Revista Brasileira de Climatologia
ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL ASSOCIADA À PRODUTIVIDADE DE SOJA NA AMAZÔNIA LEGAL

MOURA, Maurício do Nascimento - mauriciomoura90@gmail.com
Universidade Federal do Pará / UFPA

VITORINO, Maria Isabel - vitorino@ufpa.br
Universidade Federal do Pará / UFPA

ADAMI, Marcos - marcos.adami@inpe.br
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais / INPE

RESUMO: Este estudo tem como objetivo analisar o quanto as chuvas na região amazônica são moduladas por oscilações de acoplamento oceano-atmosfera de grande escala e entender quais as principais interferências deste processo na produtividade de soja desta região. Estudou-se nesta pesquisa a caracterização dos modos principais da precipitação pluvial anual influenciada pelos oceanos adjacentes à Amazônia Legal, representados por índices climáticos (IOS, ODP, OAN) e associados à produtividade da soja. Foram utilizados dados de precipitação do GPCP em pontos de grade a uma série de 32 anos (1979-2010), e aplicada a Análise de Componentes Principais (ACP) para a escala anual e dados de produção de soja (1990-2010). Os resultados mostram que os três primeiros modos da ACP (62%) apresentam um padrão meridional (1º e 2º modos) e zonal (3º modo) de precipitação, com maior significância estatística sobre o estado do Mato Grosso, maior produtor de soja do Brasil. Estas áreas estão associadas à atuação de sistemas meteorológicos de escala sinótica, como ZCIT, ZCAS e SF, modulados pelas condições do Pacífico e do Atlântico. No caso da produtividade de soja, as condições oceano-atmosfera no Pacífico equatorial, contribuem para as chuvas da região amazônica. Assim, a variabilidade interanual da precipitação, associada à fase negativa do ENOS e da ODP, exerce influência na produtividade de soja na Amazônia Legal, devido ao aumento das chuvas. O índice OAN mostra-se desfavorável à precipitação na última década, porém o Atlântico exerce maior influência, principalmente, na parte norte e nordeste da região. Diante do exposto, estudos dessa natureza podem corroborar com o planejamento a longo prazo do desenvolvimento agrícola da região.

PALAVRAS-CHAVES: Amazônia, soja, clima, oceano

ANALYSIS OF MAIN COMPONENTS OF RAINFALL PRECIPITATION ASSOCIATED WITH SOYBEAN PRODUCTIVITY IN THE LEGAL AMAZON

ABSTRACT: This study aims to analyze the amount of precipitation in the Amazon region modulated by large-scale ocean-wide coupling oscillations and to understand the main interferences of this process in the soybean yield of this region. This study was carried out to characterize the main annual precipitation modes influenced by the oceans adjacent to the Legal Amazon, represented by climatic indexes (IOS, ODP and NAO) and associated with soybean yield. We used GPCP precipitation data at grid points for a 32-year series (1979-2010) and applied Principal Component Analysis (PCA) for annual scale and soybean production data (1990-2010). The results show that the first three modes of PCA (62%) present a precipitation pattern of the south (1st and 2nd mode) and zonal (3rd mode), with greater statistical significance in the state of Mato Grosso, the Brazil. These areas are associated with the performance of synoptic scale meteorological systems such as ITCZ, SACZ and FS, modulated by Pacific and Atlantic conditions. In the case of soybean yield, the conditions of the oceanic atmosphere in the equatorial Pacific contribute to the rains of the Amazon region. Thus, the interannual rainfall variability, associated to the negative phase of the ENSO and ODP, exerts influence on soybean productivity in the Legal Amazon, due to the increase in precipitation. The NAO index is unfavorable to precipitation in the last decade, but the Atlantic has a greater influence,

mainly in the north and northeast of the region. In view of the above, studies of this nature may corroborate the long-term planning of the region's agricultural development.

KEYWORDS: Amazon, soybean, climate, ocean.

1.INTRODUÇÃO

A complexa interação entre as variáveis climáticas na bacia Amazônica tem importantes implicações no potencial climático, tanto globalmente como localmente (GEDNEY, 2000; WERTH, 2002). Em geral, a escassez de dados na Amazônia implica em consequências nocivas para a quantificação das variáveis climáticas na região. Segundo Santos de Oliveira e Nobre (1986), a convecção tropical é a principal característica do clima sobre a região amazônica, que, por sua vez, é modulada por características atmosféricas de grande escala, incluindo o El Niño Oscilação Sul, a Oscilação Decadal do Pacífico e a Oscilação do Atlântico Norte.

Com o conhecimento da influência da precipitação pluvial sobre a atividade agrícola, torna-se necessário o conhecimento dos mecanismos de acoplamento oceano-atmosfera moduladores desta precipitação. Segundo Ropelewski e Jones (1987), em escala de tempo interanual, o El Niño Oscilação Sul (ENOS) é o sinal mais forte da variabilidade climática em larga escala no sistema oceano-atmosfera, sendo representado pelo Índice de Oscilação Sul (IOS). De acordo com estes autores, o IOS é calculado usando as diferenças médias de pressão ao nível médio do mar entre Tahiti e Darwin, sendo baseado em uma análise mensal, com valores em períodos mais longos. Esta foi uma forma de definir os valores, alto e baixo do IOS, relacionados às fases fria (La Niña, IOS +) e quente (El Niño, IOS -) do fenômeno ENOS.

Flutuações atmosféricas associadas à Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) podem ser atribuídas à variabilidade climática que ocorre a cada década no Oceano Pacífico (OBREGON; NOBRE, 2003). Segundo Gerchunov e Bartnett (1998), esta variabilidade pode modular o fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS), onde há evidências de uma forte relação entre anomalias climáticas e múltiplos modos de variabilidade decadal. Segundo Mantua et al. (1997), o índice da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) é baseado em uma análise de EOF para anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) em toda a bacia do Pacífico Norte.

A Oscilação do Atlântico Norte (OAN) é um padrão de circulação atmosférica que determina a variabilidade do clima em áreas continentais adjacentes à bacia do Atlântico (HURRELL et al., 2003). Segundo Wallace e Gutzler (1981) o índice OAN é calculado pela diferença de pressão e temperatura da superfície do mar entre a região dos Açores e da Islândia.

