



O aumento da concentração de metano no norte do Pantanal é explicado pelo alagamento sazonal?

Fernando da Silva Sallo 1
Tonny Jader de Moraes 1
Luciana Sanches1
Karen F. A. P. Sallo1
João Basso Marques1
Vanessa R. M. Dias2

¹Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT
Av. Fernando Corrêa da Costa, nº 2367 Bairro Boa Esperança.
Cuiabá - MT – 78060-900
fdss88@gmail.com
tonny@fisica.ufmt.br

²Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT
MT-358
Tangará da Serra - MT, 78300-000

Resumo. O estudo da dinâmica da emissão de metano por áreas alagadas é importante para o manejo destas áreas periódica permanentemente alagadas, como o pantanal. Desta forma, a variabilidade temporal das concentrações de CH₄ sobre o Pantanal foi investigada usando dados de sensoriamento remoto de 2003-2015 do sensor AIRS a bordo do satélite AQUA. A variação da concentração de CH₄ foi comparada ao nível/extensão do alagamento obtidos a partir de cotas limnimétrica da plataforma HydroWeb, de dois rios pertencentes a área de estudo. Usando metodologias para análise de séries temporais para observar anomalias interanuais provocadas pela variação do nível do alagamento e/ou da extensão do alagamento, foi possível observar e inferir resultados importantes sobre a dinâmica entre alagamento e [CH₄]. A concentração de CH₄ apresentou tendência crescente no período analisado. Um aumento da concentração, das camadas mais altas da atmosfera, foi observada durante os períodos de vazante e seca da região. A influência do alagamento pôde ser percebida por toda a série anômala de dados, com diminuição entre 2006-2008 e 2012-2015. Através da transformada wavelet verificou-se forte periodicidade anual principalmente entre 2009-2014. Periodicidades sub-anual e supra-anual também ocorreram, em menor intensidade. No entanto, os resultados mostram que o aumento da concentração de CH₄ da região norte do Pantanal não é explicado apenas pela variabilidade no alagamento, concluindo que outros fatores influenciam neste comportamento. Sendo nos períodos secos anuais que apresentam um aumento sazonal na concentração de CH₄, sugere-se que durante os períodos chuvosos, o CH₄ esteja reagindo na atmosfera com substâncias que o consomem, principalmente, a hidroxila, OH⁻, provocando sua redução na atmosfera.

Palavras-chave: Satélite AQUA, Wavelet, altura de lâmina d'água.

Abstract. Methane emission by wetlands is an important factor for the management of these areas, such as the Pantanal. Thus, the temporal variability of CH₄ concentrations on the Pantanal was investigated using remote sensing data from 2003 to 2015 from AIRS sensor on board of AQUA satellite. The variation of the CH₄ concentration was compared to the level / extension of flooding obtained from HydroWeb platform of two streams belonging to the area of study. Using methodologies applied to time series analysis for observing interannual anomalies caused by the variation of the flooding level and/or the flooding extension, it was possible to observe and infer important results on the dynamics of flooding and [CH₄]. The concentration of CH₄ tended to increase throughout the study period. CH₄ concentration increased in the upper layers of the atmosphere was observed during periods of low water and dry season. The influence of flooding could be seen throughout the anomalous data series, with decreased between 2006 and 2008 and between 2012 and 2015. Through the wavelet transform technique we found strong annual periodicity mainly between 2009 and 2014. Sub-annual and super-annual periodicities also occurred, but with less intensity. The results show that the increase in CH₄ concentration of the northern Pantanal is not only driven by the flooding, concluding that other factors have been influenced in that behaviour. Since the dry season was observed to increase the CH₄ concentration, it is suggested that during rainy periods, CH₄ be consumed by some substances in the atmosphere, especially hydroxyl, OH.

Key-words: Satellite AQUA, Wavelet, flooding water level.

1. Introdução

O metano (CH₄) é o composto químico orgânico mais abundante da atmosfera. Vários estudos indicam que sua concentração vem aumentando (Dlugokencky et al., 2011) atingindo mais que o dobro desde o período pré-industrial (Bousquet et al., 2006). As áreas alagáveis são importantes por serem sensíveis as modificações climáticas e são os maiores emissores naturais de CH₄, sendo este aumento um forte candidato a atuar como uma retroalimentação positiva para o aquecimento futuro (Melton et al., 2013).

As áreas alagáveis são a maior fonte natural de CH₄ na atmosfera, contribuindo 145 Tg ano⁻¹, o que corresponde a cerca de 24% da emissão total de todas as fontes, e são especialmente importantes durante o período das chuvas. No Brasil há um alagamento sazonal em grandes áreas como a região Amazônica e o Pantanal. A inundação sazonal do Pantanal traz um conjunto de características distintas em suas dinâmicas de nutrientes e pulso de inundação (Vourlitis et al., 2013). Nessa área a vazão de água é reduzida, formando um ambiente favorável à deposição e posterior degradação da matéria orgânica de forma aeróbica e anaeróbica, resultando na formação de gases CO₂ e CH₄.

Uma das alternativas para construção de modelos para estimativa das emissões de CH₄ é via uso de informações obtidas por sensoriamento remoto, viabilizando estudo em locais com poucas informações coletadas *in loco*. Por exemplo, estudos demonstraram a viabilidade e a vantagem de utilizar o sensor Atmospheric Infrared Sounder (AIRS), a bordo da plataforma AQUA, para inferir e monitorar a concentração de gases na atmosfera, oferecendo uma grande oportunidade para coletar e inferir a concentração de alguns gases-traço de efeito estufa na atmosfera da Terra. (Xiong et al., 2013; Costa et al., 2013).

2. Objetivo

O objetivo deste trabalho foi avaliar a concentração de CH₄ no Pantanal Mato-grossense, analisar a variabilidade temporal da concentração de CH₄ na atmosfera em função da variabilidade de cotas limnimétrica dos rios Cuiabá e Bento Gomes, a fim de mostrar a influência do alagamento sobre a concentração de CH₄. Além disso, avaliar a dinâmica da concentração do gás CH₄ por meio da análise wavelet (ou Ondoleta) com base na série temporal de 2003-2015, do sensor AIRS, a bordo do satélite AQUA.

