

Variabilidade temporal do metano sobre a Amazônia observada pelo satélite AQUA

Igor Oliveira Ribeiro^{1,2}
Rodrigo Augusto Ferreira de Souza²
Rita Valéria Andreoli de Souza²
Yara Luiza Farias dos Santos^{1,2}
Patricia dos Santos Costa^{1,2}
Juarez Viégas^{1,2}

¹Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA
Caixa Postal 2223 - 69080-971 - Manaus - AM, Brasil
igor.ribeiro@mda.gov.br; yara.santos@inpa.gov.br; guimaraespc.uea@gmail.com;
jvs.mtr.eng@gmail.com

²Universidade do Estado do Amazonas – UEA/EST
CEP 69050-010 - Manaus - AM, Brasil
souzaraf@gmail.com; andreolirv@gmail.com

Abstract. In general the overall measurements of the concentration of atmospheric methane, a greenhouse gas of long life, has shown large interannual variability and its origin is only partially understood. However, this is one of the few important trace gases in the atmosphere that has a spectral signature to be observed by a space platform, which allows a better monitoring of their spatial and temporal behavior. Therefore, this study examines the temporal variability of methane in the middle-upper troposphere over the Amazon, using survey data from AIRS/AQUA system for the last ten years (2003-2012). The results of the temporal analysis shows a weak interannual variability and a seasonality well defined with a progressive increase in the dry season and decreased during the rainy season, with the maximum occurring between August and October.

Palavras-chave: remote sensing, greenhouse gas, climatic variability, wetlands, sensoriamento remoto, gás de efeito estufa, variabilidade climática, áreas alagadas.

1. Introdução

O metano (CH₄), considerado o hidrocarboneto mais abundante na atmosfera e um dos principais gases de efeito estufa listados pelo Protocolo de Kyoto, alcançou concentrações na atmosfera sem precedentes desde a era pré-industrial e que continua aumentando em nível global (UNFCCC, 2008; Dlugokencky et al., 1998). Segundo a Organização Meteorológica Mundial – WMO (2013), a concentração de CH₄ em 2012 foi de aproximadamente 1819 partes por bilhão de volume (ppbv), que equivale a um aumento de 260% em relação ao período pré-industrial no ano 1750, o qual tem sido motivo de alerta no contexto das mudanças climáticas uma vez que este atua na química da atmosfera (na produção de ozônio e como um dos sumidouros do radical hidroxila), possui banda de absorção de radiação infravermelha entre 7 e 8 μm (janela atmosférica) e um potencial de aquecimento de aproximadamente 25 vezes maior que o dióxido de carbono (IPCC, 2013; Cressot et al., 2014).

O aumento da concentração de metano na atmosfera é um reflexo do crescimento da população humana que foi acompanhado de uma crescente demanda de utilização de combustíveis fósseis, aumento de atividades produtoras desse gás como a pecuária, cultivo de arroz e entre outras fontes antrópicas. No entanto, as fontes de metano não se restringem a essas atividades, tendo as fontes naturais como um grande contribuinte através das áreas alagadas, degradação de material orgânico e entre outras, onde se estima que 2/3 da emissão global é de processos antrópicos e 1/3 de processos naturais, apesar das incertezas da participação individual de cada fonte (Kirschke et al., 2013; Cressot et al., 2014).

Entre esse variado número de fontes de CH₄ para a atmosfera, duas são de especial importância para as regiões tropicais, onde a Amazônia está presente: a queima de biomassa, especialmente durante a época seca e; as áreas alagadas, principalmente na época das chuvas onde há uma variação da área inundada em função da precipitação, favorecendo a alta taxa de produtividade primária nessas áreas, bem como as taxas de decomposição (Simpson et al. 2006, Kirschke et al., 2013). Alguns autores, como van der Werf et al. (2006), Bousquet et al. (2011) e Chen e Prinn (2006), defendem que a queima de biomassa e as áreas alagadas são fatores dominantes no controle da variabilidade interanual das emissões de CH₄.