Santos (2002) sugere que os elementos climáticos variam com o tempo, fazendo com que a exploração agrícola esteja sempre sujeita à incertezas. Neste contexto, a precipitação apresenta grande variabilidade espacial e temporal, cuja estimativa constitui-se uma das principais fontes de erro e incertezas em planejamentos agropecuários.

A soja é uma cultura já estabelecida em território brasileiro, ocupando cerca de 34 milhões de hectares na safra 2016/17 e produção ao redor de 114 milhões de toneladas de grãos (CONAB, 2017). A produção crescente de soja faz com que o Brasil o maior exportador e segundo maior produtor de soja do mundo, sendo o estado do Mato Grosso o principal produtor nacional.

Num ponto de vista geográfico, a cultura de soja iniciou-se no sul do País e avançou para a região central, expandindo-se gradativamente para o norte brasileiro. Esta área de avanço agrícola tem substituído o bioma local: a floresta amazônica, o que tem preocupado entidades públicas e privadas, diante do desmatamento e da perda da biodiversidade (BALETTI, 2014; FEARNSIDE, 2001; FEARNSIDE, 2008; MORTON et al., 2006; RUDORFF et al., 2011). Esse espaço regional consolida sua participação no processo geral de transformação territorial do Brasil e, especificamente, às mudanças ocorridas no uso da terra, no qual a expansão da agricultura acaba determinando, em grande parte, a dinâmica econômica e demográfica desta imensa região (NEPSTAD et al., 2014).

Dentre os elementos climáticos, a chuva apresenta grande variabilidade espacial e temporal, cuja estimativa constitui-se uma das principais fontes de erros e incertezas em planejamentos agropecuários, principalmente quando se relaciona à umidade disponível no solo, por causa da falta ou do excesso de água (MIERES et al., 2012). Portanto, a chuva influencia desde o plantio até a colheita, pois a água desempenha um importante papel na fotossíntese e, por consequência, na produção vegetal (BASTOS et al., 1993).

Este estudo tem como objetivo analisar o quanto as chuvas na região amazônica são moduladas por oscilações de acoplamento oceano-atmosfera de grande escala e entender quais as principais interferências deste processo na produtividade de soja desta região.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A Figura 1 apresenta a localização da região amazônica abrangida pela área de estudo. Esta região foi escolhida por apresentar grande variabilidade espacial e temporal de precipitação pluvial e avanço da fronteira agrícola. Associado a isso, tem-se a expansão da cultura de soja, cujo principal polo produtivo brasileiro localiza-se no estado do Mato Grosso.

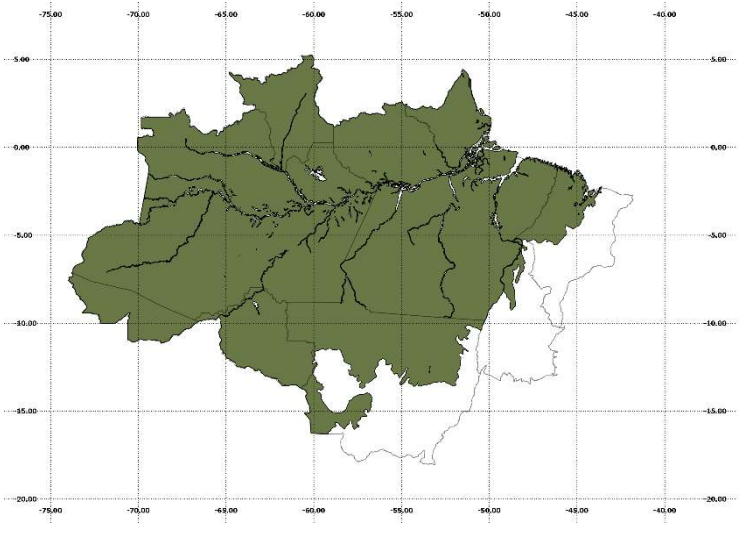


Figura 1 – Localização da área de estudo representada pela Amazônia Legal (verde).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Para a realização deste trabalho foram utilizados dados médios mensais de precipitação do Global Precipitation Climatology Project (GPCP), fornecidos pela NOAA, onde foi extraído o período de janeiro de 1979 a dezembro de 2010, fazendo um total de 32 anos de dados. Em uma grade de 2,5º de resolução espacial, os quais combinam dados de superfície com estimativas feitas por satélite, uma opção adotada para criar banco de dados climatológicos globais em regiões com pouca disponibilidade de dados observacionais de superfície (HUFFMAN et al., 1997; PINTO et al., 2009), como é o caso da Amazônia.

Além de dados de precipitação, foram utilizados ainda, dados de índices climáticos OAN, ODP e IOS que foram disponibilizados pelo Climate Prediction Center/National Oceanic and Atmospheric Administration (CPC/NOAA), para o período de janeiro de 1979 a dezembro de 2010, com um total de 384 valores, para os oceanos Atlântico e Pacífico.

Para a abordagem da produtividade de soja associada à precipitação na região amazônica, foram utilizados dados de quantidades anuais de soja para a região da Amazônia legal, compreendendo duas décadas (1990-2010). Os dados foram fornecidos pela plataforma Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Para o desenvolvimento desta pesquisa foi utilizado o método estatístico Análise de Componentes Principais (ACP), juntamente com o Teste t-Student, com significância de 95%. Para a determinação da componente principal (CP) é necessário calcular primeiramente a matriz de covariância, depois os autovalores (coeficientes de expansão temporal) e os autovetores (padrões espaciais) e, por fim, as combinações lineares, que serão as novas variáveis, denominadas de componentes principais. Cada CP é uma combinação linear de todas as variáveis originais, independentes entre si e estimadas com o propósito de reter, em ordem de estimação e em termos da variação total, a máxima variância contida nos dados iniciais.

Em resumo, o tratamento matemático da ACP consiste em determinar uma transformação linear T gerada a partir de uma matriz de dados originais X, de modo que T retenha a máxima variância de X.