3. Material e Métodos

Este estudo foi realizado em uma área no Norte do Pantanal Mato-grossense compreendida entre as coordenadas $-17^{\circ}37'19,20''$; $-16^{\circ}19'40,80''$ e $-58^{\circ}19'4,80''$; $-56^{\circ}44'34,80''$ (**Figura 1**), altitude entre 80 a 120 m. A região está sob domínio climático Aw, segundo a classificação de Köppen, com duas estações bem definidas, uma seca, de abril a setembro e outra úmida, de outubro a março, com precipitação anual superior a 1300 mm.

Os dados utilizados de CH_4 foram estimados pelos sensores AIRS, a bordo do satélite AQUA, no período 2003-2015, com concentrações médias diárias de taxa de mistura de CH_4 (VMR, volume mixing ratio) para três níveis de pressão atmosférica (200; 300; 400 hPa). Os dados do AIRS são distribuídos pela NASA Goddard Earth Sciences Data Information and Services Center (DISC). A resolução espacial é 1° por 1° de latitude e longitude, com periodicidade diária e cobertura global. Além disso, foram utilizados dados de cotas limnimétricas média diária (em cm) obtidos no sistema HidroWeb da agência nacional de águas (ANA) do período de 2003 a 2015. As cotas dos rios Cuiabá (estação: 66280000) e Bento Gomes (estação: 66110000) localizadas nos municípios de Barão de Melgaço e Poconé, respectivamente, foram usadas para avaliar o nível de alagamento no norte do Pantanal. A escolha dos rios levaram em conta sua disponibilidade de dados e a sua sazonalidade proporcionada.

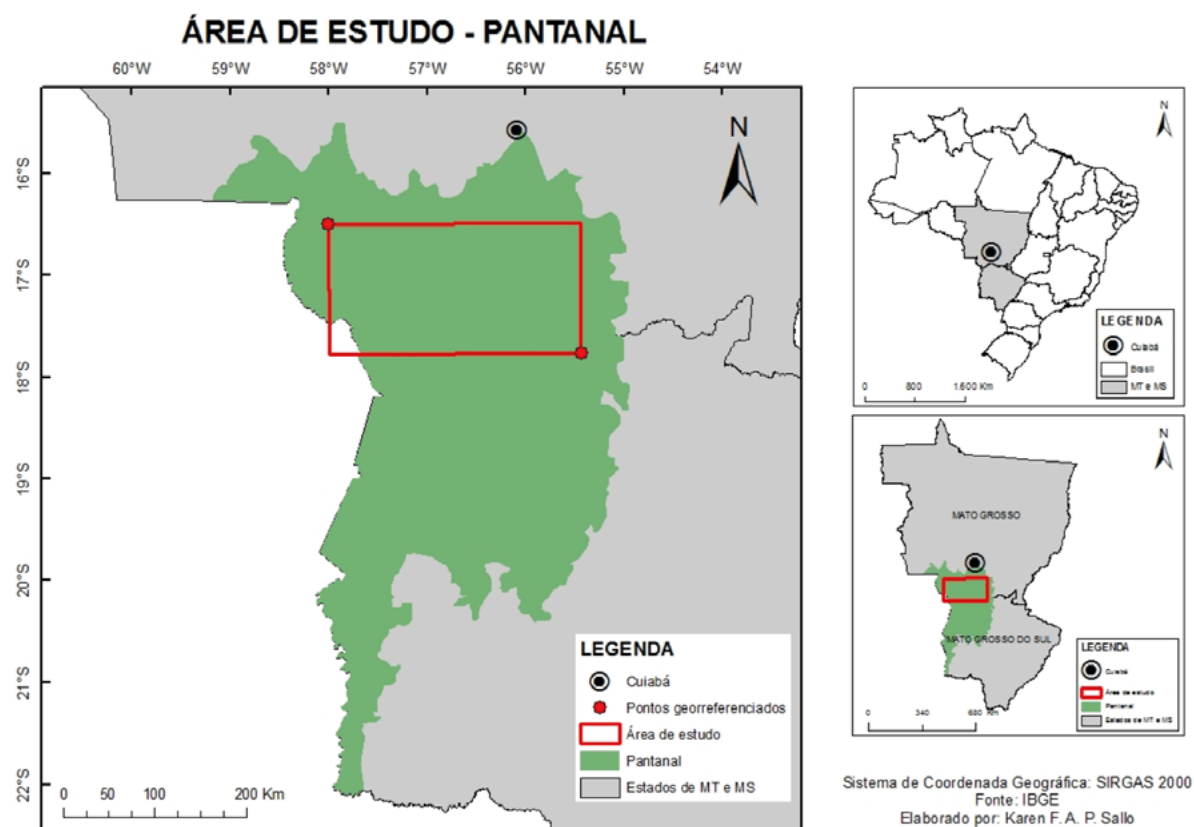


Figura 1. Localização da área de estudo delimitada pela linha em vermelho, aproximadamente 60 km da cidade de Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. A área de estudo abrange pouco mais de 4 pixels.

As investigações sobre a modulação da concentração de CH_4 no norte do Pantanal foi realizada inicialmente pelo cálculo das médias de 8 dias da concentração de CH_4 (Ribeiro et al.

2015) nos três perfis de pressão atmosféricas, esse procedimento propiciou um exploratório para variabilidade temporal. Em seguida, procedeu-se o cálculo da anomalia, removendo a variabilidade anual das séries, para os três níveis de pressão através do ajuste linear usando regressão linear para as séries a fim de remover a tendência do aumento das concentrações de CH₄ causados por outras variáveis senão a proporcionada pela extensão do alagamento. A anomalia também foi calculada para as cotas limnimétricas, contudo, sem o uso de regressão linear, apenas usando as médias das séries das cotas. Finalmente, a anomalia foi integrada obtendo a anomalia acumulada que permite perceber a influência da inundação sobre as concentrações de CH₄ na atmosfera. Buscando concisão, as análises da concentração de metano foram feitas para o nível 200 hPa (Ribeiro et al. 2015).

