



XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA

Saberes acadêmicos, populares e institucionais em Climatologia:
contextos para uma agenda socioambiental

UFPB - João Pessoa, de 10 a 14 de agosto de 2021

Padrão do transporte de umidade da Amazônia para o sudeste do Brasil nos verões entre 2016 e 2019

Murilo Ruv Lemes
Gilberto Fisch
Gilvan Sampaio
João Pedro Rodrigues

RESUMO

O transporte de umidade da Amazônia para a região sudeste do Brasil contribui para o ciclo hidrológico desta região, sendo responsável pela maior parte das chuvas ao longo do verão austral. O objetivo deste trabalho é o de analisar o padrão do transporte de umidade dos últimos 4 anos (2016 a 2019) ao longo do verão, da região da Floresta Amazônica para o sudeste do Brasil, e especificamente correlacionando com a chuva no estado de São Paulo. Os dados utilizados (pressão atmosférica, umidade específica e componentes zonal e meridional do vento) para o cálculo do transporte de umidade, através do fluxo de umidade integrado verticalmente (até 500 hPa) são oriundos de reanálise (Reanalysis II NCEP/NCAR). Os dados de precipitação foram extraídos do repositório de *Global Unified Gauge-Based Analysis of Daily Precipitation* (CPC). Foram encontradas variações ao longo do período analisado, especialmente em anos de ocorrência do evento El Niño (por exemplo 2015/2016). Foi possível correlacionar a umidade oriunda da Amazônia com a umidade da região sudeste, na relação 3:1. Todos os anos analisados mostraram um aporte maior de umidade em SP, possibilitando chuvas mais volumosas. Portanto é inestimável a importância deste transporte de umidade para o ciclo hidrológico. Setores como energético, agrícola, abastecimento humano, entre outros, dependem diretamente desse transporte e chuva consequente.

Palavras-chave: Clima; Ciclo hidrológico, El Niño.

ABSTRACT

The moisture transport from the Amazon to the Brazilian southeastern region contributes to the hydrological cycle for the region, being responsible for most of the rains over the austral summer. The main objective of this work is to analyze the moisture transport pattern of the last 4 years, over the austral summer, from the Amazon rainforest to Brazilian southeastern, specifically São Paulo. The dataset used (pressure, specific humidity and zonal and meridional components of the wind) for the calculation of moisture transport through the vertically integrated moisture flow (up to 500 hPa) come from reanalysis (Reanalysis II NCEP / NCAR). The precipitation data were extracted from the *Global Unified Gauge-Based Analysis of Daily Precipitation* (CPC). Variations were found over the analyzed period, especially in El Niño years (like 2015/2016). Moreover, it was possible to correlate the moisture coming from the Amazon with the moisture in the southeast region throughout the ratio 3:1. All years analyzed have shown a higher moisture transfer at SP state with high rates of rainfall. Therefore, the importance of the Amazon rainforest to the southeastern region of Brazil is invaluable. Sectors such as energy, agriculture, human supply, among others, depend directly on this transport.

Keywords: Climate; Water Cycle, El Niño



XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA

Saberes acadêmicos, populares e institucionais em Climatologia:
contextos para uma agenda socioambiental

UFPB - João Pessoa, de 10 a 14 de agosto de 2021

1. Introdução

O bioma Amazônia é a maior floresta tropical do mundo e desempenha um papel substancial para o clima global (BACKER e SPRACKLEN 2019), para o ciclo hidrológico (RUV LEMES et al, 2020), para a biodiversidade (PAIVA et al, 2020), e para a diversidade de culturas e povos (SIQUEIRA-GAY et al, 2020), entre outras. Todavia, essa riqueza da floresta vem sendo ameaçada há décadas, pelo desmatamento realizado, quer seja por extração de madeira ilegal, quer seja por outros fatores, tais como pelo avanço da faixa agrícola, por atividades de mineração, conflitos por terra e desvio de cursos d'água (FONSECA et al, 2019). Dados do sistema de monitoramento do desmatamento da floresta Amazônica Brasileira por satélite, o PRODES (sistema do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)), contabilizaram em 2020 uma perda de aproximadamente 11.100 km² de área de floresta, o maior valor nos últimos 12 anos. A floresta Amazônica já perdeu cerca de 20% de sua área original. Estima-se que se esse número chegar a 40%, a floresta Amazônica atingirá seu ponto de não retorno, isto é, não se regenera naturalmente (LOVEJOY e NOBRE, 2018). Uma vez ameaçada, importantes processos atmosféricos, biológicos, químicos e físicos podem enfraquecer e, em níveis mais extremos, deixarem de existir. Enfim, modificações na cobertura da terra podem alterar esse balanço (alterando a saída de umidade da floresta Amazônica) entre as quais pode-se citar: umidade no solo, cobertura vegetal, evapotranspiração e umidade na atmosfera. Variações no albedo e, principalmente, da quantidade de energia devolvida para a atmosfera na forma de calor latente, também contribuem para modificações na circulação geral da atmosfera, que por sua vez, modificam as escalas local, regional e global

