

Uso da Técnica Wavelet para Análise da Concentração de CO₂ no Solo

Use of the Wavelet Technique for CO₂ Concentration Analysis in the soil

Alex César dos Santos^{*a}; Maricéia Tatiana Vilani^a; Luciana Sanches^b; Carlo Ralph De Musis^a

^aUniversidade de Cuiabá, Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Ambientais. MT, Brasil.

^bUniversidade Federal do Mato Grosso, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. MT, Brasil.

*E-mail: alexsantos3.0@hotmail.com

Resumo

O bioma do Pantanal e a conservação de seus recursos naturais têm sido o foco de muitas discussões, tanto na comunidade científica como entre as autoridades governamentais. O crescente aumento da temperatura média, e a diminuição do regime de chuvas, surgem como um dos temas mais evidenciados por pesquisadores da área. Entre as variáveis estudadas na região do bioma pantaneiro, uma das mais importantes é a concentração de CO₂ que adquire um grande valor em função de sua relação com as mudanças climáticas no Planeta. Para entender melhor o complexo bioma do Pantanal se faz necessária a utilização de diferentes métodos de análise, como as Transformadas de Wavelets, que demonstram as variações locais de potência dentro da série. Assim, o presente trabalho teve por objetivo utilizar a análise de Wavelets de Morlet nas medidas de concentração de CO₂ do solo, em área do cerrado no Norte do Pantanal Mato-grossense. Através da relação entre tempo e frequência que se analisa o espectro de energia dos períodos sazonais do Pantanal. Sendo assim, foi possível verificar por meio das análises de sinal e espectros de energia, que as estações de estiagem e vazante apresentaram predominância da concentração de CO₂, em que as Wavelets simuladas no software do Matlab, tornaram-se satisfatórios.

Palavras-chave: Séries Temporais. Wavelet de Morlet, Modelagem Ambiental.

Abstract

The Pantanal biome and the conservation of its natural resources has been the focus of many discussions, both in the scientific community and among government authorities. The increasing increase in average temperature, and the decrease in the rainfall regime, is one of the most highlighted themes by researchers in the area. Among the variables studied in the Pantanal biome region, one of the most important is the CO₂ concentration that acquires a great value due to its relationship with climate change on the planet. To better understand the complex Pantanal biome, it is necessary to use different analysis methods, such as the Wavelet Transforms that demonstrate the local power variations within the series. Thus, the present study aimed to use Morlet's Wavelets analysis in measures of the soil CO₂ concentration, in a cerrado area in the North of the Pantanal Mato-grossense. Through the relationship between time and frequency the energy spectrum was analyzed of the Pantanal seasonal periods. Thus, it was possible to verify through the signal and energy spectra analysis, that the drought and ebb stations showed a predominance of CO₂ concentration, where the wavelets simulated in the Matlab software, became satisfactory.

Keywords: Time Series. Morlet Wavelet. Environmental Modeling.

1 Introdução

A importância da conservação dos recursos naturais tem sido bastante discutida entre as autoridades governamentais e comunidade científicas, nas últimas décadas, em especial, em se tratando do bioma do Pantanal. O bioma Pantanal é considerado uma das maiores extensões úmidas contínuas do Planeta, sendo uma região de grande importância socioeconômica e ecológica. No Brasil, o Pantanal cobre uma área de aproximadamente 15,13 milhões de hectares. É um bioma bem conservado, sendo que 83,14% são de vegetação nativa, e aproximadamente 15% de áreas antrópicas, em que a maior parte é utilizada para a agropecuária, criação extensiva de gado em pastos plantados (BRASIL, 2014).

Contribuindo para a descrição desse bioma, Santos (2001) relata que a maior parte do Pantanal é formada por solos hidromórficos (92%), os quais refletem a drenagem deficiente e a tendência para inundações periódicas e

prolongadas, arenosos (66%, considerada a superfície) e de baixa fertilidade (70%). O autor supracitado explica que a distribuição da vegetação do Pantanal pode ser decorrente da ação da drenagem, fertilidade e nível freático. Há grande variedade de pastagens nativas no Pantanal (fitofisionomias), em uma área de poucos hectares pode haver vários tipos de pastagens, pois diferenças altimétricas de 10 cm, perceptíveis quando o campo está alagado, e determinam mudanças na composição florística.