As variações temporais da concentração de CH₄ foram avaliadas por meio da análise de wavelet (ondaletas) que possibilitam a decomposição da série como uma função de tempo e da frequência. A wavelet Morlet é uma função do tempo t , composta por uma exponencial complexa e modulada por uma exponencial gaussiana (Torrence e Compo, 1997). A função é da família wavelets complexas ortonormais dada pela Eq. 1

$$\Psi(t, w_0), \text{ para} \tag{1}$$

Onde Ψ é o valor ondoleta para um parâmetro adimensional t , w_0 a frequência adimensional. Admite-se $w_0 = 6$ para satisfazer a condição de admissibilidade, deste modo a função deve ter média zero e ser localizada tanto no espaço tempo como na frequência (Farge, 1992).

4. Resultado e Discussão

Observa-se uma relação entre as séries da concentração de CH₄ e a cota limnimétrica dos rios, sendo possível observar máximos inversamente coincidentes (**Figura 1**). Detectou-se sazonalidade anual nas concentrações de CH₄ e nas cotas limnimétricas (**Figura 2**).

A concentração de CH₄ varia ligeiramente com o níveis de pressão, com as maiores concentrações no nível de 400 hPa com média (\pm DP) 1778,1 \pm 22 ppbv. Ao nível de pressão de 300 hPa, a média da concentração foi 1773 \pm 23 ppbv. A concentração do CH₄ ao nível de pressão 200 hPa, com uma média de 1763 \pm 23 ppbv, apresentou maior sazonalidade anual, sendo maiores suas amplitudes. Resultado semelhante ao trabalho de Costa et al. (2013) e Ribeiro et al. (2015), ao trabalhar com dados de sensoriamento relativos a reservatórios de hidrelétricas no Estado do Amazonas. Do mesmo modo, houve uma diminuição da concentração de CH₄ em função da diminuição dos níveis de pressão, sendo justificado pelos principais processos de remoção de CH₄ da atmosfera, que são a reação de CH₄ com radicais hidroxila (OH[•]) na troposfera e estratosfera e com átomos de oxigênio na estratosfera (Dlugokencky et al., 2011). Resultados semelhantes também foram obtidos por Alvalá et al. (2004) que analisaram a concentração de CH₄ na região do Atlântico Sul, com medidas realizadas a 25 km da costa brasileira utilizando a método trajetórias isentrópicas, observando uma variação sazonal com uma média de 1707.3 \pm 8.4 ppbv.

Durante a estação seca (maio a setembro), a concentração mediana de CH₄ é ligeiramente maior (1735 a 1745 ppbv) que na estação chuvosa. Enquanto que durante a estação chuvosa (Janeiro a Abril) 1725 ppbv em nível de pressão 200 hPa. Nas cotas limnimétrica, evidenciou-se melhor os períodos de transição seca-chuva ou chuva-seca ocorrem cotas que variaram de 300 a 700 cm. Desta forma, observa-se comportamento inverso entre concentração de CH₄ na atmosfera e alagamento. Tal comportamento é inversamente encontrado quando medidas são tomadas *in loco* sobre áreas alagáveis do Pantanal (Marani e Alvalá, 2006; Bastviken et

al. 2010). Entretanto, maiores concentrações de CH_4 durante a estação seca de acordo com Spivakovsky et al. (1990) e McNorton et al. (2016), podem ser explicadas pela sazonalidade do radical OH^\cdot na troposfera e estratosfera. Sugere-se, que na região de estudo a concentração de OH^\cdot é maior no período chuvoso, servindo como sumidouro de CH_4 . Conforme observado por Marani e Alvala (2006), que a variação de fluxo de CH_4 está associada à variação anual de área alagada no pantanal, que por sua vez está relacionada a sazonalidade de precipitação. E ainda segundo Bastviken et al. (2010), o metabolismo de matéria orgânica está relacionado a estação hidrológica, com o aumento do nível das águas no Pantanal, ocorrendo maior taxa de metabolismo de matéria orgânica. Assim, mesmo a emissão de CH_4 sendo maior durante a estação chuvosa mas com maior presença de radicais hidroxila produzidos pela presença de maior concentração de vapor de água na atmosfera que reage e consome CH_4 , a concentração deste gás nas camadas mais altas da atmosfera é reduzida.