Um desses processos, o transporte de umidade da floresta para latitudes mais altas, tais como as regiões centro-oeste, sudeste e sul do Brasil, leste do Paraguai e norte da Argentina, é de vital importância para o ciclo hidrológico na América do Sul (ARRAUT et al, 2012; PENNA et al, 2020; RUV LEMES et al, 2020;). Basicamente, o ponto inicial desse transporte ocorre pela evaporação de água na parte equatorial do Oceano Atlântico Equatorial. Essa umidade adentra o continente pela região norte do nordeste do Brasil sendo direcionada para oeste, no interior da Floresta Amazônica. Além de produzir sua própria precipitação (SALATI et al, 1979), a floresta contribui para lançar milhares de litros de água



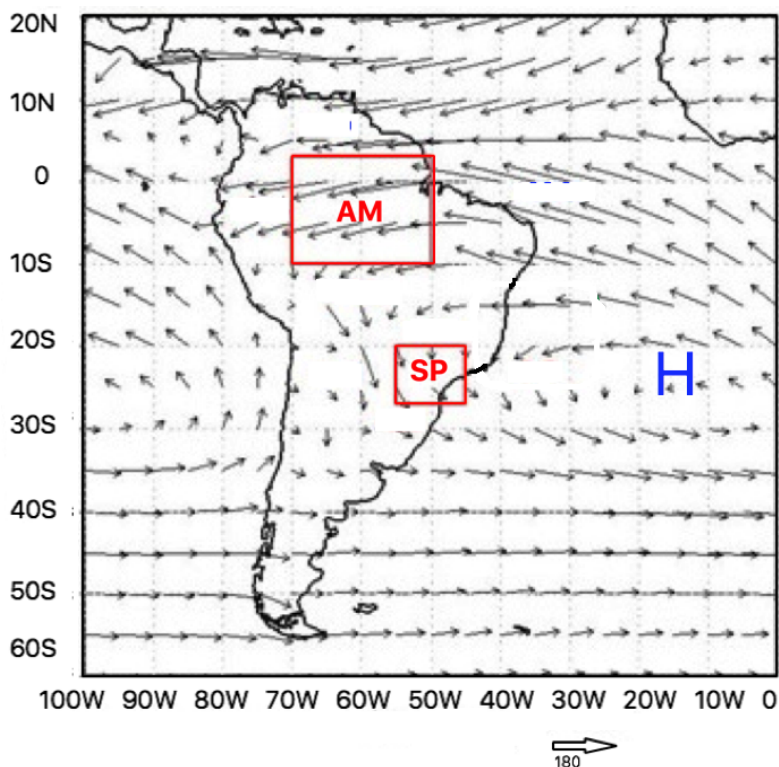
XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA

Saberes acadêmicos, populares e institucionais em Climatologia: contextos para uma agenda socioambiental

UFPB - João Pessoa, de 10 a 14 de agosto de 2021

na atmosfera por dia, através da reciclagem da umidade pela evapotranspiração. Essa umidade mantém seu fluxo para oeste, porém, barrada pela Cordilheira do Andes e impulsionada pelos Jatos de Baixos Níveis (JBN) (SANTOS e REBOITA, 2018; JONES e CARVALHO, 2018; JONES, 2019), direciona-se para outras regiões como descritas anteriormente. Este esquema conceitual está visualmente representado pelos vetores do vento ou linhas de corrente na Figura 1. Através do cálculo do fluxo de umidade integrado na vertical, é possível compreender o papel da floresta neste ciclo hidrológico.

Figura 01 – Transporte de umidade na América do Sul. Os vetores indicam o fluxo de umidade integrado na vertical. Os quadrados indicam as áreas onde a análise de umidade será evidenciada: floresta Amazônica entre as latitudes entre 5°N e 10° S, e São Paulo entre 20°S e 26°S.



