

## **Fenômeno ENOS e sua influência na radiação solar média em superfície no verão relacionada à nebulosidade na região do Pantanal**

Carolina de Aguiar Monteiro <sup>1</sup>  
Paulo Alexandre da Silva Mello <sup>1</sup>  
Karin Luisa Marques <sup>1</sup>  
André Becker Nunes <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculdade de Meteorologia – UFPel  
Campus Universitário S/N - Caixa Postal 354 - 96001-970  
Pelotas, RS - Brasil  
carolina.am@outlook.com  
palexandremello@gmail.com  
karin.l.marques@hotmail.com  
andre.nunes@ufpel.edu.br

**Resumo.** A radiação solar é tanto essencial quanto pode ser prejudicial aos seres vivos, e saber se algum fenômeno a interfere é de grande valia. Foi proposto analisar a influência do fenômeno ENOS no fluxo de radiação de onda curta incidente na superfície, na região do Pantanal, na estação de verão (meses de janeiro, fevereiro e março), e no período entre 1988 e 2017. Os cálculos da média foram feitos com dados de reanálise usando o NCL, e a anomalia por duas diferentes classificações, pelo desvio padrão e pelo desvio médio, resultando em diferentes resultados para comparação. Foi obtida, para ambos os métodos, a mesma relação: em anos onde se teve anomalias mais fortes positivas (2 ou 3 meses anômalos), foram em anos neutros e anos de El Niño Modoki, e anomalias fortes negativas em anos de ocorrência de El Niño Canônico e La Niña.

**Palavras-chave:** radiação incidente, dados de reanálise, anomalias

**Abstract.** Solar radiation is as essential as prejudicial to living beings on Earth, so it is of utmost importance study if any phenomenon changes it. This study proposes analyze the influence of ENOS phenomena on incident shortwave radiation flux in the surface, on Pantanal region during summer season (months of January, February and March), and in a period between 1988 and 2017. The calculations of the average were made with reanalysis data using the NCL and the anomaly by two different classifications, the standard deviation and average deviation, resulting in different results for comparison. The same relationship was obtained for both methods: in years, where there had been strong positive anomalies (2 or 3 months anomalous), were in neutral years and years of El Niño Modoki, and strong negative anomalies were in years of occurrence of El Niño canonical and La Niña.

**Keywords:** incident radiation, reanalysis data, anomalies

## 1. Introdução

A radiação eletromagnética emitida pelo sol e que chega até a superfície terrestre, atravessando a atmosfera, faz parte de vários processos e é dividida em diferentes bandas espectrais de acordo com o comprimento de onda.

Das bandas espectrais que a radiação solar emite, a que mais nos chama atenção e que pode causar maiores danos aos seres vivos, é a radiação Ultravioleta, mais especificamente as bandas de UV-B e UV-C. Seus fótons são muito energéticos e nos seres humanos podem causar danos na pele, indo das normais queimaduras de sol, a até alterações no DNA, podendo levar a câncer de pele.

As plantas reagem de maneira análoga. Elas são altamente sensíveis a comprimentos de onda eletromagnética menores que  $0.38\mu\text{m}$ , que são os comprimentos relacionados às bandas UV-B e UV-C, podendo morrer rapidamente quando submetidas a esse tipo de radiação, assim observado por Pereira et al.(2002). Como citado por Petty (2006), a maior parte dessas bandas são absorvidas na atmosfera nas reações com a camada de ozônio ou em níveis superiores, mas se o declínio desse componente continuar, haverá danos e consequências para todos na Terra.

Apesar desse risco, a radiação também é um fator essencial. De acordo com Monteith (1965), no caso das plantas, estas precisam da radiação para se desenvolverem e realizarem a fotossíntese. Se uma planta qualquer estiver com os recursos hídricos e nutrientes adequados, a produção de massa seca será limitada pela radiação solar disponível. Para uma planta de soja, como explicado por Câmara (2000) por exemplo, a radiação solar vai influir nos processos de fotossíntese, no crescimento (alongamento) e ramificações, pegamento de vagens e grãos, expansão da área foliar e fixação biológica.

Dessa forma, estudar o quanto de radiação chega na superfície terrestre, tanto para a saúde humana, quanto para a agricultura e plantas, e poder se preparar, por exemplo, para uma estação de verão em que a radiação estará mais intensa ou mais amena que no ano anterior, é de grande relevância.

Uma das variáveis meteorológicas que mais pode afetar a quantidade de radiação na superfície, é a precipitação. Pois quando há a sua ocorrência, há nebulosidade que irá amenizar a quantidade de radiação direta incidente devido à reflexão.

