial, com valores de AOD 550 nm menores também sobre a região sudeste. Já para 2013 praticamente não ocorreu variações espaciais da AOD 550 nm sobre o Pantanal brasileiro.

Observa-se, de modo geral, que as variações espaciais da AOD 550 nm estão diretamente relacionadas as variações temporais. Para os anos de maior variabilidade temporal também houve maior variabilidade espacial na área de estudo. Este resultado evidencia que os registros de queimadas ocorridos em todo o Brasil influenciam o Pantanal brasileiro de formas diferentes ao longo de sua extensão territorial. Para avaliar as possíveis contribuições de queimadas de outras localidades, a Figura 4 representa as trajetórias calculadas pelo modelo HYSPLIT, sobre o Pantanal do Brasil.

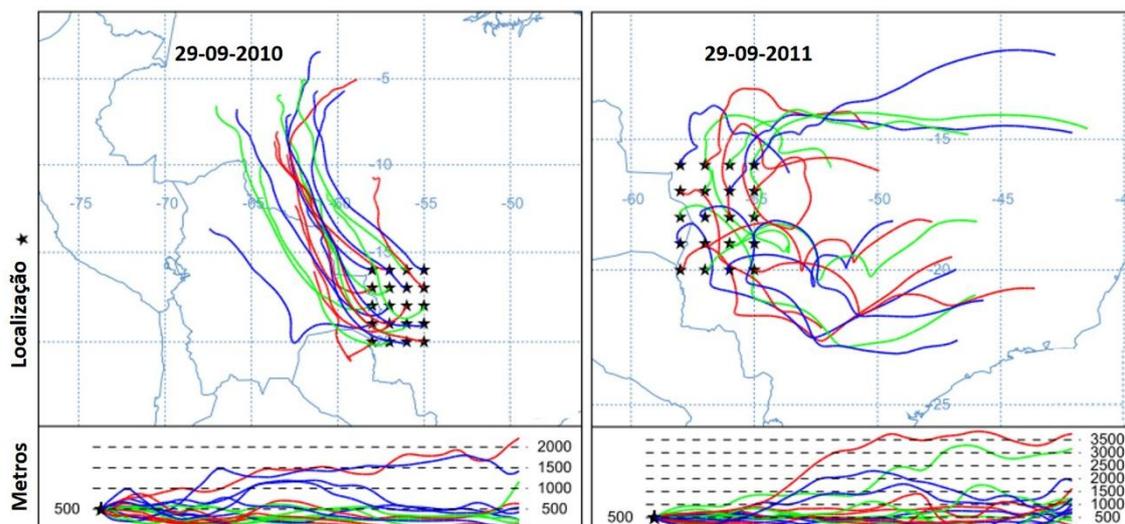


Figura 6. Matriz de trajetórias calculadas pelo NOA HYSPLIT MODEL, Backward trajectories, para o Pantanal brasileiro para o dia 29 de setembro dos anos 2010 e 2011, integração para o cálculo de cada trajetória foi de 72 horas.

Para o ano de 2010 (Figura 6) observa-se que a movimentação atmosférica para o fim do mês de setembro contribuiu fortemente para o aumento da AOD 550 nm norte e centro-oeste da área de estudo. Os altos registros de focos de queimada sobre a região sul da floresta Amazônica impactaram diretamente a distribuição espacial da AOD 550 nm sobre o Pantanal brasileiro, explicando desta forma os maiores registros de profundidade ótica sobre a área de estudo (Figura 5). Para 2011, a baixa variabilidade espacial na estação seca se deve ao fato de que as movimentações atmosféricas predominantes foram oriundas da região leste da área de estudo cujos registros de focos de queimadas são muito menores quando comparados a região norte.

