



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Análise de índices de precipitação na Amazônia Ocidental

Daris Correia dos Santos¹, Raimundo Mainar de Medeiros², José Ivaldo Barbosa de Brito³

¹Mestranda em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande, Departamento de Ciências Atmosféricas (UFCG/DCA), Av. Aprígio Veloso 882, CEP 58109-970, Campina Grande – PB, Brasil, e-mail: dariscorreia@gmail.com; ²Doutorando em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande, Departamento de Ciências Atmosféricas (UFCG/DCA), Av. Aprígio Veloso 882, CEP 58109-970, Campina Grande – PB, Brasil e-mail: mainarmedeiros@gmail.com; ³Meteorologista, Prof. Dr. Universidade Federal de Campina Grande, Departamento de Ciências Atmosféricas (UFCG/DCA), Av. Aprígio Veloso 882, CEP 58109-970, Campina Grande – PB, Brasil, e-mail: Ivaldo@dca.ufcg.edu.br

Artigo recebido em 09/07/2013 e aceito em 27/09/2013

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo verificar as correlações de índices de detecção de mudanças climáticas dependentes da precipitação pluvial, na Amazônia Ocidental e analisar suas relações com a Oscilação Decenal do Pacífico (PDO), Oscilação Multidecenal do Atlântico (AMO) e anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) nas regiões do Pacífico Niño 1+2, Niño 3, Niño 3+4, Niño 4, e nas regiões do Atlântico, Índice do Atlântico Norte Tropical (TNAI) e Índice do Atlântico Sul Tropical (TSAI). Utilizou-se uma série de índices de precipitação de 36 pontos de grades, no período de 1970 a 2001, provenientes de reanálise do projeto ERA-40 do European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), e de anomalias de TSM e oscilações climáticas, PDO e AMO, disponíveis no site do NCEP (National Centers for Environmental Prediction). Realizou-se a correlação (coeficiente de correlação de Pearson) entre as anomalias de TSM e a média aritmética anual dos 36 pontos de grade de cada índice. Observou-se que as regiões do El Niño apresentaram uma fraca influência sobre a precipitação total da região estudada. O Índice simples de intensidade diária (SDII) apresenta forte correlação com o TSAI, mostrando que este índice é bem afetado pela variabilidade da TSM do Atlântico Sul. Portanto, Compreende-se que os índices de extremos climáticos da Amazônia Ocidental são influenciados pelas oscilações interdecenais.

Palavras-chave: Variabilidade climática, Mudanças climáticas, Índices climáticos.

Analysis of precipitation indices in the Western Amazon

ABSTRACT

This work aims to study the relationship of detection rates of climate change dependent on rainfall in Western Amazon and analyze their relations with the Pacific Decadal Oscillation (PDO), Multidecadal Atlantic Oscillation (AMO) and surface temperature anomalies Sea (SST) in the Pacific regions Niño 1 +2, Niño 3, Niño 3 +4, Niño 4, and regions of the Atlantic, Tropical North Atlantic Index (TNAI) Index and the Tropical South Atlantic (TSAI). We used a series of rainfalls of 36 grid points in the period 1970-2001, from reanalysis project ERA-40 from the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), and SST anomalies and fluctuations climate, PDO and AMO, available on the website of the NCEP (National Centers for Environmental Prediction). We conducted correlation (Pearson correlation coefficient) between the SST anomalies and the annual arithmetic mean of 36 grid points of each index. We observed that the regions of the El Niño showed a weak influence on the total precipitation of the studied region. The simple daily intensity index (SDII) has a strong correlation with TSAI, showing that this ratio is much affected by the variability of the South Atlantic SST So. It is understood that the indices of climate extremes in western Amazonia are influenced by fluctuations interdecadals.

Keywords: Climate variability, climate change, climate indices.

* E-mail para correspondência:
dariscorreia@gmail.com (Santos, D. C. dos.).

Introdução

De acordo com o Intergovernmental Panel on Climate Change- IPCC (2007), para as próximas duas décadas, projeta-se um aquecimento de cerca de 0,2°C por década para uma faixa de cenários de emissões do RECE (Relatório Especial sobre Cenários de Emissões). Mesmo que as concentrações de todos os gases de efeito estufa e aerossóis se mantivessem constantes nos níveis do ano 2000, seria esperado um aquecimento adicional de cerca de 0,1°C por década. Nas áreas mais secas, prevê-se que a mudança do clima acarrete a salinização e a desertificação das terras agrícolas. Projeta-se que as mudanças nos padrões de precipitação e o desaparecimento das geleiras afetem de forma significativa a disponibilidade de água para o consumo humano, a agricultura e a geração de energia (IPCC, 2007).

Segundo o IPCC (2007) as chuvas e vazões de rios na Amazônia e no Nordeste apresentam variabilidades interanual e em escala de tempo interdecenal, que são mais importantes que tendências de aumento ou redução. Estas variabilidades estão associadas a padrões de variação nas mesmas escalas de tempo nos oceanos Pacífico e Atlântico, com a variabilidade interanual associada a El Niño Oscilação Sul, ENOS, ou a Oscilação do Atlântico Norte (North Atlantic Oscillation – NAO), e a variabilidade decenal com a Oscilação Decenal do Pacífico (Pacific Decadal Oscillation – PDO), no Pacífico, e com a Oscilação Multidecenal do Atlântico

(Atlantic Multidecadal Oscillation – AMO), no Atlântico.

A PDO (Mantua et al., 1997) foi estudada primeiramente no final da década de 1990. Trata-se da variação da TSM do oceano Pacífico, similar ao ENOS, porém com período de décadas (20-30 anos) e mecanismos um pouco diferentes. Por este motivo, a PDO também é conhecida como um fenômeno ENSO-like (Minobe, 1997; Zhang; Wallace; Battisti, 1997; Garreaud; Battisti, 1999).

Estudos sugerem que a AMO (Kerr, 2000) seja um mecanismo de interação oceano-atmosfera relacionado com flutuações de baixa frequência na circulação termohalina (Knight et al., 2005; Dong; Sutton; Scaiffe, 2006; Dima; Lohmann, 2007). Pesquisas recentes sugerem que a AMO está relacionada com a ocorrência prévia de grandes secas no Centro-Oeste e no Sudoeste dos Estados Unidos da América – EUA (Mo et al., 2009). Quando a AMO está em sua fase quente, as secas tendem a ser mais frequentes e/ou prolongada. E na fase negativa (fria) contribui para períodos chuvosos. Duas das secas mais severas do século 20 nos EUA ocorreram durante a AMO positiva entre 1927 e 1963.

Na América do Sul, sabe-se que a precipitação sobre o Atlântico tropical é deslocada para norte durante a fase quente da AMO (AMO (+)); isto implica em uma posição anômala da ZCIT, mais ao norte, o que diminui a precipitação durante a estação chuvosa do norte do Nordeste brasileiro

(NEB), de março a maio (Prado, 2010). No Brasil, Silva Junior (2010) mostrou que a AMO contribui para a variabilidade da precipitação e temperatura do ar na parte norte do Brasil.

De forma geral, na América Latina, tem-se observado uma grande variedade de alterações no clima que podem ser resultantes não só da variabilidade climática natural como também da interferência humana no sistema. Notam-se variações principalmente na distribuição da precipitação e na temperatura média (IPCC, 2002). Assim, estudo desenvolvido por Liebmann et al. (2004) para a região central da América do Sul, em particular o Sul do Brasil devido ser a região com maiores densidade populacional e de produtividade agrícola, identificou tendências lineares sazonais na precipitação durante 1976-1999, mostrando que ocorreu um aumento no percentual de dias chuvosos.

A Temperatura da Superfície do Mar (TSM) é um dos fatores com grande influência sobre o clima da área estudada, sendo assim, o comportamento dos Oceanos Pacífico e Atlântico é de relevante importância para o clima, por isso realizou-se um estudo comparativo entre os índices de extremo climático e as anomalias da TSM nas áreas de Niño 1+2; Niño 3; Niño 3.4 e Niño 4, no Pacífico Equatorial, e nos índices TNAI e TSAI, no Atlântico Tropical. Segundo Münnich & Neelin (2005) grande parte da variabilidade do Atlântico tropical é atribuída ao ENOS.

Na Amazônia Ocidental, a precipitação e a temperatura do ar é uma variável determinante da sua variabilidade climática e de mudança ao longo prazo. Portanto, a presente pesquisa objetivou analisar a correlação dos índices de detecção de mudanças climáticas, dependentes da precipitação pluvial para a Amazônia Ocidental, assim como analisar suas relações com as anomalias de TSM nas regiões de Niño 1+2, Niño 3, Niño 3+4 e Niño 4, no Oceano Pacífico; TNAI (Índice do Atlântico Norte Tropical) e TSAI (Índice do Atlântico Sul Tropical), no Oceano Atlântico e averiguar a influência dos índices de detecção de mudanças climáticas sobre a PDO e a AMO.

