

VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA PAR REFLETIDA PELO SOLO E TRANSMITIDA PELO DOSSEL EM FLORESTA INUNDÁVEL NO PANTANAL MATO-GROSSENSE

SPACE-TEMPORAL VARIATION OF PAR REFLECTED BY THE SOIL AND TRANSMITTED BY THE CANOPY IN A FLOODPLAIN FOREST OF MATO GROSSO STATE, BRAZIL

Jonathan Willian Zangeski Novais¹ Luciana Sanches² Vanessa Rakel de Moraes Dias³
Nadja Gomes Machado⁴ Ludymilla Barboza da Silva⁵ Aryadne Marcia Aquino⁶

RESUMO

A cobertura do solo e o tipo de vegetação influenciam nos fluxos radiativos, na refletância do solo abaixo do dossel e na transmitância do dossel. Neste contexto, este trabalho analisou a variação espacial e temporal da radiação fotossinteticamente ativa refletida 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 radiação fotossinteticamente ativa refletida pelo solo foi realizada utilizando semivariogramas, aplicando-se o modelo esférico. Encontrou-se correlação negativa das variáveis transmitância do dossel, radiação fotossinteticamente ativa incidente abaixo do dossel e refletida pelo solo com o índice de área foliar e positiva entre radiação fotossinteticamente ativa incidente abaixo do dossel e refletida pelo solo. Os resultados espaciais indicaram dependência espacial da radiação fotossinteticamente ativa refletida nos 9 meses analisados. O efeito pepita foi pequeno nas análises e o alcance mais comum entre os semivariogramas foi 100 m em dezembro/2011, janeiro/2012 e novembro/2012, com o maior alcance ocorrendo no mês de junho/2012. As mudanças da radiação fotossinteticamente ativa refletida podem ser consideradas pela diferença da cota topográfica, ocorrendo acúmulo de umidade no transecto mais baixo, e pela diferença de vegetação encontrada na região, alterando a coloração e/ou cobertura do solo, mudando assim a reflexão.

Palavras-chave: Cambará; área alagável; semivariograma; *Vochysia divergens*.

ABSTRACT

Ground cover and the vegetation type influence radiative flux through reflectance off the soil beneath the canopy and by transmittance from the canopy. Here, we analyze spatial and temporal variation in reflected photosynthetically active radiation (PAR), from soil in a seasonally flooded forest dominated by *Vochysia divergens* Pohl in a wetland area of Mato-Grosso State, Brazil. The study area was divided into 5 transects with 11 sampling points, totaling 55 measured points and samples were taken between December 2011 and November 2012. The spatial distribution of reflected PAR was assessed by applying the spherical model to semivariograms. We found a negative correlation between leaf area index and canopy transmittance, PAR below the canopy and PAR reflected by soil, and a positive correlation between PAR below the canopy and

- 1 Físico, Dr., Professor da Universidade de Cuiabá, Campus Barão, Rua Barão de Melgaço, 222, Jardim Vivendas, CEP 78025-300, Cuiabá (MT), Brasil. jonathan.novais@kroton.com.br
- 2 Engenheira Sanitarista, Dr^a., Professora da Universidade Federal de Mato Grosso, Av. Fernando Correa da Costa, 2367, Boa Esperança, CEP 78060-900, Cuiabá (MT), Brasil. lsanches@ufmt.br
- 3 Química, Dr^a., Química na Universidade do Estado de Mato Grosso, MT358, 7, Jardim Aeroporto, CEP 78300-000, Tangará da Serra (MT), Brasil. vrmldias@hotmail.com
- 4 Bióloga, Dr^a., Professora do Instituto Federal de Mato Grosso, Campus Bela Vista, Av. Ver. Juliano da Costa Marques, s/n, Bela Vista, CEP 78050-560, Cuiabá (MT), Brasil. nadja.machado@blv.ifmt.edu.br
- 5 Bióloga, Dr^a., Professora da Universidade do Estado de Mato Grosso, Av. Tancredo Neves, 1095, Cavallhada II, CEP 78200-000, Cáceres (MT), Brasil. ludymilla_@hotmail.com
- 6 Engenheira Sanitarista, Dr^a., Engenheira na Secretaria de Estado e Meio Ambiente, Av. Marechal Deodoro, 1055, s/n, Centro Norte, CEP 78005-100, Cuiabá (MT), Brasil. aryadneaquino@gmail.com

Recebido para publicação em 12/08/2016 e aceito em 23/10/2017

PAR reflected by soil. Our results indicate the spatial dependence of reflected PAR during the 9 months of the study. The most common range between the semivariograms was 100 m in December/2011, January/2011 and November/2012, and the greatest range was in June/2012. These variations in reflected PAR are likely caused by differences in topographical elevation, moisture buildup and vegetation differences which have the capacity to alter soil color and/or cover, thereby altering light reflection.

Keywords: Cambará; flooded area; semivariogram; *Vochysia divergens*.

INTRODUÇÃO

Áreas alagáveis estão entre os ecossistemas mais frágeis e sensíveis do planeta, sendo o Pantanal mato-grossense um dos maiores exemplos, apresentando ampla complexidade hidrológica, despertando a necessidade nos cientistas do conhecimento da dinâmica dos ciclos hidrológicos e sua influência na vegetação local.

A preocupação com o impacto de ações antropogênicas no Pantanal vem sendo tema de diversas publicações, uma vez que o desmatamento e queimadas acarretam a prevalência de novas espécies vegetais sobre outras, interferindo na biodiversidade animal e vegetal, nos processos do ecossistema, como o carbono, e na ciclagem dos nutrientes (VOURLITIS et al., 2011; DALMOLIN et al., 2012).