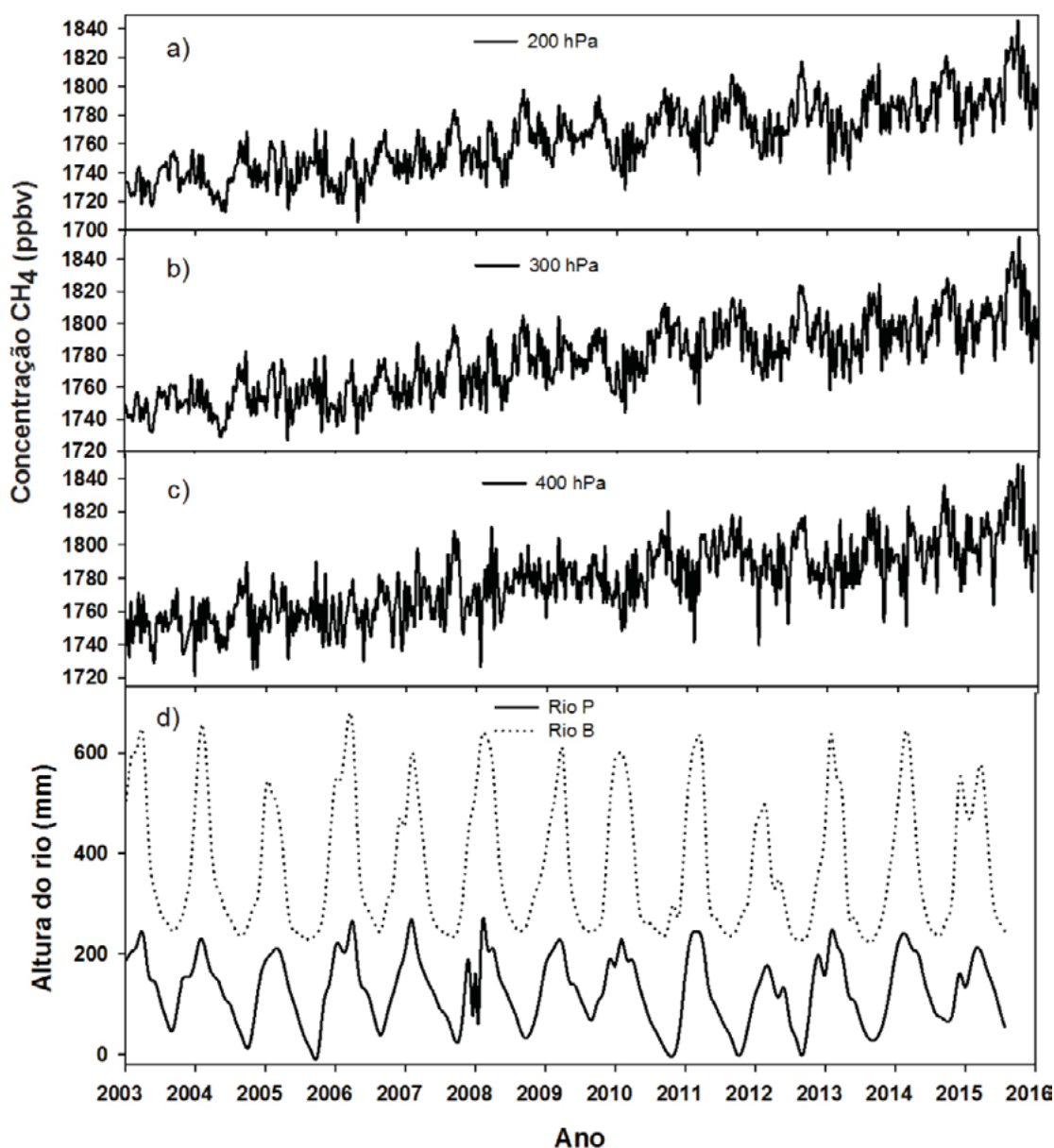


Figura 2. Variação das séries temporais de CH_4 nas alturas 200 hPa, a), 300 hPa, b) e 400 hPa, c). Variação das alturas limnimétrica dos rios Cuiabá e Bento Gomes do HydroWeb.

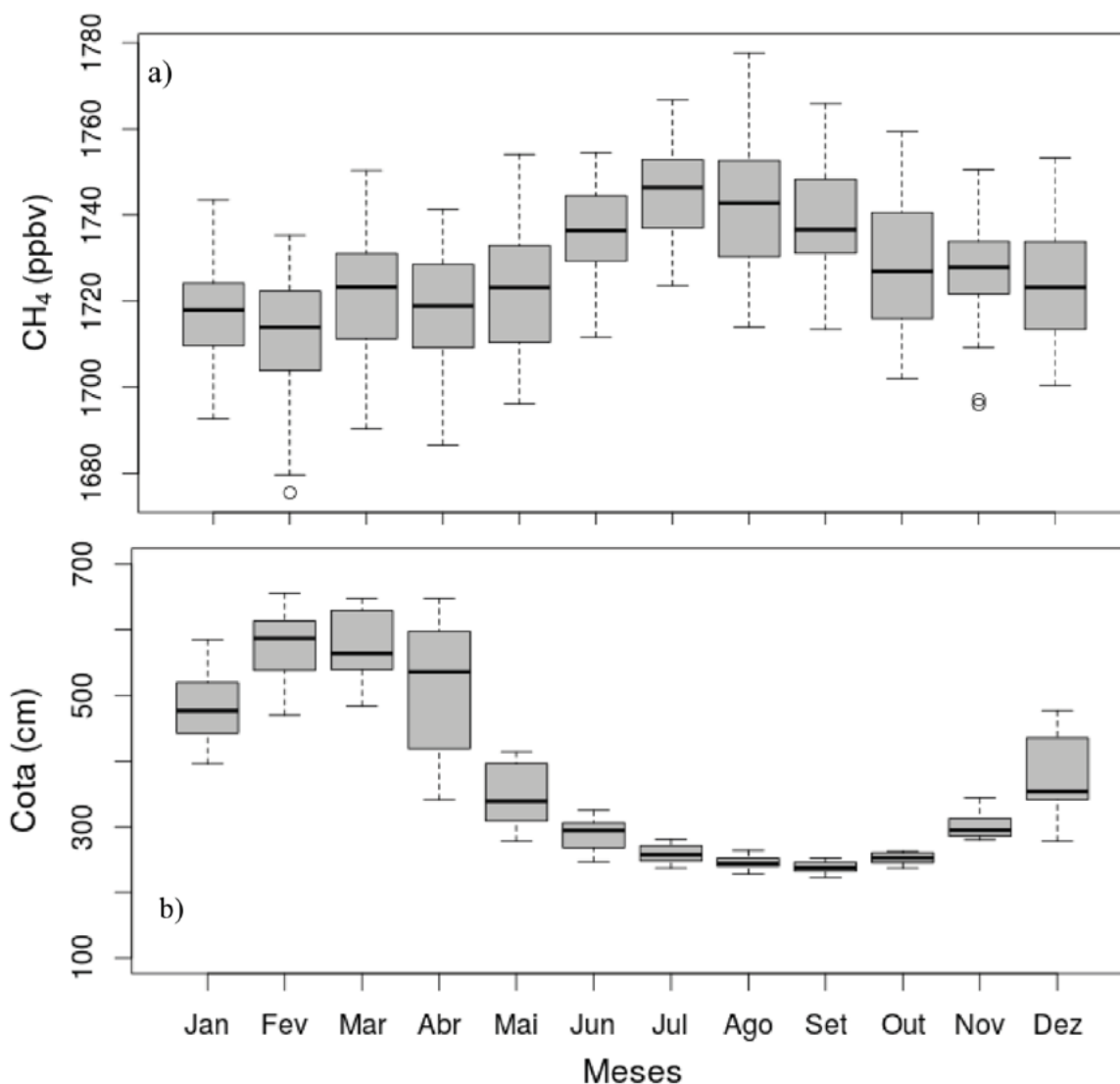


Figura 3. Gráficos de caixa (dados de 2003-2015) com a mediana como marca central (em Preto) e quartis inferior de 25% e superior de 75% (caixa cinza). a) concentração mensal de CH₄ (200 hPa) e (b) cota limnimétrica do rio Cuiabá localizado em Barão de Melgaço, código da estação: (66280000).