Material e Métodos

Os índices de precipitação pluvial utilizados são provenientes de reanálise do projeto ERA-40 do Centro Europeu de Previsão de Tempo de Médio Prazo (ECMWF - European Center for Medium-Range Weather Forecasts), para o período de 1970 a 2001 da Amazônia Ocidental (Roraima, Amazonas, Acre, Rondônia), disponibilizados em pontos de grade com resolução de 2,5° x 2,5°, e os índices de oscilações climáticas (PDO e AMO) são disponíveis no site do NCEP (National Centers for Environmental Prediction). Para os índices climáticos disponíveis, foram escolhidos 36 pontos de grade, que apresentaram dados de 1970 a 2001, A Figura 1 representa todos os pontos

de grade e a Tabela 1 suas respectivas coordenadas geográficas.

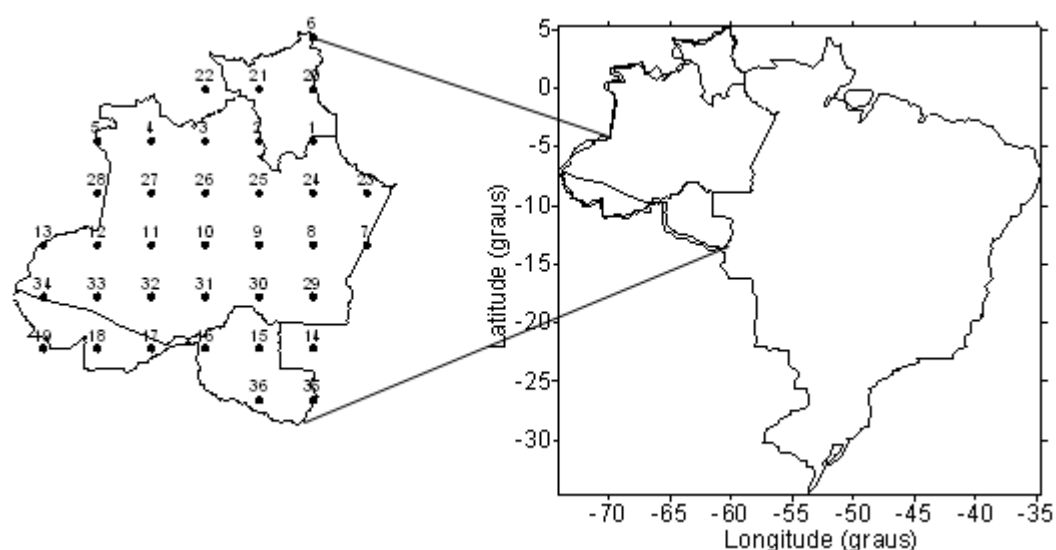


Figura 1. Distribuição espacial dos pontos de grade na Amazônia Ocidental e sua localização no Brasil.

Tabela 1: Coordenadas geográficas dos pontos de grade na Amazônia Ocidental.

Pontos de grade	Longitude (graus)	Latitude (graus)	Pontos de grade	Longitude (graus)	Latitude (graus)
1	-60	0	19	-72,5	-10
2	-62,5	0	20	-60	2,5
3	-65	0	21	-62,5	2,5
4	-67,5	0	22	-65	2,5
5	-70	0	23	-57,5	-2,5
6	-60	5	24	-60	-2,5
7	-57,5	-5	25	-62,5	-2,5
8	-60	-5	26	-65	-2,5
9	-62,5	-5	27	-67,5	-2,5
10	-65	-5	28	-70	-2,5
11	-67,5	-5	29	-60	-7,5
12	-70	-5	30	-62,5	-7,5
13	-72,5	-5	31	-65	-7,5
14	-60	-10	32	-67,5	-7,5
15	-62,5	-10	33	-70	-7,5
16	-65	-10	34	-72,5	-7,5
17	-67,5	-10	35	-60	-12,5
18	-70	-10	36	-62,5	-12,5

Na Tabela 2, estão apresentados quatro índices climáticos, derivados da precipitação pluvial, utilizados nessa

pesquisa, conforme a definição realizada pelo "Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices (ETCCDMI)".

Tabela 2: Índices climáticos dependentes da precipitação pluvial diária, com suas definições e unidades. O RR é o valor da precipitação diária. $RR > 1$ mm representa um dia úmido e $RR < 1$ mm, um dia seco.

Índices	Nome do Indicador	Definição	Unidade
DCS	Dias consecutivos secos	Número máximo de dias consecutivos com $RR < 1$ mm	dias
DWC	Dias consecutivos molhados	Número máximo de dias consecutivos com $RR > 1$ mm	dias
SDII	Índice simples de intensidade diária	Média anual da precipitação quando $PRCP \geq 1,0$ mm	mm
PRCPTOT	Precipitação total anual nos dias úmidos	Precipitação total anual nos dias úmidos ($RR > 1$ mm)	mm

O software utilizado no cálculo dos índices e homogeneização dos dados foi o Excel, e o Surfer foi utilizado na elaboração dos mapas. Realizou-se a correlação (coeficiente de correlação de Pearson) entre as anomalias de TSM e a média aritmética anual dos 36 pontos de grade, para cada índice, versus a média anual de anomalia de TSM de cada uma das áreas (Niño 1+2, Niño 3, Niño 3+4, Niño 4, TNAI e TSAI), período de 1970 a 2001. Os índices climáticos da precipitação pluvial diária também foram correlacionados com as oscilações PDO e AMO.

O coeficiente de correlação de Pearson normalmente representado pela letra r . Sua fórmula de cálculo é:

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{(\sum(x_i - \bar{x})^2)(\sum(y_i - \bar{y})^2)}} \quad \text{Equação (1)}$$

O coeficiente de correlação, r , apresenta valores no intervalo de -1 (menos um) a 1 (um). Quando o valor de r é igual a +1, ou a -1, a correlação é dita perfeita.

Para a análise da significância estatística de cada uma das correlações, tanto para a TSM como para as oscilações interdecenais, aplicou-se o teste-t de Student:

$$t = \frac{r(n-2)^{1/2}}{(1-r^2)^{1/2}} \quad \text{Equação (2)}$$

Foram adotados três níveis de significância, ou seja, 90% que corresponde a valores de $1,69 \leq t < 2,04$, 95% com valores de $2,04 \leq t < 2,75$ e 99% correspondendo a $t \geq 2,75$.

Resultados e Discussão

A alta variabilidade da precipitação na Amazônia Ocidental procede em eventos de inundações da bacia amazônica a secas severas (por exemplo, a ocorrida no ano de 2005 e estudada por Marengo et al. 2008). Por meio do padrão espacial obtido das correlações é possível notar os principais

sistemas precipitantes que atuam na Amazônia Ocidental, e também a presença ou não da influência do Oceano Atlântico, Pacífico e oscilações interdecenais. Os tons claros (cinzas) representam as correlações negativas (positivas).

As Figuras 2(a), (b), (c) e (d) apresentam a distribuição espacial das correlações do índice de Dias Consecutivos Molhados (DWC), em dias/ano, com as regiões da TSM no pacífico. O DWC é um dos índices com correlações mais variadas, assim entende-se que os efeitos das anomalias são bem específicos em cada célula. O índice DWC apresenta pouca influência do Pacífico

no seu comportamento. As configurações de DWC mostram que as mudanças observadas nesse índice, possivelmente, são induzidas por eventos de grande escala e por fatores locais. A Tabela 3 apresenta as correlações com significância estatística das regiões do Pacífico, onde as regiões Niño 1+2, Niño 3, Niño 3+4 e Niño 4 apresentam correlações negativas com o índice DWC.