A partir de uma matriz X, calculou-se a matriz de covariância S para a escala anual com 32 valores no tempo e 108 valores no espaço (32x108), utilizando os modos mais representativos da variância total para esta escala. A matriz de covariância S é obtida conforme a Equação 1:

$$S = \frac{1}{\mathrm{N}} \left(\mathrm{X}.\mathrm{X}^{\mathrm{T}}\right) \quad (1)$$

A partir desta matriz, obtêm-se os autovalores e autovetores através do método de rotação VARIMAX, ou seja, de máxima variância.

A metodologia utilizada para definir a tendência de incremento tecnológico para aumentar a produtividade da soja ao longo do tempo foi baseada em Cunha et al. (1999) e Carmona e Berlato (2002). A série histórica de rendimentos foi submetida a uma análise de tendência linear ao longo do tempo (Equação 2). Após o cálculo da função de ajuste linear da produtividade ao longo do tempo, é realizada a diferença entre o valor estimado pela função

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

linear e a produtividade obtida, desta maneira obteve-se a variação da produtividade sem a tendência tecnológica.

$$f(x) = mx + b \quad (2)$$

Onde m é a inclinação, x é a produtividade ao longo do tempo e b a interseção.

As três primeiras CP explicam mais de 60% da variância total dos dados de precipitação anual. Desta forma, os modos espaciais representam a ocorrência da variabilidade da precipitação na Amazônia. Em seguida, foram analisados a produtividade de soja associados à série do primeiro coeficiente de expansão temporal da CP anual e às séries dos índices climáticos, a fim de obter o entendimento dos mecanismos moduladores da precipitação nesta região de estudo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os três primeiros modos da CP na precipitação anual explicam 62% da variância total dos dados. A Figura 2A mostra o primeiro modo espacial (CP1), o qual explica 36% da variância, com aumento de precipitação a sudeste e diminuição no extremo norte da região. Para isto, o coeficiente de expansão temporal (Figura 2B) apresenta uma leve tendência positiva ao longo da série, com maior magnitude positiva em 1984/1985 e negativa em 1981 e 1983. Neste caso, nota-se um aumento das chuvas no sentido meridional (Norte-Sul), estabelecendo um padrão de dipolo de precipitação, com sinal mais intenso no sudeste da região. Fisch et al., (1998) sugerem que essas áreas de máxima precipitação são influenciadas pela forte atividade convectiva associada à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZACS) e geralmente, em parte, pelo avanço de Sistemas Frontais (SF), os quais contribuem significativamente no acumulado pluviométrico anual nesta região da Amazônia Legal (STRENTEN, 1973; YASUNARI, 1977). No entanto, este padrão espacial de precipitação pode ser alterado de modo inverso, durante os episódios de El Niño (1982/1983).

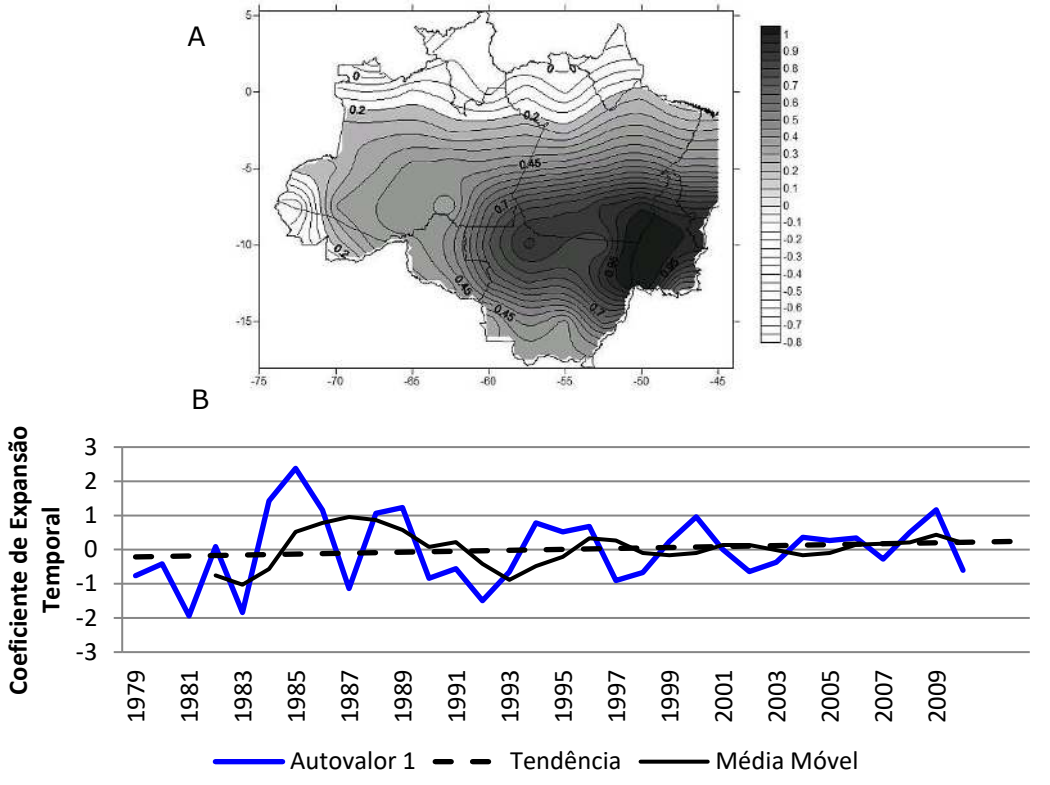


Figura 2 - Distribuição espacial do primeiro modo (CP1), com 36% da variância total explicada para a escala anual, com significância de 95%. (A) autovetor; (B) autovalor. Amazônia Legal, Brasil.