As frequentes oscilações dos níveis da inundação, no caso do Pantanal, causadas pela variação pluviométrica e mudanças na dinâmica sedimentológica ao longo do tempo (COLLISCHONN; TUCCI; CLARKE, 2001), podem funcionar como um filtro ao estabelecimento e desenvolvimento de algumas espécies de plantas, como a *Vochysia divergens* Pohl (Vochysiaceae) que nas zonas úmidas do Pantanal brasileiro é um exemplo bem documentado de uma espécie que rapidamente coloniza grandes áreas, formando densos povoamentos monoespecíficos, conhecidos como cambarazais (POTT; POTT, 1994; SILVA et al., 2000; NUNES DA CUNHA; JUNK, 2004; ARIERA; NUNES DA CUNHA, 2006; JUNK et al., 2006).

A literatura atual de ciências ambientais e hidrológicas, bem como sobre as variáveis relativas à estrutura do dossel e características de superfície, é limitada pela falta de dados *in loco*, especialmente dados espaciais de longo prazo (ENGMAN, 1996; CONLY; VAN DER KAMP, 2001; MYNEMI et al., 2002; MENDOZA et al., 2003; PRICE, 2005; ALLEN; TASUMI; TREZZA, 2007; ZHENG; MOSKAL 2009). O albedo, representado pela refletância da radiação solar pelo dossel, de áreas úmidas pode ser particularmente difícil de quantificar devido à variação temporal e espacial da inundação (SUMNER et al., 2011). O Pantanal possui a característica de inundação sazonal, de modo que o aumento da umidade do solo pode afetar a refletância do solo e, consequentemente, modificar o microclima abaixo do dossel.

A luz é um fator essencial para muitos processos ecofisiológicos, determinando a criação e o desenvolvimento de várias espécies de plantas (MESSIER; PUTTONEN, 1995; MONTGOMERY; CHAZDON, 2001). A radiação fotossinteticamente ativa (PAR) representa o número de fótons incidente entre 0,4 a 0,7 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. A relação entre a radiação fotossinteticamente ativa incidente sobre um dossel e transmitida pelo mesmo pode ser avaliada pelo índice de área foliar (IAF). O IAF é uma medida adimensional da cobertura de folhas que corresponde à quantidade de camadas de folhas em m^2 , por área de solo também em m^2 (LARCHER, 2006). O IAF é um dos principais parâmetros fisiológicos medido em florestas, estando diretamente relacionado com a transpiração, a produtividade e a interceptação da precipitação pluvial (ALMEIDA et al., 2015). É também uma das principais saídas dos modelos processuais de estimativa de produtividade agrícola e florestal (STAPE; RYAN; BINKLEY, 2004; LANDSBERG; SANDS, 2011).

Grande parte das pesquisas possui apenas dados acima do dossel, usando dados de sensoriamento remoto, ou de torres meteorológicas para o monitoramento. 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), tanto em função da refletância como da transmitância.

Assim, este trabalho teve como objetivo a análise espacial e temporal da radiação fotossinteticamente ativa refletida, por meio de dados obtidos em transectos em floresta sazonalmente alagável no Pantanal mato-grossense. Além disso, buscou-se ampliar a discussão em função da variação da PAR e sua relação com o IAF.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e descrição da área em estudo

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-MT no Norte do Pantanal.

O clima regional é do tipo Aw, segundo a classificação climática de Köppen, caracterizado por ser quente e úmido com chuvas no verão e estiagem no inverno. A precipitação pluviométrica oscila entre 800 e 1400 mm/ano (JOHNSON et al., 2013). A média anual de temperatura do ar oscila entre um máximo de 29 a 32°C e um mínimo de 17 a 20°C.

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. Esta área apresenta uma superfície inclinada no sentido SE/NO, com um aumento na inclinação de aproximadamente de 1 cm/12 m do transecto A para o E, correspondendo a 26 cm de variação topográfica (NOVAIS et al., 2015; 2016).

A topografia da planície de inundação é praticamente plana, levando a inundações durante o período chuvoso (NUNES DA CUNHA, 2001). A vegetação local apresenta mais de 14 espécies distribuídas em 13 famílias, destacando-se *Vochysia divergens* Pohl (Vochysiaceae), *Licania parvifolia* e *Mouriri elliptica* e o entorno da área é formado por pastagem (SANCHES et al., 2011; MACHADO et al., 2015a). O índice de cobertura relativa da espécie *Vochysia divergens* Pohl decresce do transecto A para o transecto B, C, D e E, sendo 66, 49, 48, 17 e 13, respectivamente. E o Índice de diversidade de Shannon-Wiener aumenta do transecto A para o transecto B, C, D e E, sendo 1,24, 1,35, 1,54, 1,73 e 1,84, respectivamente (SILVA, 2013; MACHADO et al., 2015b).

Análises de textura do solo nos transectos descrevem um solo com pH ácido variando de 5,6 no transecto A a 5,8 nos demais transectos. O solo no transecto A é um solo franco-argiloso e nos demais transectos argiloso, segundo análises da textura do solo em amostras coletadas a 0-10 cm de profundidade do solo com um trado em 55 pontos em dezembro de 2011 e julho de 2012.

Medição da PAR e do IAF

As medidas da radiação fotossinteticamente ativa no exterior do dossel (PAR_{ext}), da radiação fotossinteticamente ativa incidente no interior do dossel (PAR_{inc}), radiação fotossinteticamente ativa refletida pelo solo (PAR_{ref}) e IAF para cada ponto dos transectos (55 pontos) foram feitas utilizando-se 2 ceptômetros (LP-80 PAR/LAI, AccuPAR Decagon Devices Inc. USA). Ambas as medições foram realizadas a 1 m do solo entre as dez horas e meio-dia, momento de maior radiação solar.

Estimativa da transmitância do dossel e albedo do solo para radiação fotossinteticamente ativa

A transmitância do dossel para radiação fotossinteticamente ativa (T_{par}) foi estimada pela razão entre a radiação fotossinteticamente ativa incidente abaixo do dossel (PAR_{inc}) e a radiação fotossinteticamente ativa incidente no exterior do dossel (PAR_{ext}).