Apesar do conhecimento das principais fontes e sumidouros, a quantificação das emissões de metano ainda possuem incertezas, principalmente, devido à ausência de observações em diversas regiões do globo terrestre (Walter et al., 2001). Tanto as medidas com instrumentos em superfície como as medidas realizadas com aviões possuem baixa distribuição espacial e temporal, devido às limitações das metodologias. No entanto, o metano é um dos poucos gases traço que possui assinatura espectral para ser observado a partir de uma plataforma espacial. Com isso, as medições espaciais pelo *Atmospheric Infrared Sounder* - AIRS a bordo do satélite AQUA proporciona uma oportunidade única para avaliar a concentração de metano na atmosfera, melhorando a caracterização da sua variabilidade temporal anual e sazonal sobre a Amazônia.

2. Metodologia de Trabalho

Inicialmente para estudar a variabilidade da concentração do gás metano na atmosfera sobre a Amazônia, utilizaram-se as estimativas do AQUA, que possui cobertura espacial global, para o período de estudo de 2003 a 2012 (10 anos). Estas estão disponíveis em 3 níveis de pressão atmosférica, 200, 300 e 400 milibares (mb), em uma resolução temporal com médias de 8 dias e resolução espacial de 1 x 1 grau de latitude por longitude e apresentados em formato “*Hierarchical Data Format*” (HDF). Estes dados são disponibilizados online pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), através do *Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center* (GES DISC).

De posse dos dados da concentração de CH₄ realizou-se a organização, leitura e seleção dos mesmos, com o auxílio de ferramenta computacional sobre a área de estudo para os diferentes níveis de pressão, delimitada entre as latitudes 5,5°N e 12,5°S e longitudes 47,5°W e 75,5°W.

A próxima etapa consistiu em realizar a análise temporal para o período de 2003 a 2012 a fim de observar a variabilidade da concentração de CH₄ na atmosfera nos 3 níveis de pressão. Para isto calculou-se a média de todos os pontos de grade de cada região em cada tempo de 8 dias, desconsiderando os pontos com falha (Equação 1).

$$[\overline{CH_4}] = \frac{\sum_1^n [CH_4]_n}{n_{total}} \quad (1)$$

Em que:

$[CH_4]_n$ = concentração de CH₄ em cada ponto de grade (latitude x longitude);

n_{total} = número total de pontos de grade (latitude x longitude);

$[\overline{CH_4}]_t$ = concentração média de metano para toda a região no tempo t ;

Além disso, para avaliar o ciclo sazonal deste gás sobre a Amazônia de janeiro de 2003 a dezembro de 2012, inicialmente utilizou-se a representação através de gráficos em diagramas de caixa (“*Box-plot*”) que permite observar por meio da distribuição da mediana e dos quantis

de 25% e 75% a variabilidade mensal do metano, além identificar períodos atípicos de concentração na atmosfera (“*outliers*”).

Os pontos com falha desconsiderados consistiram em pontos que não houve medição pelo satélite devido a algum tipo de ruído ocorrido no momento de obtenção do dado, sendo representados pelo número “-9999”. Isto foi realizado para que a média dos valores não ficasse subestimada.

Esta metodologia para a análise do comportamento médio anual e sazonal do metano sobre a região em estudo é apresentada no organograma da Figura 1.