Atualmente, tornou-se de suma importância a compreensão de como os distintos ecossistemas emitem ou sequestram CO₂ atmosférico, e de fato existe uma complexa variedade de processos físicos, químicos e bióticos, que atuam nessa relação. Dessa forma, estudos de trocas de energia entre a superfície e a atmosfera se tornaram essenciais para um melhor entendimento dessas interações relacionadas à emissão de CO₂ (JUNIOR, 2018).

O Pantanal, Cerrado e Floresta Amazônica são descritos

por Carvalho (2013) como importantes sistemas reguladores do meio ambiente, sendo que o bioma do Pantanal tem importância em função de seu regime de chuva e inundação que, proporcionalmente, afeta a distribuição sazonal de energia e CO₂ dessa região. Dessa forma, também se evidencia a necessidade de entendimento desse distinto ecossistema, da sua dinâmica do fluxo de CO₂, e da forma como ocorre a emissão e sequestro do carbono.

A importância em estudar o estoque de carbono (C) orgânico nos solos sob sistemas de produção tem crescido nas últimas décadas, devendo-se não somente ao seu benefício, quanto aos nutrientes e estrutura do solo, mas também pela sua importância como reserva de dióxido de carbono da atmosfera, complementam Gomes *et al.* (2013).

Sotta *et al.* (2007) explicam que o CO₂ é um gás que está presente no ar atmosférico na proporção de 0,03% do seu volume total. Esse é solúvel na água, e é praticamente impermeável ao calor emitido pela superfície terrestre aquecida (radiação terrestre).

Alguns estudos foram realizados para o melhor conhecimento de alterações nos padrões do clima global, destacando a detecção com base em métodos de estatística de indícios de mudanças climáticas, em longas séries temporais, realizados por Vilani (2011). Entretanto, o intuito neste estudo é aplicá-la nas variáveis micrometeorológicas do solo.

Vários campos de estudo já estão fazendo uso da Transformada de Wavelets (TW) como uma ferramenta comum para analisar variações locais de potência dentro da série, que permite analisar a periodicidade de eventos em diferentes escalas da variabilidade temporal, não dependendo mais de uma série estacionária, explicam Santos *et al.* (2013). Dessa forma, a decomposição pela TW de uma série temporal unidimensional é representada no tempo e frequência, concomitantemente, sendo então possível obter informações da amplitude de quaisquer sinais periódicos dentro da série, e informações de como esta amplitude varia com o tempo, descrevem Pereira *et al.* (2010).

Este trabalho tem por objetivo aplicar a técnica de Wavelets no estudo da concentração de CO₂, em área do cerrado no Pantanal Norte Mato-grossense e, especificamente, avaliar a relação entre a concentração de CO₂ no solo, com a umidade, a temperatura e a precipitação; evidenciar a importância da utilização da Transformada de Wavelet.

2 Desenvolvimento

2.1 Caracterização da área de estudo

O estudo abrangeu uma área inserida no bioma Pantanal, com cerca de 10.000 m², próximo ao posto Espírito, na RPPN (Reserva Particular do Patrimônio Natural/Sistema Nacional de Unidades de Conservação - SNUC), Estância Ecológica SESC (Serviço Social do Comércio), Pantanal, município de Barão de Melgaço, Nordeste do Pantanal de Mato Grosso, nas coordenadas 16° 34' 25,6" S e 56° 16' 56,0" O, distante a

160 km de Cuiabá. Segundo Nunes da Cunha e Junk (2004), a região de clima tipo Aw, conforme classificação climática de Köppen, que apresenta características sazonais, com um período chuvoso (outubro-abril) e outro seco (maio-setembro). A temperatura do ar média anual na RPPN SESC Pantanal oscila entre 22 e 32 °C e a precipitação média anual entre 1100 e 1200 mm, com o total médio do mês mais seco inferior a 40 mm (HASENACK *et al.*, 2003).