Fonte: Autor (2020).

Eventos atmosféricos de larga escala podem influenciar modificações desse transporte. O El Niño Oscilação Sul (ENOS) (SAMPAIO, 2000) é conhecido pelo aquecimento anômalo das águas do oceano Pacífico Equatorial, causando modificações no padrão da



XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA

Saberes acadêmicos, populares e institucionais em Climatologia:
contextos para uma agenda socioambiental

UFPB - João Pessoa, de 10 a 14 de agosto de 2021

circulação geral da atmosfera em várias regiões ao redor do globo. Por sua vez, como analisado por Ruv Lemes et al (2019, 2020), esse padrão, assim como o La Niña (resfriamento das águas do oceano Pacífico Equatorial), alteram o transporte de umidade. Condições meteorológicas normais ou anômalas, tais como os bloqueios atmosféricos (altas pressões), podem alterar a intensidade do fluxo. Um exemplo disso foi o que aconteceu em uma das maiores secas no estado de São Paulo durante o verão dos anos de 2014/15 (COELHO et al, 2016). Um sistema intenso de bloqueio oriundo da região da Austrália, e propagado para a América do Sul, permaneceu no centro do continente ao longo do verão. Uma quantidade de umidade bem inferior ao padrão climatológico foi observada tanto na região de floresta Amazônica quanto em São Paulo. O centro da alta pressão (região de subsidência de ar) impedia que, a pouca umidade que chegava ao estado, precipitasse (NOBRE et al, 2016). Além disso, esse verão foi marcado por uma redução na passagem das frentes frias. Segundo Ruv Lemes et al (2020), apenas 7 sistemas frontais entraram no continente no trimestre DJF, sendo que o valor climatológico seria de, aproximadamente, 15 frentes frias.

Analisar e monitorar o transporte de umidade da floresta Amazônica para as demais regiões na América do Sul é, acima de tudo, planejar políticas públicas para agricultura, infraestrutura, energia, consumo humano e atividades econômicas. É notório que o desmatamento influencia nesse magnífico mecanismo atmosférico, todavia, ainda é preciso quantificar esse transporte, compreender quanto de umidade é realmente oriunda da floresta e, principalmente, qual o nível de dependência das regiões com a Amazônia. Desse modo, o objetivo do presente trabalho foi analisar 4 anos do transporte de umidade da Amazônia para o estado de São Paulo, através do fluxo de umidade integrado verticalmente em relação a sua climatologia.

2. Metodologia

2.1 Área de estudo e dados

A área de abrangência é dividida entre a fonte de umidade, Amazônia, demarcada pela caixa representada pelas latitudes 5° N e 10° S e longitudes 50° O e 70° O, e o estado de São



XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA

Saberes acadêmicos, populares e institucionais em Climatologia: contextos para uma agenda socioambiental

UFPB - João Pessoa, de 10 a 14 de agosto de 2021

Paulo que está entre as latitudes 20° S e 26° S e longitudes 45° O e 55° O (Figura 1). O estado de São Paulo foi escolhido por ser o mais populoso do país, centro da economia, centro de geração de energia, bem como importante pólo agrícola, além de ter sofrido uma das mais severas secas de todos os tempos para a região.

Os dados foram obtidos através do conjunto de reanálises do *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP), intitulada de Reanalysis II, produtos em níveis atmosféricos (<https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis2.html>). Esse conjunto é disponibilizado com resolução temporal de 1979 até o presente, sendo que sua resolução espacial é de 2,5 graus por 2,5 graus. A principal razão para a escolha desse conjunto foi para servir de base para comparação com outros trabalhos já publicados que o utilizaram. Os dados de precipitação são oriundos do conjunto do *Global Unified Gauge-Based Analysis of Daily Precipitation* (CPC) (<https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.cpc.globalprecip.html>).

