

## Impacto das queimadas na variabilidade do metano atmosférico sobre a América do Sul: 10 anos de observações espaciais do sensor AIRS

Igor Oliveira Ribeiro 1,2  
Rodrigo Augusto Ferreira de Souza 2  
Rita Valéria Andreoli 2  
Mary Toshie Kayano 3  
Patrícia Costa Guimarães 1,2

1 Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA (PPG-CLIAMB)  
Caixa Postal 2223 – 69080-971 - Manaus - AM, Brasil  
igorgeoinformacao@gmail.com, guimaraespc.uea@gmail.com

2 Universidade do Estado do Amazonas – UEA (PPG-CLIAMB)  
69050-010 - Manaus - AM, Brasil  
souzaraf@gmail.com, andreolirv@gmail.com

3 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Divisão de Modelagem e Desenvolvimento.  
12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
mary.kayano@inpe.br

**Abstract.** The spatiotemporal variability of the greenhouse gas methane (CH<sub>4</sub>) in the atmosphere over the South America is studied using data from the space-borne measurements of the Atmospheric Infrared Sounder on board NASA's AQUA satellite for the period 2003–12. The results show a pronounced variability of this gas over the Central region of the South America, where biomass burning occur with more frequently. CH<sub>4</sub> and CO show positive correlation. Concerning this variability, the present study indicates the important role of ENSO in modulating the variability of CH<sub>4</sub> emissions over the southeastern Amazon, where this association seems to be mostly linked to changes in precipitation in response to ENSO, which provide long periods of drought, increasing the probability of occurrence of fires, which explains the increase in CH<sub>4</sub> emissions in this region. This result might be useful for future monitoring of the variations in the concentration of CH<sub>4</sub>, the second-most important greenhouse gas, in this area.

**Palavras-chave:** monóxido de carbono, ENOS, variabilidade climática.

### 1. Introdução

Considerado um dos principais gases de efeito estufa, depois do vapor d'água e do dióxido de carbono, o metano tem um papel importante nas mudanças climáticas e na poluição atmosférica uma vez que atua na química da atmosfera junto com o monóxido de carbono (CO) no ciclo de produção do ozônio em áreas de queimadas, como sumidouro do radical hidroxila (OH), sendo responsável por 18% da forçante radiativa antropogênica e é aproximadamente 25 vezes mais efetivo do que o dióxido de carbono na absorção da radiação de onda longa (Xiong et al., 2010; IPCC, 2013; Cressot et al., 2014; Tate, 2015). De acordo com a Organização Meteorológica Mundial – WMO (2015), apesar da grande variabilidade, na última década houve um aumento da concentração de metano na atmosfera. Em 2014, esta concentração era de aproximadamente 1833 partes por bilhão de volume (ppbv), superior à concentração média em 2007 de 1786 ppb e 254% maior em relação ao período pré-industrial no ano 1750 (estimada em ~722ppb).

Estas alterações da concentração podem estar relacionadas tanto com o aumento das emissões de origem antropogênica (por exemplo, queima de combustíveis fósseis) quanto com

as de origem natural (por exemplo, áreas alagadas). Segundo Fearnside (2002) e Simpson et al. (2006), a queima de biomassa, principalmente nos trópicos é uma importante fonte de CO e metano. Recentes estudos, defendem que a queima de biomassa e as áreas alagadas são fatores dominantes no controle da variabilidade interanual das emissões de CH<sub>4</sub>. Durante eventos de El Niño (La Niña) há uma diminuição (aumento) das emissões pelas áreas alagadas e uma maior (menor) emissão por queima de biomassa, uma vez que estes alteram a pluviosidade em determinadas regiões tropicais, ocasionando períodos prolongados de seca que proporciona uma maior (menor) probabilidade de aumento de incêndios ou influenciando na cobertura e período de inundações de algumas áreas, potencialmente contrabalanceando as emissões por esses fatores (Kirschke et al., 2013; Worden et al., 2013; Ribeiro et al. 2016; Santos et al., 2016).