As anomalias de CH₄ e cotas possibilitaram avaliar a dinâmica de destas variáveis no Bioma Pantanal com base nos dados destendencializados da série histórica (**Figura 4**). É possível observar um padrão das anomalias ao longo de toda a série. As anomalias de CH₄ variaram entre -40 a 40 ppbv, enquanto que as cotas variaram entre -100 a 300 cm (**Figura 5**).

Nas **Figura 4** e **Figura 5** as variações de [CH₄] e cotas respectivamente, sendo que valores acima de zero demonstram dinâmica ocorrendo acima da média (cotas) ou da tendência central (tendência ajustada - CH₄) da séries temporais. Para a anomalia de CH₄ observa-se maiores concentrações entre 2003-2005 e entre 2008-2011, exceto em 2010, ano em que ocorreram valores elevados de cotas limnimétricas. As informações contidas nas séries de anomalias são tanto de abrangência sub-anual como supra-anual, tendo variações positivas da concentração de CH₄ causadas pela diminuição do nível e da extensão da inundação, bem como variações positivas de CH₄ provocadas pelo aumento do nível e extensão do alagamento, sendo esta última provocadas por períodos mais longos com, por exemplo, chuvas acima da média.

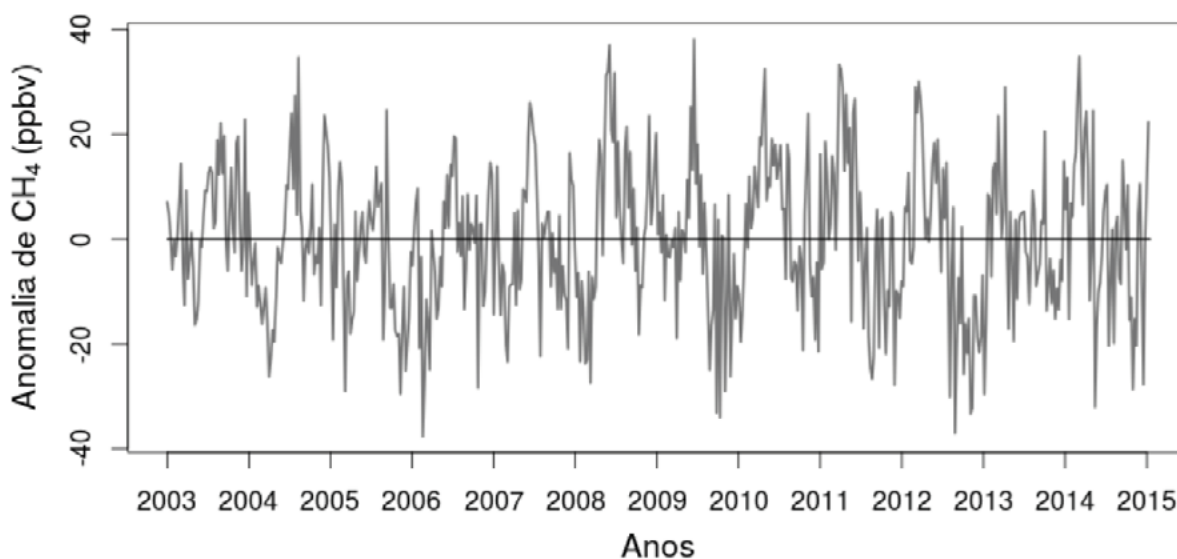


Figura 4. Concentração de CH₄ destendencializada (200 hPa). A reta preta representa estacionalidade da série temporal (zero ppbv).