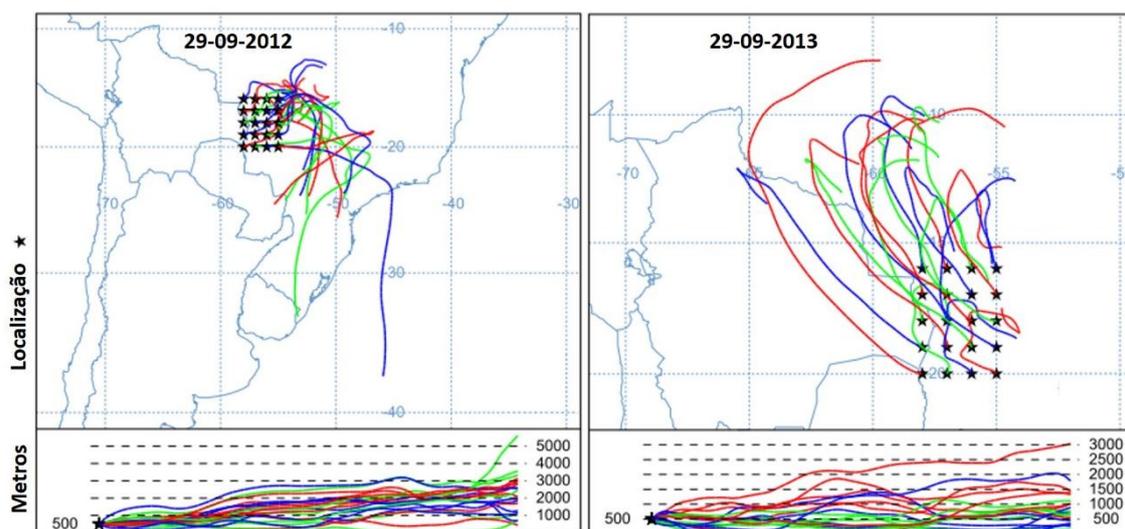


Figura 7. Matriz de trajetórias calculadas pelo NOA HYSPLIT MODEL, Backward trajectories, para o Pantanal brasileiro para o dia 29 de setembro dos anos 2012 e 2013, integração para o cálculo de cada trajetória foi de 72 horas.

Para o ano de 2012 (Figura 7) foi observado que a predominância das massas de ar foi oriunda das regiões nordeste e sudeste da área de estudo e para 2013 das regiões norte e noroeste. Embora o ano de 2013 tenha sido influenciado por massas de ar vindas do norte da área de estudo, a contribuição para o aumento

da AOD 550 nm foi mínimo pois esse ano registrou baixos focos de queimadas quando comparado aos demais anos em todo o Brasil (Figura 3).

A movimentação atmosférica para a estação seca de 2014 (Figura 8) evidencia a contribuição da região nordeste da área de estudo sobre o norte do Pantanal brasileiro.

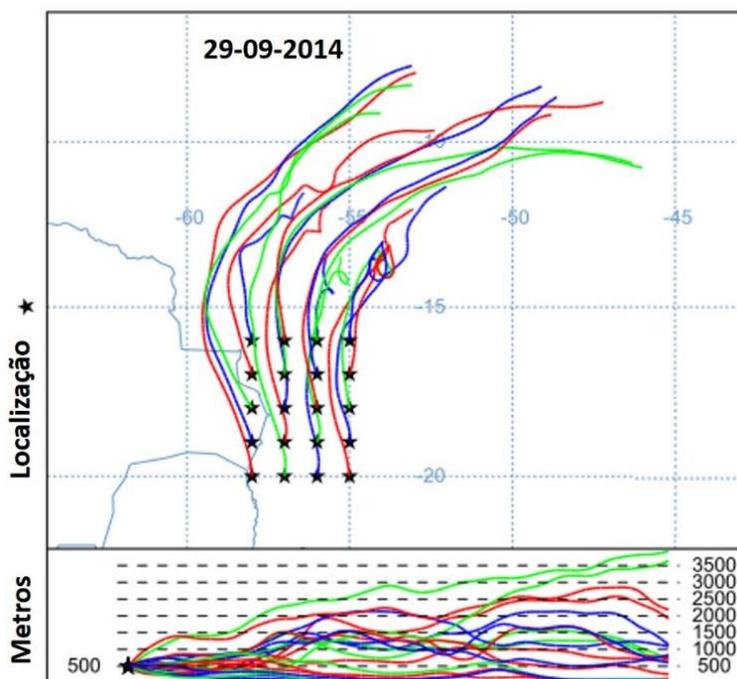


Figura 8. Matriz de trajetórias calculadas pelo NOA HYSPLIT MODEL, Backward trajectories, para o Pantanal brasileiro para o dia 29 de setembro de 2014, integração para o cálculo de cada trajetória foi de 72 horas.