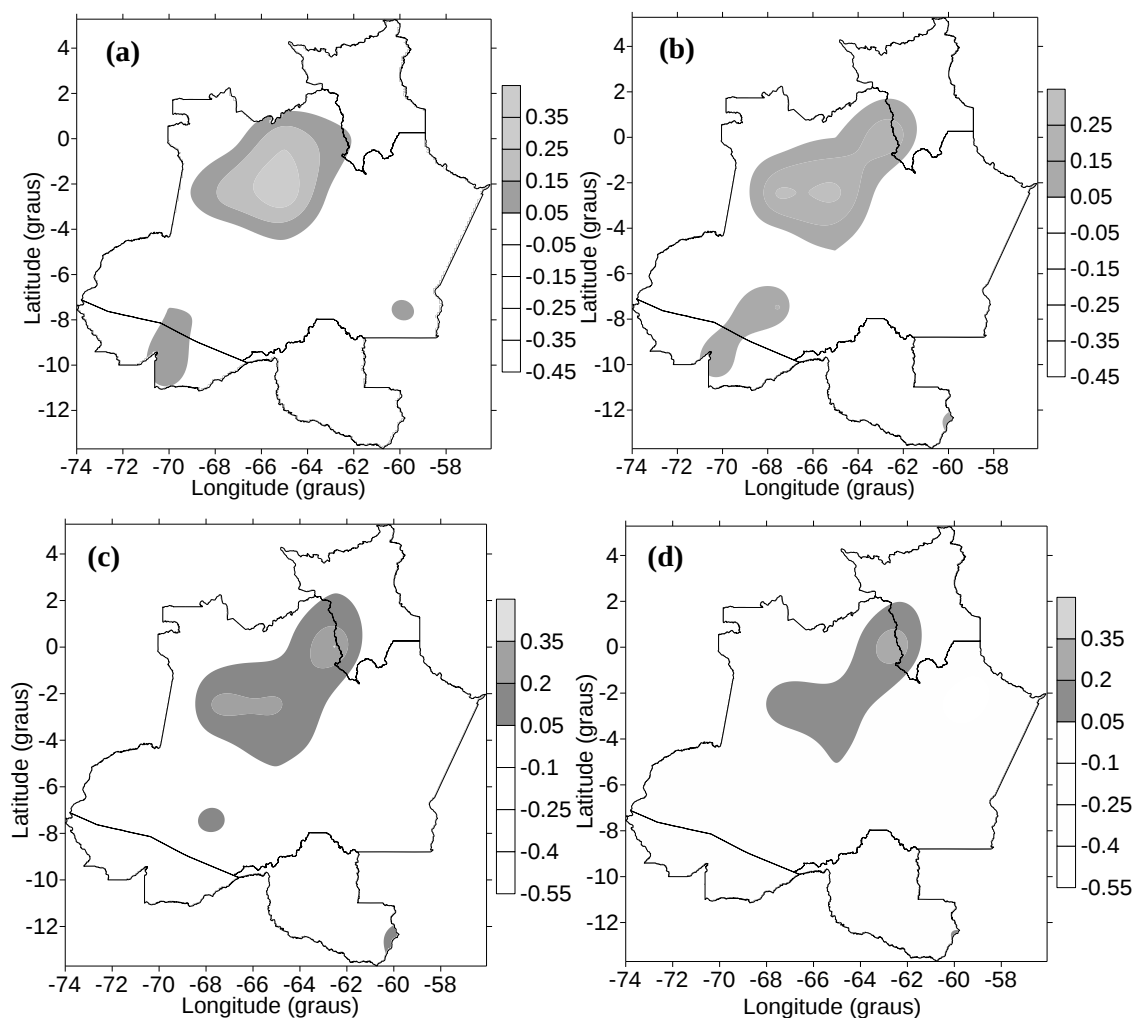


Figura 2. Correlação dos Dias consecutivos molhados com: (a) Niño 1+2 (b) Niño 3 (c) Niño 3+4 e (d) Niño 4, na Amazônia Ocidental, período 1970-2001.

Tabela 3. Correlações que apresentam significância estatística do índice DWC com as TSM do oceano Pacífico, período de 1970 a 2001, Amazônia Ocidental.

Longitude	Latitude	DWC Niño1+2	Longitude	Latitude	DWC Niño3
-72,5	-5,0	-0,30*	-57,5	-2,5	-0,30*
-65,0	-7,5	-0,43**	-60,0	-2,5	-0,41**
			-65,0	-7,5	-0,39**
Longitude	Latitude	DWC Niño 3+4	Longitude	Latitude	DWC Niño4
-62,5	0,0	0,36**	-62,5	0,0	0,35**
-72,5	-5,0	-0,34*	-65,0	2,5	-0,30*
-57,5	-2,5	-0,32*	-57,5	-2,5	-0,33*
-60,0	-2,5	-0,50***	-60,0	-2,5	-0,52***
-65,0	-7,5	-0,37***	-70,0	-2,5	-0,38**
			-65,0	-7,5	-0,35*

Legenda: Valores críticos para o Teste t de Student: * $t \geq 1,69$ 90% de confiabilidade; ** $t \geq 2,04$ 95% de confiabilidade; *** $t \geq 2,75$ 99% de confiabilidade.

Observa-se, Figura 3, em algumas áreas isoladas, correlações do índice DWC opostas as das predominantes no Atlântico onde as áreas mais ao centro estão mais bem correlacionadas com as anomalias do Pacífico do que com as do Atlântico, porém à medida que se desloca mais para o sul e nordeste as

correlações se invertem, pois se verifica uma melhor correlação com as anomalias do Atlântico norte, Figura 3(a) e Atlântico sul, Figura 3(b). O índice DWC se correlaciona negativamente com as anomalias do Atlântico, conforme demonstrado na Tabela 4.

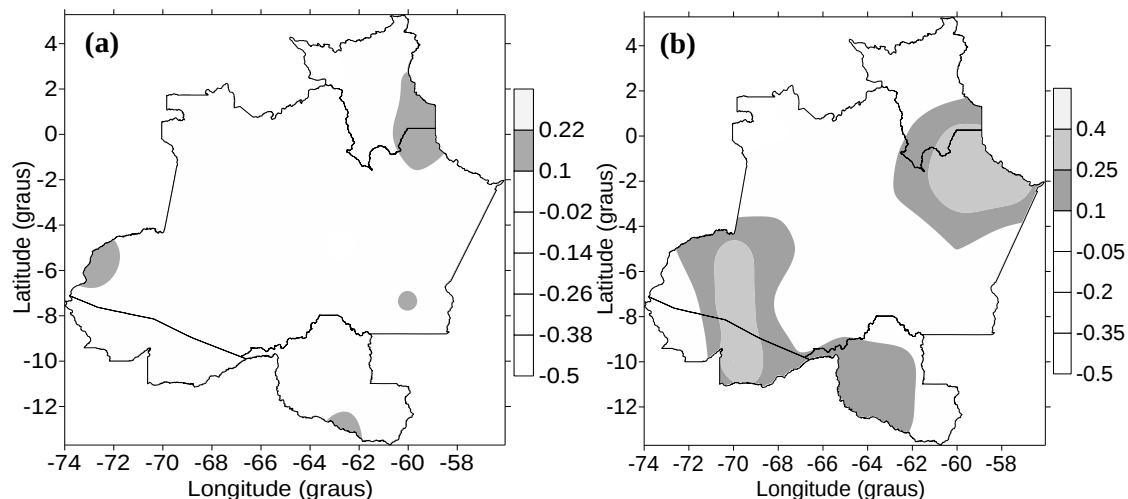


Figura 3. Correlação dos Dias consecutivos molhados com: (a) TNAI e (b) TSAI, na Amazônia Ocidental, período 1970-2001.

Tabela 4. Correlações que apresentam significância estatística do Índice DWC com as TSM do oceano Atlântico, período de 1970 a 2001, Amazônia Ocidental.

Longitude	Latitude	DWC TNAI	Longitude	Latitude	DWC TSAI
-70,0	0,0	-0,41**	-67,5	0,0	-0,36**
-62,5	-5,0	-0,49***	-70,0	0,0	-0,50***
-60,0	-10	-0,40**	-70,0	-5,0	0,30**
-62,5	2,5	-0,38**	-70,0	-10,0	0,40**
-65,0	2,5	-0,47***	-72,5	-10,0	-0,31*
-67,5	-7,5	-0,30*	-57,5	-2,5	0,33*
			-60,0	-2,5	0,34*
			-70,0	-7,5	0,37**

Legenda: Valores críticos para o Teste t de Student: * $t \geq 1,69$ 90% de confiabilidade; ** $t \geq 2,04$ 95% de confiabilidade; *** $t \geq 2,75$ 99% de confiabilidade.

A PDO apresenta correlações negativas com significância estatística, Tabela 5, com o índice DWC, Figura 4(a) e correlação negativa na parte central durante a AMO,

Figura 4(b), assim observa-se que a PDO aumenta a frequência de dias úmidos na parte central e noroeste e a AMO na parte nordeste e extremo sul.