2.2 Fluxo de umidade integrado na vertical

Inicialmente, foi necessário calcular o fluxo de umidade vertical integrado (foi escolhido para a integração o primeiro nível sendo superfície e o último sendo o nível de 500 hPa). Esse cálculo foi realizado para analisar o comportamento em escala temporal e foi realizado para 4 verões (anos de 2016, 2017, 2018 e 2019). Os verões ou anos também foram definidos como sendo compreendido pelos meses de Dezembro do ano anterior e Janeiro e Fevereiro do ano subsequente e será representado por DJF. Por exemplo, o verão (ou ano 2016) é constituído dos meses de Dezembro de 2015, Janeiro e Fevereiro de 2016. Com isso, é possível destacar anos extremos, ou seja, anos com chuva forte e alto transporte de umidade e anos com pouca chuva e com baixa intensidade de transporte. Este fluxo integrado é calculado pelas seguintes equações (Equações 1 e 2):

$$Q_u = 1/g \int_{p_0}^{p_t} q u dp \quad (1)$$

$$Q_v = 1/g \int_{p_0}^{p_t} q v dp \quad (2)$$

Qu (1) e Qv (2) indicam o transporte de umidade pelas componentes zonal (u) e meridional do vento (v), g é a aceleração devido à gravidade, q é a umidade específica, pt a



XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA

Saberes acadêmicos, populares e institucionais em Climatologia:
contextos para uma agenda socioambiental

UFPB - João Pessoa, de 10 a 14 de agosto de 2021

pressão na parte superior do domínio de integração (nesse caso 500 hPa) e p_0 é a pressão do primeiro nível (nesse caso da superfície).

O fluxo de umidade nos limites do quadrado (Amazônia e São Paulo) foi calculado pelos componentes já apresentados nas equações 1 e 2. Após definir os componentes zonal e meridional, a atmosfera é integrada em até 500 hPa. Este nível foi escolhido por ser o último em que a quantidade de umidade foi considerada expressiva. O cálculo é realizado para cada um dos limites do quadrado (leste, oeste, norte e sul). Sendo assim, é necessário definir limites, ou seja, latitude e longitude em cada uma das arestas (Figura 1 - quadrados vermelhos) conforme as equações 3 e 4.

$$Q_j = 1/g \int_{lat_0}^{lat_1} Q_i dx \quad (3)$$

$$Q_k = 1/g \int_{lon_0}^{lon_1} Q_i dy \quad (4)$$

O índice j (3) define longitudes a serem fixadas como limites leste ou oeste. O lat_1 (lat_0) representa o valor da latitude na borda sul (norte). O índice k (4) define as latitudes a serem definidas como limites norte ou sul, lon_1 (lon_0) é o valor da longitude na borda oeste (leste). A seguir, como cálculo final, é necessário compreender quanto de umidade permanece na área (balanço) O índice C , na equação abaixo (Equação 5) representa a quantidade de umidade que permaneceu na respectiva área. É preciso salientar que o sinal poderá ser positivo ou negativo, isso vai depender se na face em questão há entrada (positivo) ou saída (negativo) de umidade.

$$C = N_{fluxo} + S_{fluxo} + L_{fluxo} + O_{fluxo} \quad (5)$$

O cálculo total do balanço de umidade verticalmente integrado (C) sobre as duas regiões (Floresta Amazônica e São Paulo) é feito somando todos os valores dos limites do domínio usados de acordo com uma equação 5. Os valores positivos (negativos) de C representam a convergência (divergência) e consideram que a região é um sumidouro (fonte) de umidade atmosférica.



XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA

Saberes acadêmicos, populares e institucionais em Climatologia:
contextos para uma agenda socioambiental

UFPB - João Pessoa, de 10 a 14 de agosto de 2021

3. Resultados e discussão

Como observado anteriormente, a floresta Amazônica tem papel inestimável para o clima local, regional e global. Todavia, é necessário compreender a climatologia da precipitação da região. O início da estação chuvosa ocorre em meados de outubro e se prolonga até março (ALVES et al., 2005; BRAGA e MOLION, 2018). A estação chuvosa em SP, associada ao maior transporte de umidade oriundo da região da Amazônia, contribui para o maior acumulado ao longo do trimestre DJF. A Figura 2 indica a série temporal para a chuva no trimestre de verão, no período de (1980 - 2019): os pontos pretos representam anos considerados neutros, os vermelhos La Niña, os azuis El Niño Central (com maior anomalia da temperatura da superfície do mar (TSM) no centro do Pacífico Equatorial) e os pontos amarelos El Niño Leste (com maior anomalia da temperatura da superfície do mar (TSM) no leste do Pacífico Equatorial). A linha azul indica a tendência de diminuição da precipitação, embora esta não seja estatisticamente significativa a nível de 95 %. A média da precipitação para DJF é em torno de 550 mm em São Paulo (RUV LEMES et al, 2020). É possível notar o ano de 2014 (considerado ano neutro) muito abaixo da média, o que foi identificada como uma das piores secas já registradas (com a de 1992). Todavia, os anos subsequentes (2016, 2017, 2018 e 2019) foram considerados anos com precipitação acima da média, com valores entre 570 a 620 mm, sendo que o ano de 2016 teve a ocorrência de El Niño Central e 2018 de La Niña.

