



Análise espacial por krigagem da radiação fotossinteticamente ativa refletida pelo solo no interior de uma floresta inundável no Pantanal Mato-grossense⁽¹⁾.

**Vanessa Rakel de Moraes Dias⁽²⁾; Jonathan Willian Zangeski Novais⁽³⁾;
Luciana Sanches⁽⁴⁾; José de Souza Nogueira⁽⁵⁾;
Nadja Gomes Machado⁽⁶⁾; Aryadne Márcia Aquino⁽⁷⁾**

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Fundação de Amparo à Pesquisa de Mato Grosso (FAPEMAT)

⁽²⁾ Química, UNEMAT, doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Cuiabá, MT, vrmdias@hotmail.com; ⁽³⁾ Professor pesquisador do Programa de Mestrado em Ciências Ambientais da Universidade de Cuiabá (UNIC), jonathan.novais@kroton.com.br; ⁽⁴⁾ Professora Doutora do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, UFMT; ⁽⁵⁾ Professor Doutor do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, UFMT; ⁽⁶⁾ Professora Doutora do Instituto Federal de Mato Grosso (IFMT); ⁽⁷⁾ doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, UFMT.

RESUMO: Este trabalho analisou a variação espacial da radiação fotossinteticamente ativa refletida (PAR_{ref}) pelo solo em uma floresta sazonalmente inundável com dominância de *Cambará* (*Vochysia divergens* Pohl) no Pantanal Mato-grossense. A área de estudo foi dividida em 5 transectos com 11 pontos amostrais, totalizando 55 pontos medidos de dezembro de 2011 a novembro de 2012. A análise da distribuição espacial da PAR_{ref} foi realizada pelo método da krigagem. Os resultados indicaram dependência espacial da PAR_{ref} nos 9 meses analisados. O alcance mais comum entre os semivariogramas foi 100 metros em dezembro/2011, janeiro/2012 e novembro/2012, indicando uma variação entre os primeiros e últimos transectos. Essa variação pode ser dada pela diferença de cota topográfica e tipos de vegetação.

Termos de indexação: reflexão do solo, geoestatística, radiação solar, área alagável, cambarazal.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a preocupação com o possível impacto humano sobre o meio ambiente tem aumentado. Em particular, as alterações no ambiente terrestre podem ser grandes o suficiente para alterar a dinâmica da interação biosfera e atmosfera, tornando-se necessárias pesquisas *in-loco*, uma vez que a literatura atual de ciências ambientais e hidrológicas carecem de informações acerca de variáveis relativas ao que acontece abaixo do dossel de uma floresta, como o albedo, especialmente quando se trata de dados espaciais de longo prazo (Mynemi et al., 2002; Mendoza et al., 2003; Price, 2005; Zheng & Moskal 2009).

A luz é um fator essencial para muitos processos ecofisiológicos, determinando a criação e o desenvolvimento de várias espécies de plantas.

(Montgomery & Chazdon, 2001). A Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR) representa o número de fótons incidente entre 0,4 a 0,7 μ m que podem ser usados nos tecidos verdes das plantas para o processo de fotossíntese, portanto a medida da PAR é um fator essencial para ser usado para verificar as interações da radiação com o ecossistema.

Assim, com o intuito de uma melhor compreensão do comportamento da PAR abaixo do dossel, fez-se necessária o uso da geoestatística para verificação de padrões que nos permitam conhecer melhor esse comportamento. Grande parte das pesquisas possui apenas dados acima do dossel, no caso do sensoriamento remoto, ou num ponto fixo, no caso de torres meteorológicas. O conhecimento da distribuição espacial da PAR é importante para a previsão de padrões do funcionamento do ecossistema dentro de uma floresta (Vierling & Wessman, 2000).

O método de interpolação geoestatístico utilizado neste trabalho foi a krigagem. O termo krigagem é derivado do nome Daniel G. Krige, que foi o pioneiro em introduzir o uso de médias móveis para evitar a superestimação sistemática de reservas em mineração (Delfine & Delhomme, 1975). O que diferencia a krigagem de outros métodos de interpolação é a estimação de uma matriz de covariância espacial que determina os pesos atribuídos às diferentes amostras, o tratamento da redundância dos dados, a vizinhança a ser considerada no procedimento inferencial e o erro associado ao valor estimado. Além disso, a krigagem também fornece estimadores exatos com propriedades de não tendenciosidade e eficiência.

Assim, este trabalho teve como objetivo a análise espacial, pelo método da Krigagem, da radiação fotossinteticamente ativa refletida (PAR_{ref}) no Pantanal Mato-grossense de uma superfície abaixo do dossel.



MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi desenvolvido em uma área situada dentro da Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) do Serviço Social do Comércio (SESC) localizada entre as latitudes 16°20'S e 16°30'S e longitudes 56°25'25"O e 56°25'39"O, aproximadamente 160 km de Cuiabá, Mato Grosso, no Norte do Pantanal.

Dentro da área em estudo foram delimitados e georreferenciados cinco transectos (denominados A, B, C, D e E) com 50 m de comprimento e 80 m de distância entre si, contendo 11 pontos cada um, totalizando 55 demarcações (**Figura 1**). Esta área apresenta uma superfície inclinada no sentido SE/NO, com um aumento na inclinação de aproximadamente 1 cm/12 m do transecto A para o E, correspondendo a 26 cm de variação topográfica.

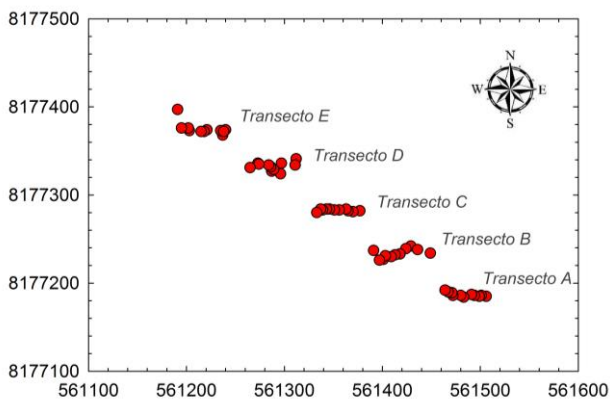


Figura 1 - Localização dos pontos amostrais em UTM (círculos sólidos vermelhos) distribuídos em 5 transectos (A, B, C, D e E), em área alagável no Pantanal Mato-Grossense.

A radiação fotossinteticamente ativa refletida foi medida utilizando um ceptômetro (LP-80 PAR/LAI, AccuPAR Decagon Devices Inc. USA), abaixo do dossel com a face voltada para o solo e, portanto, medindo a PAR refletida pelo solo (PAR_{ref}), a 1 m do solo. As medições foram realizadas entre dez horas e meio dia, entre dezembro de 2011 a novembro de 2012, sendo interrompida nos meses em que o solo estava inundado.

Conforme metodologia descrita por McBratney e Webster (1986) aplicadas agora a radiação fotossinteticamente ativa, a variável de interesse, em função das coordenadas geográficas são consideradas variáveis regionalizadas que podem variar continuamente no espaço geográfico. Cada valor observado $Z(x_i)$ nos locais x_i , $i=1, 2, 3, \dots, n$, em que x_i denota a coordenada geográfica em duas dimensões, é considerada uma realização das

variáveis aleatórias $Z(x)$. O conjunto de variáveis aleatórias constitui uma função aleatória ou processo estocástico.

A metade da esperança da variância entre pares de pontos separados por uma distância "h" é definida como semivariância e representada pelo modelo clássico, segundo a equação:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

em que $\gamma(h)$ é semivariância estimada para cada distância (lag) entre pares de pontos, $N(h)$ é o número de pares de valores medidos $z(x_i), z(x_i + h)$, separados pela distância h (Burrough & MacDonnell, 1998). O semivariograma é representado pelo gráfico $\gamma(h)$ versus h. Ao semivariograma experimental gerado por essa função deve-se ajustar um modelo teórico que forneça os parâmetros C_0 (efeito pepita), C_0+C_1 (patamar) e a (alcance).

Neste trabalho foi utilizado o modelo esférico segundo o método dos mínimos quadrados ordinários (OLS). O grau de dependência espacial das variáveis foi classificado segundo Cambardella et al. (1994): dependência espacial forte quando os semivariogramas tem efeito pepita 25% do patamar, moderada quando entre 25 e 75% e fraca >75%.

Foi utilizado o programa R e o pacote de análise geoestatística geoR (R Core Team, 2014). O R está disponível como programa livre (<http://www.r-project.org/>).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A radiação fotossinteticamente ativa refletida pelo solo (PAR_{ref}) apresentou sazonalidade característica com menores valores nos meses de seca, e maiores nos demais meses quando o solo se encontra mais saturado de água devido a inundação.

A **tabela 1** apresenta a relação espacial da PAR_{ref} em que observa-se a dependência espacial nos meses analisados. A **figura 2** apresenta os modelos esféricos ajustados aos semivariogramas experimentais.