O albedo do solo para radiação fotossinteticamente ativa (α_{par}) foi estimado pela razão entre a radiação fotossinteticamente ativa refletida pelo solo abaixo do dossel (PAR_{ref}) e a radiação fotossinteticamente ativa incidente abaixo do dossel (PAR_{inc}) (FOKEN, 2008).

Período de coleta de dados

As medidas de radiação fotossinteticamente ativa foram mensais, iniciando-se em dezembro de 2011, indo até novembro de 2012. Devido à dificuldade de acesso e segurança da equipe nas épocas de cheia pantaneira, as medidas não foram feitas nos meses de março, abril, setembro de 2012.

Análise estatística

Aplicou-se o teste de Shapiro-Wilk para verificação da normalidade e, uma vez que a distribuição não foi normal, optou-se pela estatística não paramétrica para análise das correlações entre as variáveis, utilizando o teste de correlação de Spearman. A correlação de Spearman foi utilizada para comparar variáveis diferentes, calculando o grau de correlação que há entre cada variável. O coeficiente ρ de Spearman mede a intensidade da relação entre variáveis ordinais. Usa, em vez do valor observado, apenas a ordem das observações. Deste modo, este coeficiente não é sensível a assimetrias na distribuição, nem à presença de *outliers*, não exigindo, portanto, que os dados provenham de duas populações normais, pressuposto para testes paramétricos. Aplica-se como alternativa ao R de Pearson, quando neste último se viola a normalidade (SPEARMAN, 1904). O coeficiente de correlação é adimensional e situa-se no intervalo $-1 \leq \rho \leq 1$.

Quanto à análise espacial, ajustou-se semivariogramas aos dados de radiação fotossinteticamente ativa refletida. É importante a seleção do melhor método de ajuste de semivariograma porque, a partir deste, interpreta-se a estrutura de correlação espacial a ser utilizada nos procedimentos inferenciais da krigagem (DIAS; ALVES; SANCHES, 2015). A variável de interesse, em função das coordenadas geográficas são consideradas variáveis regionalizadas que podem variar continuamente no espaço geográfico. Cada valor observado 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 (DIAS et al., 2012). O conjunto de variáveis aleatórias constitui uma função aleatória ou processo estocástico (MCBATNEY; WEBSTER, 1986).

A semivariância mede o grau de dependência entre duas amostras, em que esta aumenta conforme a distância entre os pontos aumente, até se estabilizar, no ponto chamado patamar ($C_0 + C_g$), sendo a metade da esperança da variância entre pares de pontos separados por uma distância “h” representada pelo modelo clássico, segundo a equação 1:

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

Em que γ é semivariância estimada para cada distância (lag) entre pares de pontos; $N(h)$ é o número de pares de valores medidos, separados pela distância h (BURROUGH; MACDONNELL, 1998). O semivariograma é representado pelo gráfico *versus* h. Ao semivariograma experimental gerado por essa função deve-se ajustar um modelo teórico que forneça os parâmetros efeito pepita (C_0), patamar ($C_0 + C_g$) e alcance (a). A semivariância mede o grau de dependência entre duas amostras, em que esta aumenta conforme a distância entre os pontos aumente, até se estabilizar, no ponto chamado patamar.

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

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Abaixo na Figura 1 seguem os resultados das médias mensais para PAR_{ext} , PAR_{inc} , PAR_{ref} , α_{par} e T_{par} . A maior PAR_{ext} foi 2053,8 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ em novembro de 2012, e a menor foi 1197,1 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ em junho de 2012. Também, nos mesmos meses, novembro e junho, ocorreram os maiores e menores valores de PAR_{inc} e PAR_{ref} , com os valores máximos de 180,7 e 11,2 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$, e mínimos 47,6 e 2,9 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$, respectivamente. Os valores da PAR_{ext} , PAR_{inc} , PAR_{ref} acompanham o padrão da radiação global do hemisfério sul (NOVAIS et al., 2016; 2017).