Dentre as diversas formas de monitoramento das emissões deste gás, como por exemplo as medidas por estações em superfície e as medidas por aeronaves (sítios da *National Oceanic and Atmospheric Administration, Earth System Research Laboratory, Global Monitoring Division, World Meteorological Organization*), ambas com baixa cobertura espacial e temporal, destaca-se a recuperação dos dados de metano por plataformas orbitais, uma vez que este é um dos poucos gases que apresentam assinatura espectral. O sensor AIRS, a bordo da plataforma AQUA/NASA lançada em 2002, que possui cobertura global diária, foi o primeiro sondador com alta resolução espectral, possuindo 2378 canais espectrais, o que proporciona uma oportunidade única para avaliar a concentração de metano na atmosfera, melhorando a caracterização da sua variabilidade espacial e temporal. Diferentes estudos têm sido realizados para avaliar a variabilidade e o aumento da concentração de CH<sub>4</sub> sobre diferentes regiões, os quais têm sido validados com medidas em superfície e por aeronave e apresentaram um viés entre -1,4% e 0,1% e um RMSE em torno de 0,5% e 1,6% (Xiong et al., 2010, Zhang et al., 2011, Rajab et al., 2012, Ribeiro et al., 2016).

Portanto, o presente estudo analisa a variabilidade espacial e temporal do metano com relação a queima de biomassa através da relação com o CO sobre a América do Sul no período de 2003 a 2012, utilizando dados do satélite AQUA/NASA.

## 2. Dados e Metodologia

O sensor AIRS faz parte do segundo Sistema de Observação da Terra (EOS) de órbita polar, a bordo do satélite AQUA lançado em 4 de maio de 2002 e com previsão de operar até 2020. Com cobertura espectral entre 3,7 e 15,4  $\mu\text{m}$ , em 2378 canais, o sensor AIRS é um instrumento nadir *cross-track scanning* com resolução espacial de 13,5 km (FOV) na superfície, ângulo de escaneamento de  $\pm 48.95^\circ$ , orbitando a 705 km de altitude. Estudos têm mostrado que o metano possui uma forte banda de absorção no infravermelho do espectro eletromagnético em torno de 7.66 micrômetro, região em que há uma baixa interferência do dióxido de carbono e do vapor de água, onde o sensor AIRS utiliza 71 canais de medidas (Aumann et al., 2003). Os dados de AIRS para estudos são gerados continuamente e podem ser encontrados em NASA *Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center* (DISC).

Para as análises deste estudo, foram utilizados o produto L3 AIRX3ST8 do sensor AIRS, versão 5, com resolução espacial de  $1^\circ \times 1^\circ$ , para o período de 2003 a 2012, no nível de 400 hPa, com média de oito dias da taxa de mistura de CH<sub>4</sub> e de conteúdo integrado de CO. Os dados de focos de queimadas são gerados continuamente e podem ser encontrados em INPE Monitoramento de Queimadas (<http://www.inpe.br/queimadas>) que utiliza como satélites de referência o NOAA-12 (1999 a 2007) e o AQUA\_M-T, este último sendo o atualmente utilizado.

Para a avaliação da variabilidade do metano e do CO sobre a Amazônia brasileira, considerando as médias para o período de 2003 a 2012, foram obtidas as séries temporais de anomalias para cada ponto de grade eliminando a tendência linear. Para investigar a relação entre CH<sub>4</sub> e queima de biomassa, primeiro avaliou-se a relação entre as concentrações de CO na atmosfera e o número de focos de queimadas através da análise temporal de anomalias. Após, avaliou-se a relação entre CH<sub>4</sub> e CO através do diagrama de dispersão e correlação linear de Pearson, para os meses de setembro e fevereiro de cada ano em estudo. A partir das séries temporais de anomalias destes gases, realizou-se a análise de funções ortogonais empíricas (EOF) para obter o modo dominante de variabilidade de cada gás, baseada na matriz de correlação. Com base nos dados de focos de queimadas realizou-se a análise de densidade de pontos que utiliza métodos de interpolação em relação a distância de cada evento a fim de identificar a intensidade pontual do número de focos de queimadas na região no período estudado.

