

CORRELAÇÕES ENTRE AS PRINCIPAIS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NA RESERVA BIOLÓGICA DO JARU E AS TSMS NO PACÍFICO CENTRAL EM EVENTOS DE EL NIÑO E LA NIÑA

CORRELATION BETWEEN MAIN CLIMATE VARIABLES IN THE DO JARU BIOLOGICAL RESERVE AND THE SSTs IN THE CENTRAL PACIFIC IN EVENTS IN EL NIÑO AND LA NIÑA

CORRELACIONES ENTRE LAS PRINCIPALES VARIABLES CLIMÁTICAS EN LA RESERVA BIOLÓGICA DEL JARU Y LAS TSMS EN EL PACÍFICO CENTRAL EN EVENTOS EL NIÑO Y LA NIÑA

Fernando Luiz Cardoso¹

 0000-0002-7794-251X
cardoso@unir.br

Dorisvalder Dias Nunes²

 0000-0003-4560-5444
dorisval@unir.br

Ano XXVII - Vol. XXVII - (3): Janeiro/Dezembro - 2023

CIÊNCIA
Geográfica
www.agbauru.org.br

ISSN Online: 2675-5122 • ISSN-L: 1413-7461

1 Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Rondônia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7794-251X>. E-mail: cardoso@unir.br.

2 Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Rondônia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4560-5444>. E-mail: dorisval@unir.br.

Agradecimentos: Os autores agradecem ao Programa LBA pelos dados usados neste trabalho.

Artigo recebido em novembro de 2022 e aceito para publicação em maio de 2023.



Este artigo está licenciado sob uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional.

RESUMO: Neste trabalho foi feito um estudo das alterações nas principais variáveis meteorológicas provocadas pelos fenômenos *El Niño* e *La Niña*, ocorridos entre 1999 e 2002 na Reserva Biológica do Jaru, Rondônia. Neste período houve dois anos de *La Niña* (1999, 2000); um ano neutro (2001); e um ano de *El Niño* (2002). Observou-se uma tendência de aumento na temperatura, na pressão atmosférica, um aumento no déficit de pressão de vapor e uma queda na precipitação em eventos de *El Niño*. Houve uma correlação positiva, porém fraca, entre as TSMs e a radiação de ondas longas tanto emitida quanto incidente, com a radiação solar incidente a correlação foi nula. Quanto às médias anuais da temperatura, observou-se neste período que o ano de 1999 apresentou a mais elevada, enquanto o ano de 2000 obteve a mais baixa, ambos anos de *La Niña*.

Palavras-chave: *El Niño*. Floresta Amazônica. Clima.

ABSTRACT: In this work, a study was made of the alterations in the main meteorological variables caused by the *El Niño* and *La Niña* phenomena, which occurred between 1999 and 2002 in the Jaru Biological Reserve, Rondonia. In this period there were two years of *La Niña* (1999, 2000); a neutral year (2001); and an *El Niño* year (2002). There was a trend of increase in temperature, in atmospheric pressure, an increase in the vapor pressure deficit and a decrease in precipitation in *El Niño* events. There was a positive, but weak, correlation between SSTs and longwave radiation both emitted and incident, with incident solar radiation the correlation was null. As for the annual averages of temperature, it was observed in this period that the year 1999 had the highest, while the year 2000 had the lowest, both *La Niña* years.

Keywords: *El Niño*. Amazon Forest. Climate.

RESUMEN: En este trabajo se realizó un estudio de las alteraciones en las principales variables meteorológicas provocadas por los fenómenos de *El Niño* y *La Niña*, ocurridos entre 1999 y 2002 en la Reserva Biológica Jaru, Rondônia. En este período hubo dos años de *La Niña* (1999, 2000); un año neutral (2001); y un año de *El Niño* (2002). Hubo una tendencia de aumento de la temperatura, de la presión atmosférica, un aumento del déficit de presión de vapor y una disminución de la precipitación en los eventos de *El Niño*. Hubo una correlación positiva, pero débil, entre las TSM y la radiación de onda larga tanto emitida como incidente, con la radiación solar incidente la correlación fue nula. En cuanto a los promedios anuales de temperatura, se observó en este período que el año 1999 tuvo la más altas, mientras que el año 2000 tuvo la más baja, ambos años *La Niña*.

Palabras clave: *El Niño*. Selva Amazónica. Clima.

INTRODUÇÃO

A Amazônia desempenha um papel crucial no sistema climático por meio da reciclagem da umidade, contribuindo para a circulação atmosférica e para os ciclos de água, energia e carbono, entre outros (FANCOURT *et al.*, 2022; MARENGO *et al.*, 2018). Portanto, é um componente-chave do sistema climático local e global (BAKER; SPRACKLEN, 2019; DAVIDSON; ARTAXO, 2004).

Nos últimos anos, diante do avanço das mudanças climáticas e da grande pressão mundial por mais alimentos, é cada vez mais importante e urgente entender o papel da Amazônia e as consequências das mudanças na sua cobertura vegetal. Além da extração de madeira, pecuária, nas últimas duas décadas na Amazônia teve um grande aumento na plantação de soja, aumentando mais de dez vezes sua área plantada, de 0,4 Mha em 2001 para 4,6 Mha em 2019, com 32% dos 4,2 Mha adicionados de soja provenientes de florestas primárias, 17% de florestas não primárias e 51% de florestas previamente desmatadas, pastagens (SONG, 2021).

Em um sistema complexo e todo interligado como a Amazônia, uma pequena perturbação em qualquer elemento do conjunto pode provocar uma reação em cadeia e causar grandes transformações espaciais e temporais (COE, 2013; RUNYAN; D'ODORICO; LAWRENCE, 2012; STAAL, 2020).

No aspecto climático e a curto prazo, os maiores impactos observados na região amazônica são causados pelos fenômenos *El Niño/La Niña*, com mudanças nos regimes pluviométricos e fluviométricos. Os eventos de cheias e secas provocam alterações na frequência e na intensidade das chuvas e, conseqüentemente, afetam os níveis dos rios. Estas alterações levam a mudanças nas comunidades ribeirinhas, vegetação, atividades econômicas e principalmente no clima da região (MOURA *et al.*, 2019).

Geograficamente, a Bacia Amazônica está distribuída por sete países (Brasil, Peru, Bolívia, Colômbia, Equador, Venezuela e Guiana) e a maior parte (69,1%) está localizada em território brasileiro, Peru e Bolívia abrigam 11% da bacia cada um e os demais respondem pelo restante (BORMA, 2010).

Assim, entender como é a resposta da floresta a esta variação de temperatura entre os fenômenos *El Niño* e *La Niña* tem a potencialidade de inferir quais são as possíveis alterações nas principais variáveis meteorológicas causadas pelas mudanças climáticas.