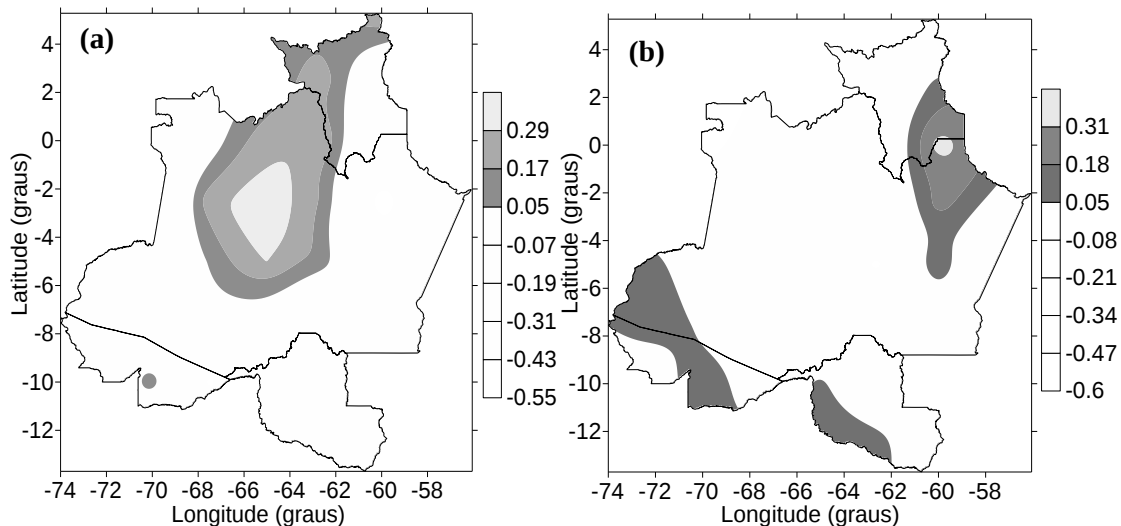
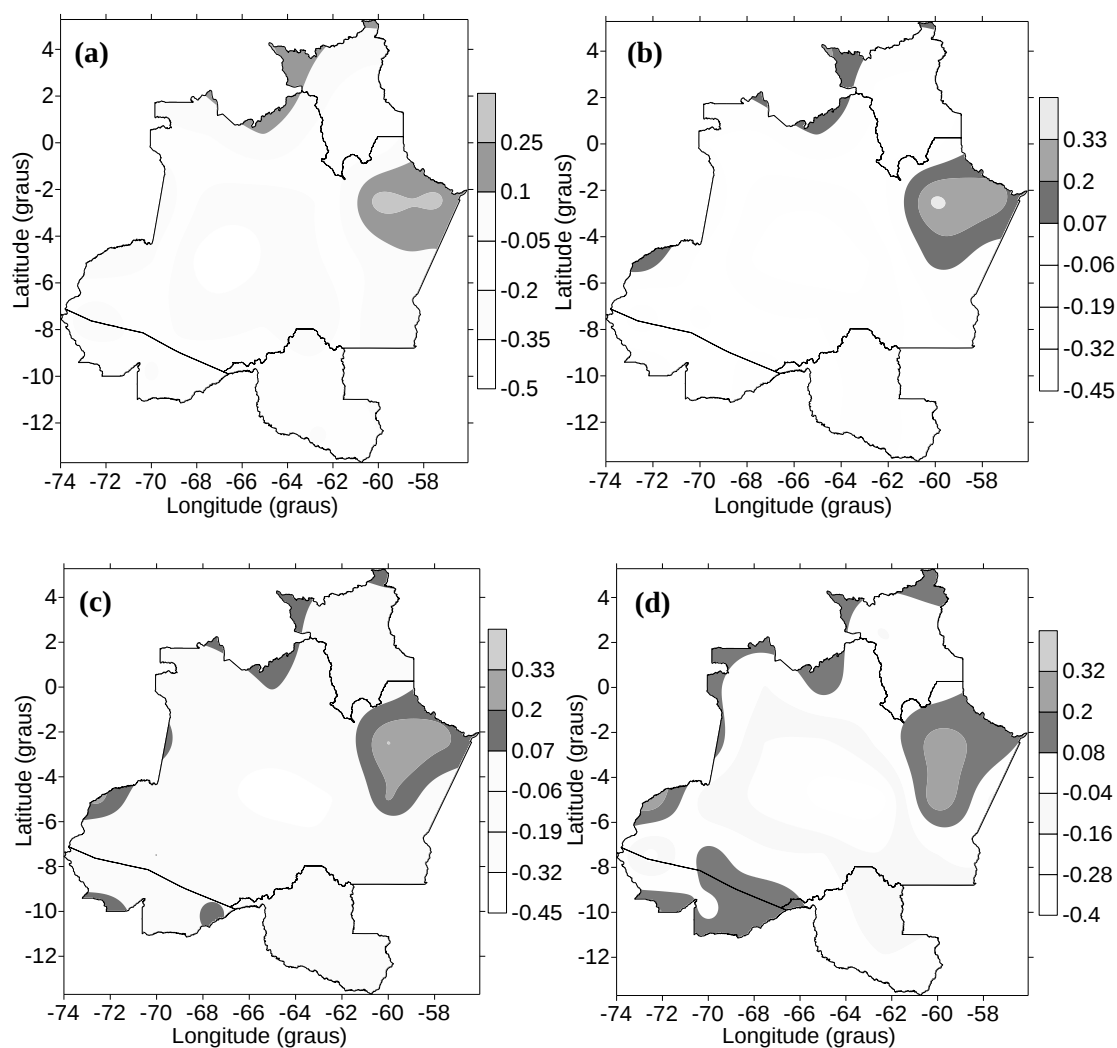


Figura 4. Correlação dos Dias consecutivos molhados com: (a) PDO e (b) AMO, na Amazônia Ocidental, período 1970-2001.

Tabela 5. Correlações que apresentam significância estatística do índice DWC com oscilações interdecenais, período de 1970 a 2001, Amazônia Ocidental.

Longitude	Latitude	DWC PDO	Longitude	Latitude	DWC AMO
-60,0	0,0	-0,30*	-60,0	0,0	0,35**
-60,0	-5,0	-0,42**	-67,5	0,0	-0,35*
-72,5	-5,0	-0,33*	-70,0	0,0	-0,57***
-67,5	-10,0	-0,46***	-57,5	-5,0	-0,48***
-60,0	-2,5	-0,50***	-62,5	-5,0	-0,49***
-65,0	-2,5	0,34*	-60,0	-10,0	-0,52***
-70,0	-2,5	-0,43**	-65,0	2,5	-0,39**
-62,5	-7,5	-0,40**	-62,5	-2,5	-0,31*
			-62,5	-7,5	-0,36**

Legenda: Valores críticos para o Teste t de Student: * $t \geq 1,69$ 90% de confiabilidade; ** $t \geq 2,04$ 95% de confiabilidade; *** $t \geq 2,75$ 99% de confiabilidade.

**Figura 5.** Correlação dos Dias consecutivos secos com: (a) Niño 1+2 (b) Niño 3 (c) Niño 3+4 e (d) Niño 4, na Amazônia Ocidental, período 1970-2001.

O índice Dias consecutivo seco (DCS) apresentou fraca correlação com as anomalias das regiões do Pacífico, Figura 5(a), (b), (c) e (d), não apresentando um padrão fixo em suas correlações, com correlações positivas e negativas, Tabela 6.

Tabela 6. Correlações que apresentam significância estatística do índice DCS com as TSM do oceano Pacífico, período de 1970 a 2001, Amazônia Ocidental.

Longitude	Latitude	DCS Niño 1+2	Longitude	Latitude	DCS Niño 3
-65,0	-5,0	-0,34*	-62,5	-5,0	-0,30*
-67,5	-5,0	-0,46***	-65,0	-5,0	-0,41**
-65,0	2,5	0,33*	-67,5	-5,0	-0,36**
-60,0	-2,5	0,31*	-65,0	2,5	0,31*
-62,5	-7,5	-0,34*	-60,0	-2,5	0,37**
-72,5	-7,5	-0,31*	-62,5	-7,5	-0,31*
Longitude	Latitude	DCS Niño 3+4	Longitude	Latitude	DCS Niño 4
-62,5	-5,0	-0,35*	-60,0	-5,0	0,31*
-65,0	-5,0	-0,40**	-62,5	-5,0	-0,36**
-60,0	-2,5	0,34*	-65,0	-5,0	-0,32*
			-72,5	-5,0	0,31*

Legenda: Valores críticos para o Teste t de Student: * $t \geq 1,69$ 90% de confiabilidade; ** $t \geq 2,04$ 95% de confiabilidade; *** $t \geq 2,75$ 99% de confiabilidade.

O índice DCS apresentou correlações positivas com as anomalias do Atlântico Norte, Figura 6(a) e negativas com o Atlântico Sul, figura 6(b) na parte central da Amazônia Ocidental logo o número de dias secos consecutivos diminuiu ao longo da série

de dados, ocorrendo um maior aumento na frequência de dias secos seguidos de dias úmidos. O índice DCS se correlaciona positivamente com o TNAI e negativamente com o TSAI, Tabela 7.

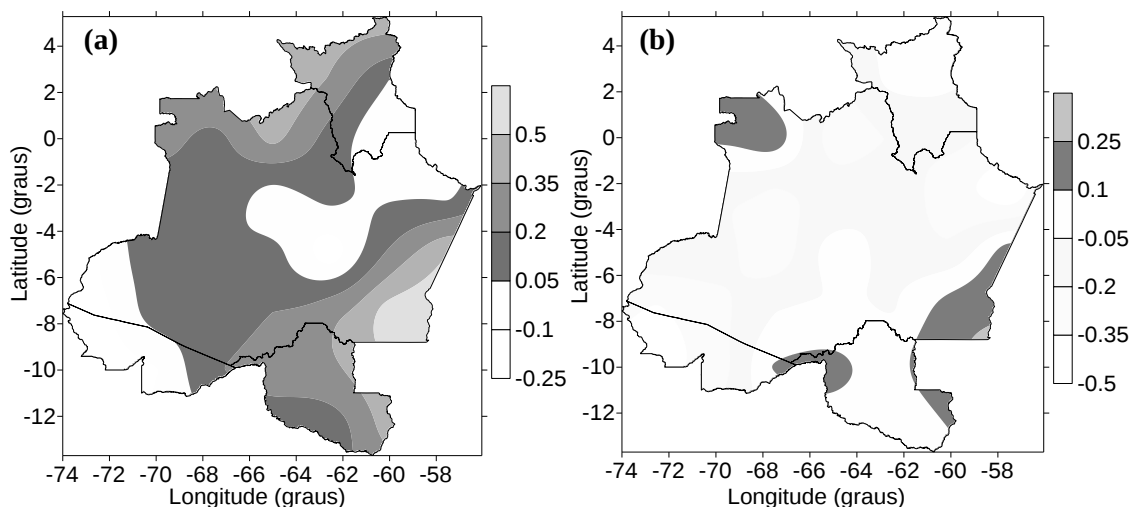


Figura 6. Correlação dos Dias consecutivos secos com: (a) TNAI e (b) TSAI, na Amazônia Ocidental, período 1970-2001.