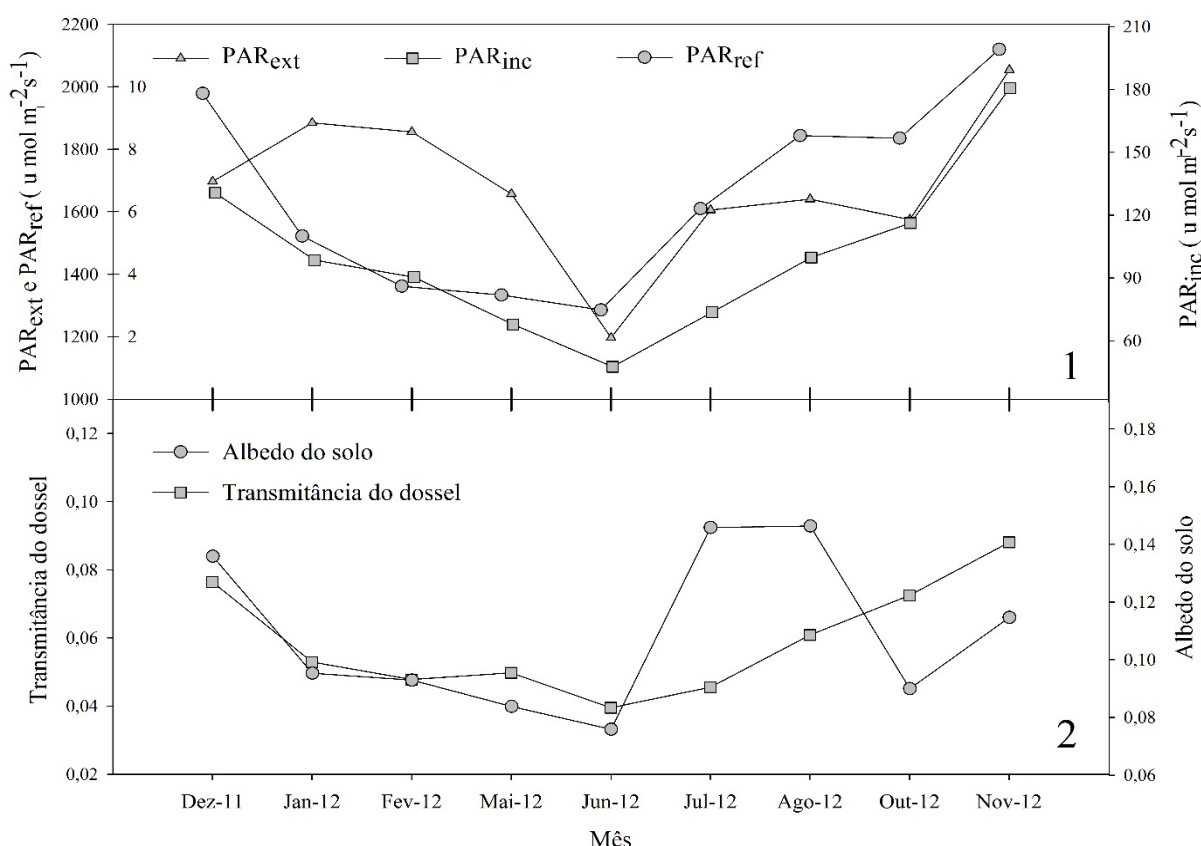


FIGURA 1: 1) PAR_{ext} (eixo esquerdo exterior), PAR_{inc} (eixo esquerdo interior), PAR_{ref} (eixo direito), em uma floresta inundável no Pantanal mato-grossense. 2) Transmitância do dossel e albedo do solo para radiação fotossinteticamente ativa em uma floresta inundável no Pantanal mato-grossense.

FIGURE 1: 1) PAR_{ext} (outer left axis), PAR_{inc} (inside left axis) and PAR_{ref} (right axis), in a floodplain forest in Pantanal of Mato-Grosso. 2) α_{par} and T_{par} in a floodplain forest in Pantanal of Mato-Grosso state.

Em que: PAR_{ext} = radiação fotossinteticamente ativa incidente no exterior do dossel; PAR_{inc} = radiação fotossinteticamente ativa incidente abaixo do dossel; PAR_{ref} = radiação fotossinteticamente ativa refletida pelo solo.

As maiores médias de T_{par} ocorreram no transecto E, transecto que possui a menor dominância de cambará (MACHADO et al., 2015b), sendo maior em todos os meses, com exceção de fevereiro de 2012, destacando novembro de 2012, com 16% da transmitância da PAR_{ext} . É bem conhecido que devido às características estruturais do dossel típicos de copas altas, esses interceptam mais a radiação recebida, reduzindo assim o albedo da floresta (CESCATTI, 1998; DAVIDSON; WANG, 2004) e a transmitância. Dessa forma, as menores médias e desvio padrão de T_{par} ocorreram no transecto B, transecto que possui dominância de cambará (*Vochysia divergens* Pohl), alcançando 25 m de altura (LORENZI, 2008). A partir de agosto de 2012 ocorreu aumento de T_{par} , coincidindo com o período de perda de folhas pela vegetação, observado pela variação do índice de área foliar na Tabela 1.

Em relação ao albedo de radiação PAR do solo (α_{par}), percebe-se um aumento de seus valores entre os meses de julho e agosto de 2012, período em que não houve chuva, conforme estudo ocorrido no mesmo lugar e período (NOVAIS et al., 2015). A perda de folhas da vegetação de áreas tropicais pela falta de umidade muda a cobertura de superfície (SANCHES et al., 2008), que passa a ser coberta de cores claras devido à decomposição de folhas secas sobre o solo, aumentando o albedo nesses meses (NOVAIS et al., 2016). Novais et al. (2015) afirmam que as maiores médias de serrapilheira ocorreram em agosto para o ano de 2012, com média de 1408,75 g/m².

TABELA 1: Média ($\pm$ DP) do Índice de Área Foliar (IAF) nos transectos de “A” a “E” em floresta inundável no Pantanal mato-grossense.

TABLE 1: Mean and standard deviation of leaf area index in transects “A” to “E” in a floodplain forest in Pantanal of Mato-Grosso state.

Transectos	IAF (m^2m^{-2})								
	Jul-12			Sep-12			Oct-12		
A	5,2	$\pm$	2,2	3,7	$\pm$	0,6	3,1	$\pm$	0,7
B	6,9	$\pm$	0,7	4,3	$\pm$	0,2	5,6	$\pm$	0,3
C	5,7	$\pm$	0,6	4,2	$\pm$	0,8	5,0	$\pm$	0,2
D	6,6	$\pm$	0,7	3,0	$\pm$	1,1	4,5	$\pm$	0,9
E	5,8	$\pm$	0,8	2,7	$\pm$	0,9	4,5	$\pm$	0,2

Um dos fatores que contribuem para menores valores da T_{par} é o ângulo de declinação solar, que na estação seca se apresenta com valores mais elevados (SPOLADOR; SANCHES; COSTA, 2006). Quanto maior o ângulo zenital maior será o caminho percorrido pela radiação dentro do dossel, aumentando a chance de ocorrer uma absorção por folhas e galhos (SENNA; COSTA; SHIMABUKURO, 2005).

Januário, Viswanadham e Senna (1992) encontraram em uma floresta tropical úmida na Amazônia, transmitância da radiação de 4,7%. Já estudos realizados por Leitão (1994) e Senna, Costa e Shimabukuro (2005) apresentaram valor de T_{par} de 1,3 % e 3%, respectivamente. Esse comportamento diferenciado é explicado, pela ocorrência ou não, de clareiras, que modificam significativamente o regime da PAR no interior da floresta (SANSEVERO; PIRES; PEZZOPANE, 2006).

O IAF foi medido em julho, setembro e outubro de 2012, conforme Tabela 1. Observa-se queda nos valores de IAF de julho a outubro. Os menores valores de IAF ocorreram em setembro de 2012, seguindo os padrões fenológicos de *Vochysia divergens* Pohl, que tendem a perder as folhas mais antigas no período de seca (DALMAGRO et al., 2013).