Para a avaliação da qualidade e validação das estimativas de CH<sub>4</sub> na baixa troposfera, utilizou-se o produto L2 AIRX2SUP do sensor AIRS que contém dados diários em grânulo de 45x30 km, para 100 níveis de pressão atmosférica que variam entre 1100 e 0,016 mb, onde é recuperado o volume de proporção de mistura, para uma camada definida por uma função de recuperação trapezoidal. O estudo de validação das estimativas examinou o perfil vertical de CH<sub>4</sub> na região central do Brasil, Alta Floresta-MT, durante parte do período de queimadas do ano 2007, a partir de medidas feitas durante uma campanha com o avião Bandeirante do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais voando na baixa troposfera (até 4,5km) no mesmo horário da passagem do satélite AQUA. As amostras foram coletadas com uma bomba de diafragma e os cilindros carregados a duas atmosferas (2 atm.) em cilindros de aço especial de 800 ml, com eletro-polimento interno, os quais foram submetidos a uma limpeza a vácuo (a 100°C) antes do experimento de campo. Posteriormente, as amostras foram analisadas através da cromatografia gasosa, utilizando o “RG3 da Trace Analytical”, específico para análise de metano com precisão relativa melhor ou igual a 0,5%. Por fim, foram realizados os cálculos do erro entre as estimativas da sondagem remota e as medidas por aeronave.

### 3. Resultados e Discussão

A análise temporal da relação entre as anomalias de CO na atmosfera e o número de focos de queimadas, mostra que em anos com maior quantidade de queimadas houve um aumento da concentração de CO (por exemplo, anos de 2007 e 2010). Ambas as séries apresentam relação de efeito e causa (resultados não mostrados). A partir da análise de dispersão entre CO e CH<sub>4</sub>, uma reta de tendência indica uma correlação linear positiva de moderada a forte para os meses de setembro (mês com o maior número de queimadas) dos anos estudados, com valores de coeficiente de correlação de Pearson (R) superiores a 0,70 ou seja, as duas variáveis tendem a aumentar ou diminuir simultaneamente (resultados não mostrados). Esses resultados estão de acordo com aquele demonstrado por Worden et al. (2013), que utilizaram dados do satélite *Aura Tropospheric Emission Sounder* (TES) e observaram um aumento da concentração de metano na atmosfera no ano de 2006, devido a um aumento das queimadas na região da Indonésia, onde para o mês de outubro encontrou um coeficiente de correlação entre CH<sub>4</sub> e CO de 0,42 e de 0,46 no mês de outubro sobre a América do Sul.

Com base na análise de densidade de pontos de focos de queimadas ocorridos de 2003 a 2012, observou-se uma maior frequência de ocorrência de focos na região central da América do Sul, relacionado à expansão agrícola e aumento do desmatamento (resultados não mostrados). As análises de EOF mostram os modos de variabilidade dominante da concentração de CO e CH<sub>4</sub> sobre a América do Sul tendo as maiores anomalias na região com maior

frequência de ocorrência de queimadas (Figura 1). A primeira componente principal de CO explica cerca de 75% e a de CH<sub>4</sub> 32% da variância total na América do Sul. As variabilidades de CO e CH<sub>4</sub> mostram uma concordância com a frequência de focos de queimadas nesta região, ou seja, está relacionada à queima de biomassa, principalmente no período seco (agosto, setembro e outubro). Estes resultados são semelhantes aos encontrados por Ribeiro et al. (2016) e Santos et al. (2016) em estudos realizados na Amazônia e América do Sul, respectivamente, em que mostram que a variabilidade destes gases é influenciada por fatores climáticos (precipitação). Estes resultados sinalizam que durante eventos de El Niño há uma diminuição das emissões pelas áreas alagadas e uma maior emissão por queima de biomassa, que provocam períodos prolongados de seca que proporciona uma maior probabilidade de aumento de incêndios (Hodson et al. 2011).