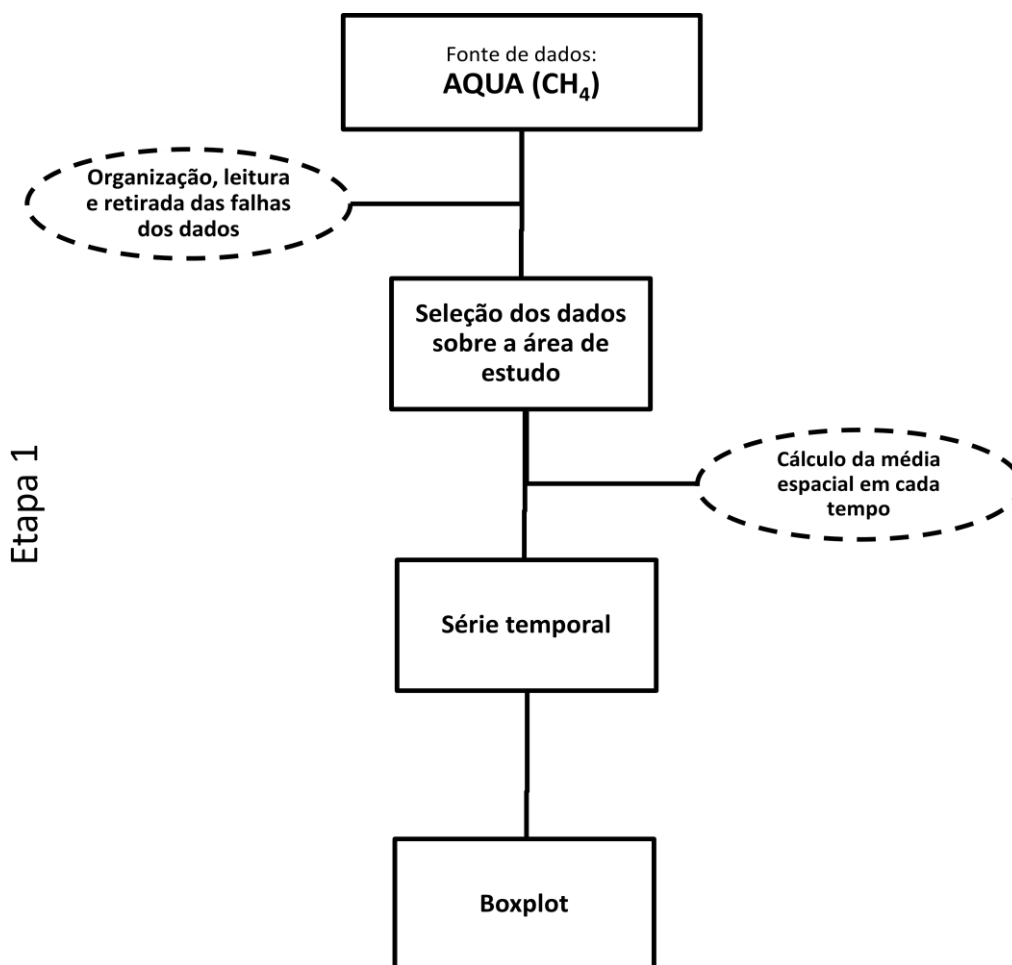


Figura 1 – Organograma da etapa 1 do processamento dos dados utilizados para analisar o comportamento sazonal do CH₄ para a região.

3. Resultados e Discussões

Com base nos dados do satélite AQUA foram obtidas as séries temporais das concentrações médias de oito dias do gás metano para três diferentes níveis de pressão atmosférica, 200, 300 e 400 mb, no período de 2003 a 2012 para a região da Amazônia (figura 2). De forma geral, observa-se que as maiores concentrações de CH₄ são notadas no nível de 400 mb. Ainda, é observada uma sazonalidade bem definida da concentração de CH₄ para os diferentes níveis de pressão, com máximos valores ocorrendo no período de menor precipitação (estação seca, julho a setembro) e mínimos valores no período de maior precipitação (estação chuvosa, janeiro a abril), como observado por Costa et al. (2011) e Walter et al. (2001b). Sobreposta à variabilidade sazonal, oscilações de mais baixa e alta frequência podem ser verificadas nessas séries.

Estes resultados apresentam coerência com as análises de Badr et al. (1992) sobre a distribuição latitudinal e em altitude do metano, quando analisaram um ciclo sazonal do metano em ambos os hemisférios, e particularmente sobre as latitudes médias do hemisfério sul, os autores mostraram que a concentração de metano atinge um valor mínimo no período de fevereiro a março e um máximo entre setembro e outubro, tendo uma maior concentração de metano nos primeiros 10 km próximo à superfície terrestre. Da mesma forma, Basso (2011) observou em seu estudo realizado em escala regional uma maior concentração deste gás traço próximo à superfície.