O padrão espacial da CP2 anual é mostrado pela Figura 3A, onde é possível observar uma nítida delimitação entre áreas positivas e negativas, estabelecendo um padrão de dipolo, porém inverso ao primeiro modo. Apesar da influência dos oceanos adjacentes na precipitação pluvial da Amazônia, estudos anteriores sugerem que as chuvas associadas a este segundo modo da (CP2) estejam relacionadas, em maior parte, a fenômenos meteorológicos de escala sinótica e de mesoescala, como Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), e Linhas de Instabilidade (LI), respectivamente. (MOURA, VITORINO, 2012; ALCÂNTARA, et al., 2011). O coeficiente de expansão temporal (Figura 3B) mostra um pico positivo em 1980, que corresponde à maior altura de chuvas no norte, menor no sul e sudoeste da Amazônia. O ano de 1984 apresenta um pico negativo, onde o padrão espacial de precipitação tende a se inverter.

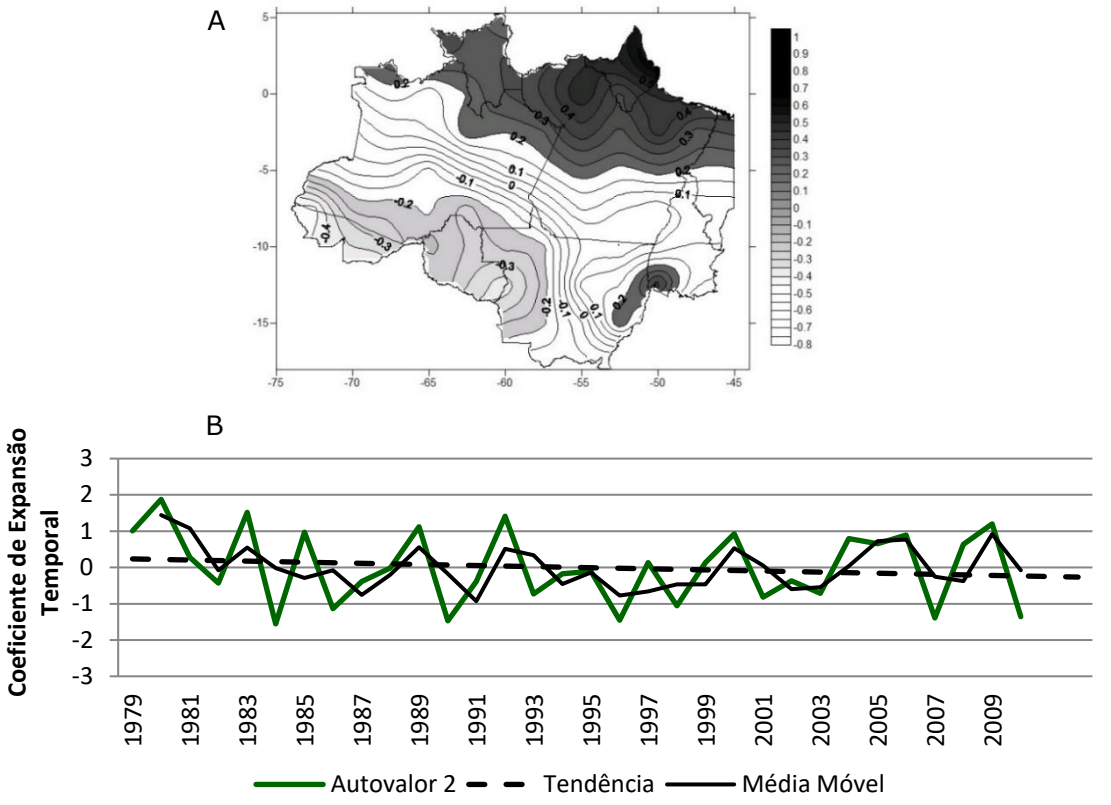


Figura 3 - Distribuição espacial do segundo modo (CP2), com 16% da variância total explicada para a escala anual, com significância de 95%. (A) autovetor; (B) autovalor. Amazônia Legal, Brasil.

Para a CP3, o terceiro modo da escala anual (Figura 4A) mostra o padrão espacial zonal e meridional, com valores muito baixos na parte sul, incluindo o estado do Mato Grosso, o que pode estar associado a pouca atuação de sistemas precipitantes de escala sinótica, como foi explicado no primeiro modo. Valores máximos são observados nos extremos leste e oeste. Esta configuração zonal pode ser explicada pela atuaçao de mecanismos de escala climática que modulam a precipitação local (MATSUYAMA et al., 2002). No que diz respeito ao coeficiente de expansão temporal (Figura 4B), este apresenta a maior tendência linear de diminuição das chuvas, significativa ao nível de 95%, entre todos os modos da ACP apresentados até o momento para a escala mensal e anual. Valores negativos do coeficiente tendem a inverter o sinal da função, em relação à forma da configuração espacial.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