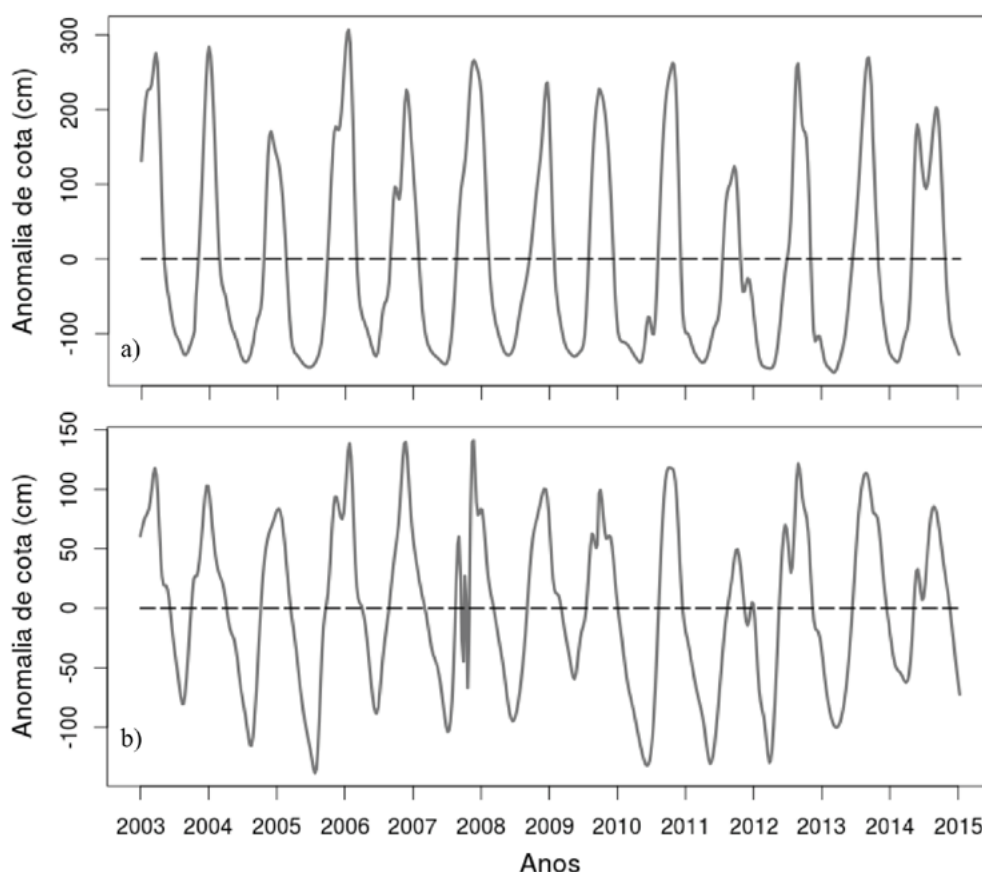


Figura 5. Cotas limnimétrica sem tendência central (média) dos rios Bento Gomes, a) e Cuiabá, b) em Barão de Melgaço.

Nota-se um aumento das anomalias positivas a partir de 2007 e posteriormente aumento das anomalias negativas após 2011. Este resultado pode ser melhor verificado pelas séries de anomalia acumulada (**Figura 6**), onde é possível observar uma tendência de diminuição das cotas nos primeiros 4 anos da série e, posteriormente, aumento das anomalias positivas a partir

de 2006, e novamente após 2011 aumento de anomalias negativas. Resultado consistente com o de Penatti et al. (2015), que verificou, por sensoriamento remoto, mudanças espaço-temporais das variáveis do balanço hídrico no pantanal. Anomalias positivas de estoque de água terrestre medidos foram maiores nos anos de 2006, 2007, 2008 e 2011, com menor pico ocorrido em 2012. Hamilton et al. (2002) destacaram que a maior parte da variabilidade climática observada é conduzida pelas anomalias na temperatura superficial das águas do Oceano Pacífico, com os fenômenos *El Niño* e *La Niña* influenciando diretamente na taxa de precipitação na bacia pantaneira e seus afluentes. Nesse contexto, um fator importante na emissão de CH_4 no Pantanal para a atmosfera é a extensão espacial da área alagada. Essa extensão é primariamente controlada pela variação sazonal do nível dos rios e pelo acúmulo de água da precipitação.

As anomalias acumuladas das cotas demonstram dois comportamento que governam as oscilações da anomalias de CH_4 . O primeiro, refere-se às variações sub-anual de CH_4 que são inversamente às de cota, e que são influenciadas pelo aumento da concentração de hidroxila $[\text{OH}^\cdot]$ durante a estação chuvosa que diminui o saldo de emissão de CH_4 neste período, como já discutido anteriormente. O segundo, refere-se ao aumento da concentração de CH_4 a partir de 2008, que tem origem do aumento progressivo do alagamento a partir de 2006 até 2012.

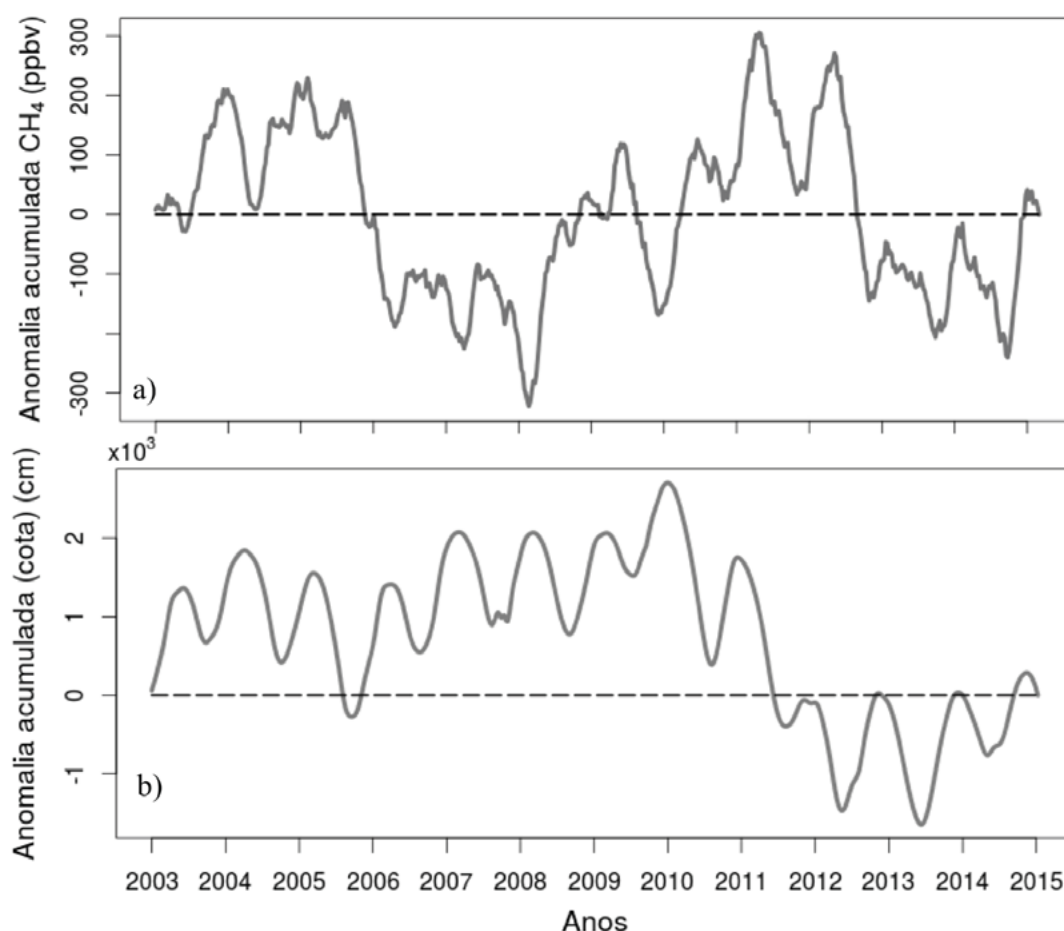


Figura 6. Integração das anomalia de CH_4 , a) e de cota, b) para o rio Bento Gomes.