Os maiores valores de IAF $5,6 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$ e $5 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$ ocorreram nos transectos B e C, em julho, setembro e outubro de 2012, transectos que apresentaram dominância de *Vochysia divergens* Pohl. Fraga (2009) encontrou IAF entre $4,0$ e $4,9 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$ em área de cambarazal no Pantanal e Biudes et al. (2014) no $4,8 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$ no período chuvoso também no cambarazal em 2008.

Visando avaliar como a estrutura da copa afeta a dinâmica dos fluxos radiativos abaixo do dossel fez-se teste de correlação de Spearman para comparações entre IAF, PAR_{ext} , PAR_{inc} , PAR_{ref} , α_{par} e T_{par} , conforme Tabela 2.

TABELA 2: Correlação de Spearman entre o IAF, PAR_{ext} , PAR_{inc} , PAR_{ref} , α_{par} e T_{par} em floresta inundável no Pantanal mato-grossense.TABLE 2: Spearman correlation between IAF, PAR_{ext} , PAR_{inc} , PAR_{ref} , α_{par} and T_{par} in a floodplain forest in Pantanal of Mato-Grosso state.

	PAR_{ext}	PAR_{inc}	PAR_{ref}	α_{par}	T_{par}
IAF	-0,03 ¹	-0,50 ¹	-0,52 ¹	0,20 ¹	-0,50 ¹
	0,81 ²	0,00 ²	0,00 ²	0,14 ²	0,00 ²
PAR_{ext}	-	0,115 ¹	0,154 ¹	0,005 ¹	-0,139 ¹
	-	0,010 ²	0,001 ²	0,897 ²	0,002 ²
PAR_{inc}	-	-	0,753 ¹	-0,587 ¹	0,945

Continuação...

TABELA 2: Continuação...

TABLE 2: Continued...

	PAR _{ext}	PAR _{inc}	PAR _{ref}	α_{par}	T _{par}
	-	-	0,000 ²	0,000 ²	0,000
PAR _{ref}	-	-	-	0,029	0,675
	-	-	-	0,519	0,000
α_{par}	-	-	-	-	0,590 ¹
	-	-	-	-	0,000 ²

Em que: ¹Coefficiente de correlação; ²P valor; IAF = índice de área foliar; PAR_{ext} = radiação fotossinteticamente ativa incidente no exterior do dossel; PAR_{inc} = radiação fotossinteticamente ativa incidente abaixo do dossel; PAR_{ref} = radiação fotossinteticamente ativa refletida pelo solo; α_{par} = albedo de radiação fotossinteticamente ativa; T_{par} = transmitância do dossel para radiação fotossinteticamente ativa.

Encontrou-se coeficiente de correlação negativa entre a PAR_{inc} e PAR_{ref} com o IAF, ou seja, para pares com coeficientes de correlação negativos, P valor abaixo de 0,05, uma variável tende a diminuir, enquanto a outra aumenta.

Houve forte correlação ($\rho=0,753$) entre a PAR_{inc} e a PAR_{ref}, indicando que a PAR_{ref} depende fortemente da PAR_{inc} na superfície. Vilani et al. (2007) encontraram correlação significativa entre a radiação que ultrapassa o dossel e a transmitância em floresta de transição Amazônia-Cerrado.

Não houve correlação entre a PAR_{ext} e as PAR_{ref} e PAR_{inc}. Foi encontrada correlação negativa ($\rho=-0,590$) entre T_{par} e IAF, porém, não houve relação entre IAF e α_{par} . Dessa forma, a estrutura do dossel influencia diretamente na transmissão de radiação para seu interior, não chegando, porém, a influenciar a α_{par} .

A correlação negativa entre PAR_{inc} e PAR_{ref} com IAF, indica que para um maior IAF, menos radiação chega ao solo e é refletida por ele. A senescência dos componentes da planta ocorrem durante ou após a maturação da planta e podem ser causadas por fatores de estresse, como a falta de água e de nutrientes ou temperaturas extremas (VAN LEEUWEN; HUETE, 1996).

Os sucessivos crescimentos da vegetação e fases de senescência são responsáveis por modificações fisiológicas que resultam em alterações da assinatura espectral e brilho da superfície terrestre, afetando o albedo de superfície, ou seja, a quantidade de radiação solar refletida (GOVAERTS; LATTANZIO, 2008).

Uma vez que não houve correlação entre PAR_{ext} e as PAR_{ref} e PAR_{inc} indica que o dossel somente exerce influência na PAR inferior a ele, uma vez que o dossel é um fator limitante na passagem de radiação. Dessa forma o IAF é um fator que influencia na radiação que passa pelo dossel, visualizado pelos valores de transmitância, não chegando a ser correlacionado com o albedo da superfície, mais ligada às propriedades do solo.

Apresenta-se na Tabela 3 a relação espacial da PAR_{ref} em que se observou a dependência espacial nos meses analisados.

TABELA 3: Efeito pepita (C_0), patamar (C_0+C_1), alcance (a) e dependência espacial estimados para a PAR_{ref} em uma floresta inundável no Pantanal mato-grossense.TABLE 3: Nugget effect (C_0), sill (C_0+C_1), range (a) and estimated spatial dependence to PAR_{ref} in a floodplain forest in Pantanal of Mato-Grosso state.

Mês	C_0	C_0+C_1	A	C_0/C_0+C_1	Dependência espacial
Dec-11	0,0021	0,0039	100	0,54	moderada
Jan-12	0,0015	0,0020	100	0,72	moderada
Feb-12	0,0025	0,0033	120	0,77	fraca

Continuação...

TABELA 3: Continuação...
TABLE 3: Continued...

Mês	C_0	C_0+C_1	A	C_0/C_0+C_1	Dependência espacial
May-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
Aug-12	0,0016	0,0105	155	0,15	forte
Oct-12	0,0005	0,0010	240	0,50	moderada
Nov-12	0,0028	0,0046	100	0,61	moderada

Observa-se pela Tabela 3 que o efeito pepita ficou entre 0,0003 de 0,0049. Pequenos valores de efeito pepita (C_0) indicam pequenos erros nas medidas (DAFONTE et al., 2010).