Para tentar entender a resposta da Floresta Amazônica a estes eventos, no presente trabalho analisou-se as alterações nas principais variáveis meteorológicas causadas pelos fenômenos *El Niño* e *La Niña* em um ponto da Floresta Amazônica na reserva biológica do Jaru, Rondônia. A região é uma área extensa de floresta primária preservada, onde a vegetação é classificada como floresta de terra firme. Embora a Amazônia tenha diversos tipos de vegetação, tais como várzeas ou igapós e campinas ou campinaranas, cerca de 65% da Floresta Amazônica são formados por florestas de terra firme (SALGADO; SANTOS; PAISANI, 2019; SILVA *et al.*, 2016) semelhante à vegetação da área de estudo.

O fenômeno *El Niño* representa o aquecimento anormal das águas superficiais do Oceano Pacífico Equatorial (CAI *et al.*, 2020). O *National Oceanic and Atmospheric*

Administration (NOAA) define *El Niño* (*La Niña*) como sendo o fenômeno no Oceano Pacífico Equatorial caracterizado por uma temperatura da superfície do mar positiva (negativa), com desvio da normal (para o período base de 1971-2000) na região de NIÑO 3.4 (5° N-5° S, 170° W-120° W), com magnitude igual ou superior (inferior) a + 0,5 °C (- 0,5 °C) por três meses consecutivos (NOAA, 2005).

No Quadro 1, elaborado pelo NOAA, são apresentados os valores das variações das TSMs desde o início da década de 1990 até dos dias atuais. As células em cinza significam meses nos quais as TSMs estão abaixo da média (*La Niña*); as células escuras significam meses nos quais a TSM está acima da média (*El Niño*); e as células em branco são períodos neutros, isto é, quando a TSM está com um desvio abaixo de 0,5 °C da média histórica.

Quadro 1. Dados do NOAA para evolução da variação de temperatura do meio do século de 1990 até os dias atuais.

Ano	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1990	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4
1991	0.4	0.3	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.6	0.6	0.8	1.2	1.5
1992	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	0.7	0.4	0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1
1993	0.1	0.3	0.5	0.7	0.7	0.6	0.3	0.3	0.2	0.1	0.0	0.1
1994	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.7	1.0	1.1
1995	1.0	0.7	0.5	0.3	0.1	0.0	-0.2	-0.5	-0.8	-1.0	-1.0	-1.0
1996	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5
1997	-0.5	-0.4	-0.1	0.3	0.8	1.2	1.6	1.9	2.1	2.3	2.4	2.4
1998	2.2	1.9	1.4	1.0	0.5	-0.1	-0.8	-1.1	-1.3	-1.4	-1.5	-1.6
1999	-1.5	-1.3	-1.1	-1.0	-1.0	-1.0	-1.1	-1.1	-1.2	-1.3	-1.5	-1.7
2000	-1.7	-1.4	-1.1	-0.8	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7
2001	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3
2002	-0.1	0.0	0.1	0.2	0.4	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.1
2003	0.9	0.6	0.4	0.0	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4
2004	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
2005	0.6	0.6	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-0.6	-0.8
2006	-0.8	-0.7	-0.5	-0.3	0.0	0.0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	0.9
2007	0.7	0.3	0.0	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5	-0.8	-1.1	-1.4	-1.5	-1.6
2008	-1.6	-1.4	-1.2	-0.9	-0.8	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.6	-0.7
2009	-0.8	-0.7	-0.5	-0.2	0.1	0.4	0.5	0.5	0.7	1.0	1.3	1.6
2010	1.5	1.3	0.9	0.4	-0.1	-0.6	-1.0	-1.4	-1.6	-1.7	-1.7	-1.6
2011	-1.4	-1.1	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.5	-0.7	-0.9	-1.1	-1.1	-1.0
2012	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.3	0.3	0.2	0.0	-0.2
2013	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.4	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.2	0.1	0.0	0.2	0.4	0.6	0.7
2015	0.6	0.6	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.5	2.6
2016	2.5	2.2	1.7	1.0	0.5	0.0	-0.3	-0.6	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6
2017	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.4	0.4	0.2	-0.1	-0.4	-0.7	-0.9	-1.0
2018	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.1	0.1	0.1	0.2	0.4	0.7	0.9	0.8
2019	0.8	0.8	0.8	0.7	0.6	0.5	0.3	0.1	0.1	0.3	0.5	0.5
2020	0.5	0.5	0.4	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.6	-0.9	-1.2	-1.3	-1.2
2021	-1.0	-0.9	-0.8	-0.7	-0.5	-0.4	-0.4	-0.5	-0.7	-0.8	-1.0	-1.0
2022	1.0	-0.9	-1.0									

Legenda: Os períodos quentes (escuros) e os frios (cinza) com base em uma variação superior a +/- 0,5 °C para o Índice Oceânico de Niño (ONI) na região de Niño (5 °N-5 °S, 150 °W-170 °W).

Fonte: http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. Acesso em: 11 maio 2022.

Nota-se no Quadro 1 que no período de estudo houve uma longa *La Nina* entre janeiro de 1999 até fevereiro de 2001; um período neutro de março de 2001 até maio de 2002; e um período de *El Nino* entre junho e dezembro de 2002. No quadro nota-se também que houve valores com TSMs de até 1,7 °C abaixo da média e até 2,6 °C acima da média, dando uma variação de até 4,3 °C.