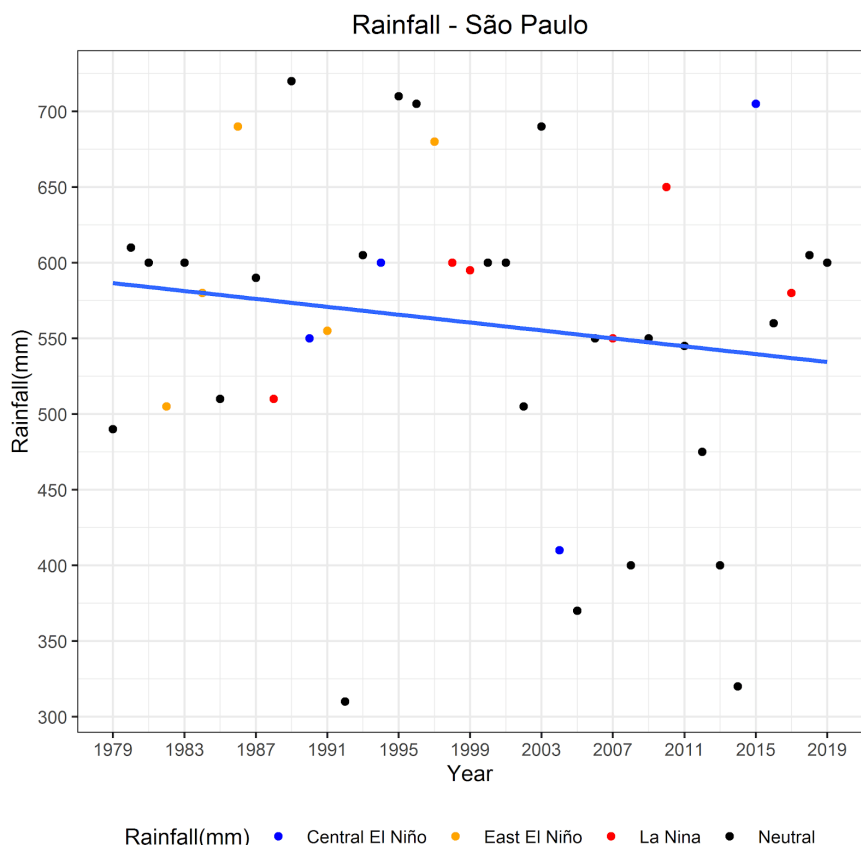
Figura 02 – Série temporal para o trimestre DJF na região de São Paulo (mm).



XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA

Saberes acadêmicos, populares e institucionais em Climatologia: contextos para uma agenda socioambiental

UFPB - João Pessoa, de 10 a 14 de agosto de 2021



Fonte: Autor (2020)

Para entender a série temporal da precipitação, a Figura 3 exemplifica a relação entre a umidade que deixa a floresta Amazônica e a que chega na região de São Paulo. A linha azul indica a tendência dessa comparação ($r=0,73$ pelo coeficiente de Pearson, ou seja, que representa uma correlação forte entre os valores) entre saída (AM) e entrada (SP), em que, observa-se que quanto maior a saída de umidade na floresta Amazônica (eixo x) maior é o aporte de umidade em São Paulo (eixo y). Os últimos anos (de 2016 a 2019) foram considerados acima da média climatológica para entrada de umidade no estado ($10,6 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$), obtidos em um trabalho anterior (Ruv Lemes et al, 2020). Do mesmo modo, a umidade que deixou o território da floresta Amazônica foi maior nesse período também: cerca de $40.5 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ de umidade foi transportado para as regiões centro e sudeste do Brasil, contribuindo para a retomada dos reservatórios a níveis de água satisfatórios. Portanto, quanto maior é o aporte de umidade que deixa a floresta, maior é a quantidade que chega em São Paulo e pode, dado condições meteorológicas apropriadas, tornar-se chuva para a região. De forma