Tabela 7. Correlações que apresentam significância estatística do índice DCS com as TSM do oceano Atlântico, período de 1970 a 2001, Amazônia Ocidental.

Longitude	Latitude	DCS TNAI	Longitude	Latitude	DCS TSAI
-65,0	0,0	0,40**	-67,5	-5,0	-0,32*
-60,0	5,0	0,41**	-70,0	-10,0	-0,30*
-57,5	-5,0	0,50***	-72,5	-10,0	-0,38**
-60,0	-10,0	0,50***	-57,5	-2,5	-0,46***
-62,5	-10,0	0,32*	-60,0	-2,5	-0,31**
-62,5	2,5	0,33*	-72,5	-7,5	-0,37**
-65,0	2,5	0,48***			
-60,0	-7,5	0,58***			
-62,5	-7,5	0,30*			
-60,0	-12,5	0,41**			

Legenda: Valores críticos para o Teste t de Student: * $t \geq 1,69$ 90% de confiabilidade; ** $t \geq 2,04$ 95% de confiabilidade; *** $t \geq 2,75$ 99% de confiabilidade.

Durante a PDO ocorre diminuição da Precipitação Total em Dias Úmidos (PRCPTOT) nos extremos norte e sul da Amazônia Ocidental, Figura 7 (a), e durante a AMO ocorre uma aumento da frequência de

dias úmidos em quase toda área de estudo, Figura 7(b). O índice apresenta melhor distribuição espacial com as correlações positivas, Tabela 8.

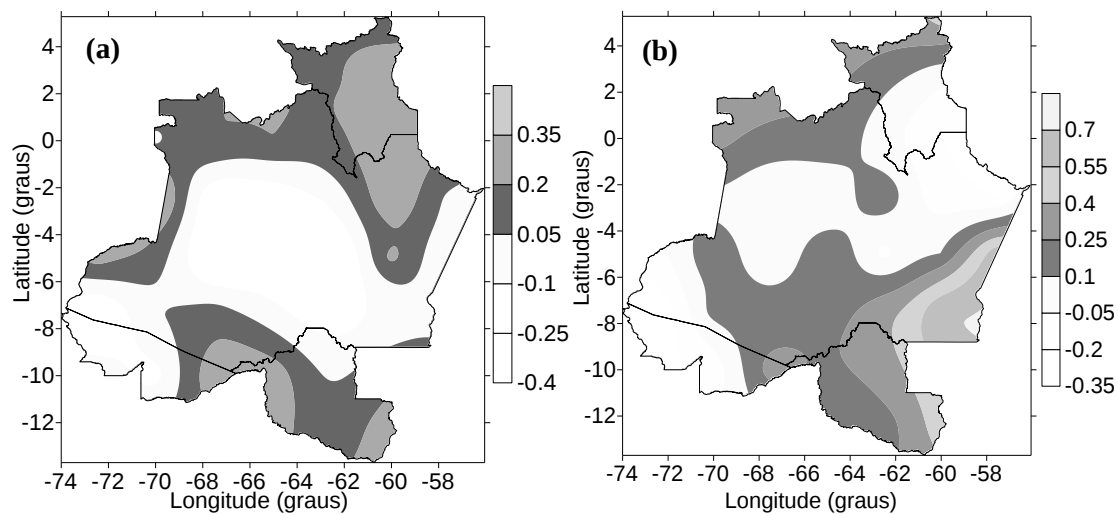
**Figura 7.** Correlação dos Dias consecutivos secos com: (a) PDO e (b) AMO, na Amazônia Ocidental, período 1970-2001.

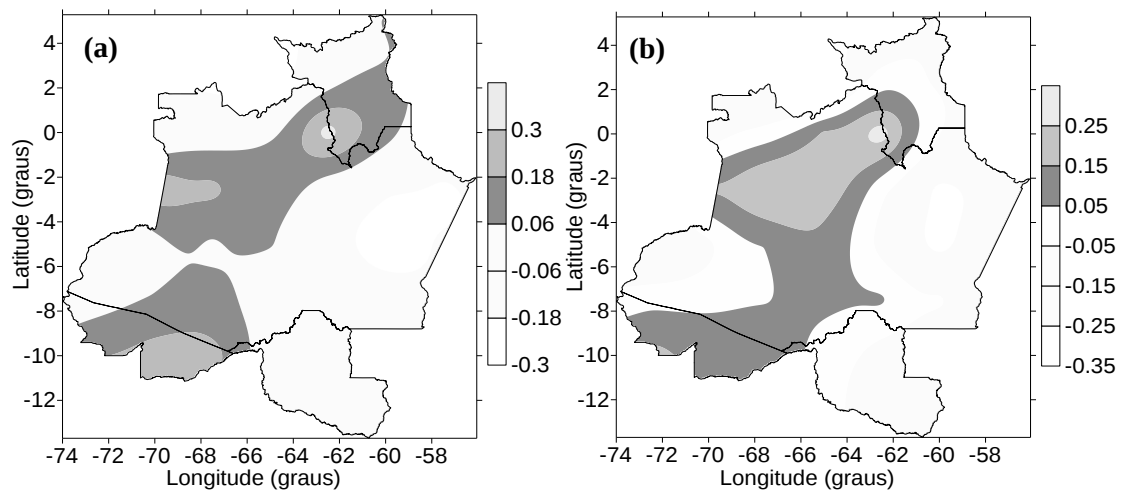
Tabela 8. Correlações que apresentam significância estatística do índice DCS com oscilações interdecenais, período de 1970 a 2001, Amazônia Ocidental.

Longitude	Latitude	DCS PDO	Longitude	Latitude	DCS AMO
-60,0	0,0	0,33*	-70,0	0,0	0,31*
-62,5	-5,0	-0,38**	-60,0	5,0	0,42**
-67,5	-5,0	-0,34*	-57,5	-5,0	0,67***
-67,5	-10,0	0,30*	-60,0	-10,0	0,55***
-60,0	2,5	0,35**	-62,5	-10,0	0,31*
-60,0	-2,5	0,31*	-67,5	-10,0	0,30*
-70,0	-2,5	0,46***	-60,0	-7,5	0,69***
-72,5	-7,5	-0,33*	-62,5	-7,5	0,34*
			-72,5	-7,5	-0,34*
			-60,0	-12,5	0,47***

Legenda: Valores críticos para o Teste t de Student: * $t \geq 1,69$ 90% de confiabilidade; ** $t \geq 2,04$ 95% de confiabilidade; *** $t \geq 2,75$ 99% de confiabilidade.

O índice PRCPTOT (mm/ano), Figura 8(a), (b), (c) e (d), apresenta uma fraca correlação com as anomalias dos Niños na parte leste, entretanto, ainda é possível verificar células com alguma forte correlação com El Niño no noroeste e parte central, mas pode-se concluir que as regiões do El Niño

apresentaram uma fraca influência sobre a precipitação total da região estudada. Estes resultados concordam com os encontrados por Silva Júnior, (2010) para a Amazônia Ocidental. A Tabela 9 mostra correlações negativas com significância estatística do índice PRCPTOT com as regiões do Pacífico.



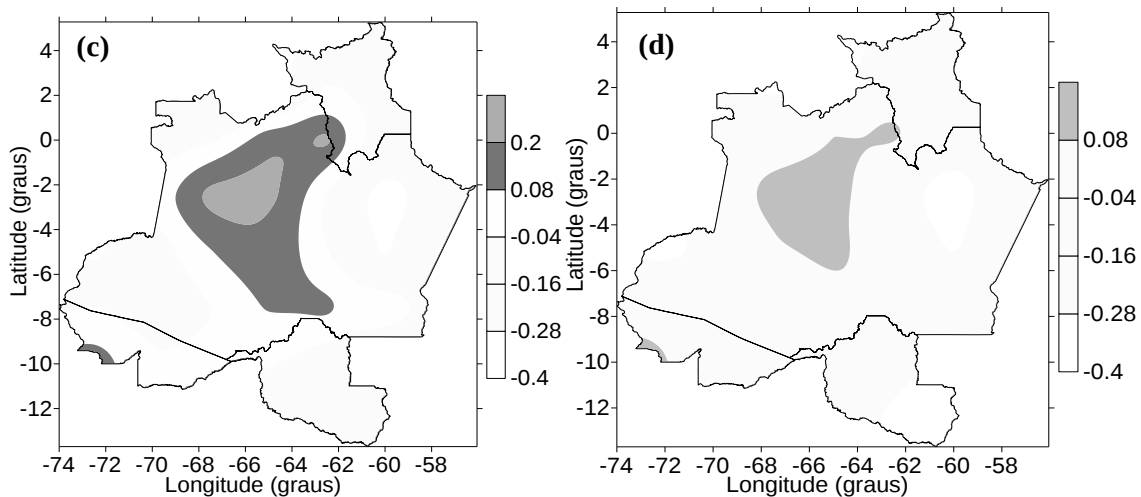


Figura 8. Correlação do índice PRCPTOT com: (a) Niño 1+2 (b) Niño 3 (c) Niño 3+4 e (d) Niño 4, na Amazônia Ocidental, período 1970-2001.