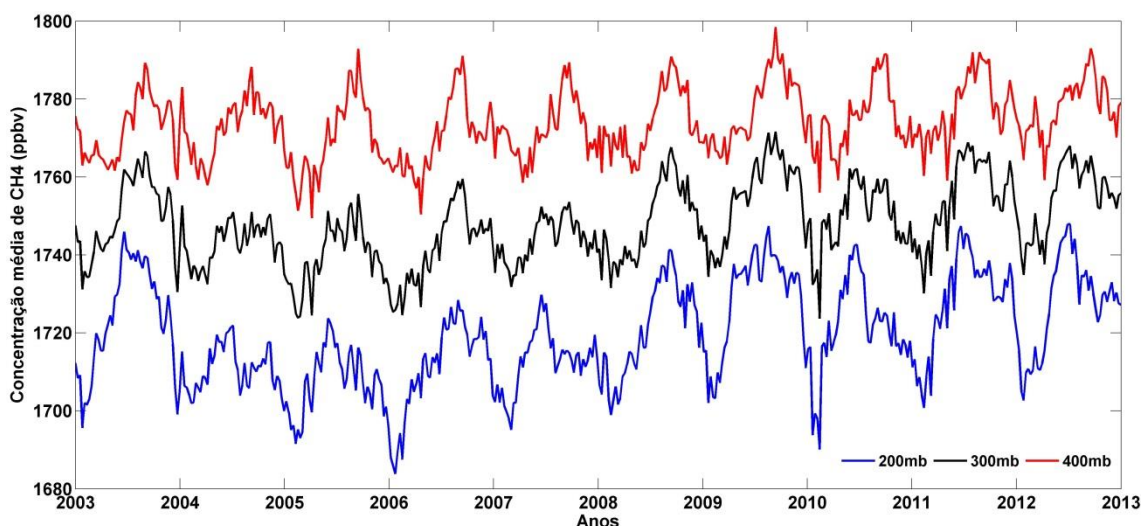


Figura 2 - Série temporal da concentração média de CH₄ sobre a Amazônia em três diferentes níveis de pressão atmosférica.

As maiores concentrações encontram-se em 400 mb, por estar mais próximo as fontes de emissão deste gás, como áreas alagadas, reservatórios, lagos, entre outros, em consonância com o seu perfil atmosférico. Com o aumento da altitude (300 mb e 200 mb), as concentrações de metano diminuem por ter a influência de diversos fatores como, transporte por ventos, perda para a estratosfera e reação química com o radical hidroxila (OH) na atmosfera.

Ainda, observa-se que para o período analisado ocorreram valores menores de concentração de CH₄ entre os anos de 2004 e 2008, com valores maiores ocorrendo no ano de 2003 e nos anos a partir de 2009. Além disso, a região amazônica apresenta o menor valor médio na faixa de 1680 ppbv no primeiro trimestre de 2006 e o maior valor médio da concentração do metano na atmosfera 1800 ppbv no segundo semestre de 2009. Analisando a série temporal, é visível um aumento das concentrações de metano no início de 2008 que de acordo com Dlugokencky et al. (2009) está associado a anomalias positivas de precipitação, cujos acumulados mantiveram-se acima da média climatológica do período uma vez que ocorreram eventos moderados e fortes de La Niña em 2007-2008 e de 2010 a 2012, sendo interrompidos por um evento moderado de El Niño em 2009-2010 (Souza et al., 2013). Ainda, segundo Dlugokencky et al. (2009), este aumento que ocorreu na zona tropical foi o principal responsável para a elevação da média global neste ano em $4,4 \pm 0,6$ ppbv.

A figura 3 apresenta o diagrama de caixa (“*Box-plot*”) da série temporal sobre a Amazônia de janeiro de 2003 a dezembro de 2012 para o nível de 300 mb, uma vez que esse é o nível intermediário e apresenta comportamento similar ao observado nos demais níveis de pressão (figuras não apresentadas). De modo geral, a variabilidade mensal de metano corresponde ao esperado, ou seja, maiores concentrações logo após um período úmido.