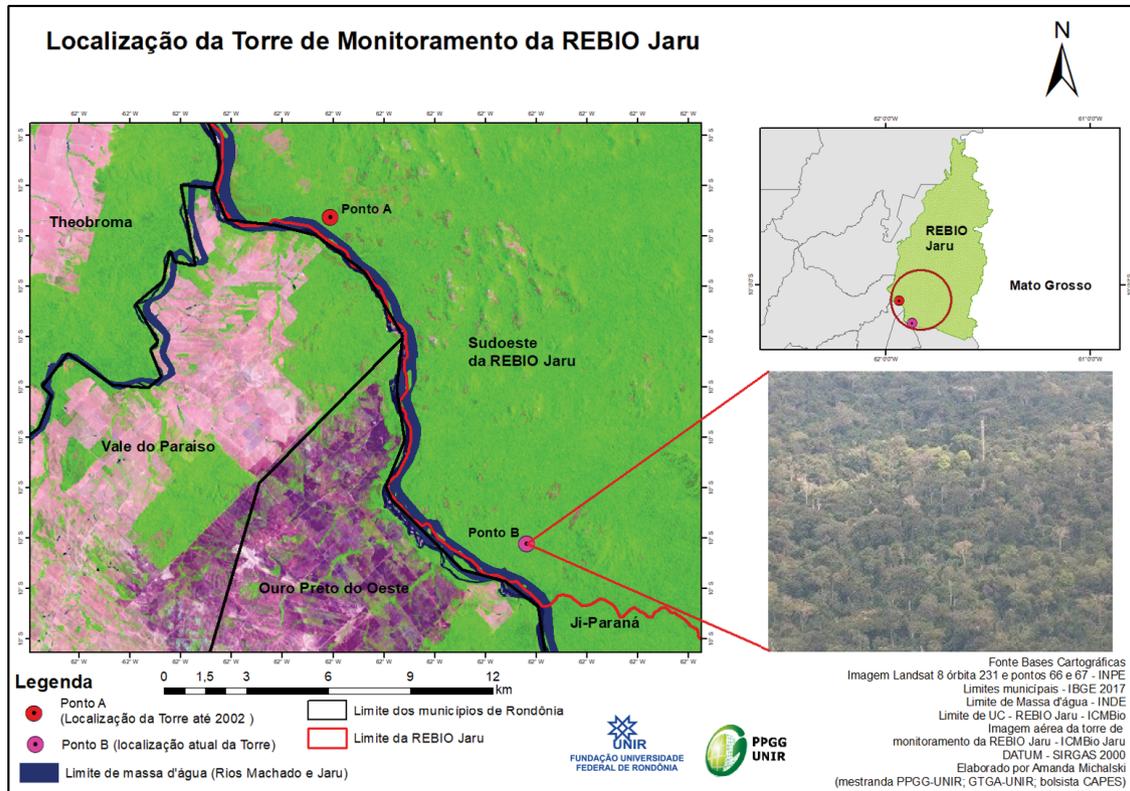
ÁREA DO ESTUDO: A RESERVA BIOLÓGICA DO JARU

Criada em julho de 1979, com 268.150 hectares, a Reserva Biológica de Jaru (Rebio Jaru) foi ampliada em maio de 2006 com a incorporação da fazenda TD (Título Definitivo) Bela Vista, área de grande importância estratégica para a unidade, passando a totalizar os atuais 353.163 hectares (BRASIL, 2010), abrangendo partes dos municípios de Ji-Paraná, Vale do Anari e Machadinho D'Oeste, fazendo limite com os municípios de Theobroma, Ouro Preto do Oeste e Vale do Paraíso no Estado de Rondônia, Colniza e Rondolândia no Estado de Mato Grosso.

No interior da reserva há uma torre de observação científica do Programa LBA monitorando o local desde 1999 (Figura 1). LBA é a sigla de *Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia* (Experimento de Larga Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia).

A torre entre março de 1999 e dezembro de 2002 ficou no ponto de coordenadas (10°4.706`S; 61° 56.0270`W) (Ponto A), quando ela foi desmontada, devido a um desmatamento ilegal feito por grileiros aproximar menos de 100 metros da torre e haver ameaças aos pesquisadores no interior da Reserva (KRAKOVICS, 2002). Nos primeiros dias de 2004 a torre começou a operar no ponto coordenadas (10°4.800`S; 61°55.800`W) (Ponto B). O Período de 1999 a 2002 foi escolhido neste trabalho por apresentar uma série de dados com menos falhas e pelo fato de a torre ter sido desativada neste ponto em dezembro de 2002, por motivo de invasões na região da Rebio Jaru, e somente um ano depois ser reativada novamente em outro ponto, porém, 13 km distante e com menos instrumentos.

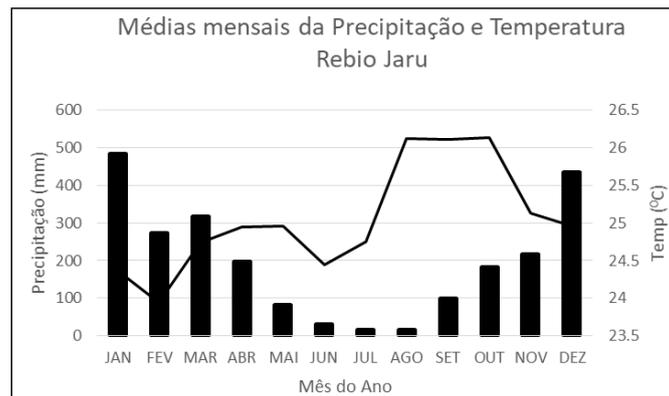
A torre da Rebio Jaru é utilizada para medições contínuas das principais variáveis climáticas e foi utilizada em campanhas intensivas de medidas da camada limite e química atmosférica, em escala regional. Maiores detalhes e informações a este respeito são encontrados em Martins *et al.* (2009); Santos; Fisch (2002); Silva Dias *et al.* (2002); Silva Dias; Cohen; Gandú (2005); Von Randow *et al.* (2004).



Fonte: Elaborado por Amanda Michalski (2021).

Figura 1. Mapa de localização da torre, ela ficou no ponto A em 1999 e a partir do início de 2004 no ponto B; na parte direita inferior uma foto aérea da torre.

A precipitação na região é alta e a média anual das chuvas observada no ponto da torre foi de 2.390,55 mm, considerando os anos de 1999, 2000, 2001 e 2002, distribuídas mensalmente conforme o gráfico da Figura 2, onde também é mostrada a variação anual das médias de temperatura, em que a temperatura média anual na região foi de 25, 23 °C e os meses com as maiores média de temperatura são agosto, setembro e outubro.



Fonte: Organizado pelos autores com dados do Programa LBA (2020).

Figura 2. Distribuição das médias mensais da precipitação (barras) e da temperatura (linha) na Reserva Biológica do Jarú.

A altura média do dossel da vegetação fica em torno de 35 m, com variações que podem atingir até 45 m. Wright *et al.* (1996) descreveram algumas características da superfície do sítio experimental: profundidade das raízes abaixo de 4,0 m, índice de área foliar de 4,6 m²/m², porosidade do solo de 0,483 a 20 cm e 0,305 a 40 cm, e perda por interceptação da ordem de 11%.

MATERIAL E MÉTODOS

A torre é mantida por painéis fotovoltaicos e o registro de dados dos sensores é feito com um sistema (*datalogger*) da Campbell, modelo CR23, que mede os dados a cada 30 segundos e armazena valores médios das variáveis de cada 30 minutos (Figura 3).



Fonte: Fotografias feitas pelo primeiro autor (2002).

Figura 3. Caixa de instrumentação onde os dados são pré-processados, gravados e é feita a configuração e os ajustes nos sensores.

Os dados são gravados no módulo de memória e semanalmente são feitas inspeções nos equipamentos, manutenção e *download* dos dados. Na Tabela 1 estão relacionados os instrumentos, suas funções e suas posições na torre.