2.2 Wavelets de Morlet

Entre as técnicas de Wavelets contínuas foram usadas as Wavelets de Morlet que pertencem à família de Wavelets complexas não-ortogonais e se definem pela equação 1.

$$\psi(t) = \pi^{-0,25} e^{iw_0t} e^{-1/2t^2}, \text{ para } w_0 \geq 5 \quad \text{eq.(1)}$$

em que ψ é o valor da Wavelets para um parâmetro não-adimensional, t e W_0 é a frequência (fornece o número de oscilações dentro da própria Wavelets), conforme Torrence e Compo (1998) adota-se $W_0 = 6$ para satisfazer a condição de admissibilidade, significando este valor que os erros em função de média não iguais a zero são menores que os erros típicos de arredondamento e t se refere ao período ou escala temporal de análise, ou seja, adimensional (VILANI, 2011).

As Wavelets de Morlet, por se tratarem de Wavelet contínuas, são indicadas para o estudo de séries temporais com características oscilatórias sendo, com isso, apropriadas para analisar a amplitude e a fase do sinal sob avaliação. Dessa forma, a função Wavelet mãe adotada foi a de Morlet (TORRENCE; COMPO, 1998). O espectro de energia, das Wavelets (WPS) pode ser definida, segundo Kurths (2004) como a transformação Wavelets da função autocorrelação. A energia da Wavelets contínua (CWT) se define de acordo com a equação 2:

$$W_n^X(S) = \sqrt{\frac{\delta t}{S}} \sum_{n=1}^j X_n \cdot \psi_0 \left[(n'-n) \frac{\delta t}{S} \right] \quad \text{eq. (2)}$$

em que, W é a energia da Wavelets contínua do sinal $x(t)$, S é o parâmetro de dilatação usado para mudar a escala, n é o parâmetro de translação usado para deslizar no tempo. O fator $S-1/2$ é a normalização para manter constante o total da energia da Wavelets escalonada, significa a função de Wavelets e " n " é o índice do tempo.

Quanto à periodicidade encontrada neste trabalho, a escala de cores com menores intensidades representa menores desprendimentos de energia e as periodicidades dominantes, com maiores intensidades de energia. As Wavelets são precisas para identificar escalas de tempo maiores, indicando os picos de frequência dominantes, possibilitando detectar um padrão espacial.

Uma importante observação é que em decorrência da transformada Wavelets não ser completamente localizada no tempo, o resultado final possui efeitos de bordas e, por isso, a utilização da avaliação de sinais em relação ao Cone

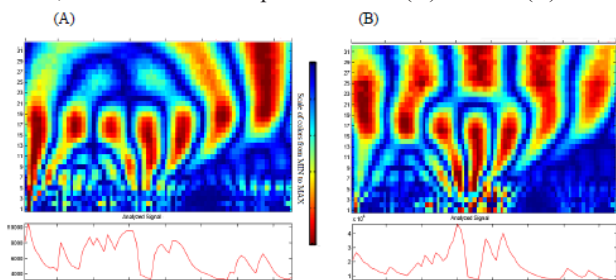
de Influência (COI), em que os efeitos de borda podem ser desprezados, conceito este que será mostrado com mais detalhes no decorrer do presente estudo.

Os resultados, nesta pesquisa, foram processados no software proprietário MATLAB (Matrix Laboratory), versão R2013a, da empresa Mathworks. O Matlab é um software de simulação matemática, que realiza operações matriciais, constrói gráficos em duas ou três dimensões, auxilia no processamento de sinais, além de manipular outras funções especializadas. Esse trabalha com uma linguagem de programação de alto nível, em um ambiente interativo, para o desenvolvimento de algoritmos, análise e visualização de dados e computação numérica. Próprio para as áreas técnica e científica, o software tem funções de tratamento numérico de alto desempenho, capazes de resolver problemas computacionais técnicos de forma mais eficiente do que as tradicionais linguagens de programação (CORRÊA *et al.*, 2011).