A partir de 2012 o nível do alagamento cai progressivamente seguido pela queda da concentração de CH_4 , isso mostra um interessante resultado ainda raramente reportado por outros estudos envolvendo o Pantanal. Ribeiro et al. (2015) também mostra que áreas quando permanentemente alagadas (lagos/hidroelétricas) ou alagadas por períodos maiores que 6 meses,

como ocorre em áreas alagáveis amazônicas, existe um aumento das emissões de CH_4 . Estes resultados, não são possíveis quando em medições *in loco*, mostrando um melhor entendimento das variações de CH_4 quando por sensoriamento remoto. Esses resultados podem ser comparados aos de Marani e Alvalá (2006), que analisaram locais próximos ao rio Miranda também na região do Pantanal Mato-grossense, utilizando uma média maior de área alagada, obtiveram o valor de $3,3 \text{ Tg CH}_4 \cdot \text{ano}^{-1}$, que representa 3,3% da contribuição global de áreas alagadas. Áreas alagadas que compreendem florestas, ou que estão próximas a rios no Pantanal, tem altas taxas de produtividade bruta primária, altas temperaturas e elevada radiação solar, resultando no aumento da taxa de decomposição, que por sua vez contribui no acréscimo de fluxo de CH_4 para atmosfera (Alvalá et al., 1999).

A análise wavelet da série temporal de concentração de CH_4 em nível de pressão 200 mb no período de 2002-2015 (figura 6a), mostra um espectro de energia que indica ciclos ocorrendo na escala anual ± 1 ano de 2004 a 2014, e interanual ± 2 anos de 2006 a 2012, com conjunto de valores significativos delimitados pelo cone de influência. Outros ciclos de aproximadamente 6 meses (2005-2009) (Figura 6a), ocorreram com menor intensidade significando uma certa oscilação na concentração de CH_4 dentro de um ano, sugerindo que tanto no início das chuvas quanto no final deste período picos de emissão podem ocorrer.

A intensidade de energia no período de 2005-2012 identificada na análise wavelet, pode ser justificada pelo aumento na anomalia de CH_4 . Porém o espectro de maior intensidade de energia ocorre na escala anual e maior parte dentro da faixa significativa (figura 6a), o ciclo interanual ± 2 anos de potência tem um pico dentro da faixa significativa, mas com menor variância do que o ciclo anual. O ciclo anual e interanual contém maior variância (Figura 6b), embora a variância do ciclo anual é menor.

O ciclo de maior predominância da periodicidade (acima de 60) foi aproximadamente 0,9 a 1 ano de ocorrência na segunda metade de 2009, em que esse ciclo variando entre a faixa 0,9 a 1,3.

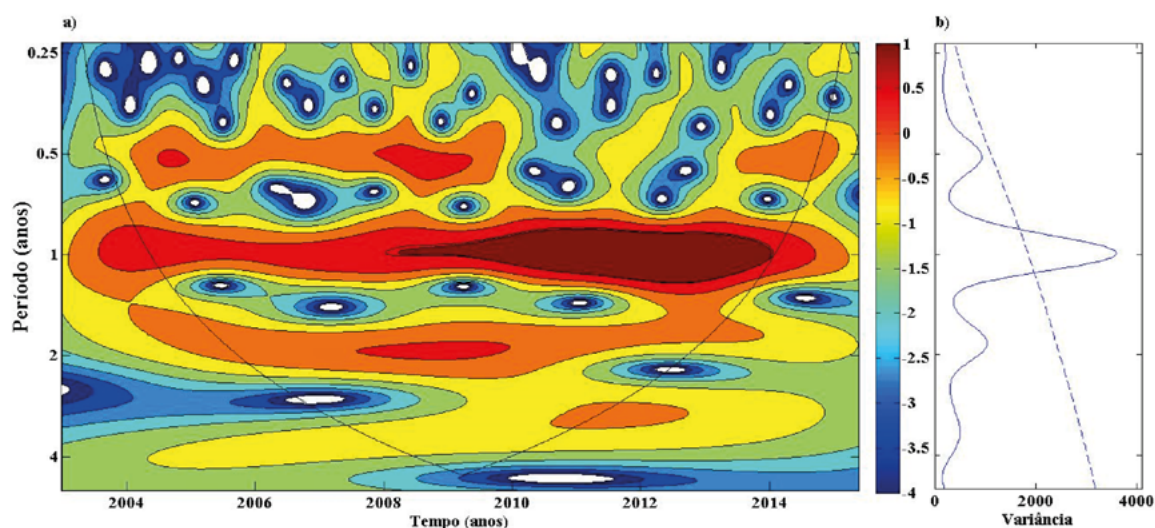


Figura 6a. O espectro de potência wavelet. Os níveis de contorno são escolhidos de modo a que 75%, 50%, 25%, e 5% da potência de wavelet é acima de cada nível, respectivamente. A região curva em forma de U representa o cone de influência. A variância do espectro de potência wavelet global.

5. Conclusões

A investigação sobre o CH₄ na atmosfera possibilitou analisar perturbações importantes na variabilidade da série temporal de concentração de CH₄, sobre a região do norte do Pantanal 2003-2015. O aumento sazonal do alagamento na estação chuvosa não provoca aumento na concentração de CH₄ na alta atmosfera, entretanto progressivos anos de aumento do alagamento proporcionam aumentos significativos dos níveis de metano na atmosfera. Isso pode ser importante para o manejo dos recursos hídricos na Bacia Pantaneira.

Na análise wavelet observou-se ciclos anuais que ocorrem ao longo de quase toda série de temporal, variando entre 0,9 a 1,3 anos intensificado a partir de 2009 até 2013.

Análises da concentração CH₄ sobre o Pantanal, fornece contribuições importantes sobre a dinâmica do CH₄ na média e alta troposfera. Essas informações podem dar suporte a gestão hídricos, e ainda ajudar no conhecimento de futuras mudanças climáticas e delinear estratégias de mitigação.