Tabela 9. Correlações que apresentam significância estatística do índice PRCPTOT com as TSM do oceano Pacífico, período de 1970 a 2001, Amazônia Ocidental.

Longitude	Latitude	PRCPTOT Niño 1+2	Longitude	Latitude	PRCPTOT Niño3
-62,5	0,0	0,34*	-62,5	0,0	0,30*
-65,0	2,5	-0,31*	-60,0	-5,0	-0,30*
			-65,0	2,5	-0,39**
Longitude	Latitude	PRCPTOT Niño3+4	Longitude	Latitude	PRCPTOT Niño4
-60,0	-5,0	-0,30*	-60,0	-5,0	-0,31*
-72,5	-5,0	-0,32*	-72,5	-5,0	-0,35**
-65,0	2,5	-0,42**	-60,0	-10,0	-0,32*
-60,0	-2,5	-0,37**	-65,0	2,5	-0,43**
			-60,0	-2,5	-0,40**
			-60,0	-12,5	-0,33*
			-62,5	-12,5	-0,31*

Legenda: Valores críticos para o Teste t de Student: * $t \geq 1,69$ 90% de confiabilidade; ** $t \geq 2,04$ 95% de confiabilidade; *** $t \geq 2,75$ 99% de confiabilidade.

Observa-se, Figura 9 (a), diminuição do índice PRCPTOT, pois quando o índice está mais elevado há um aumento das TSM do Pacífico Norte e isto leva a uma diminuição das chuvas sobre o Atlântico e regiões adjacentes devido à subsidência de grande escala, o que pode ser observado pela correlação negativa entre o TNAI e o índice PRCPTOT. Este resultado concorda com o encontrado por Yoon e Zeng (2010), pois um

aquecimento do Oceano Atlântico Tropical Norte induz movimento subsidente sobre a bacia amazônica, resultando na diminuição das precipitações na região. O oposto pode ser visto na correlação entre o TSAI e a precipitação total que apresentam correlações positivas, Figura 9(b), pois, sabe-se que o aquecimento do Oceano Atlântico Tropical Sul induz o deslocamento da ZCIT mais ao sul do Equador levando a um aumento da

precipitação sobre a região amazônica (Santos et al., 2012). O índice PRCPTOT apresentou

melhor significância estatística com o Atlântico Norte, Tabela 10.

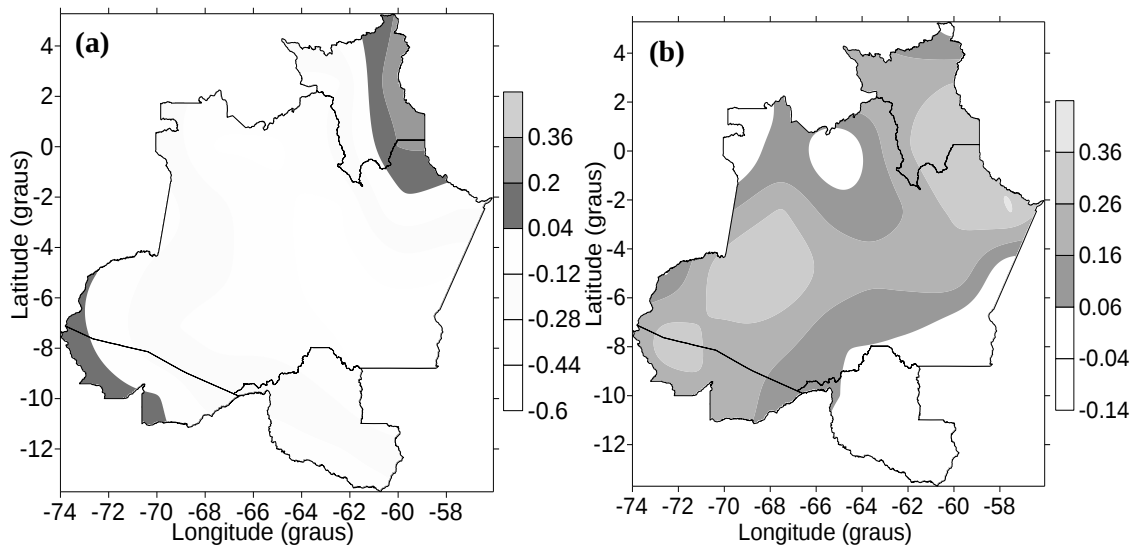


Figura 9. Correlação do índice PRCPTOT com: (a) TNAI e (b) TSAI, na Amazônia Ocidental, período 1970-2001.

Tabela 10. Correlações que apresentam significância estatística do índice PRCPTOT com as TSM do oceano Atlântico, período de 1970 a 2001, Amazônia Ocidental.

Longitude.	Latitude	PRCPTOT TNAI	Long.	Lat.	PRCPTOT TNAI	Long.	Lat.	PRCPTOT TSAI
-65	0,0	-0,46***	-62,5	2,5	-0,31*	-60,0	0,0	0,35**
-67,5	0,0	-0,46***	-62,5	-2,5	-0,48***	-67,5	-5,0	0,35**
-57,5	-5,0	-0,45**	-65,0	-2,5	-0,41**	-70,0	-5,0	0,34*
-60,0	-5,0	-0,36**	-60,0	-7,5	-0,60***	-57,5	-2,5	0,36**
-62,5	-5,0	-0,53***	-62,5	-7,5	-0,45**	-72,5	-7,5	0,30*
-65,0	-5,0	-0,38**	-65,0	-7,5	-0,33*			
-60,0	-10,0	-0,50***	-67,5	-7,5	-0,31*			
-60,0	2,5	0,36**						

Legenda: Valores críticos para o Teste t de Student: * $t \geq 1,69$ 90% de confiabilidade; ** $t \geq 2,04$ 95% de confiabilidade; *** $t \geq 2,75$ 99% de confiabilidade.

Na Figura 10(a), verifica-se que a PDO apresenta correlação positiva na parte central da Amazônia Ocidental ocorrendo um aumento das TSM do Pacífico Norte. Durante a AMO, Figura 10(b) ocorre uma redução das

chuvas sobre o Atlântico e regiões adjacente devido a subsidência de grande escala. O índice PRCPTOT apresentou significância estatística com a PDO e a AMO superiores a 90%, Tabela 11.

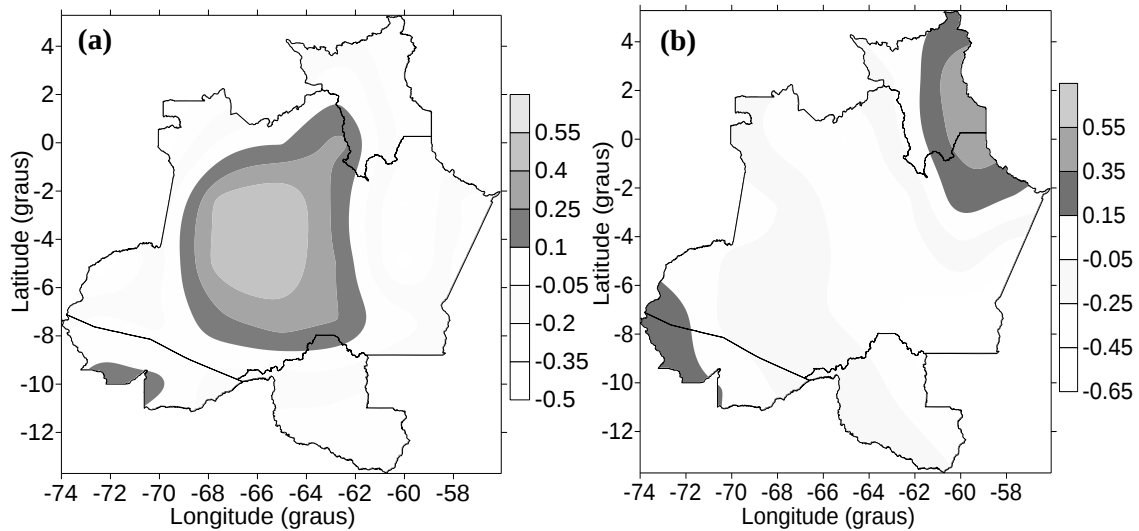


Figura 10. Correlação do índice PRCPTOT com: (a) PDO e (b) AMO, na Amazônia Ocidental, período 1970-2001.

Tabela 11. Correlações que apresentam significância estatística do índice PRCPTOT com oscilações interdecenais, período de 1970 a 2001, Amazônia Ocidental.