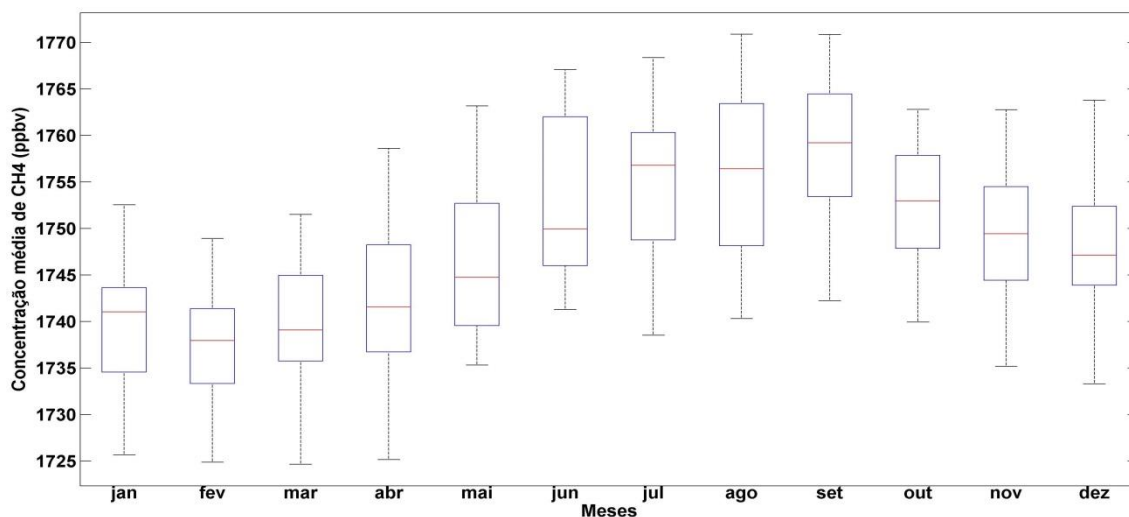


Figura 3 - Diagrama de caixa da série temporal da concentração de metano para a Amazônia para o nível de 300 mb para o período de 2003 a 2012.

Para a região da Amazônia, nota-se através da análise de quantis e da análise de frequência que, durante as estações seca e chuvosa, a categoria abaixo do 25º percentil é caracterizada por valores de concentração média de CH₄ da ordem de 1740 a 1753 ppbv (entre os meses de agosto a outubro) e 1724 a 1744 ppbv (para os meses de dezembro a fevereiro), com maiores frequências de ocorrência dos eventos nos limites superiores da categoria; para a categoria do 25º ao 75º percentil é caracterizada por valores de concentração média de CH₄ da ordem de 1748 a 1765 ppbv (entre os meses de agosto a outubro) e 1734 a 1753 ppbv (para os meses de dezembro a fevereiro), com as frequências de ocorrência dos eventos distribuídas na categoria; para a categoria acima do 75º percentil é caracterizada por valores de concentração média de CH₄ da ordem de 1758 a 1771 ppbv (entre os meses de agosto a outubro) e 1741 a 1764 ppbv (para os meses de dezembro a fevereiro), com maiores frequências de ocorrência dos eventos nos limites inferiores da categoria. Estes resultados apresentam certa similaridade com os valores encontrados por Costa et al. (2011) para a mesma região e mesmo período.

Durante a estação seca, as concentrações de CH₄ aumentam sensivelmente com as maiores concentrações desse gás na região ocorrendo nos meses de agosto e setembro com ciclo sazonal bem definido. Este processo é, provavelmente, devido a dois fatores principais: a redução das áreas alagadas na planície do rio Amazonas e a queima de biomassa na região do arco do desmatamento, cujos mecanismos favorecem as mudanças de uso da terra, tornando esse processo cíclico modulado pela climatologia da precipitação. Por fim, o intervalo de tempo entre os picos de concentração de CH₄ corresponde ao processo de aumento das áreas alagadas, que proporciona ambiente favorável para a decomposição de uma maior quantidade de biomassa e, conseqüentemente, com a chegada do período de vazantes, há uma maior emissão de CH₄ para a atmosfera.

4. Conclusões

Como demonstrado nesse estudo, dados médios semanais das concentrações de CH₄ na atmosfera, oriundos do satélite AQUA sobre a região da Amazônia permitem análises detalhadas das variações temporais das concentrações sobre essa região. Observa-se uma sazonalidade bem definida da concentração de CH₄ para os diferentes níveis de pressão.