Abaixo na Figura 2 foram apresentados os modelos esféricos ajustados aos semivariogramas experimentais.

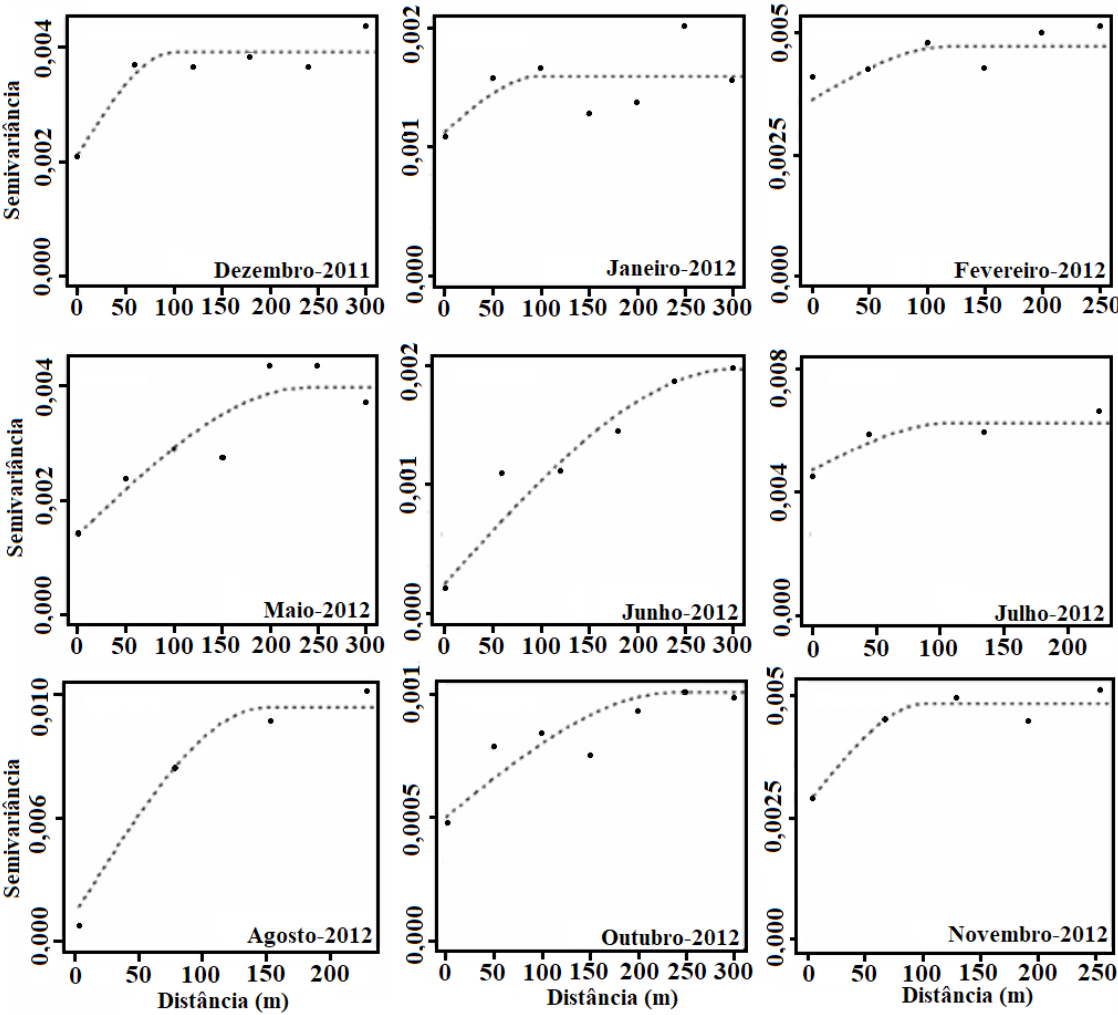


FIGURA 2: Modelo esférico ajustado aos semivariogramas para a PAR_{ref} em uma floresta inundável no Pantanal mato-grossense.

FIGURE 2: Spherical model adjusted to the PAR_{ref} semivariogram in a floodplain forest in Pantanal of Mato-Grosso state.

Dos nove meses analisados foi encontrada dependência espacial fraca apenas em fevereiro e julho, em que o efeito pepita foi maior que 75%, sendo os demais meses dependência forte ou moderada (CAMBARDELLA et al., 1994; ANGELICO, 2006). Com exceção de julho, os meses de solo seco apresentaram forte/moderada correlação espacial para a reflexão do solo. A distância máxima de comprimento dos transectos foi 530 m, sendo encontrada alcance máximo de dependência em junho de 2012 de 302 m.

Foram observados, em maio, junho e outubro, os maiores valores de alcance, 240, 302 e 240 m, respectivamente, porém, o alcance mais comum foi o de 100 m, ocorrendo em 3 meses diferentes, ou seja, dados de PAR_{ref} a distâncias inferiores a 100 m foram correlacionadas entre si.

No período de seca ocorreram os maiores alcances, podendo-se 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; SILVEIRA; VIEIRA, 2002). As mudanças da PAR_{ref} podem ser consideradas pela diferença da cota topográfica, ocorrendo acúmulo de umidade no transecto mais baixo, e pela diferença de vegetação encontrada na região, alterando a coloração e/ou cobertura do solo, mudando assim a reflexão.

CONCLUSÃO

Conclui-se que não houve correlação entre PAR_{ext} e as PAR_{ref} e PAR_{inc} , indicando que o dossel somente exerce influência na PAR inferior a ele, sendo fator limitante na passagem de radiação. Dessa forma, o IAF está significativamente correlacionado com os valores de PAR_{inc} , PAR_{ref} e transmitância, não chegando a ser correlacionado com o albedo da superfície, mais ligada às propriedades do solo. Uma vez que a sazonalidade de queda de folhas e inundação fazem com que o sistema seja muito dinâmico, variando de um mês para outro o IAF e a cobertura do solo, esta última fazendo variar a reflexão. Quanto à variação espacial, houve dependência da radiação fotossinteticamente ativa refletida (PAR_{ref}) pelo solo, indicando que a diferença na estrutura e composição da vegetação nos transectos influenciaram na distribuição da refletância, transmitância da PAR, assim como no IAF, bem como a diferença de cota topográfica, que influencia na inundação e vazante do local de estudo.