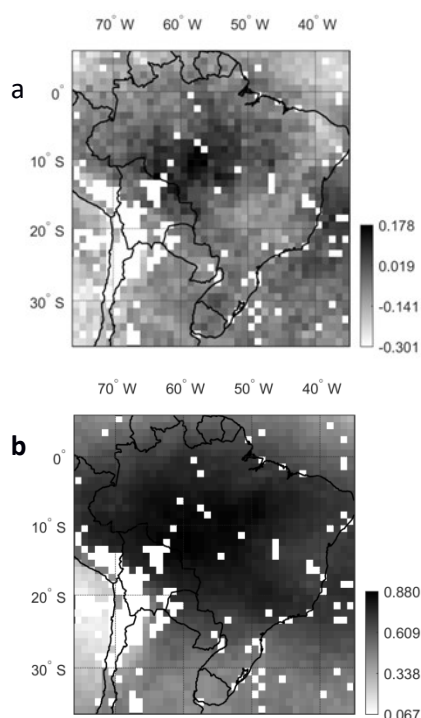


Figura 1 – Primeiro modo de variabilidade em 400-hPa de anomalias mensais de CH<sub>4</sub>(a) e de CO(b). As áreas em branco não possuem dados.

#### 4. Conclusão

Com base nos resultados apresentados, a variabilidade de CH<sub>4</sub> sobre a América do Sul notada no período de 2003 a 2012 pode ser conduzida pela emissão deste gás pela queima de biomassa nos períodos de secas, podendo compensar a diminuição das emissões pelas áreas alagadas nestes períodos, sugerindo que eventos de El Niño podem ter um importante efeito nesta variabilidade. As estimativas do sensor AIRS permitem uma análise detalhada da variabilidade espaço-temporal de CH<sub>4</sub> e CO sobre a região.

Os resultados com relação à validação das estimativas do sensor AIRS para a concentração de CH<sub>4</sub> não foram mostrados, mas em termos médios, as estimativas sobre a região são similares às medidas obtidas na campanha de avião na baixa troposfera, tendo uma diferença dos produtos das versões 5 e 6 das sondagens remotas abaixo de 5%. Ao comparar a qualidade dos produtos das versões 5 e 6 do sensor AIRS/AQUA esperava-se que a versão 6 apresentasse menor erro, principalmente para altos níveis. Em relação ao erro médio, os resultados concordam com o encontrado por Xiong et al. (2008), que observaram um erro médio entre 0,5 e 1,6% entre as estimativas do sensor AIRS e as medidas das campanhas com aviões em diferentes partes do mundo.

## Agradecimentos

Este trabalho apresenta parte dos resultados da dissertação de mestrado do primeiro autor, realizado no Programa de Pós-Graduação em Clima e Ambiente (CLIAMB, INPA/UEA), com o suporte financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Os autores agradecem a Financiadora de Estudos e Projetos do Brasil (FINEP/REMCLAM e SELVA) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM)(PROESTADO e GOAMAZON) pelo suporte. O primeiro e terceiro autores são parcialmente apoiados pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

## Referências Bibliográficas

Aumann, H.H.; Chahine, M.T.; Gautier, C.; Goldberg, M.D.; Kalnay, E.; McMillin, L.M.; Revercomb, H.; Rosenkranz, P.W.; Fellow, IEEE; Smith, W.L.; Staelin, D.H.; Fellow, IEEE; Strow, L.L. e Susskind, J. AIRS/AMSU/HSB on the AQUA Mission: Design, Science Objectives, Data Products, and Processing Systems. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 41, n. 2, p. 253 – 264, 2003.

Cressot, C.; Chevallier, F.; Bousquet, P.; Crevoisier, C.; Dlugokencky, E. J.; Fortems-Cheiney, A.; Frankenberg, C.; Parker, R.; Pison, I.; Scheepmaker, R.A.; Montzka, S.A.; Krummel, P.B.; Steele, L.P.; Langenfelds, R.L. On the consistency between global and regional methane emissions inferred from SCIAMACHY, TANSO-FTS, IASI and surface measurements. **Atmospheric Chemistry and Physics**, 14: 577-592, doi: 10.5194/acp-14-577-2014. 2014.