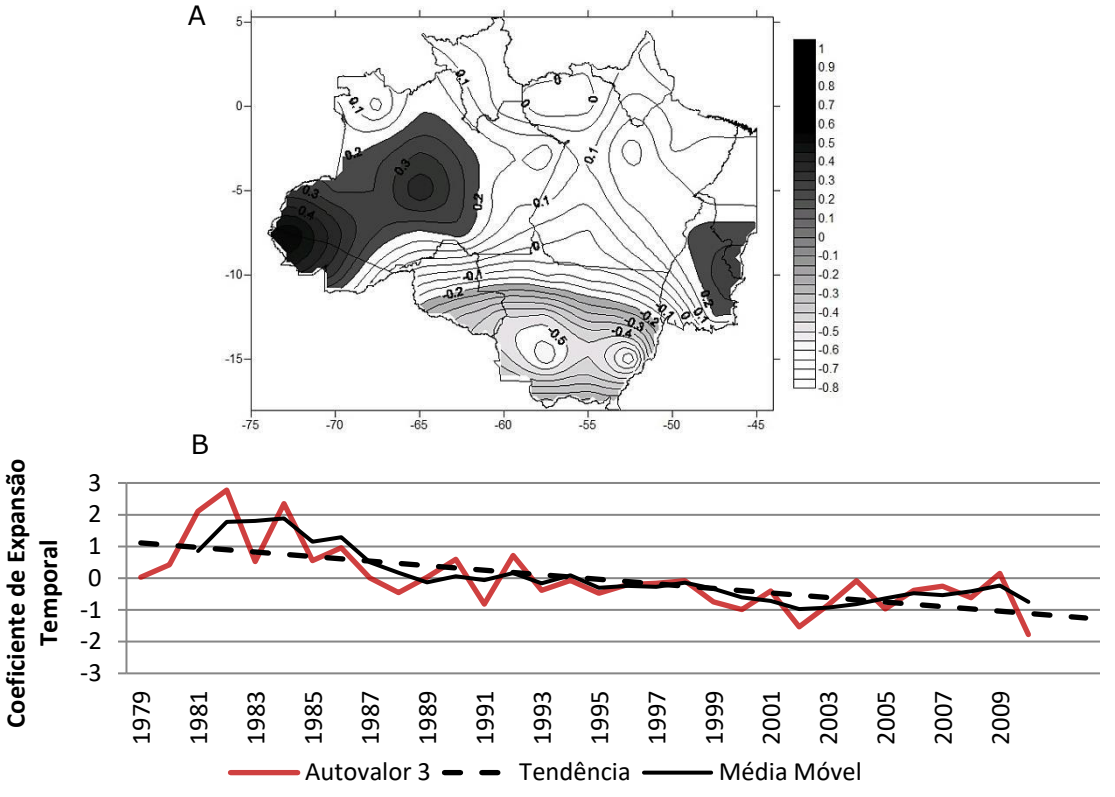


Figura 4 - Distribuição espacial do terceiro modo (CP3), com 10% da variância total explicada para a escala anual, com significância de 95%. (A) autovetor; (B) autovalor. Amazônia Legal, Brasil.

Para analisar a relação entre índices climáticos e a produtividade de soja, foi escolhido apenas o primeiro modo da CP anual (CP1) por explicar a maior parte da variância do dado de precipitação (36%), logo sendo o modo mais representativo.

O cultivo da soja utiliza alta tecnologia, que vai desde cultivares modernas com potencial de rendimento elevado, insumos e maquinários. A produtividade da cultura de soja para a Amazônia Legal é representada na Figura 5a, bem como a reta que representa a tendência de aumento da produtividade em função do aumento da tecnologia, onde pode ser observado um nítido crescimento da produtividade ao longo de duas décadas, com coeficiente de determinação (R2) de 0,91. As análises desta pesquisa apontam uma tendência de crescimento na produtividade de aproximadamente 54 kg.ha-1.ano-1. Com a retirada da tendência tecnológica (Figura 5B) é possível observar com mais detalhes a variação de produtividade que pode ser associada ao clima, sendo que esta variação acompanha os picos positivos e negativos da série do IOS e do 1º coeficiente de expansão temporal da CP1 anual.

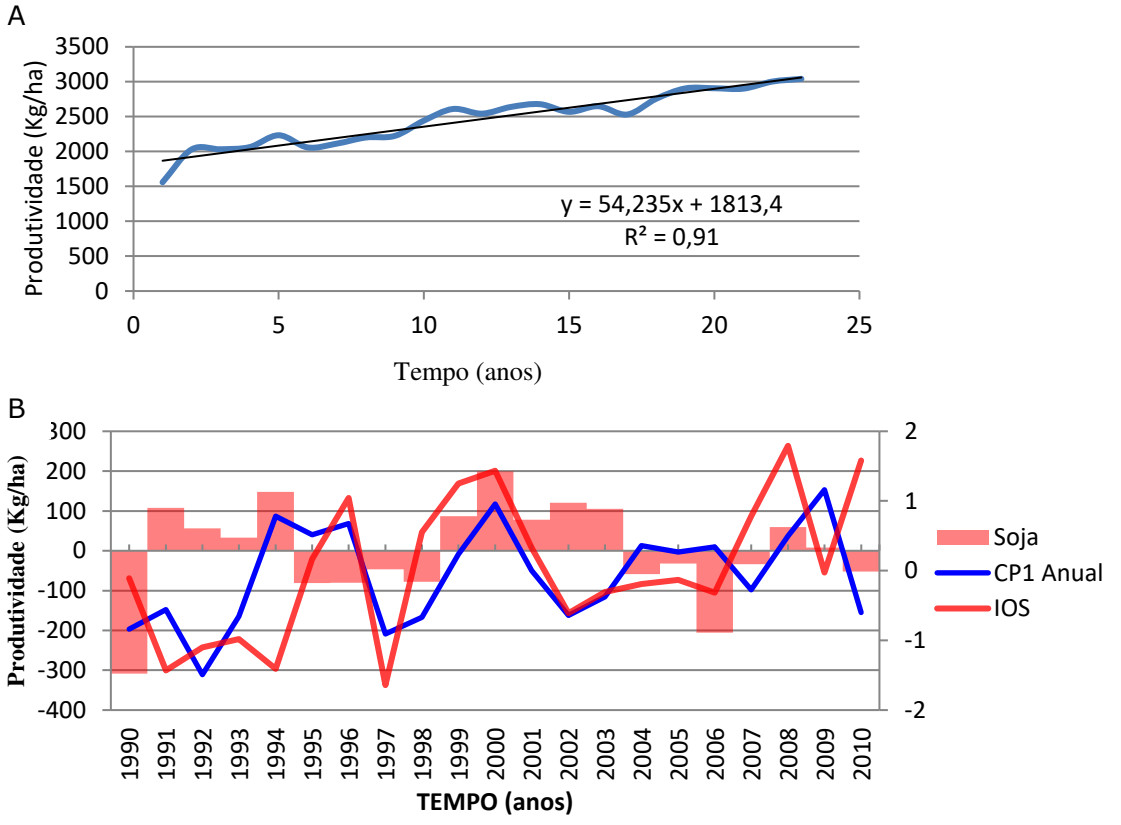


Figura 5 - Variação da produtividade anual de soja. (A) com a tendência tecnológica; (B) sem a tendência tecnológica associada ao 1º coeficiente temporal da CP1 e Índice de Oscilação Sul (IOS). Amazônia Legal, Brasil.