Dos nove meses analisados foi encontrada dependência espacial fraca apenas em fevereiro e julho, sendo os demais meses dependência forte ou moderada. Com exceção de julho, os meses de solo seco apresentaram forte/moderada correlação espacial para a refletância do solo. A distância máxima de comprimento da área de estudo foi 530 m, sendo encontrada alcance máximo de dependência em junho de 2012 de 302 m.

Foi observado em maio, junho e outubro os maiores valores de alcance, 240, 302 e 240 m,



respectivamente, podendo concluir que a mudança de cobertura do solo é menos acentuada do primeiro para o último transecto nestes meses. O alcance é de fundamental importância para a interpretação dos semivariogramas, indicando a distância até onde os pontos amostrais estão correlacionados entre si (Carvalho et al., 2002). Essas mudanças podem ser consideradas pela diferença da cota topográfica, podendo ocorrer acúmulo de umidade no transecto mais baixo, e pela diferença de vegetação encontrada na região, alterando a coloração e/ou cobertura do solo, alterando assim a reflexão.

Tabela 1 - Efeito pepita (C_0), patamar (C_0+C_1) e alcance (a) estimados para a PAR_{ref} em área alagável no Pantanal Mato-Grossense, de dezembro de 2011 a novembro de 2012.

Mês	C_0	C_0+C_1	a	$\frac{C_0}{C_0+C_1}$	Dependência espacial
dez/11	0,0021	0,0039	100	0,54	moderada
jan/12	0,0015	0,0020	100	0,72	moderada
fev/12	0,0025	0,0033	120	0,77	fraca
mai/12	0,0013	0,0037	240	0,35	moderada
jun/12	0,0003	0,0020	302	0,13	forte
jul/12	0,0049	0,0065	110	0,75	fraca
ago/12	0,0016	0,0105	155	0,15	forte
out/12	0,0005	0,0010	240	0,50	moderada
nov/12	0,0028	0,0046	100	0,61	moderada

CONCLUSÕES

Conclui-se que houve dependência espacial da radiação fotossinteticamente ativa refletida (PAR_{ref}) pelo solo em uma floresta sazonalmente inundável no Pantanal Mato-grossense, indicando que o acúmulo de umidade no transecto mais baixo e diferença na vegetação entre os transectos influenciam na distribuição da reflexão de radiação PAR.

AGRADECIMENTOS

Essa pesquisa foi desenvolvida com suporte financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, da Fundação de Amparo à Pesquisa de Mato Grosso - FAPEMAT, com suporte adicional da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, e com suporte logístico da Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT e da Estância Ecológica SESC Pantanal.

REFERÊNCIAS

- BURROUGH P.A., MCDONNELL, R.A. Principles of geographical information systems. Oxford University, Press 333p, 1998.
- CAMBARDELLA, C.A., MOORMAN, T.B., NOVAK, J.M., PARKIN, T.B., KARLEN, D.L., TURCO, R.F., KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil Science Society of America Journal, 58:1501-1511, 1994.
- CARVALHO, J.R.P., SILVEIRA, P.M., VIEIRA, S.R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. Revista Agropecuária Brasileira 37(8): 1151-1159, 2002.
- DELFINE, P., DELHOMME, J.P. Optimum interpolation by kriging, in Display and Analysis of Spatial Data. J.C. Davis and M.J. McCullagh (Ed.). New York: John Wiley. 96-14, 1975.
- McBRATNEY, A.G.; WEBSTER, A.G. Choosing functions for semi-variograms and fitting them to sampling estimates. Journal of Soil Science 37: 617-639, 1986.
- MENDOZA, G.F., STEENHUIS, T.S., WALTER, M.T., PARLANGE, J.Y. Estimating basinwide hydraulic parameters of a semi-arid mountainous watershed by recession flow analysis. Journal of Hydrology 279:57-69, 2003.
- MONTGOMERY, R.A., CHAZDON, R.L. Forest structure, canopy architecture and light transmittance in tropical wet forests. Ecol. Eng. 82:2707-2718, 2001.
- MYNEMI R.B., HOFFMAN S, KNYAZIKHIN Y, PRIVETTE J.L., GLASSY J., TIAN Y., WANG Y., SONG X., ZHANG Y., SMITH G.R., LOTSCH A., FRIEDL M., MORISSETTE J.T., VOTAVA P., NEMANI R.R., RUNNING S.W.. Global products of vegetation leaf area and fraction absorbed PAR from, year one of MODIS data. Remote Sensing Environment 83(2):214-231, 2002.
- PRICE, J.S., BRANFIREUN, B.A., WADDINGTON, J.M., DEVITO, K.J. Advances in Canadian wetland hydrology, 1999-2003. Hydrological Processes, 19, 201-214, 2005.
- R Core Team (2015). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- VIERLING, L.A., WESSMAN, C.A. Photosynthetically active radiation heterogeneity within a monodominant Congolese rain forest canopy. Agricultural and Forest Meteorology 103:265-278, 2000.
- ZHENG G., MOSKAL L.M. Retrieving leaf area index (LAI) using remote sensing: theories, methods and sensors. Sensors 9:2719-2745, 2009.