De acordo com o levantamento das emissões de metano realizado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), publicado em 2013 no relatório de “Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil”, que leva em consideração os cálculos base do “II Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por

Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal”, houve uma grande redução nas emissões deste gás no Bioma Amazônia a partir de 2004 devido, principalmente, a redução na mudança do uso da terra e florestas (MCTI, 2013). No entanto, observa-se uma tendência de aumento da concentração de metano na atmosfera sobre a região a partir de 2008.

Por fim, é possível concluir que as sondagens remotas realizadas pelo sensor AIRS do satélite AQUA possuem uma boa e confiável qualidade no monitoramento de áreas favoráveis à formação de gás metano sobre a região da Amazônia de forma que podem ser uma alternativa eficiente e consistente quando comparados a instrumentos de superfície para o monitoramento dessas áreas.

Referências Bibliográficas

Badr, O.; Probert, S.D.; O’Callaghan, P.W. Sinks for Atmospheric Methane. *Applied Energy*, v. 41, n. 2, p. 137-147, 1992.

Basso, L.S. Estudo da emissão de metano na Bacia Amazônica utilizando perfis verticais com avião. 2011. 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Materiais) - Centro de Química e Meio Ambiente, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo. 2011.

Bousquet, P. et al. Source attribution of the changes in atmospheric methane for 2006 - 2008. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11: 3689-3700, doi: 10.5194/acp-11-3689-2011, 2011.

Chen, Y.H.; Prinn, R.G. Estimation of atmospheric methane emissions between 1996 and 2001 using a three-dimensional global chemical transport model. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111(D10307), doi: 10.1029/2005JD006058, 2006.

Costa, P. S.; Souza, R. A. F.; Souza, R. V. A.; Cartaxo, E. F. Variabilidade da concentração do metano troposférico sobre o reservatório da hidrelétrica Balbina a partir de informações do satélite ambiental AQUA. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15, Curitiba-PR. Anais... Curitiba-PR. 2011.*

Cressot, C.; Chevallier, F.; Bousquet, P.; Crevoisier, C.; Dlugokencky, E. J.; Fortems-Cheiney, A. et al. 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.

Dlugokencky, E.; Masarie, K. A.; Lang, P. M.; Tans, P. Continuing decline in the growth rate of the atmospheric methane burden. *Nature*, 393(6684):447-450, doi: 10.1038/30934, 1998.

Dlugokencky, E.J.; Bruhwiler, L.; White, J.W.C.; Emmons, L.K.; Novelli, P.C.; Montzka, S.A. et al. Observational constraints on recent increases in the atmospheric CH₄ burden. *Geophysical Research Letters*, 36(L18803), doi: 10.1029/2009GL039780, 2009.

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.

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil. Brasília-DF, 2013. 80p.

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

Souza, R. A. F de.; Dutra, J. M.; Silva, J. T. da. Relação entre O₃ troposférico e CO sobre área de pastagem a partir de sondagens do satélite ambiental AQUA. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XVI, Foz do Iguaçu-PR. Anais eletrônicos...São José dos Campos-SP: MCT/INPE. 2013. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p1340.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2014.*

UNFCC–United Nations Framework Convention on Climate Change. Kyoto Protocol Reference Manual: on accounting of emissions and assigned amount. 122p. 2008. Disponível em: <http://unfccc.int/resource/docs/publications/08_unfccc_kp_ref_manual.pdf>. Acesso em: 21 set. 2014.

van der Werf, G. R.; Randerson, J.T.; Giglio, L.; Collatz, G.J.; Kasibhatla, P.S.; Arellano, A.F. Jr. Interannual variability in global biomass burning emissions from 1997 to 2004. *Atmospheric Chemistry Physics*, 6: 3423–3441, doi: 10.5194/acp- 6-3423-2006, 2006.

Walter, B.P.; Heimann, M.; Matthews, E. Modeling modern methane emissions from natural wetlands 2. Interannual variations 1982-1993. *Journal Geophysical Research: Atmospheres*, 106(D24):34207-34219, 2001.

WMO - World Meteorological Organization. Greenhouse Gas Bulletin. The state of Greenhouse gases in the atmosphere using global observation through 2012. 2013. Disponível em: <https://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ghg/documents/GHG_Bulletin_No.9_en.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2014.