Um importante aspecto do fenômeno ENOS é o impacto que ele causa na agricultura ao mesmo tempo em que o IOS apresenta uma tendência positiva, ou seja, o favorecimento a eventos de La Niña, que caracteriza um resfriamento anômalo nas águas superficiais do Oceano Pacífico, e sua relação com o aumento nas chuvas em parte da região amazônica (MARENGO; HASTENRATH, 1993). O primeiro coeficiente de expansão temporal da EOF anual também apresenta uma tendência positiva, deflagrando o aumento das chuvas ao longo das duas décadas analisadas. Esta variabilidade interanual exerce profunda influência na variabilidade da precipitação pluvial sobre a Amazônia (MARENGO, 1993; SOUSA; AMBRIZZI, 2006).

Vale ressaltar que El Niño e La Niña são fenômenos naturais caracterizados por oscilações naturais, envolvendo anomalias de temperaturas da superfície do mar, nas quais o homem não pode interferir. Portanto, a chuva, apesar de sua comprovada importância para o rendimento dos cultivos agrícolas, não é o único fator determinante no crescimento da produção de soja, nas últimas décadas, na região amazônica. Neste sentido, o avanço da tecnologia caracterizado pelo uso de máquinas modernas, controle adequado de pragas e doenças, a ampliação do sistema logístico, bem como a construção de rodovias e hidrovias capazes de escoar cada vez mais e melhor o produto, e, principalmente, pelo desenvolvimento de cultivares adaptadas às condições locais, têm aumentado significativamente a produção de soja nas últimas

décadas (FEARNSIDE, 2008; ARRIMA et al., 2011; SANTOS, 2002; SANTOS, 2005).

A Figura 6 mostra a variação do índice ODP onde é possível observar a tendência negativa do mesmo. Isto se opõe a tendência positiva estabelecida pelo IOS (Figura 5). No entanto, apesar desta oposição, a série da ODP também favorece a ocorrência de eventos de La Niña, aumentando a frequência e a intensidade da precipitação. Esta oposição entre os dois índices concorda com estudos anteriores, os quais mostram uma evidente modulação da escala decadal sobre a escala interanual (KAYANO; ANDREOLI, 2006; NEWMAN; COMPO; ALEXANDER, 2003). Segundo Gershunov e Barnett (1998), padrões de precipitação associados às anomalias de TSM do Oceano Pacífico, ficam mais marcantes quando a ODP e o ENOS estão sob a mesma fase. Desta maneira, este aumento de precipitação fornece a quantidade de água necessária para a cultura da soja na Amazônia. Também pode ser observado, na Figura 6, que existe relação entre os eventos de La Niña (picos negativos da ODP) e uma maior produtividade da cultura de soja, enquanto que os valores positivos deste índice estão quase sempre associados a redução da produtividade, porém em alguns casos com certa defasagem no tempo.

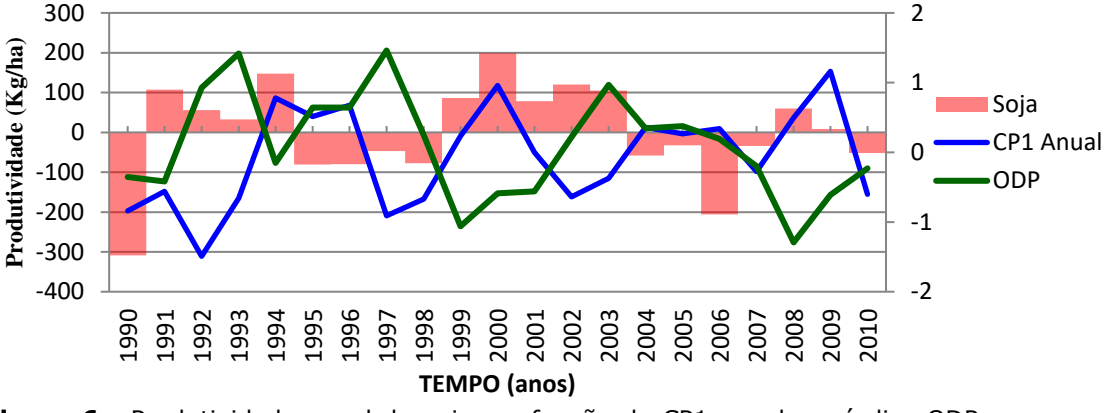


Figura 6 - Produtividade anual de soja em função da CP1 anual e o índice ODP, sem a tendência tecnológica. Amazônia Legal, Brasil.

Na Figura 7 também se observa uma tendência inversa entre as séries do índice OAN e a CP1 anual, ao longo de duas décadas analisadas. Na década de 2000, o índice OAN mostra que a Oscilação do Atlântico Norte permaneceu numa fase fria, condição que prevaleceu até o fim da década. Quando isso acontece, a maior parte da bacia do Atlântico Norte, incluindo a parte tropical norte, apresenta anomalias positivas de TSM, cenário desfavorável à precipitação para a Amazônia, conforme foi discutido anteriormente. Esse processo dinâmico pode modular significativamente a posição e a intensidade da ZCIT, que tende a permanecer em região onde há intensa atividade convectiva associada à disponibilidade de calor latente para sua manutenção, interferindo significativamente na qualidade da estação chuvosa da região amazônica (UVO, 1989; WALISER; GAUTIER,1993).

Estudos mostram que existe uma relação entre as variabilidades interanual e decadal, nos oceanos adjacentes à América do Sul. Andreoli et al. (2004) concluíram que existem padrões de teleconexão atmosféricos entre ENOS e ODP, que por sua vez ocasionam, via Oscilação do Atlântico Norte, a formação de um gradiente meridional inter-hemisférico de temperatura da

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

superfície do mar, no Atlântico tropical. Estes resultados foram confirmados por outros estudos que mostram essa teleconexão entre os oceanos, e consequentemente, interferem na precipitação (PAEGLE; MO, 2002; KAYANO; ANDREOLI, 2004).