AGRADECIMENTOS

Essa pesquisa foi desenvolvida com suporte financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (Processo 47880/2010-6), e da Fundação de Amparo à Pesquisa de Mato-Grosso – FAPEMAT (Processo 286742/2010), 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

- ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration model (METRIC). **Journal of irrigation and drainage engineering**, New York, v. 133, n. 4, p. 395-407, 2007.
- ALMEIDA, A. Q. et al. Índice de Área Foliar de Eucalyptus Estimado por Índices de Vegetação Utilizando Imagens TM - Landsat 5. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 3, p. 368-376, 2015.
- ANGELICO, J. C. Desempenho da co-krigagem na determinação da variabilidade de atributos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 6, 2006.
- ARIEIRA, J.; NUNES DA CUNHA, C. Fitossociologia de uma floresta inundável monodominante de *Vochysia divergens* Pohl (Vochysiaceae), no Pantanal Norte, MT, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 20, p. 569-580, 2006.
- BIUDES, M. S. et al. Ground and remote sensing-based measurements of leaf area index in a transitional forest and seasonal flooded forest in Brazil. **International Journal Biometeorology**, [s. l.],

v. 58, n. 6, 2014.

BURROUGH P. A.; MCDONNEL, R. A. **Principles of geographical information systems**. Oxford: Oxford University Press, 1998. 333 p.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Fieldscale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, p. 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. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 8, p. 1151-1159, 2002.

CESSATTI, A. Effects of needle clumping in shoots and crowns on the radiative regime of a Norway spruce canopy. **Annals of Forest Science**, Les Ullis, v. 55, p. 89-102, 1998.

COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Further evidence of changes in the hydrological regime of the river Paraguay: part of a wider phenomenon of climate change. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 245, p. 218-238, 2001.

CONLY, F. M.; VAN DER KAMP, G. Monitoring the hydrology of Canadian prairie wetlands to detect the effects of climate change and land use changes. **Environmental Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v. 67, p. 195-215, 2001.

DAFONTE, J. M. et al. Mapping of soil micronutrients in an european atlantic agricultural landscape using ordinary kriging and indicator approach. **Bragantia**, Campinas, v. 69, supl, 2010.

DALMAGRO, H. J. et al. Photosynthetic parameters of two invasive tree species of the Brazilian Pantanal in response to seasonal flooding. **Photosynthetica**, Prague, v. 51, n. 2, p. 281-294, 2013.

DALMOLIN, A. C. et al. Effects of flooding and shading on growth and gas exchange of *Vochysia divergens* Pohl (Vochysiaceae) of invasive species in the Brazilian Pantanal. **Brazilian Society of Plant Physiology**, Campo dos Goytacazes, v. 24, n. 2, p. 75-84, 2012.

DAVIDSON, A.; WANG, S. S. The effects of sampling resolution on the surface albedos of dominant land cover types in the North American boreal region. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 93, p. 211-224, 2004.

DIAS, V. R. M.; ALVES, M. C.; SANCHES, L. Métodos de ajustes de semivariograma para modelagem espacial de íons de precipitação pluvial em Cuiabá, Brasil. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 312-320, 2015.

DIAS, V. R. M. et al. Spatio-temporal variability of anions in wet precipitation of Cuiabá, Brazil. **Atmospheric research**, Amsterdam, v. 107, p. 9-19, 2012.

ENGMAN, E. T. Remote sensing applications to hydrology: future impact. **Hydrological Sciences Journal**, Oxford, v. 41, p. 637-647, 1996.

FRAGA, C. I. M. **Evapotranspiração e fator de desacoplamento em área de Cambarazal no Pantanal**. 2009. 56 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2009.

FOKEN, T. **Micrometeorology**. Berlin: Springer, 2008. 308 p.

GOVAERTS, Y.; LATTANZIO, A. Estimation of surface albedo increase during the eighties Sahel drought from Meteosat observations. **Global and Planetary Change**, Amsterdam, v. 64, p. 139-145, 2008.

JANUARIO, M.; VISWANADHAM, Y.; SENNA, R. C. Radiação solar total dentro e fora de floresta tropical húmica de terra firme (Tucuruí, Pará). **Acta Amazônica**, Manaus, v. 22, p. 335-340, 1992.

JOHNSON, M. S. et al. Soil CO₂ Dynamics in a Tree Island Soil of the Pantanal: The Role of Soil Water Potential. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 8, n. 6, 2013.

JUNK, W. J. et al. Biodiversity and its conservation in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. **Aquatic Sciences**, Basel, v. 68, p. 278-309, 2006.

LANDSBERG J. J.; SANDS, P. **Physiological ecology of forest production: principles, processes and models**. New York: Academic Press, 2011. 352 p. (Terrestrial Ecology Series, n. 4).

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2006. 550 p.

LEITÃO, M. M. V. B. R. **Balanco de radiação em três ecossistemas da floresta amazônica: campina, campinarana e mata densa**. 1994. 135 f. Tese (Doutorado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1994.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**.