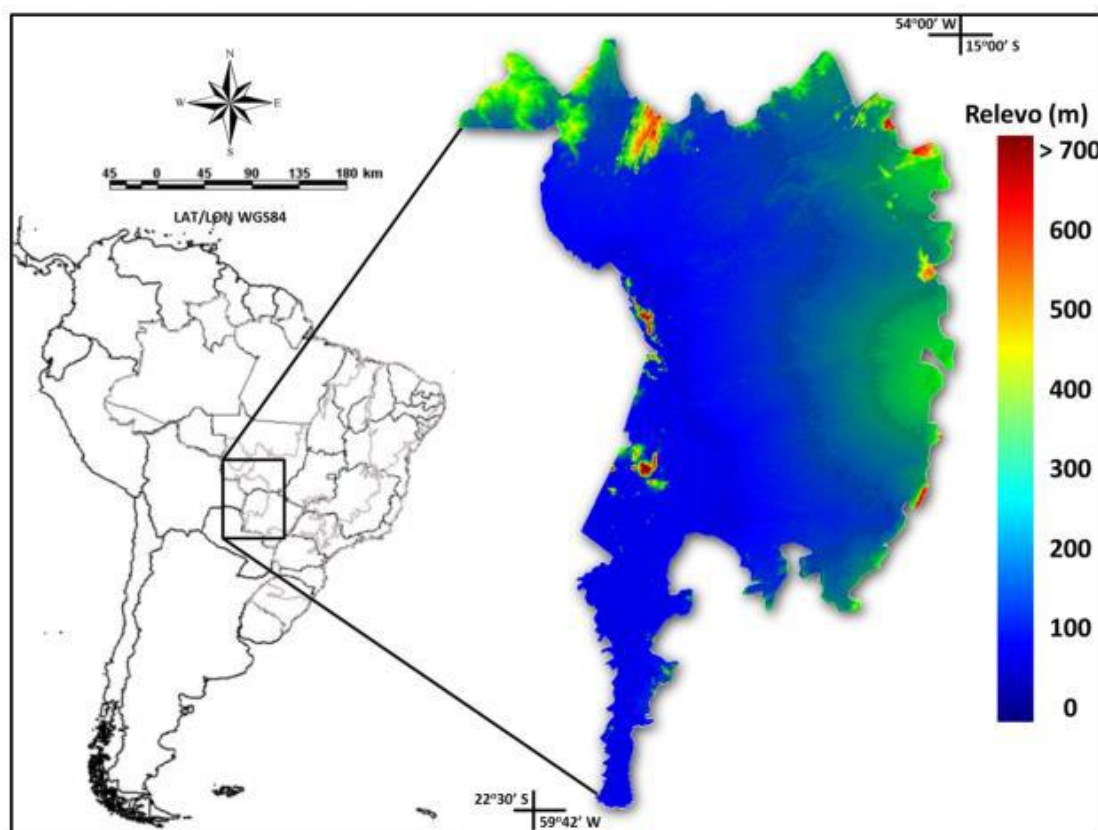
Um fenômeno que pode alterar o regime de chuvas no Brasil, é o fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS). Ele é caracterizado por duas fases, sendo uma fria (La Niña) e uma quente (El Niño), de anomalias de temperatura na superfície do mar (TSM), do Oceano Pacífico na região Equatorial. Ele tem forte influência na caracterização de precipitação em diversas regiões do Brasil, podendo influir em variáveis meteorológicas como a temperatura, a precipitação e a umidade, repercutindo também na nebulosidade e radiação que chega na superfície. Há variações do El Niño, onde se tem o El Niño Canônico (EC) com as características normais de um El Niño, e o chamado El Niño Modoki (EM), que é um El Niño com características de La Niña, como classificado por Ashok et al. (2007). Sabe-se, de acordo com Berlato e Fontana (2003), que a influência do ENOS para a região central do Brasil, é de difícil relação e não se tem uma previsão desses impactos.

## 2. Objetivo

O objetivo desse trabalho foi analisar a incidência mensal de radiação solar em superfície por meio de dados de reanálise na estação do verão (meses de janeiro, fevereiro e março), no período de 1988 a 2017 (30 anos) para a região do Pantanal. Com isto, identificar períodos de anomalia com dois métodos de classificação da mesma, para fins de comparação, e tentar relacioná-las com o fenômeno ENOS, a fim de se descobrir se este afeta de alguma forma a nebulosidade da região, e conseqüentemente, a quantidade de radiação que chega na superfície terrestre.