2.3 Resultados e Discussão

A Figura 1 apresenta a análise de sinal e espectro de energia das wavelets da estação cheia, do ano de 2012 nas profundidades (A) 10 cm e (B) 30 cm. Para ambas as profundidades os dias julianos considerados foram de 30 a 48, que representa os meses de janeiro a fevereiro.

Figura 1 - Resultado da transformada de Wavelets na estação cheia, do ano de 2012 nas profundidades (A) 10 cm e (B) 30 cm



Fonte: Dados da pesquisa.

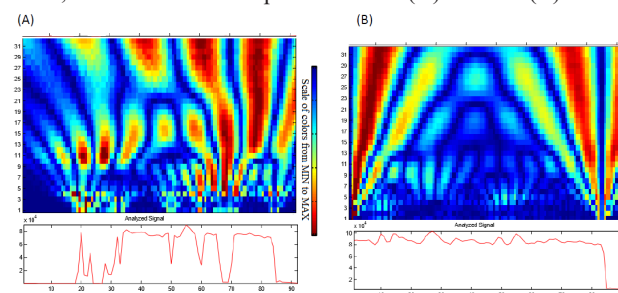
Conforme análise de sinal e gráfico do espectro de energia da concentração de CO₂ na profundidade de 10 cm foram apresentadas maior evidência entre os dias julianos 43 a 62, que correspondem ao período de cheia da região de estudo. Provavelmente se deve ao fator de que quando um solo é inundado, o equilíbrio anterior é alterado, pois a água desloca o ar dos espaços porosos, criando regiões de anaerobiose em função de depleção do oxigênio e o aumento de CO₂, produzido pela respiração microbiana (CAMARGO *et al.*, 1999).

A Figura 1 (B) apresenta o espectro de energia da concentração de CO₂ na profundidade a 30 cm, em que se observou baixa concentração de CO₂ no dia juliano 42 se elevando, gradativamente, alcançando maior pico de espectro no dia juliano 61, que se encontra dentro dos mesmos dias apresentados na Figura 1 (A).

Na Figura 2, estação estiagem, período apresentado

na figura de análise de sinal nos dias Julianos 222 a 302, respectivamente, nos meses de Agosto a Outubro. A mesma na figura (A) registrou picos de sinais variáveis durante estes dias e obtiveram médias de variância máxima, aproximadamente, no dia 268 e chegou a mínima próximo ao dia 276, em relação ao espectro de sinal se pode observar espectro de energia de maior concentração na escala nos dias 11 a 29. De acordo com Sotta *et al.* (2007), que realizou análise de concentração de CO₂ em uma região da Amazônia, em dias com chuva e sem chuva, observando que nos dias sem chuva se registrou valor menor e houve diminuição de quantidade de concentração a vários níveis de profundidade em dias sem chuva, apesar do estudo da figura (A) estar relacionado à estação de estiagem, na qual ocorre menor precipitação e houve registros de queda de chuva mesmo que mínima, o que pode provavelmente explicar o nível de concentração alto registrado no espectro de energia e análise de sinal da figura (A).

Figura 2 - Resultado da transformada de Wavelets na estação cheia, do ano de 2013 nas profundidades (A) 10 cm e (B) 30 cm.



Fonte: Dados da pesquisa.

Observando a figura (B) se registraram escalas de sinais muito significativos em relação à figura anterior, os níveis de espectro de energia foram marcantes, em todos os dias na análise de sinal, que se manteve elevada na maioria dos dias, em escala de variância acima de 8, entretanto, houve uma queda que se manteve baixa, iniciada próximo ao dia 295, acredita-se que estes dias o solo apresentou condições de umidade muito baixa, por falta de chuva e período de baixa precipitação. Segundo Brandão (2012), a umidade do solo, tanto pode favorecer como inibir a produção de CO₂.