Os resultados mostrados pela Figura 7 deixam evidente que a Oscilação do Atlântico Norte entrou numa fase negativa na década de 2000, que interferiu na posição da Zona de Convergência Intertropical. No entanto, segundo os resultados mostrados nas figuras 5 e 6, tanto o ENOS (IOS) como a ODP mostram uma tendência negativa ao longo da série, cenário favorável à precipitação, em relação a tais fenômenos. Diante disso, entende-se que a tendência de aumento da precipitação, representada pelo coeficiente de expansão temporal da CP1 anual, está sendo determinada pela atuação do ENOS e da ODP, ambas flutuações provenientes do Oceano Pacífico.

Ainda, segundo os resultados desta análise, é possível afirmar que durante as décadas de 1990-2010, o crescimento na produção de soja da região amazônica foi determinado pelo aumento das chuvas, estas moduladas pelos fenômenos ENOS e ODP. Vale ressaltar que nesta pesquisa, o fator analisado para o crescimento da produção de soja na região foi o climático, este associado à precipitação. Logo, não foi levado em consideração outros fatores que também contribuem para tal crescimento, como foi exposto anteriormente.

Esta mudança sazonal na posição da ZCIT para o hemisfério norte faz com que a quantidade de chuvas diminua consideravelmente, principalmente nos estados mais ao sul da Amazônia, neste caso destaca-se o Mato Grosso, onde a maior parte da soja é cultivada. Em função disto, percebe-se que quando o valor de OAN está mais próximo de zero, a variação da produtividade é positiva, podendo haver defasagem no tempo.

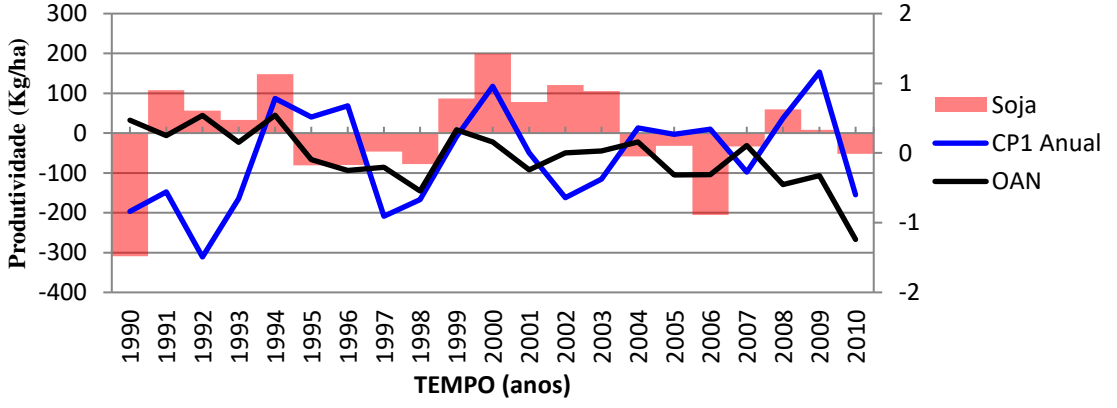


Figura 7 - Produtividade anual de soja em função da CP1 anual e o índice OAN, sem a tendência tecnológica. Amazônia Legal, Brasil.

4. CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho é estudar a variabilidade climática da precipitação dentro da escala anual, levando em consideração as oscilações interanuais e decadais, e seus reflexos na produtividade de soja, mediante a ocorrência de eventos extremos na Amazônia. Neste sentido, aplicando Análise

de Componentes Principais (ACP) a uma série mensal de 32 anos de dados de precipitação do GPCP, para a Amazônia Legal, foi possível obter as seguintes constatações:

Os três primeiros modos da ACP (62%) apresentam um padrão meridional (1º e 2º modos) e zonal (3º modo) de precipitação, com valores maiores e menores no estado do Mato Grosso, maior produtor de soja do Brasil. Estes valores estão associados à atuação de sistemas meteorológicos de escala sinótica (ZCIT, ZCAS, SF) e também à mecanismos de escala climática (ENOS, PDO, NAO);

2 Com a retirada da tendência tecnológica, fica evidenciada que a variabilidade interanual da precipitação pluvial, associada à fase negativa do ENOS e da ODP, exerce profunda influência na produtividade de soja na Amazônia, devido ao aumento das chuvas;

3 O índice OAN apresenta sinal negativo na última década, o que é desfavorável à precipitação pluvial. Porém, o Oceano Atlântico exerce maior influência na parte norte e nordeste da região, e não em toda a região amazônica, enquanto que a soja é cultivada principalmente na porção sul desta região, mais especificamente no estado do Mato Grosso; e

4 Diante dos resultados alcançados neste trabalho, conclui-se, de forma geral, que o conhecimento antecipado dos moduladores climáticos (ODP, OAN, ENOS) pode, pela gestão de riscos, evitar os prejuízos econômicos e/ou aumentar os investimentos financeiros relacionados à atividade agrícola na região amazônica.

AGRADECIMENTOS

À NOAA pelo fornecimento dos dados do GPCP e dos índices climáticos, pois foram de fundamental importância para a obtenção dos resultados desta pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos durante o curso de Mestrado (2012-2014) pertencente ao programa de pós-graduação em Ciências Ambientais (PPGCA); e, posteriormente, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela atual concessão da bolsa na modalidade SET-F (2014-2015), nº do processo: 351449/2014-0.

Ao PPGCA do Instituto de Geociências da UFPA/MPEG/EMBRAPA pela infraestrutura fornecida.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, C.R.; SOUZA, E.P.; SILVA DIAS, M.A.F.; BIAZETO, B. (2014). Influência dos jatos em médios e baixos níveis nos processos de nuvem: Estudo numérico de uma linha de instabilidade amazônica. Revista Brasileira de Meteorologia, v.29, p.29-46.

BALETTI, B. (2014). Sustainable soy and the new extractivism. Environment and Planning A, v.46, p.5-25.

BASTOS, T.X.; SANTOS, A.R.A.; SÁ, T.D. de A.; SANTOS, A.R. dos; OLIVEIRA, R. P.; PACHECO, N.A.; KOBAYASHI, L.T. (1993): Flutuação das chuvas no nordeste paraense e sua implicação para o calendário agrícola. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 8, Porto Alegre, p.13.