Tabela 1. Relação dos instrumentos usados para as medidas das variáveis climáticas e suas alturas na torre.

Variáveis meteorológicas	Instrumentos usados (modelo)	Altura
Radiação de ondas curtas incidente e refletida	Piranômetros Kipp & Zonem (CM21)	19,3 m
Radiação de ondas longas incidente e emitida	Piranômetros Kipp & Zonem (CG1)	19,3 m
Radiação fotossinteticamente ativa	Sensor Quantum LI-COR (LI-190SZ)	26,6 m
Temperatura do ar	Termohigrômetro Vaisala (HMP35A)	60,0 m
Umidade relativa	Termohigrômetro Vaisala (HMP35A)	60,0 m
Velocidade do vento	Anemômetro Vector A100R	61,1 m
Direção do vento	Wind Vane Vector (W200P)	60,7 m
Precipitação	Rain gauge EM ARG-100	60,3 m
Pressão atmosférica	Barômetro Vaisala (PTB100A)	40 m
Pré-processamento dos dados	Datalogger da Campbell, modelo CR23	26,6 m

Fonte: Os autores.

Os instrumentos geram 48 medidas diárias, totalizando aproximadamente 17280 medidas anuais e todas as médias usadas são médias aritméticas calculadas usando a Equação 1:

$$M_a = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (1)$$

A maior parte das comparações foram feitas por meio de correlações entre as TSMs e as variáveis analisadas e neste caso é necessário analisar o coeficiente de Poisson da correlação, dado pela Equação 2 (TRIOLA, 2011):

$$r = \frac{n \sum_1^n x_i y_i - \sum_1^n x_i \cdot \sum_1^n y_i}{\sqrt{n \sum_1^n x_i - \left(\sum_1^n x_i \right)^2} \cdot \sqrt{n \sum_1^n y_i - \left(\sum_1^n y_i \right)^2}} \quad (2)$$

Onde:

n é o número de pares presente na análise;

x_i valores da amostra x ; e

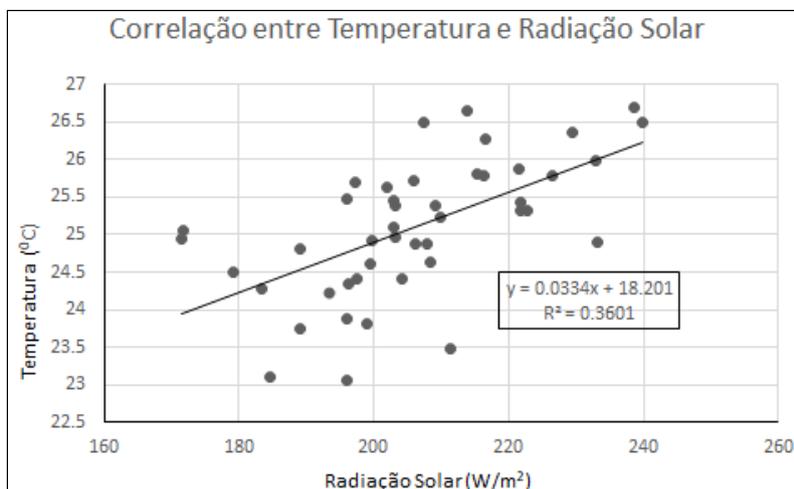
y_i os valores da amostra y .

Este coeficiente varia entre -1 e 1, quando se aproxima de 1 a correlação é positiva, ocorrendo o aumento de uma variável, enquanto a outra também aumenta; quando o coeficiente se aproxima de -1 a correlação é negativa e significa que uma variável aumenta enquanto a outra diminui. Quando os valores estão próximos de zero, diz-se que a correlação é fraca e se for zero não há nenhuma correlação.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Temperatura e Radiação

Vários fatores interferem nas temperaturas médias de uma região, como latitude, altitude, cobertura de nuvens, umidade na superfície e radiação solar. Destes fatores, certamente o que mais interfere é a radiação solar incidente. Na Figura 4 é mostrada uma correlação entre as médias mensais da temperatura e a radiação solar incidente.



Fonte: Organizado pelos autores com dados do Programa LBA e as variações da TSM do NOAA (2021).

Figura 4. Correlação entre as médias mensais da radiação solar incidente e as médias mensais da temperatura, na Rebio Jaru, entre os anos de 1999 e 2002.

Nota-se que a correlação é positiva, mas com um $R=0,360$, o que significa que as variações de temperatura não estão somente vinculadas às variações da energia solar. A temperatura, de modo geral, tem forte influência na radiação solar, mas a região tem incursões de ar frio na horizontal, principalmente durante o inverno austral (OLIVEIRA *et al.*, 2004), que tendem a baixar as médias de temperatura mesmo não havendo queda na radiação solar, enfraquecendo a correlação entre as duas.

No Quadro 2 são apresentadas as médias mensais da temperatura entre os anos de 1999 e 2002, sendo as células escuras representadas pelos períodos de *El Niño*, as cinzas de *La Niña* e as brancas pelos períodos neutros.

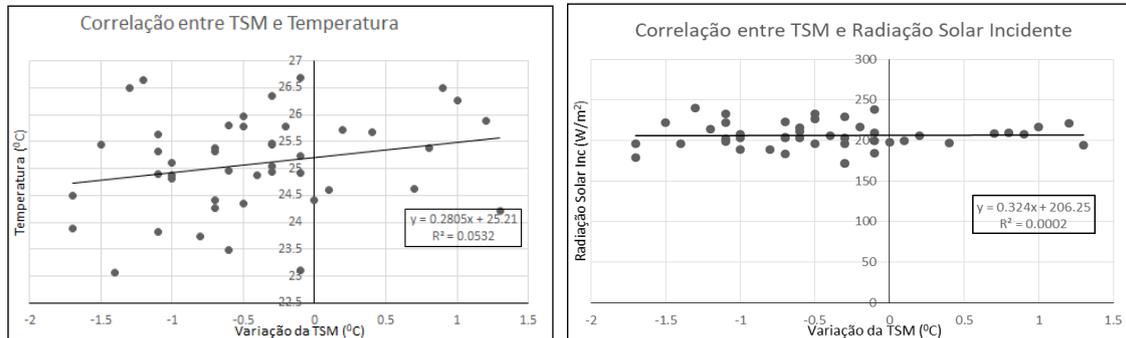
Quadro 2. Médias mensais de temperatura na Rebio Jaru (Células escuras são de **El Niño**, sombreadas de **La Niña** e as demais são períodos normais).