3 Conclusão

O método de Wavelets, aplicado aos dados se mostrou importante ferramenta, pois foi possível verificar através das análises de sinal e espectros de energia, quais os meses, estações de predominância da concentração de CO₂.

A técnica da transformada de Wavelets se mostrou coerente à análise das variáveis micrometeorológicas mediante os dados obtidos, conforme estação a cada ano. Com intensidade de energia variada, em alguns períodos, e similares em outros, nas escalas de frequência, no decorrer dos meses julianos.

As Wavelets simuladas pelo Matlab se tornam um facilitador de análise, simulando/modelando os dados sem preenchimento de falha.

Referências

- BRANDÃO, A.A. *Dinâmica Temporal do efluxo de CO₂ do solo em área de cerrado no Pantanal Mato-grossense*. Cuiabá: Universidade Federal de Mato Grosso, 2012.
- CAMARGO, F. A. O. *et al.* Alterações eletroquímicas em solos inundados. *Ciênc. Rural*, p.171-180, 1999.
- CARVALHO, P.V. *Estudo do fluxo de CO₂ e do estoque de carbono do solo em área de interflúvio no Pantanal, município de Poconé, Mato Grosso*. Cuiabá: Universidade Federal de Mato Grosso, 2013.
- CORRÊA, C. R.B. *et al.* Apostila de Introdução ao Octave/Matlabr (Versão: A2011M11D01). Niterói: Universidade Federal Fluminense, 2011.
- DA CUNHA, C. N. *et al.* The Pantanal Ecology Project: Challenges and Progress of a Brazilian-German Scientific Collaboration. In: THE PANTANAL: SCIENTIFIC AND INSTITUTIONAL CHALLENGES IN MANAGEMENT OF A LARGE AND COMPLEX WETLAND ECOSYSTEM. *24th Annual Meeting of the Society of Wetland Scientists*. US Army Corps of Engineers, Engineer Research and Development Center, 2004. p. 56-77.
- GOMES, D.S. *et al.* Estoque de carbono nas classes de agregados de solos sob diferentes coberturas vegetais. In: CONGRESSO FLUMINENSE DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA. Campos dos Goytacazes-RJ, 3 a 6 de Julho, 2013.
- HASENACK, H.; CORDEIRO, J.L.P.; HOFMANN, G. S. O clima na RPPN SESC. *Relatório Técnico*. Porto Alegre: Instituto de Biociências, Centro de Ecologia, 2003.
- JUNIOR, O. B. P. *et al.* Study of CO₂ flux and soil carbon in northern Pantanal, Brazil. *Rev. Iberoam. Ciênc. Amb.*, v. 9, n. 5, p. 29-38, 2018.
- MATLAB, Matrix Laboratory, for Windows, versão R2013a, Mathworks. Disponível em: <<http://www.mathworks.com/products/matlab/>>. Acesso em: 24 nov. 2019.
- SANTOS, C.A.G. *et al.* A Transformada Wavelet e sua Aplicação na Análise de Séries Hidrológicas. *RBRH*, v. 18, n.3, p. 271-280, 2013.
- SANTOS, S. A. *Caracterização dos recursos forrageiros nativos da sub-região da Nhecolândia, Pantanal, Mato Grosso do Sul, Brasil*. Botucatu: Universidade Estadual Paulista, 2001.
- SOTTA, E. D. *et al.* Effects of an induced drought on soil carbon dioxide (CO₂) efflux and soil CO₂ production in an Eastern Amazonian rainforest, Brazil. *Global Change Biol.*, v. 13, n. 10, p. 2218-2229, 2007.
- TORRENCE, C; COMPO, Y.G.P. A practical guide to wavelet analysis. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, v.79, p.61-78, 1998.
- VILANI, M. T. *Análise de Fourier e Wavelet em variáveis micrometeorológicas em diferentes tipologias de ocupação*. Cuiabá: Universidade Federal de Mato Grosso, 2011.