## 3. Material e Métodos

O Pantanal, está localizado na região central da América do Sul e é o elo entre o Cerrado do Brasil Central, o Chaco na Bolívia e Paraguai, e da região Amazônica ao norte, sendo a maior planície inundável da Terra, concluído por Vila da Silva et al. (1998). Diferentes autores delimitam a região de acordo com a necessidade e relevância para seu estudo. Para este trabalho, suas coordenadas geográficas foram consideradas como proposto por Vila da Silva et al. (1998), de 15° 30'S a 22° 30'S, e 54° 45'O a 58° 30'O, numa área total de 138,183km<sup>2</sup>, abrangendo 35,36% do estado do Mato Grosso, e 64,64% do Mato Grosso do Sul. A **Figura 1** indica a área de estudo como exemplificada por Pereira et al. (2012).



**Figura 1** - Localização da área de estudo. Fonte: Pereira et al. (2012)

Para as análises de radiação, se fez necessário os dados de reanálise do MERRA-2 (Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications - version 2), conforme Gelaro et al. (2017) pelo Global Modeling and Assimilation Office – GMAO (2015), para a obtenção do fluxo de radiação de ondas curtas em superfície dos 30 anos de estudo (1988 a 2017), com pontos de grade com espaçamento de 0,5°x0,625° e resolução temporal de 3h.

Foi utilizado então, o pacote de processamento e visualização de dados geofísicos desenvolvido pelo National Centers for Atmospheric Research (NCAR), conhecido como NCAR Command Language, ou apenas NCL. Devido a resolução espacial da grade dos dados não serem iguais em latitude e longitude, foi utilizado uma técnica chamada *regrid*, que consiste em transformar a resolução atual de 0,5°x0,625°, para 0,625°x0,625°, assim sendo, não houve necessidade em calcular pesos devido a diferenças de resolução horizontais de grade. Após a utilização do *regrid*, foi realizado médias de radiação de onda curta para a local de estudo, utilizando o domínio espacial já citado.

Da posse dos resultados, calculou-se a média dos meses de janeiro, fevereiro e março para todo o período de 30 anos e após, o cálculo da diferença: dados mensais do período de estudo subtraído da média. Foi calculado então o desvio padrão e o desvio médio de acordo com a **Equação 1** e a **Equação 2** respectivamente, onde  $\bar{x}$  representa a média aritmética dos dados,  $x_i$  o valor na posição  $i$  no conjunto de dados, e  $n$  a quantidade de dados.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad \text{Equação (1)}$$

$$\bar{\sigma} = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n} \quad \text{Equação (2)}$$

Dessa forma, foi classificado os meses anômalos de duas maneiras: aqueles que tivessem o módulo da diferença maior que o desvio padrão e maior que o desvio médio, foram classificados como tal.

Para uma melhor representatividade, considerou-se também os anos com maiores anomalias (mais fortes), aqueles em que se teve, dos três meses analisados, pelo menos dois anômalos. Por fim, teve-se a comparação desses últimos, com os dados do fenômeno ENOS do trimestre de estudo.

Foram utilizadas as ocorrências do fenômeno ENOS – episódios frios, quentes e neutros – do trimestre de janeiro, fevereiro e março (JFM), disponíveis pelo Climate Prediction Center, do National Weather Service do NCEP/NOAA (2018). Os extremos de cada evento foram identificados pelo Índice Niño Oceânico (ONI – Oceanic Niño Index), disponíveis no site do NCEP/NOAA (2018), assim como a intensidade dos mesmos, que também podem ser encontrados no site da Golden Gates Weather Services - GGWS (2018).

Têm-se as seguintes ocorrências e intensidades para o fenômeno ENOS nos anos de estudo, de acordo com a **Tabela 1**.

**Tabela 1** - Ocorrências, intensidades e tipos de ENOS entre os anos de 1988 a 2017. Os episódios de El Niño são colocados em vermelho (representando a fase quente), os episódios de La Niña colocados em azul (representando a fase fria), e os anos neutros em preto. O El Niño Modoki está representado como EM para se ter maior atenção já que suas características o diferem.