	JAN	FEV	MAR	ABRIL	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
1999				24,9	24,9	25,0	25,0	25,2	26,7	26,4	25,5	24,5	25,4
2000	23,9	23,1	23,8	23,7	24,4	25,0	23,5	26,0	25,8	25,8	25,4	25,3	24,6
2001	24,3	24,3	24,9	25,4	24,9	23,1	25,2	26,7	25,8	26,4	25,5	25,1	25,1
2002	24,9	24,4	24,6	25,7	25,7	24,6	25,4	26,5	26,3	25,9	24,8	24,7	25,3

Fonte: Organizado pelos autores com dados do Programa LBA (2021).

Nota-se no Quadro 2 que não há um comportamento regular da temperatura com *El Niño* e *La Niña* no período analisado, pois, há meses de *La Niña* com média alta (Set/1999) e meses de *El Niño* com média de temperatura baixa (Jun/2002). Para verificar se há correspondência entre as médias mensais de radiação solar incidente e radiação solar incidente com as TSMs, foram feitas as correlações mostradas na Figura 5. Nota-se

uma correlação entre as temperaturas e as TSMs, isto é, em períodos de *El Niño* há uma tendência de aumento da temperatura na região; quanto à radiação solar, a correlação é quase nula mostrando que eventos de *El Niño/La Niña* não interferem na radiação solar.

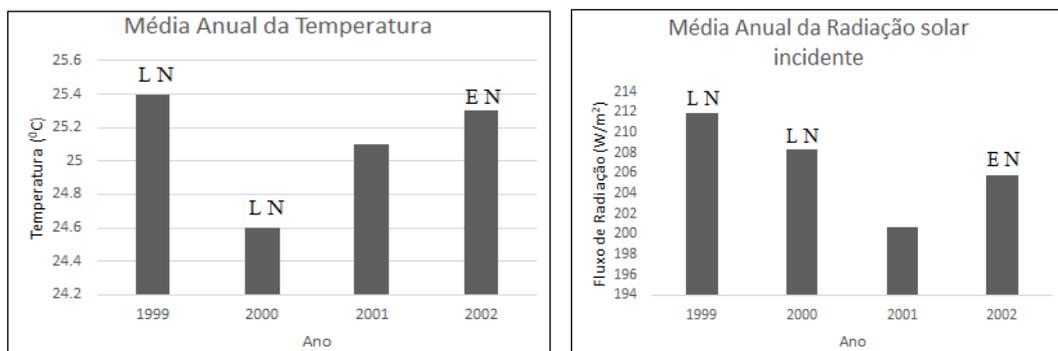


Fonte: Organizado pelos autores com dados do Programa LBA e as variações da TSM do NOAA (2021).

Figura 5. Correlação entre as médias mensais das variações da TSM na região de Niño 3.4 e as médias mensais da temperatura, na Rebio Jarú, entre os anos de 1999 e 2002.

Na Figura 6 é apresentada a evolução das médias anuais de temperatura e radiação solar incidente no ponto de estudo do ano de 1999 até 2002. Neste gráfico, a sigla EN acima das barras identifica os anos em que predominou o *El Niño*, enquanto LN identifica os anos de *La Niña*. Um fato que chama atenção é que no ano de 1999 houve a maior média anual de temperatura, enquanto no ano 2000 houve a menor média anual, ambos anos de *La Niña*. Também ocorreu uma queda na radiação solar incidente no ano de 2000 em relação a 1999, o que pode explicar a queda na temperatura. Os anos *La Niña*, 1999 e 2000, foram os anos com as maiores médias de incidência de radiação solar.

Nota-se que exceto no ano de 2000, as variações da temperatura acompanharam as variações da radiação. A região sofre quedas de temperatura repentinas causadas por frentes frias provindas de regiões árticas, o que pode explicar a menor média anual da temperatura no ano de 2000, mesmo não sendo a menor média anual da radiação no período analisado.



Fonte: Organizado pelos autores com dados do Programa LBA (2021).

Figura 6. Comparação entre a evolução das médias anuais da temperatura na Rebio Jarú, entre os anos de 1999 e 2002.

No Quadro 3 são apresentadas as médias mensais da radiação solar incidente, sendo as células escuras representadas pelos períodos de *El Niño*, as cinzas de *La Niña* e as brancas pelos períodos neutros.

Quadro 3. Médias mensais Rebio Jaru de radiação solar incidente em W/m².

	JAN	FEV	MAR	ABRIL	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
1999				207,8	188,9	202,8	233,1	221,7	213,8	239,7	221,9	179,3	211,91
2000	196,1	195,9	199,0	189,0	204,1	203,1	211,4	232,8	226,6	215,4	203,3	223,0	208,40
2001	183,3	196,2	206,2	203,0	171,5	184,7	209,9	238,6	216,3	229,3	196,2	171,7	200,7
2002	199,7	197,4	199,4	205,9	197,3	208,4	209,2	207,5	216,5	221,5	193,6		205,7

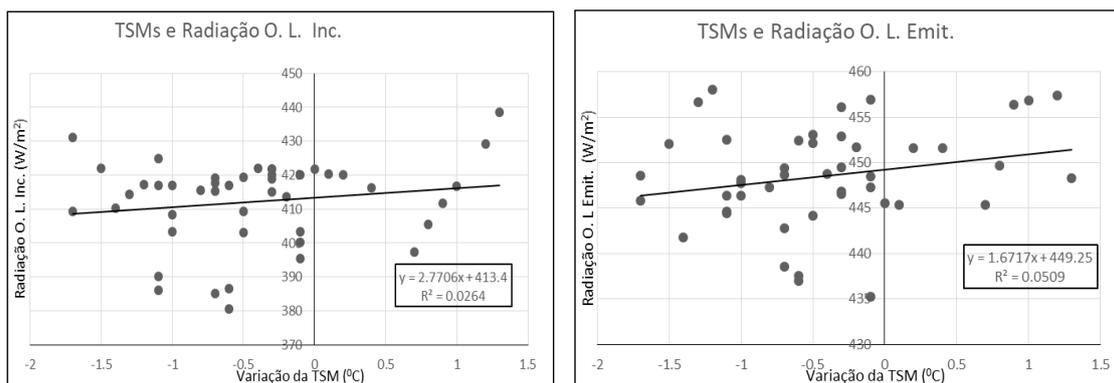
Legenda: Células escuras são de *El Niño*, sombreadas de *La Niña* e as demais são períodos normais.

Fonte: Organizado pelos autores com dados do Programa LBA (2021).

Nota-se que há uma grande variação nas médias mensais da radiação solar incidente neste período, sendo identificados valores baixos em eventos de *El Niño*, como ocorreu em novembro de 2002, com o fluxo médio de 193,6 W/m²; e valores altos em eventos de *La Niña*, como ocorreu em dezembro do ano 2000, com o fluxo médio de 223,0 W/m².