Foi constatado que as principais influências das massas de ar sobre o Pantanal na estação seca são provenientes das regiões norte e nordeste da área de estudo. Os altos registros de queimadas na região conhecida como "Arco do desmatamento" (Sena et al., 2013) impactam diretamente a área de estudo. Os valores máximos de AOD 550 nm obtidos em regiões de Cerrado (Sena et al., 2013; Palácios et al., 2015) e mesmo de regiões de floresta Amazônica (Artaxo et al., 2013; Sena et al., 2013) se assemelham aos valores encontrados nesse estudo para o Pantanal brasileiro.

4. CONCLUSÃO

Este estudo analisou a variabilidade espaço-temporal da AOD 550 nm sobre o Pantanal brasileiro através de produtos de sensoriamento remoto. Foi constatado que a variabilidade temporal da AOD 550 nm na área de estudo é sazonal, no qual os máximos ocorrem na estação seca e os mínimos na estação chuvosa. Para a estação seca de 2010 a AOD 550 nm atingiu 3.6, sendo a média para toda a estação de 0.62 ± 0.77 . A alta variabilidade temporal para a AOD 550 nm na estação seca foi explicada em função dos registros de focos de queimada em todo o Brasil, para a estação seca de 2010 os registros ultrapassaram 150000.

A análise da distribuição espacial constatou que praticamente não há variações da AOD 550 nm na estação chuvosa. Entretanto, na estação seca os valores de AOD 550 nm são maiores sobre as regiões norte e centro-oeste do Pantanal brasileiro. Foi verificado que a variabilidade da AOD 550 nm está diretamente relacionada a sua variabilidade temporal e as movimentações das

massas de ar sobre o Pantanal. As movimentações oriundas do norte e nordeste da área de estudo associadas aos intensos registros de queimadas nessas regiões influenciam fortemente os valores da AOD 550 nm sobre o Pantanal do Brasil.

5. 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.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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; 2011.

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.

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.

DRAXLER, R.R. and ROLPH, G.D. HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) **Model access via NOAA ARL READY Website** (<http://www.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>). NOAA Air Resources Laboratory; Silver Spring; MD, 2003.

HOELZEMANN, J.J.; LONGO, K.M.; FONSECA, R.M.; ROSÁRIO, N.M.E.; ELBERN, H.; FREITAS, S.R. AND PIRES, C. Regional representativity of AERONET observation sites during the biomass burning season in South America determined by correlation studies with MODIS Aerosol Optical Depth. **Journal of Geophysical Research**, v. 114, p. D13301, 2009. doi:10.1029/2008JD010369.

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.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios**. Disponível em <http://www.inpe.br/queimadas>. Acesso em: 29/03/2015. 2015.

JUNK, W.J. Pantanal: a large South American wetland at a crossroads. **Ecological engineering**, v. 24, p. 391-401, 2005.

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.

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.

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.; NOGUEIRA, J.S. Caracterização sazonal e interanual da profundidade ótica de aerossóis em região de transição Pantanal-Cerrado no estado de Mato Grosso, Brasil. **HOLOS Environment**, v. 15, n. 1, p. 92-99, 2015.

PALÁCIOS, R.S.; SALLO, F.S.; PRADO, M.J.; MUSIS, C.R.; NOGUEIRA, J.S. Análise da profundidade ótica de aerossóis e coeficiente de Angstrom no cerrado Mato-grossense. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 14, p. 173-185, 2014.

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.

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.

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.

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.

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.

Texto submetido à RBClimate em 10/12/2015