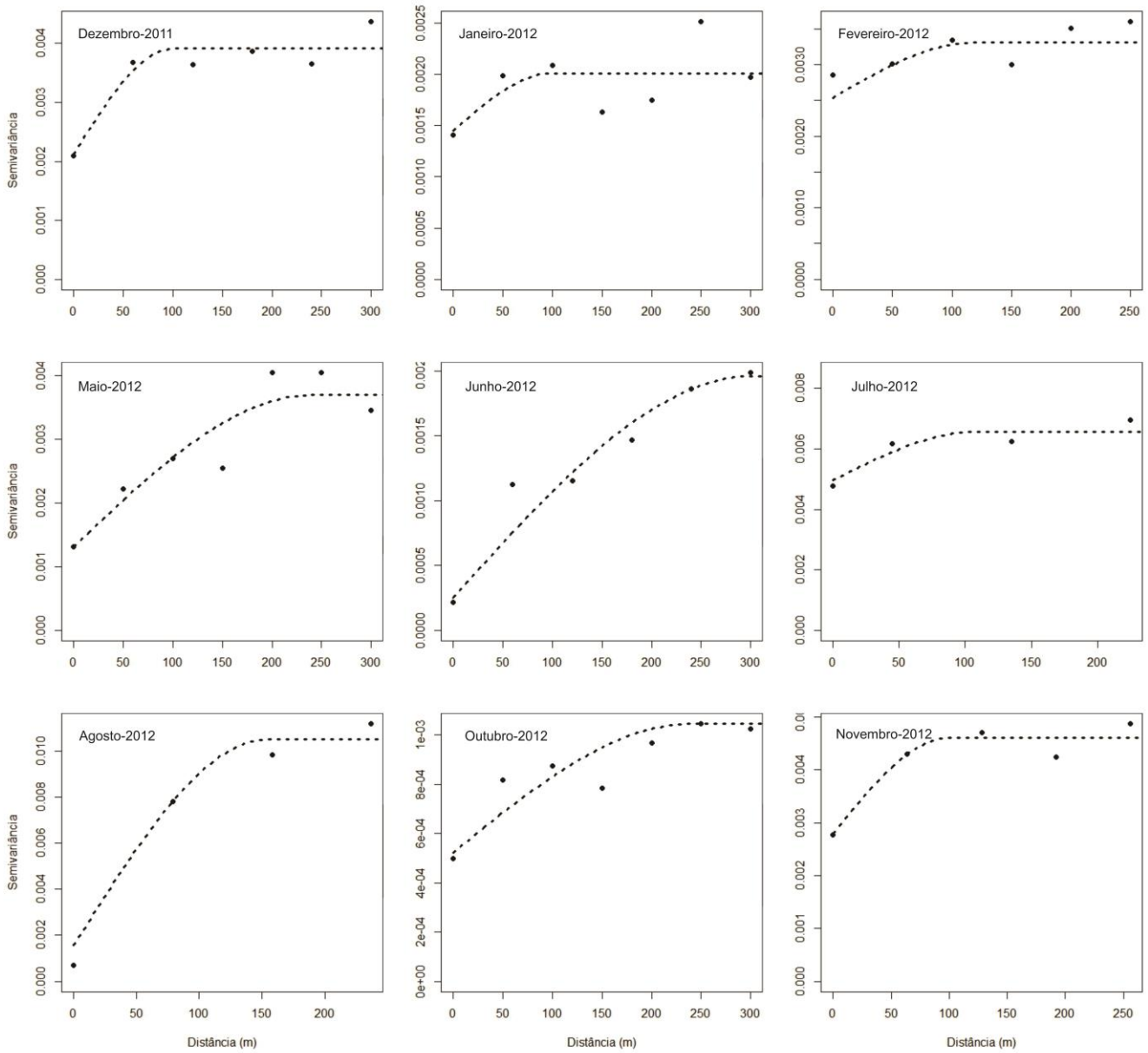


Figura 2 - Modelo esférico ajustado aos semivariogramas para a PAR_{ref} em área alagável no Pantanal Mato-Grossense de dezembro de 2011 a novembro de 2012.