Comparando os quadros 02 e 03 há uma correlação com Coeficiente Pearson $R = 0,255$, mostrada na Figura 4, entre a temperatura e o fluxo de radiação solar incidente. Pode-se identificar que nos meses de dezembro de 1999 e 2000, meses de *La Niña*, os valores médios da radiação solar foram de 179,37 e 223,01 W/m², respectivamente, uma variação de 21%.

Na Figura 7 são mostradas as correlações entre as TSMs e a radiação de ondas longas, tanto incidente na superfície quanto emitidas. Ambas as correlações foram positivas, mas fracas.



Fonte: Organizado pelos autores com dados do Programa LBA (2020).

Figura 7. Correlação entre as médias mensais das variações da TSM na região de Niño 3.4 e as médias mensais de ondas longas emitias e refletidas, na Rebio Jaru, entre os anos de 1999 e 2002.

Radiação de ondas longas é a radiação emitida por corpos com temperatura acima de zero absoluto (-273,15 °C) que emitem radiações proporcionais à quarta potência da temperatura absoluta. Neste caso, a radiação de ondas longas emitida é a radiação que

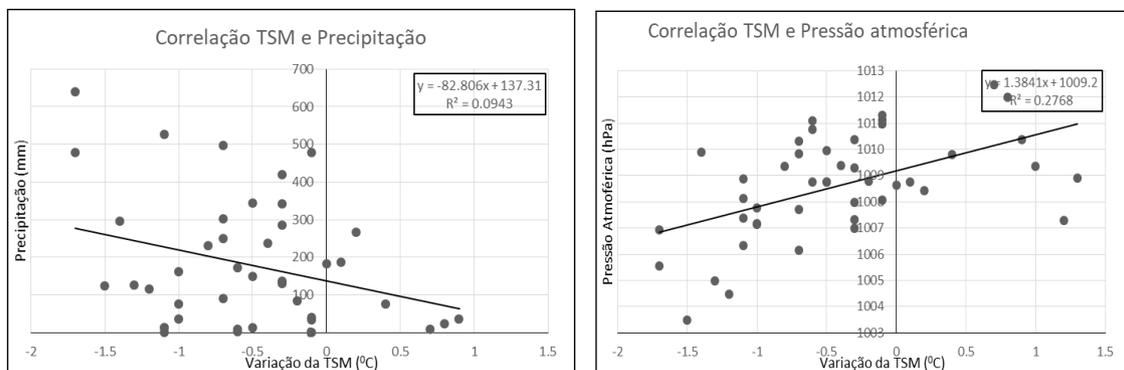
a terra emite em função da sua temperatura média, que é a radiação responsável pelo efeito estufa. Como houve um aumento da temperatura com o aumento das TSMs, como mostrado na Figura 5, também é esperado um aumento da radiação de ondas longas emitidas pela superfície.

A radiação de ondas longas incidente é a radiação emitida pela atmosfera pelos seus componentes como gases, umidade e partículas de aerossóis. Assim, mesmo sendo uma correlação positiva fraca também é esperado um aumento da radiação de ondas longas incidente, pelo aumento da temperatura dos componentes da atmosfera que emitem esta radiação para superfície.

PRECIPITAÇÃO, PRESSÃO ATMOSFÉRICA E UMIDADE NA ATMOSFERA

O ciclo hidrológico, obviamente, não tem começo e nem fim. A água é evaporada dos oceanos e da superfície continental e se torna parte da atmosfera. A umidade atmosférica precipita-se tanto nos oceanos como nos continentes, podendo sofrer a interferência de várias variáveis climáticas. Deste modo, este ciclo pode sofrer influência dos fenômenos *El Niño* e *La Niña* que interferem em várias variáveis meteorológicas.

Na Figura 8 são apresentadas as correlações entre as TSMs, com a precipitação e pressão atmosférica. Nota-se uma correlação negativa entre as TSMs e a precipitação, indicando que chove menos em eventos de *El Niño*, e uma correlação positiva com a pressão atmosférica, indicando que em períodos de *El Niño* a pressão atmosférica é maior.



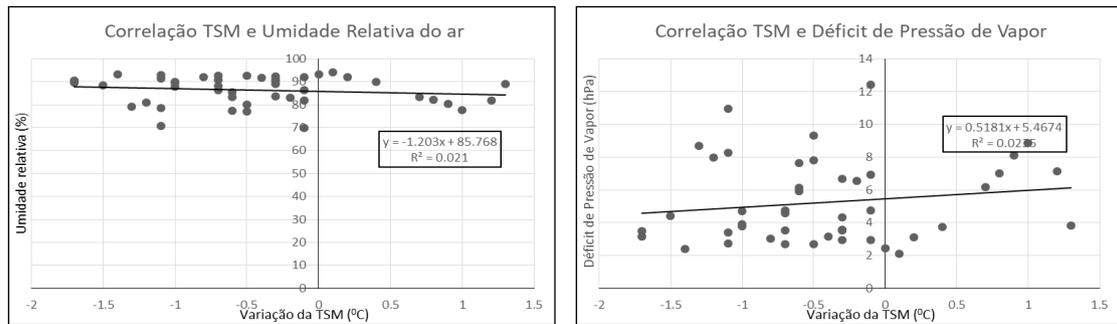
Fonte: Organizado pelos autores com dados do Programa LBA (2021).

Figura 8. Correlações entre as TSMs com a precipitação e pressão atmosférica.

A Pressão Atmosférica é uma variável extremamente importante, visto que tem um vínculo muito forte com a precipitação. Uma pressão baixa está associada com correntes ascendentes que contribuem com a formação de chuvas, enquanto pressões altas estão associadas com correntes de ar descendentes e, portanto, com a ausência de chuvas. Assim, é mesmo esperado que com um aumento na pressão haja uma redução na precipitação.

Na Figura 9 são apresentadas as correlações entre o Déficit de Pressão de Vapor (VDP-*Vapor Pressure Deficit*) e Umidade Relativa do ar com as TSMs. A Umidade Relativa

(UR) é a relação entre as pressões de vapor real, e , e a saturação, e_s , dada em termos percentuais pela expressão $UR = e/e_s \times 100$. Assim, um aumento de e_s , causado pelo aumento na temperatura, causa uma queda na UR como mostrado na Figura 9 com uma correlação negativa. A umidade Relativa depende muito da temperatura e a mesma quantidade de vapor de água resulta em maior umidade relativa no ar frio do que no ar quente.



Fonte: Organizado pelos autores com dados do Programa LBA (2021).