Longitude	Latitude	PRCPTOT PDO	Longitude	Latitude	PRCPTOT AMO
-70,0	0,0	-0,48***	-60,0	0,0	0,43**
-60,0	5,0	-0,32*	-65,0	0,0	-0,46***
-60,0	-5,0	-0,41**	-67,5	0,0	-0,34*
-65,0	-5,0	0,47***	-57,5	-5,0	-0,52***
-67,5	-5,0	0,48***	-62,5	-5,0	-0,43**
-72,5	-5,0	-0,45**	-60,0	-10,0	-0,59***
-60,0	2,5	-0,38**	-62,5	-10,0	-0,34*
-60,0	-2,5	-0,37**	-62,5	-2,5	-0,33*
-65,0	-2,5	0,52***	-65,0	-2,5	-0,35**
-67,5	-2,5	0,46***	-60,0	-7,5	-0,62***
-65,0	-7,5	0,32*	-62,5	-7,5	-0,47***
-60,0	-12,5	-0,30*	-60,0	-12,5	-0,31*

Legenda: Valores críticos para o Teste t de Student: * $t \geq 1,69$ 90% de confiabilidade; ** $t \geq 2,04$ 95% de confiabilidade; *** $t \geq 2,75$ 99% de confiabilidade.

O Índice Simples de Intensidade Diária (SDII) em mm/ano da parte central e noroeste apresenta correlações positivas com as anomalias dos Niños, Figura 11(a), (b), (c) e (d), e à medida que se desloca mais para o leste e sudeste a correlação torna-se negativa

e surge uma melhor correlação com as anomalias do Atlântico Norte, PDO e AMO. O Pacífico exerce pouca influência com o índice SDII apresentando poucas células correlacionadas negativamente com significância estatística, Tabela 12.

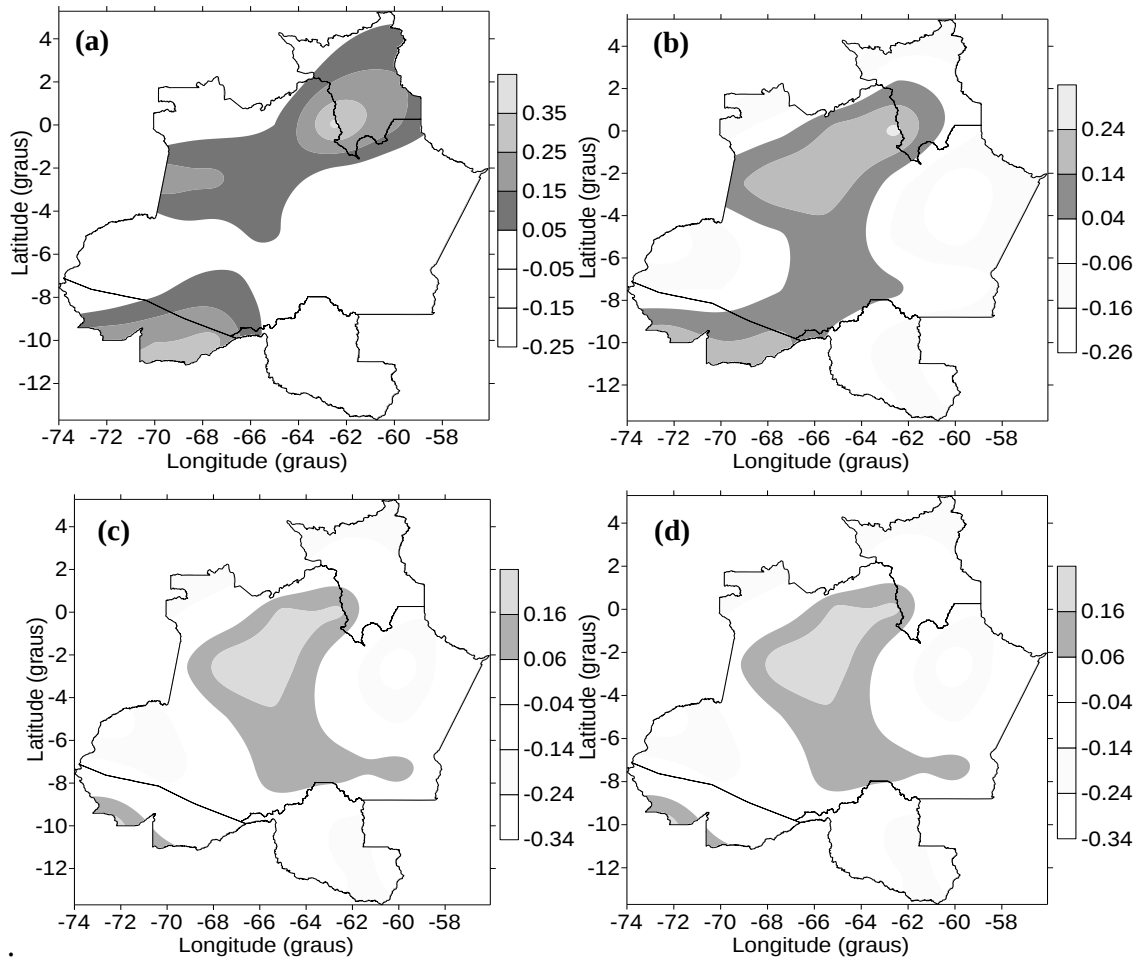


Figura 11. Correlação do índice SDII com: (a) Niño 1+2 (b) Niño 3 (c) Niño 3+4 e (d) Niño 4, na Amazônia Ocidental, período 1970-2001.

Tabela 12. Correlações que apresentam significância estatística do índice SDII com as TSM do oceano Pacífico, período de 1970 a 2001, Amazônia Ocidental.

Longitude	Latitude	SDII Niño3+4	Longitude	Latitude	SDII Niño4
-72,5	-5,0	-0,32*	-72,5	-5,0	-0,34*
-60,0	-2,5	-0,34*	-60,0	-10,0	-0,37**
			-60,0	-2,5	-0,37**
			-70,0	-7,5	-0,32*
			-60,0	-12,5	-0,39**

Legenda: Valores críticos para o Teste t de Student: * $t \geq 1,69$ 90% de confiabilidade; ** $t \geq 2,04$ 95% de confiabilidade; *** $t \geq 2,75$ 99% de confiabilidade.

A anomalia que apresenta fortes correlações com o SDII é o TNAI, mostrando que este índice é bem afetado pela variabilidade da TSM do Atlântico Norte, Figura 12(a). Portanto, um aumento da TSM

do Atlântico Norte leva a produção de chuvas mais intensa, enquanto uma redução da TSM leva a um decaimento da intensidade das chuvas. O TNAI apresenta correlações negativas com o SDII, enquanto o TSAI,

Figura 12(b) se correlaciona positivamente com o SDII, Tabela 13.

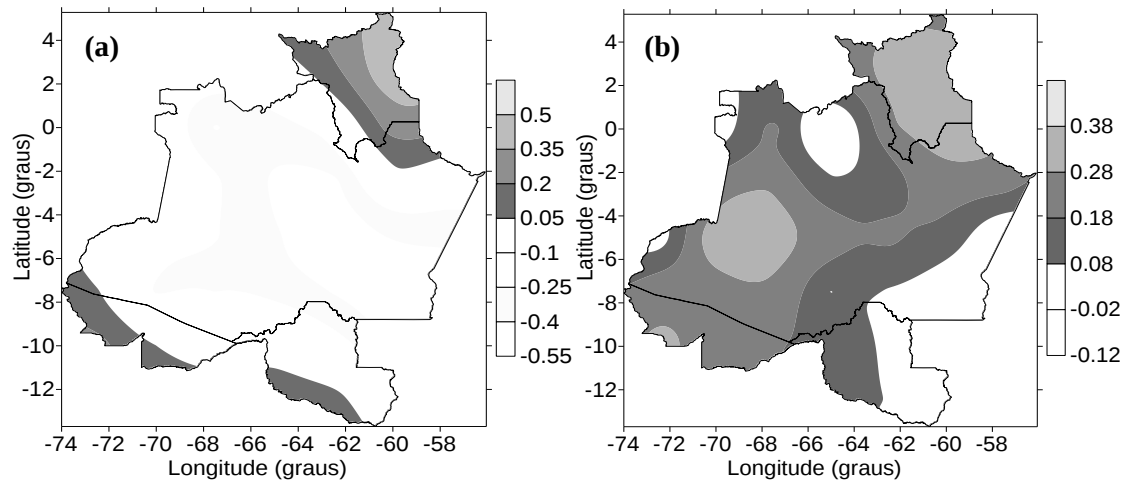


Figura 12. Correlação do índice SDII com: (a) TNAI e (b) TSAI, na Amazônia Ocidental, período 1970-2001.

Tabela 13. Correlações que apresentam significância estatística do índice SDII com as TSM do oceano Atlântico, período de 1970 a 2001, Amazônia Ocidental.