5. ed. Nova Odessa: Editora Plantarum, 2008. v. 1.
- MACHADO, N. G. et al. Growth rhythm of *Vochysia Divergens* Pohl (Vochysiaceae) in the Northern Pantanal. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, Maringá, v. 37, p. 81-90, 2015a.
- MACHADO, N. G. et al. Soil nutrients and vegetation structure in a neotropical seasonal wetland. **Applied ecology and environmental research**, Budapest, v. 13, n. 2, p. 289-305, 2015b.
- MCBRATNEY, A. G.; WEBSTER, A. G. Choosing functions for semi-variograms and fitting them to sampling estimates. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 37, p. 617-639, 1986.
- MENDOZA, G. F. et al. Estimating basinwide hydraulic parameters of a semi-arid mountainous watershed by recession flow analysis. **Journal of Hydrology**, Basel, v. 279, p. 57-69, 2003.
- MESSIER, C.; PUTTONEN, P. Spatial and temporal variation in the light environment of developing Scots pine stands; the basis for a quick and efficient method of characterizing light. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 25, p. 343-354, 1995.
- MONTGOMERY, R. A.; CHAZDON, R. L. Forest structure, canopy architecture and light transmittance in tropical wet forests. **Ecology**, Brooklyn, v. 82, n. 10, p. 2707-2718, 2001.
- MYNEMI, R. B. et al. Global products of vegetation leaf area and fraction absorbed PAR from, year one of MODIS data. **Remote Sensing Environment**, [s. l.], v. 83, n. 2, p. 214-231, 2002.
- NOVAIS, J. W. Z. et al. Albedo do solo abaixo do dossel em área de *Vochysia Divergens* Pohl no norte do Pantanal. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 31, n. 2, p. 157-166, 2016.
- NOVAIS, J. W. Z. et al. Relação entre profundidade óptica de aerossóis e radiação fotossinteticamente ativa e global no cerrado mato-grossense. **Revista Estudo & Debate**, Lajeado, v. 24, n. 1, p. 153-167, 2017.
- NOVAIS, J. W. Z. et al. Variação horária e sazonal da radiação solar incidida e refletida e suas relações com variáveis micrometeorológicas no Pantanal Norte Mato-grossense. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, São Paulo, v. 38, p. 96-108, 2015.
- NUNES DA CUNHA, C. et al. Influences of dry and flooding periods on phenology and the dynamic of seedlings and saplings of *Vochysia divergens* Pohl, in the Pantanal of Poconé. 2001. In: GERMAN-BRAZILIAN WORKSHOP ON NEOTROPICAL ECOSYSTEMS, Hamburg. **Proceedings...** Hamburg: [s. n.], 2001. p. 871-874.
- NUNES DA CUNHA, C.; JUNK, W. J. Year-to-year changes in water level drive the invasion of *Vochysia divergens* in Pantanal grasslands. **Applied Vegetation Science**, [s. l.], v. 7, p. 103-110, 2004.
- PRICE, J. S. et al. Advances in Canadian wetland hydrology, 1999–2003. **Hydrological Processes**, Chichester, v. 19, p. 201-214, 2005.
- POTT, A.; POTT, V. J. **Plantas do Pantanal**. Brasília: EMBRAPA, 1994. 320 p.
- SANCHES, L. et al. Índice de área foliar em floresta de transição Amazônia cerrado em diferentes métodos de estimativa. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 57-69, 2008.
- SANCHES, L. et al. Seasonal Patterns of Evapotranspiration for a *Vochysia divergens* Forest in the Brazilian Pantanal. **Wetlands**, [s. l.], v. 31, p. 1215-1225, 2011.
- SANSEVERO, J. B. B.; PIRES, J. P. A.; PEZZOPANE, J. E. M. Caracterização ambiental e enriquecimento da vegetação de áreas em diferentes estágios sucessionais (pasto, borda, clareira e floresta). **Revista científica eletrônica de engenharia florestal**, Garça, v. 7, 2006.
- SENNA, M. C. A.; COSTA, M. H.; SHIMABUKURO, Y. E. Fraction of photosynthetically active radiation absorbed by Amazon tropical forest: A comparison of field measurements, modeling, and remote sensing. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 110, 2005.
- SILVA, M. P. et al. Distribuição e quantificação de classes de vegetação do Pantanal através de levantamento aéreo. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 143-152, 2000.
- SILVA, L. B. **Relações entre aporte de serrapilheira, nutrientes e efluxo de dióxido de carbono em floresta inundável de *Vochysia divergens* Pohl no Pantanal Mato-Grossense**. 2013. 70 f. Tese (doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2013.
- SPOLADOR, J.; SANCHES L.; COSTA, M. H. Radiação fotossinteticamente ativa em uma floresta de transição Cerrado-Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 21, n. 3b, p. 301-307, 2006.
- SUMNER, D. M.; WU, Q.; PATHAK, C. S. Variability of Albedo and Utility of the MODIS Albedo Product in Forested Wetlands. **Wetlands**, [s. l.], v. 31, p. 229-237, 2011.

- SPEARMAN, C. The proof and measurement of association between two things. **American Journal Psychology**, [s. l.], v. 15, p. 72-101, 1904.
- STAPE, J. L.; RYAN, M. G.; BINKLEY, D. Testing the utility of the 3-PG model for growth of *Eucalyptus grandis*-urophylla with natural and manipulated supplies of water and nutrients. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 193, p. 219-234, 2004.
- VAN LEEUWEN, W. J. D.; HUETE, A. R. Effects of Standing Litter on the Biophysical Interpretation of Plant Canopies with Spectral Indices. **Remote Sensing Environment**, [s. l.], v. 55, p. 123-138, 1996.
- VILANI, M. T. et al. Estimativa da absorvência da radiação fotossinteticamente ativa de uma vegetação de transição floresta Amazônica-cerrado por três métodos. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Sete Lagoas, v. 15, p. 289-298, 2007.
- VIERLING, L. A.; WESSMAN, C. A. Photosynthetically active radiation heterogeneity within a monodominant Congolese rain forest canopy. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 103, p. 265-278, 2000.
- VOURLITIS, G. L. et al. Spatial variations in soil chemistry and organic matter content across a *Vochysia divergens* invasion front in the Brazilian Pantanal. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 75, p. 1554-1561, 2011.
- ZHENG, G.; MOSKAL, L. M. Retrieving leaf area index (LAI) using remote sensing: theories, methods and sensors. **Sensors**, [s. l.], v. 9, p. 2719-2745, 2009.