Ano e tipo	Intensidade	Ano e tipo	Intensidade
1988	Forte	2003 - EM	Moderado
1989	Forte	2004	
1990		2005 - EM	Fraco
1991		2006	Fraco
1992	Forte	2007	Fraco
1993		2008	Forte
1994		2009	Fraco

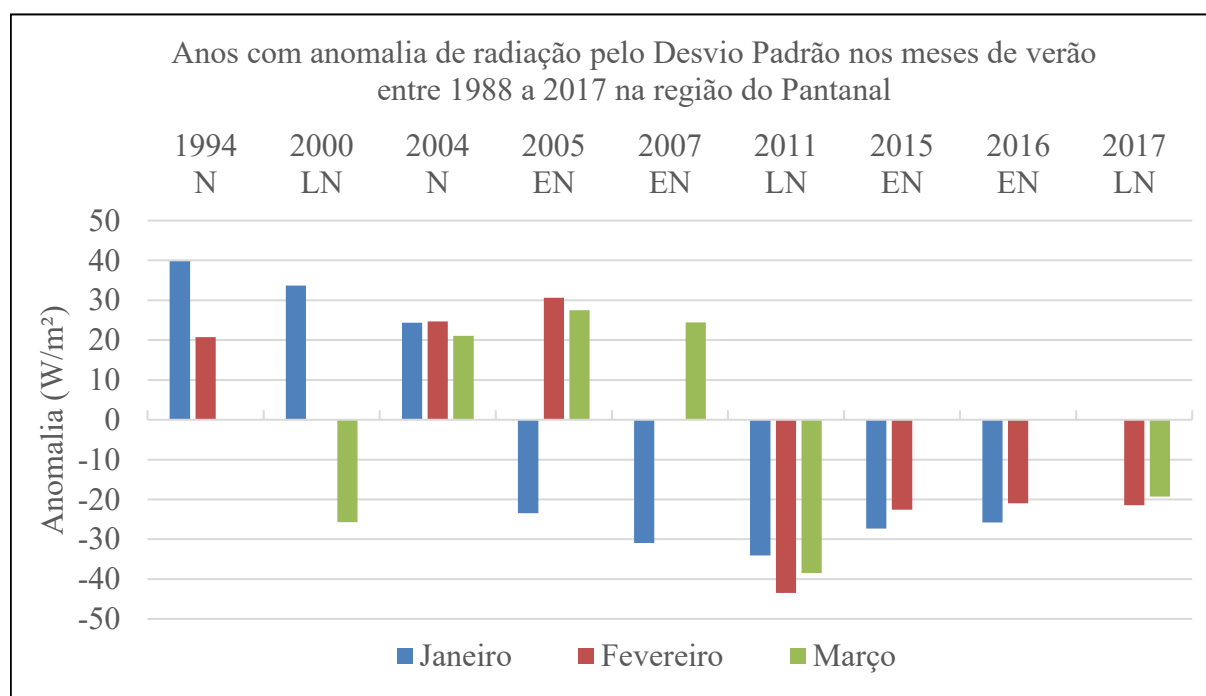
1995 – EM	Moderado	2010 - EM	Moderado
1996	Moderado	2011	Forte
1997		2012	Moderado
1998	Muito Forte	2013	
1999	Forte	2014	
2000	Forte	2015	Fraco
2001	Fraco	2016	Muito Forte
2002		2017	Fraco

#### 4. Resultados e Discussão

Foi possível analisar que, dos 30 anos de estudo, de acordo com o cálculo de anomalia de radiação incidente pelo desvio padrão, teve-se dos 9 anos neutros, 6 anos com pelo menos um mês anômalo, seja positivo ou negativo e, da mesma forma, 6 anos dos 11 anos com ocorrência de La Niña, e 9 anos dos 10 anos com ocorrência de El Niño. A única diferença entre a mesma análise, mas classificando anomalia pelo desvio médio, foi em um ano a mais em anos de La Niña, resultando então em 7 dos 11 anos de ocorrência do mesmo. Isso resulta então, com 21 anos com pelo menos um mês anômalo, independente se positiva ou negativa, pelo cálculo com o desvio padrão, e 22 com o cálculo do desvio médio, sendo resultados bem próximos.

Os anos de maiores anomalias, classificados assim como explicado na metodologia, foram 9 anos pela classificação do desvio padrão, sendo desses, 6 anos com 2 meses anômalos, e 3 anos com os 3 meses. E, de forma análoga, mas pela classificação do desvio médio, se teve 14 anos, sendo 8 anos com dois meses, e 6 anos com os 3 meses.

A **Figura 2** mostra os resultados obtidos pela análise com o desvio padrão, através de gráfico.