Longitude	Latitude	SDII TNAI	Longitude	Latitude	SDII TNAI	Longitude	Latitude	SDII TSAI
-65,0	0,0	-0,31*	-60,0	-10,0	-0,42**	-60,0	0,0	0,34*
-67,5	0,0	-0,41**	-60,0	2,5	0,47***	-67,5	-5,0	0,34*
-60,0	5,0	0,41**	-62,5	-2,5	-0,44**	-70,0	-5,0	0,36**
-57,5	-5,0	-0,38**	-65,0	-2,5	-0,41**	-72,5	-10,0	0,30*
-60,0	-5,0	-0,39**	-60,0	-7,5	-0,49***	-60,0	2,5	0,37**
-62,5	-5,0	-0,53***	-62,5	-7,5	-0,41**	-62,5	2,5	0,32*
-65,0	-5,0	-0,38**						

Legenda: Valores críticos para o Teste t de Student: * $t \geq 1,69$ 90% de confiabilidade; ** $t \geq 2,04$ 95% de confiabilidade; *** $t \geq 2,75$ 99% de confiabilidade.

O índice SDII, de uma maneira geral, apresenta correlações semelhantes, com as anomalias da PDO, Figura 13(a), que leva a produção de chuvas mais intensa, enquanto que durante a AMO, Figura 13(b), ocorre um

decaimento da intensidade das chuvas. Na Tabela 14 encontram-se as correlações com significância estatística do SDII com a PDO e a AMO.

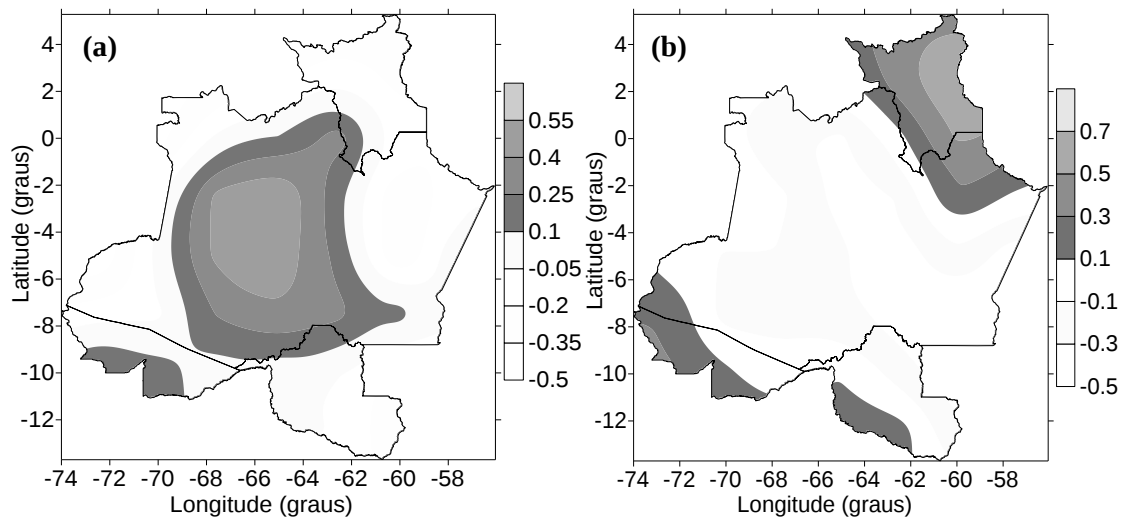


Figura 13. Correlação do índice SDII com: (a) PDO e (b) AMO, na Amazônia Ocidental, período 1970-2001.

Tabela 14. Correlações que apresentam significância estatística do índice SDII com oscilações interdecenais, período de 1970 a 2001, Amazônia Ocidental.

Longitude	Latitude	SDII PDO	Longitude	Latitude	SDII AMO
-62,5	0,0	0,31*	-60,0	0,0	0,51***
-70,0	0,0	-0,43**	-65,0	0,0	-0,33*
-60,0	5,0	-0,32*	-60,0	5,0	0,45**
-60,0	-5,0	-0,33*	-57,5	-5,0	-0,44**
-65,0	-5,0	0,46***	-62,5	-5,0	-0,42**
-67,5	-5,0	0,44**	-60,0	-10,0	-0,47***
-72,5	-5,0	-0,49***	-72,5	-10,0	0,34**
-60,0	-2,5	-0,31*	-60,0	2,5	0,68***
-65,0	-2,5	0,51***	-62,5	2,5	0,40**
-67,5	-2,5	0,45**	-65,0	-2,5	-0,35**
-65,0	-7,5	0,37**	-60,0	-7,5	-0,47***
-60,0	-12,5	-0,31*	-62,5	-7,5	-0,41**

Legenda: Valores críticos para o Teste t de Student: * $t \geq 1,69$ 90% de confiabilidade; ** $t \geq 2,04$ 95% de confiabilidade; *** $t \geq 2,75$ 99% de confiabilidade.

Conclusões

Na Amazônia Ocidental durante um período médio de 32 anos, compreendido entre 1970 a 2001, diagnosticou-se que índices de precipitação apresentam melhor correlação com a PDO, a AMO e com as anomalias do Atlântico.

O aumento da TSM do Atlântico Sul leva a produção de chuvas mais intensa,

enquanto uma diminuição da TSM leva a um decaimento da intensidade das chuvas. Os índices SDII e PRCPTOT, de uma maneira geral, apresentam correlação semelhante, verifica-se uma melhor correlação com as anomalias da PDO, que leva a produção de chuvas mais intensa, enquanto que durante a AMO, ocorre um decaimento da intensidade das chuvas.

As correlações entre os índices e as anomalias de TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico e oscilações interdecenais demonstraram a forte influência das anomalias de TSM de ambos os Oceanos sobre a precipitação da região estudada, fortalecendo assim, estudos que mostram a atuação do ENOS e do Dipolo do Atlântico como de grande influência sobre o clima da Amazônia Ocidental. Os possíveis elementos de caráter regional que podem ter modificado o clima dessas áreas são o mau uso dos ecossistemas, dos solos, as queimadas e o desmatamento.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão de bolsa para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Referências

Dima, M.; Lohmann, G. 2007. A hemispheric mechanism for the Atlantic Multidecadal Oscillation. *Journal of Climate*, v. 20, p. 2706-2719.

Dong, B.; Sutton, R. T.; Scaiffe, A. A. 2006. Multidecadal modulation of El-Niño Southern Oscillation (ENSO) variance by Atlantic Ocean sea surface temperatures. *Geophysical Research Letters*, v. 33, L08705, doi: 10.1029/2006GL025766.

Garreaud, R. D.; Battisti, D. S. 1999. Interannual (ENSO) and interdecadal (ENSO-like) variability in the southern hemisphere tropospheric circulation. *Journal of Climate*, v. 12, 2113-2133.

IPCC. Climate Change 2007: *The Physical Science Basis*. Summary for Policy Makers Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html>. Acesso em 10 de julho de 2013.

IPCC. 2002. Climate Change and Biodiversity. Cambridge, University Press, 86 p.

Liebmann, B., Vera, C. S., Carvalho, L. M. V., Camilloni, I., Hoerling, M. P., Barros, V. R., Báez, J., Bidegain, M. 2004. An observed trend in central South American Precipitation. *Journal of Climate*, v. 17, p. 4357-4367.

Mantua, N. J.; Hare, 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, n. 6, p. 1096-1079.

Marengo, J.A.; Nobre, C.A.; Tomasella, J.; Cardoso, M.F.; Oyama, M.D. 2008. Hydro-climatic and ecological behaviour of the

drought of Amazonia in 2005. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 363: 1773–1778.

Minobe, S. 1997. A 50-70 year climatic oscillation over the North Pacific and North America. *Geophysical Research Letters*, v. 24, n. 6, p. 683-686.

MO, K. C.; Schemm, J. E.; Yoo, S. H. 2009. Influence of ENSO and the Atlantic Multidecadal Oscillation on Drought over ten United States. *Journal of Climate*, v. 22, n.12, p. 5962-5982.

Münnich, M.; Neelin, J. D. 2005. Seasonal influence of ENSO on the Atlantic ITCZ and equatorial South America. *Geophysical Research Letters*, doi: 10.1029/2005GL023900.

Prado, L. F. 2010. *Pacific interdecadal Oscillation and its impacts on São Paulo State rainfall regime*. 2010. 132 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Santos, C.A.C. Satyamuity, P. ; Santos, E. M.. 2012. Tendências de índices de extremos climáticos para a região de Manaus-AM. *Acta Amazônica* (Impresso), v. 42, p. 329-336.

Silva Júnior, C. H. F. 2010. *Índices de Monitoramento e Detecção de Mudanças Climáticas na parte Norte do Brasil*. Campina Grande: UFCG, 105 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

Kerr, R. A. 2000. A North Atlantic climate pacemaker for the centuries. *Science*, v. 288, n. 5473, p. 1984-1985.

Knight, J. R.; Allan, R. J.; Folland, C. K.; Vellinga, M.; Mann, M. E. 2005. A signature of persistent natural thermohaline circulation cycles in observed climate. *Geophysical Research Letters*, v. 32, L20708, doi: 10.1029/2005GL024233.

Yoon, J.H.; Zeng, N. 2010. An Atlantic influence on Amazon rainfall. *Climate Dynamics*, 34: 249 – 264.

Zhang, Y.; Wallace, J. M.; Battisti, D. S. 1997. ENSO-like interdecadal variability: 1900- 93. *Journal of Climate*, v. 10, p. 1004-1020.