CARMONA, L.C.; BERLATO, M. A. (2002). El Niño e La Niña e o rendimento do arroz irrigado no estado do Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.10, n.1, p.147-152.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos – V.5 - Safra 2017/18 – N.1 Primeiro Levantamento – Outubro 2017. Brasília – DF: Conab, 115p, 2017. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_10_16_16_34_39_graos_outubro_2017.pdf.

CUNHA, G.R.; DALMAGO, G. A.; ESTEFANEL, V. (1999). Enso influences on wheat crop in Brazil. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.7, n.1, p.127-138.

FEARNSIDE, P.M. (2001). Soybean cultivation as a threat to the environment in Brazil. Environmental Conservation, v.28, n.1, p.23-38.

FEARNSIDE, P.M. (2008). The Roles and Movements of Actors in the Deforestation of Brazilian Amazonia. Ecology and Society, v.13, n.1, p.23-44.

FISCH, G.; MARENGO, J.A.; NOBRE, C.A. (1998). Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. Acta Amazônica, v.28, p.101-126.

GEDNEY, N.; VALDES, P. J. (2000).The effect of Amazonian deforestation on the northern hemisphere circulation and climate. Geophysical Research Letter, v.27, n.19, p.3053-3056.

GERSHUNOV, A.; BARNETT, T.P. (1998). Interdecadal modulation of ENSO teleconections. Bulletin of the American Meteorological Society, v.79, p.2715-2725.

HUFFMAN, G.J.; ROBERT, F.A.; ARKIN, P.; CHANG, A.; RALPH, F.; ARNOLD, G.; JANOWIAK, J.; McNab, A.; RUDLOF, SCHNEIDER, U. (1997). The global precipitation climatology project (GPCP) combined precipitation dataset. Bulletin of the American. Meteorological Society, v. 78, p. 5-20.

HURREL, J.W.; KUSHNIR, Y.; OTTERSEN, G.; VISBECK, M. (2003). The North Atlantic Oscillation: Climate significance and environmental impact. Geophysical Monograph Series, v. 134.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (2012). Plataforma SIDRA. Rio de Janeiro. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/home/cnt/brasil. Acesso em 02/08/2017.

MANTUA, N.J.; HABE, S.R.; ZHANG, Y.; WALLACE, J.M.; FRANCIS, R.C. (1997). A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. Bulletin of the American. Meteorological Society, v.78, p.1069-1079.

MATSUYAMA, H.; MARENGO, J.A.; OBREGON, G.O.; NOBRE, C.A. (2002). Spatial and temporal variabilities of rainfall in tropical south America as derived from

climate prediction center merged analysis of precipitation. International Journal of Climatology, v.22, p.175–195.

MORTON, D.C.; DeFries, R.S.; SHIMABUKURO, Y.E.; ANDERSON, L.O.; ARAI, E.; ESPIRITO-SANTO, F.D.; FREITAS, R.; MORISETTE, J. (2006). Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v.103, n.39, p.14637-14641.

MOURA, M.N.; VITORINO, M.I. (2012). Variabilidade da precipitação em tempo e espaço associada à Zona de Convergência Intertropical. Revista Brasileira de Meteorologia, v.27, p.425 – 433.

MIERES, L.S.; SALDANHA, C.B.; TSCHIEDEL, A.F.; SALDANHA, R.L.; CARDOSO, M.A.G. (2012). Projeções Climáticas das Alterações da Quantidade de Água no Solo Disponível para o Cultivo de Soja. Revista Brasileira de Geografia Física, v.4, p.807-818.

NEPSTAD, D.; McGrath, D.; STICKLER, C.; ALENCAR, A.; AZEVEDO, A.; SWETTE, B.; BEZERRA, T.; DiGiano, M.; SHIMADA, J.; SEROA, R.; ARMIJO, E.; CASTELLO, L.; BRANDO, P.; HANSEN, M.C.; McGrath-Horn, M.; CARVALHO, O.; HESS, L. (2014). Slowing Amazon deforestation through public policy and interventions in beef and soy supply chains. Science, v.344, n.6188, p.1118-1123.

OBREGON, G.O.; NOBRE, C. A. (2003). Proceedings of the 7th International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography. Wellington, New Zealand, (Ed. By American Meteorological Society, v.1, p.88-89, Boston).

PINTO, L.I.C.; COSTA, M.H.; LIMA, F.Z.; DINIZ, L.M.F.; SEDIYAMA, G.C.; PRUSKI, F.F. (2009). Comparação de produtos de precipitação para a América do Sul. Revista Brasileira de Meteorologia, v.24, n.4, 461-472.

ROPELEWSKI, E.F.; JONES, P. D. (1987). An extension of the Tahiti–Darwin Southern Oscillation index. Monthly Weather Review, v.115, p.2161–2165.

RUDORFF, B.F.T.; ADAMI, M.; AGUIAR, D.A.; MOREIRA, M.A.; MELLO, M.P.; FABIANI, L.; AMARAL, D.F.; PIRES, B.M. (2011). The Soy Moratorium in the Amazon Biome Monitored by Remote Sensing Images. Remote Sensing, v.3, p.185-202.

SANTOS, JWMC. Clima e produtividade da soja nas terras de cerrado do sudeste de Mato Grosso. 2002. 388 p. 2002. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Geografia Física)–Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo,SP.

SANTOS de OLIVEIRA, A.; C. NOBRE (1986). Interactions between frontal systems in South America and tropical convection over Amazon, Paper presented at 2nd International Conference on Southern Hemispheric Meteorology, Wellington, New Zealand, p.1-5 December.

STRETEN, N. A. (1973). Some characteristics of satellite observed bands of persistente cloudiness over the Southern Hemisphere. Monthly Weather Review, v.101, p.486-495.

WALLACE, J.M.; GUTZLER, D.S. (1981). Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. Monthly Weather Review, v.109, p.784-812.

WERTH, D.; AVISSAR, R. (2002). The local and global effects of Amazon deforestation. Journal Geophysical Research Atmospheric, v.107, n.20, p.8087.