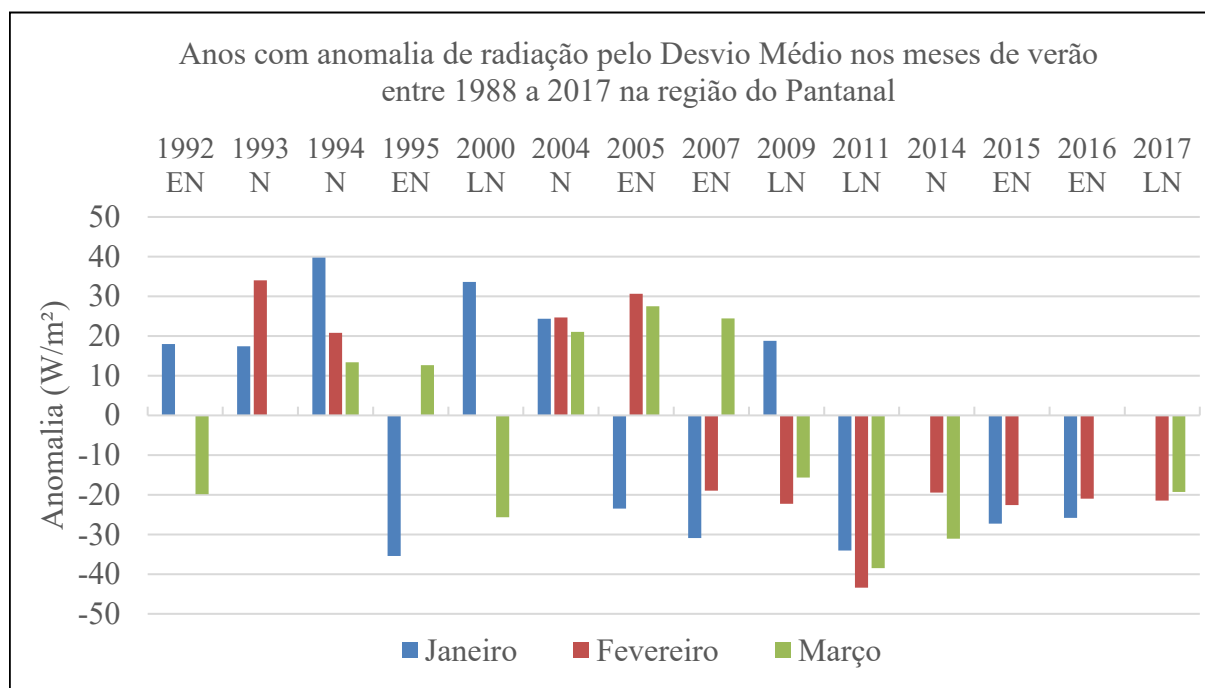


**Figura 2** - Gráfico dos meses da estação de verão (janeiro, fevereiro e março), entre os anos de 1988 a 2017, que apresentaram predominância de anomalias nos dados de radiação incidente de onda curta ( $W/m^2$ ) em superfície, pelo cálculo do desvio padrão, na região do Pantanal.

Foi possível concluir por esse primeiro método, que entre todos os anos de destaque (9 anos), os que ocorreram ENOS (7 anos), seja na fase fria ou quente, teve-se maior tendência de anomalias negativas (12 meses negativos, contra 4 positivos), sendo que dentre esses, o único ano que teve maior tendência positiva, foi no ano de 2005, onde ocorreu El Niño Modoki. Ou seja, quando se tem episódios de La Niña e El Niño, conservando suas características, a propensão foi de anomalias negativas, quanto na variação do El Niño, o El Niño Modoki, de anomalias positivas. Seguindo ainda esta mesma análise, nos outros dois anos dos 9, foram anos neutros, sendo sempre anomalias positivas. Lembrando que, podemos ainda associar aos valores positivos à tempos mais secos, enquanto que os valores negativos, à tempos mais nublados, devido à reflexão da radiação solar pelas nuvens.

A **Figura 3** mostra os resultados analisando o cálculo de anomalia pelo desvio médio. Nota-se que o desvio médio, para este caso, se tornou menos seletivo, ou seja, capta mais variações próximo a média, mas mesmo com essa diferença, as características dos resultados foram as mesmas.

Dos 14 anos de destaque, foram 10 anos com a ocorrência do ENOS, seja em sua fase quente ou fria, sendo que todos com uma maior tendência de anomalias negativas, ficando a maior predominância de anomalias positivas apenas em anos de El Niño Modoki. Resultado este que também foi obtido nas anomalias pelo desvio padrão. Outro resultado em comum foi com relação aos anos neutros, 1993, 1994 e 2004, sendo todos eles, com valores positivos. Apenas 2014 teve valores diferentes, podendo ser estudado a parte posteriormente, em outro estudo.