Figura 9. Correlações entre as TSMs com Umidade Relativa do ar e Déficit de Pressão de Vapor.

O VDP, fisicamente, é uma medida de quão longe o vapor de água atmosférico, e , está longe do máximo sob uma determinada temperatura, e_s . Como o VDP aumenta exponencialmente com a temperatura, mostrado pela Equação 3, é esperado um aumento da VDP quando ocorre um aumento da temperatura em eventos de *El Niño*, como apresentado na Figura 5.

$$\log e_s = 0,82488 + 0,02604.T$$

(3)

Um alto valor do VPD induz o fechamento dos estômatos das plantas para evitar grandes perdas de água, que posteriormente suprime a taxa de fotossíntese, diminuindo a produtividade (HE, 2022). Os estômatos são pequenas aberturas na superfície das folhas que otimizam, simultaneamente, a transpiração, a entrada de CO_2 e a temperatura na superfície da folha através de um mecanismo de abertura e de fechamento chamado de condutância estomática. A condutância estomática, num determinado instante, é resultante de interações complexas e não lineares entre vários fatores, como intensidade da luz, temperatura das folhas, déficit de pressão de vapor, concentração de CO_2 e *status* da água do solo e nas folhas (MENCUCCINI *et al.*, 2004). Isto é preocupante com o aumento da temperatura de 0,2 °C por década nos últimos 30 anos.

De modo geral, o VDP tem aumentado no mundo inteiro a partir do final da década de 1990 e é um dos principais fatores causadores de secas (GROSSIORD *et al.*, 2020; YUAN *et al.*, 2019). No sudeste da Amazônia este aumento foi acompanhado por severas secas de 2005, 2010 e 2015 (BARKHORDARIAN *et al.*, 2019). Desta forma, o VDP tem uma importante influência no ciclo global de água e carbono e seu aumento pode provocar secas e alterações em diversas outras variáveis climáticas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi realizado um estudo dos impactos dos fenômenos climáticos *El Niño* e *La Niña* nas principais variáveis meteorológicas na região da Reserva Biológica do Jaru, região central do estado de Rondônia.

Quanto às componentes de radiação, notou-se uma correlação positiva – mas não forte – entre a radiação solar incidente e a temperatura. Não houve alterações na radiação solar incidente, ocorreu um pequeno aumento na radiação de ondas longas tanto emitida quanto incidente, o que é coerente com o aumento da temperatura devido à Lei de Stefan-Boltzmann.

Quanto à precipitação, houve uma queda em eventos de *El Niño* juntamente com um aumento na pressão atmosférica, o que é coerente, porque geralmente a pressão alta é resultante de correntes de ar descendentes que impossibilitam o processo físico de formação de chuvas.

Houve uma correlação das TSMs negativa fraca com a Umidade Relativa e uma correlação positiva com o Déficit de Pressão de Vapor, o que é esperado com o aumento da temperatura, sendo uma variável climática que traz preocupações nos tempos atuais com o aumento da temperatura no planeta causado pelo aquecimento global, pois, afeta os balanços hidrológico, de carbono, de energia e de radiação. Não foram encontrados estudos semelhantes para outros pontos da Amazônia.

REFERÊNCIAS

- BAKER, J.; SPRACKLEN, D. Climate Benefits of Intact Amazon Forests and the Biophysical Consequences of Disturbance. **Front. For. Glob. Change**, vol 2. 2019. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2019.00047>.
- BARKHORDARIAN, A.; SAATCHI, S.; BEHRANGI, A.; LOIKITH, P.; MECHOSO, C. A Recent Systematic Increase in Vapor Pressure Deficit over Tropical South America. **Scientific Reports Nature**, 2019. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/s41598-019-51857-8>>.
- BORMA, L. **Impactos dos eventos extremos de seca e cheia sobre os recursos hídricos amazônicos e ações da defesa civil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- BRASIL. **Plano de Manejo da Reserva Biológica do Jaru**. Encarte 3 Análise da Unidade de Conservação. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2010.
- CAI, W.; MCPHADEN, M.; GRIMM, A.; RODRIGUES, R.; TASCHETTO, A.; GARREAUD, R.; DEWITTE, B.; POVEDA, G.; HAM, Y.; SANTOSO, A.; NG, B.; ANDERSON, W.; WANG, G.; GENG, T.; JO, H.; MARENGO, J.; ALVES, L.; OSMAN, M.; LI, S.; WU, L.; KARAMPERIDOU, C.; TAKAHASHI, K.; VERA, C. Climate impacts of the El Niño– Southern Oscillation on South America. **Nature Reviews - Earth & Environment**, 2020. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/s43017-020-0040-3>>.
- COE, M.; MARTHEWS, T.; COSTA, M.; GALBRAITH, D.; GREENGLASS, N.; IMBUZEIRO, H.; LEVINE, N.; MALHI, Y.; MOORCROFT, P.; MUZA, M.; POWELL, T.; SALESKA, S.; SOLORZANO, L.; WANG, J. Deforestation and climate feedbacks