6. Referências

Alvalá, P. C.; Boian, C.; Kirchoff, V.W.J.H. Measurements of CH₄ and CO₂ during ship cruises in the South Atlantic. **Atmospheric Environment**, v. 38, p.4583-4588, 2004.

Alvalá, P.C.; Volker W.J.H.K.; Hamilton G.P. Metano na Atmosfera. **Biociência**, v.07, p.40-43, 1999.

Bastviken, D.; Santoro, A.L.; Marotta, H.; Pinho, L.Q.; Calheiros, D.F.; Crill, P. Methane emissions from Pantanal, South America, during the low water season: toward more comprehensive sampling. **Environmental Science and Technology**, v. 44, n. 14, p.5450-5455, 2010.

Beecham, S.; Chowdhury, R.K. Temporal characteristics and variability of point rainfall: a statistical and Wavelet analysis. **International Journal of Climatology**, v.30,p.458-473, 2010.

Bousquet, P.; Ciais, P.; Miller, J.B.; Dlugokencky, E.J.; Hauglustaine, D.A.; Prigent, C.; Van der Werf, G.R.; Peylin, P.; Brunke, E.G.; Carouge, C.; Langenfelds, R.L.; Lathière, J.; Papa, F.; Ramonet, M.; Schmidt, M.; Steele, L.P.; Tyler, S. C.; White, J. Contribution of anthropogenic and natural sources to atmospheric methane variability. **Nature**, v.443, p.439-443, 2006.

Bousquet, P.; Ringeval, B.; Pison, I.; Dlugokencky, E.; Brunke, E. G.; Carouge, C.; Chevallier, F.; Fortems-cheiney, A.; Frankenberg, C.; Hauglustaine, D. et al. Source attribution of the changes in atmospheric methane for 2006–2008. **Atmospheric Chemistry and Physics**, Copernicus GmbH, v. 11, n. 8, p. 3689–3700, 2011.

Costa, P.S.; Silva, J.V.; Souza, R.A.F.; Souza, R.V.A.; Júnior, N.P.F.; Cartaxo, E.F. Monitoring of Methane on Dams of Hydroelectrics of The Amazon Basin From The Aqua Satellite Information. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v.4, p.19-30, 2013.

Dlugokencky, E.J.; Nisbet, E.G.; Fisher, R.; Lowry, D. Global atmospheric methane: budget, changes and dangers. **Royal Society Publishing**, v.369, p.2058-2072, 2011.

Farge, M. Wavelet transforms and their applications to turbulence, **Annual Reviews of Fluid Mech**, p.395–457, 1992.

Goulart, M.A.; Sanches, L.; Vilani, M.T.; Pinto Júnior, O.B. Análise da evapotranspiração por Wavelet de Morlet em área de *Vochysia divergens* Pohl no Pantanal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, p.93–98, 2015.

Hamilton, S.K.; Sippel, S.J.; Melack, J.M. Comparison of inundation patterns among major South American floodplains. **Journal of Geophysical Research**, v.107, p.1-14, 2002.

Koebisch, F.; Jurasinski, G.; Koch, M.; Hofmann, J. Controls for multi-scale temporal variation in ecosystem methane exchange during the growing season of a permanently inundated fen. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.204 p.94–105, 2015.

Marani, L.; Alvalá, P.C. Methane emissions from lakes and floodplains in Pantanal, Brazil. **Atmospheric**

Environment, v.41, p.1627–1633, 2006.

McNorton, J.; Chipperfield, M.P.; Gloor, M.; Wilson, C.; Feng, W.; Hayman, G.D.; Rigby, M.; Krummel, P.B.; O’Doherty, S.; Prinn, R.G.; Weiss, R.F.; Young, D.; Dlugokencky, E.; Montzka, S.A. Role of OH variability in the stalling of the global atmospheric CH₄ growth rate from 1999 to 2006. **Atmospheric Chemistry and Physics**, p.1-24, 2016.

Melton, J.R.; Wania, R.; Hodson, E.L.; Poulter, B.; Ringeval, B.; Spahni, R.; Bohn, T.; Avis, C.A.; Beerling, D.J.; Chen, G.; Eliseev, A.V.; Eliseev, A.V.; Hopcrof, P.O.; Lettenmaier, D.P.; Riley, W.J.; Singarayer, J.S.; Subin, Z.M.; Tian, H.; Zurcher, S. Present state of global wetland extent and wetland methane modelling: conclusions from a model inter-comparison project (WETCHIMP). **Biogeosciences**, p.753–788, 2013.

Penatti, N.C.; Ribeiro, A.T.I.; Ferreira, L.G.; Arantes, A.E.; Coe, M.T. Satellite-based hydrological dynamics of the world’s largest continuous wetland. **Remote Sensing of Environment**, p.1-13, 2015.

Ribeiro, I.O.; 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**, v.33 p.852–864, 2016.

Santos, C.A.G.; Freire, P.K.M.M.; Torrence, C.A Transformada Wavelet e sua Aplicação na Análise de Séries Hidrológicas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.18 p.271-280, 2012.

Torrence, C.; Gilbert, P.C.A Practical Guide to Wavelet Analysis. Bulletin of the **American Meteorological Society**, v.79, p.61-78, 1997.

Vourlitis, G.L.; Lobo, F.A.; Lawrence, S.; Lucena, I.C; Pinto Jr, O.B.; Dalmagro, H.J.; Rodriguez, O.C.E.; Nogueira, J.S. Variations in Stand Structure and Diversity along a Soil Fertility Gradient in a Brazilian Savanna (Cerrado) in Southern Mato Grosso. **Forest, Range & Wildland Soils**, 1370–1379, 2013.

Xiong, X.; Barnet, C.; Maddy, E. ; Wofsy, S.C.; Chen, L. ; Karion, A.; Sweeney, C. Detection of methane depletion associated with stratospheric intrusion by atmospheric infrared sounder (AIRS), **Geophysical Research Letters**, v.40, p.2455-2459, 2013.