**Figura 3** - Gráfico dos meses da estação de verão (janeiro, fevereiro e março), entre os anos de 1988 a 2017, que apresentaram predominância de anomalias nos dados de radiação incidente de onda curta ( $W/m^2$ ) em superfície, pelo cálculo do desvio médio, na região do Pantanal.

## 5. Conclusões

Foi possível concluir com este trabalho que, apesar de não se poder definir a influência do ENOS na região central do Brasil como indicado por diversos autores, pode-se encontrar uma relação com respeito à radiação solar incidente na superfície.

Foi visto que em anos com maiores anomalias de radiação, tanto pela classificação pelo desvio padrão ou pelo desvio médio, para todos os anos de estudo, obteve-se as mesmas características: tendência de anomalias positivas em anos neutros e na ocorrência do El Niño Modoki, e tendência de anomalias negativas na ocorrência do El Niño Canônico e La Niña.

## 6. Agradecimentos

Os autores Carolina Aguiar e Paulo Alexandre Mello agradecem ao MEC pela bolsa do Programa de Educação Tutorial (PET). A autora Karin Marques agradece ao MEC pela bolsa do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência (PIBID).

## 7. Referências

- Ashok, K.; Behere, S. K.; Rao, S. A.; Weng, H.; Yagamata, T. El Niño Modoki and its possible teleconnection. **Journal of Geophysical Research**. V.112, C11007, 2007. DOI: 10.1029/2006JC003798.
- Berlato, M. A.; Fontana, D. C. **El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 110p. ISBN 8570256876.
- Câmara, G. M. S. **Soja: tecnologia da produção II**. Piracicaba: G.M.S. Câmara, 2000. 450p.
- Gelaro, R.; McCarty, W.; Suárez, M.J.; Todling, R.; Molod, A.; Takacs, L.; Randles, C.A.; Darmenov, A.; Bosilovich, M.G.; Reichle, R.; Wargan, K.; Coy, L.; Cullather, R.; Draper, C.; Akella, S.; Buchard, V.; Conaty, A.; Silva, A.M.; Gu, W.; Kim, G-K.; Koster, R.; Lucchesi, R.; Merkova, D.; Nielsen, J.E.; Partyka, G.; Pawson, S.; Putman, W.; Rienecker, M.; Schubert, S.D.; Sienkiewicz, M.; Zhao, B. The Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA-2). **Journal of Climate**, v. 30, p. 5419-5454, 2017.
- Global Modeling and Assimilation Office – GMAO (2015); **MERRA-2 inst3\_3d\_asm\_Np: 3d,3-Hourly,Instantaneous,Pressure-Level,Assimilation,Assimilated Meteorological Fields V5.12.4**, Greenbelt, MD, USA, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC), Acessado em: 26 jun 2018. 10.5067/QBZ6MG944HW0. Disponível em: [https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/M2I3NPASM\\_V5.12.4/summary](https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/M2I3NPASM_V5.12.4/summary).
- Golden Gates Weather Services – GGWS. **El Niño and La Niña Years and Intensities**: Based on Oceanic Niño Index (ONI). Acessado em: 29 jun 2018. Disponível em: <http://ggweather.com/enso/oni.htm>.
- Monteith, J.L. **Light distribution and photosynthesis in field crops**. *Annals of Botany*, v.29, p.17- 37, 1965.
- NCEP/NOAA. **El Niño – Southern Oscillation (ENOS)**. National Oceanic and Atmospheric Administration. Acessado em 25 jun 2018. Disponível em: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/enso.shtml>
- Pereira, A. R.; Angelocci, L. R.; Sentelhas, P. C.; **Agrometeorologia: Fundamentos e Aplicações Práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p. ISBN 85-85347-71-6.
- Pereira, G.; Chávez, E.S.; Silva, M. E.S. **O Estudo das unidades de paisagens do bioma Pantanal**. *Água, Taubaté*, V.7, n. 1, p. 89-103, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.826>
- Petty, G. W. **A First Course in Atmospheric Radiation**. Estados Unidos: Editora Sundog Publishing, 2006. 2ed.
- Silva, J. S.V., Abdon, M. M. **Delimitação do Pantanal Brasileiro e suas sub-regiões**. *Embrapa*, V.33, Número Especial, p. 1703-1711, 1998.