- threaten the ecological integrity of south –southeastern Amazonia. **Phil Trans R Soc B**. 368: 20120155. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2012.0155>. 2013.
- DAVIDSON, E.; ARTAXO, P. Globally significant changes in biological processes of the Amazon Basin: results of the Large-scale Biosphere–Atmosphere Experiment. **Global Change Biology**, 2004. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2003.00779.x>.
- DIAS, M.; COHEN, J.; GANDÚ, A. Interações entre nuvens, chuvas e a biosfera na Amazônia. **Acta Amazonica**, 35, 2. 2005. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672005000200011>.
- DIAS, M.; RUTLEDGE, S.; KABAT, P.; DIAS, P.; NOBRE, C.; FISCH, G.; DOLMAN, A.; ZIPSER, E.; GARSTANG, M.; MANZI, A.; FUENTES, J.; ROCHA, H.; MARENGO, J.; FATTORI, A.; SÁ, L. ALVALÁ, R.; ANDREAE, M.; ARTAXO, P.; GIELOW, R.; GATTI, L. Cloud and rain processes in a biosphere-atmosphere interaction context in the Amazon Region. **Journal of Geophysical Research**, 2002. <https://doi.org/10.1029/2001JD000335>.
- FANCOURT, M.; ZIV, G.; BOERSMA, K.; TAVARES, J.; WANG, Y.; GALBRAITH, G. Background climate conditions regulated the photosynthetic response of Amazon forests to the 2015/2016 El Niño-Southern Oscillation event. **Communications Earth & Environment-Nature**, v. 3, 2022.
- FISCH, G.; MARENGO, J.; NOBRE, C. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazonica**, 28, 2. Manaus, 1998. <https://doi.org/10.1590/1809-43921998282126>.
- FISCH, G.; VENDRAMI, I.; HANAOKA, P. Variabilidade espacial da chuva durante o experimento LBA/TRMM 1999 na Amazônia. **Acta Amazonica**, 37, 4. Manaus, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672007000400013>.
- GASH, J.; NOBRE, C.; ROBERTS, J.; VICTORIA, R. **Amazon Deforestation and Climate**. Chichester: John Wiley and Sons, 1996.
- GROSSIORD, C.; BUCKLEY, T.; CERNUSAK, L.; NOVICK, K.; POULTER, B.; SIEGWOLF, R.; SPERRY, J.; MCDOWELL, N. Plant responses to rising vapor pressure deficit. **New Phytologist**, v. 226, 2020.
- HE, B.; CHEN, C.; LIN, S.; YUAN, W.; CHEN, H.; CHEN, D.; ZHANG, Y.; GUO, L.; ZHAO, X.; LIU, X.; PIAO, S.; ZHONG, Z.; WANG, R.; TANG, R. **Worldwide impacts of atmospheric vapor pressure deficit on the interannual variability of terrestrial carbon sinks**. *National Science Review*, v. 9, 2022.
- KRAKOVICS, F. Grileiros ameaçam torre de pesquisa em RO. **Folha de São Paulo**, 2002. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/fsp/ciencia/fe0911200201.htm>>.
- MARENGO, J.; SOUZA JR, C.; KTHONICKE, K.; BURTON, C.; HALLADAY, K.; BETTS, R.; ALVES, L.; SOARES, W. Changes in Climate and Land Use Over the Amazon Region: Current and Future Variability and Trends. **Front. Earth Sci.** vol 6, 2018. <https://doi.org/10.3389/feart.2018.00228>.
- MARTINS, J.; GONÇALVES, F.; MORALES, C.; FISCH, G.; PINHEIRO, F.; JÚNIOR, J.; OLIVEIRA, C.; SILVA, E.; OLIVEIRA, J.; COSTA, A.; DIAS, M. Cloud condensation nuclei from biomass burning during the Amazonian dry-to-wet transition season. **Meteorol Atmos Phys**, 2009. <https://doi.org/10.1007/s00703-009-0019-6>.
- MENCUCCINI, M.; GRACE, J.; MONCRIEFF, J.; MCNAUGHTON, K. **Forests at the Land–Atmosphere Interface**. Reino Unido: Universidade de Edimburgo, 2004.

- MOURA, M.; SANTOS, A.; PEZZOPANE, J.; ALEXANDRE, R.; SILVA, S.; PIMENTEL, S.; ANDRADE, M.; SILVA, F.; BRANCO, E.; MOREIRA, T.; SILVA, R.; CARVALHO, J. **Relation of El Niño and La Niña phenomena to precipitation, evapotranspiration and temperature in the Amazon basin.** Science of The Total Environment Elsevier, 2019.
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION, NASA. Fires and Deforestation on the Amazon Frontier, Rondonia, Brazil. **Earth Observatory**, 2020. Disponível em: <<https://earthobservatory.nasa.gov/images/38782/fires-and-deforestation-on-the-amazon-frontier-rondonia-brazil>>. Acesso em: 4 jan. 2021.
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION, NOAA. North American countries reach consensus on el niño definition. **News Online**, 2005. Disponível em: <www.nws.noaa.gov/ost/climate/STIP/EINinoDef.htm>. Acesso em: 05 jan. 2020.
- OLIVEIRA, P.; ROCHA, E.; FISCH, G.; KRUIJT, B.; RIBEIRO, J. Efeitos de um evento de friagem nas condições meteorológicas na Amazônia: um estudo de caso. **Acta Amazonica**, v. 34, n. 4, p. 613-619, 2004.
- RUNYAN, C.; D'ODORICO, P.; LAWRENCE, D. Physical and biological feedbacks of deforestation. **American Geophysical Union**, 2012. <https://doi.org/10.1029/2012RG000394>.
- SALGADO, A.; SANTOS, L.; PAISANI, J. **The Physical Geography of Brazil Environment, Vegetation and Landscape.** Springer, 2019.
- SANTOS, L.; FISCH, G. Intercomparação entre quatro métodos de estimativa da altura da camada limite convectiva durante o experimento RACCI – LBA (2002) em Rondônia – Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 3, p. 322-328, 2007.
- SILVA, K.; MARTINS, S.; RIBEIRO, C.; SANTOS, N.; AZEVEDO, C. Structure of 15 hectares permanent plots of terra firme dense forest in central amazona. **Revista Árvore**, 40, 4. Viçosa, 2016. <https://doi.org/10.1590/0100-67622016000400004>.
- STAAL, A.; FLORES, B.; AGUIAR, A.; BOSMANS, J.; FETZER, I.; TUINENBURG, O. Feedback between drought and deforestation in the Amazon **Environ. Res. Let**, 15, 4. 2020. DOI 10.1088/1748-9326/ab738e.
- SONG, X.; HANSEN, M.; POTAPOV, P.; ADUSEI, B.; PICKERING, J.; ADAMI, M.; LIMA, A.; ZALLES, V.; STEHMAN, S.; BELLA, C.; CONDE, M.; COPATI, E.; FERNANDES, L.; SERNA, A.; JANTZ, S.; PICKENS, A.; TURUBANOVA, S.; TYUKAVINA, A. Massive soybean expansion in South America since 2000 and implications for conservation. **Nature Sustainability**, v. 4, p. 784–792, 2021.
- TRIOLA, M. **Introdução à Estatística.** Rio de Janeiro: LTC, 2011.
- VON RANDOW, C.; MANZI, A.; KRUIJT, B.; OLIVEIRA, P.; ZANCHI, F.; SILVA, R.; HODNETT, M.; GASH, J.; ELBERS, J.; WATERLOO, M.; CARDOSO, F.; KABAT, P. Comparative measurements and seasonal variations in energy and carbon exchange over forest and pasture in South West Amazonia. **Theor. Appl. Climatology**, Austria, v. 78, n. 1, p. 5-26, jun. 2004.
- YUAN, W.; ZENG, Y.; PIAO, Y.; CIAIS, P.; LOMBARDOZZI, D.; WANG, Y.; RYU, Y.; CHEN, G.; DONG, W.; HU, Z.; JAIN, A.; JIANG, C.; KATO, E.; LI, S.; LIENERT, S.; LIU, S.; NABEL, J.; QIN, Z.; QUINE, T.; SITCH, S.; SMITH, W.; WANG, F.; WU, C.; XIAO, Z.; YANG, S. Increased atmospheric vapor pressure deficit reduces global vegetation growth. **Science Advances**, v. 5, 2019.