Fearnside, P. Fogo e emissão de gases de efeito estufa dos ecossistemas florestais da Amazônia brasileira. **SciELO Estudos Avançados [online]**, 16(44):99-123, doi: 10.1590/S0103-40142002000100007. 2002.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Summary for Policymakers**. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F.; Qin, D.; Plattner, G. K.; Tignor, M.; Allen, S. K.; Boschung, J.; Nauels, A.; Xia, Y.; Bex, V.; Midgley, P.M. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Disponível em: < <http://www.climatechange2013.org/> >. Acesso em: 05 maio 2016. 2013.

Kirschke, S.; Bousquet, P.; Ciais, P.; Saunoy, M.; Canadell, J. G.; Dlugokencky, E. J. et al. Three decades of global methane sources and sinks. **Nature Geoscience**, 4: 813-823, doi: 10.1038/ngeo1955. 2013.

Rajab, J. M.; MatJafri, M. Z.; Lim, H. S. Methane interannual distribution over peninsular Malaysia from atmospheric infrared sounder data: 2003–2009. **Aerosol and Air Quality Research**, 12, 1459–1466, doi: 10.4209/aaqr.2012. 02.0039. 2012.

Ribeiro, I. O.; de Souza, R. A. F.; Andreoli, R. V.; Kayano, M. T.; Costa, P.S. Spatiotemporal variability of methane over the Amazon from satellite observations. **Advances in Atmospheric Sciences**, 33(7), 852-864. 2016.

Santos, Y.; Souza, R.A.F.; Souza, J.; Andreoli, R.V.; Kayano, M.T.; Ribeiro, I.O; Costa, P.G. Variabilidade espaço-temporal do monóxido de carbono sobre a América do Sul a partir de dados de satélite de 2003 a 2012. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 32(1), no prelo.

Simpson, I.J.; Rowland, F.S.; Meinardi, S.; Blake, D.R. Influence of biomass burning during recent fluctuations in the slowgrowth of global tropospheric methane. **Geophysical Research Letters**, 33(L22808): 1-5, doi:10.1029/2006GL027330. 2006.

Tate, K. R. Soil methane oxidation and land-use change from process to mitigation. **Soil Biology and Biochemistry**, 80, 260–272, doi: 10.1016/j.soilbio.2014.10.010. 2015.



WMO, 2015: **Greenhouse gas bulletin: The state of Greenhouse gases in the atmosphere using global observations through 2014 World Meteorological Organization**. Disponível em: <[http://library.wmo.int/pmb\\_ged/ghg-bulletin\\_11\\_en.pdf](http://library.wmo.int/pmb_ged/ghg-bulletin_11_en.pdf)>. Acessado em: 07 mai. 2016.

Worden, J.; Wecht, K.; Frankenberg, C.; Alvarado, M.; Bowman, K.; Kort, E.; Kulawik, S.; Lee, M.; Payne, V.; Worden, H. CH<sub>4</sub> and CO distributions over tropical fires during October 2006 as observed by the Aura TES satellite instrument and modeled by GEOS-Chem. **Atmospheric Chemistry and Physics**, 13: 3679-3692, doi: 10.5194/acp-13-3679-2013. 2013.

Xiong, X.; Barnett, C.; Maddy, E.; Sweeney, C.; Liu, X.; Zhou, L.; Goldberg, M. Characterization and validation of methane products from the Atmospheric Infrared Sounder (AIRS). **Journal of Geophysical Research**, 113(G00A01), doi: 10.1029/2007JG000500. 2008.

Xiong, X.; Barnett, C.D.; Zhuang, Q.; Machida, T.; Sweeney, C.; Patra, P.K. Mid-upper tropospheric methane in the high Northern Hemisphere: Space borne observations by AIRS, aircraft measurements, and model simulations. **Journal of Geophysical Research**, v. 115, D19309, p. 1-15. 2010.

Zhang, X. Y.; Bai, W. G.; Zhang, P.; Wang, W. H. Spatiotemporal variations in mid-upper tropospheric methane over China from satellite observations. **Chinese Science Bulletin**, 56, 3321-3327, doi: 10.1007/s11434-011-4666-x. 2011.