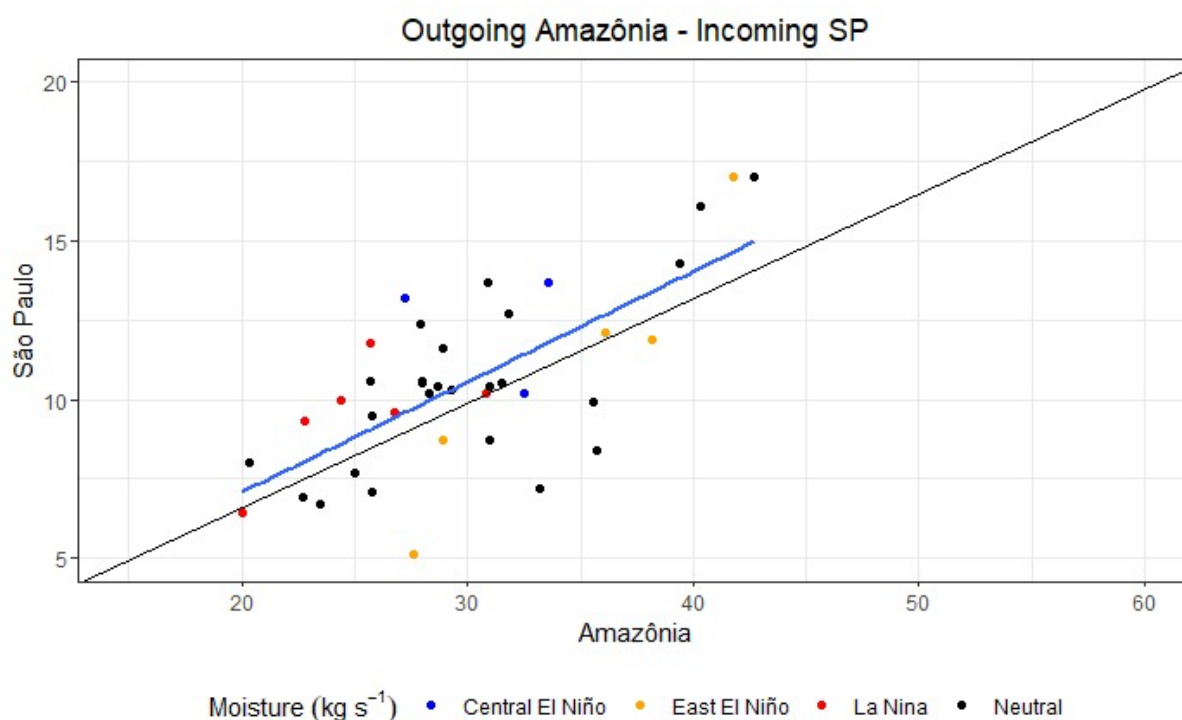
XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA

Saberes acadêmicos, populares e institucionais em Climatologia: contextos para uma agenda socioambiental

UFPB - João Pessoa, de 10 a 14 de agosto de 2021

geral, pode-se dizer que esta relação é de 3:1, ou seja, cada 3 unidades que sai da Amazônia, contribui com 1 unidade para a entrada em São Paulo.

Figura 03 – Relação entre o transporte de umidade que deixa a Amazônia e chega em São Paulo ($\text{kg}^{-1} \text{s}^{-1} \text{m}^{-1}$) no trimestre DJF.



Fonte: Autor (2020).

A Figura 4 mostra os quatro últimos verões e o respectivo cálculo do fluxo de umidade integrado na vertical, representados pelo transporte de umidade (vetores). O primeiro verão (ano 2016) apresentado na Figura 4A foi marcado por um alto aporte de umidade adentrando a região de São Paulo. Nesse verão, o acumulado de precipitação foi de 700 mm (cerca de 250 mm acima da climatologia). Em termos de umidade, 2016 registrou, aproximadamente, $25 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ de umidade acima da normal climatológica para o período. Todavia, o verão de 2016 foi considerado um ano de El Niño de forte intensidade, sendo que a literatura indica que nesses anos o transporte de umidade tende a ser mais intenso (RUV LEMES et al, 2020). Para os verões subsequentes (2017 e 2018, anos considerados como La Niña, (cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ens0_advisory/ensodisc.shtml), a umidade que adentrou a região de São Paulo foi dentro do esperado para o trimestre DJF. Com uma



XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA

Saberes acadêmicos, populares e institucionais em Climatologia: contextos para uma agenda socioambiental

UFPB - João Pessoa, de 10 a 14 de agosto de 2021

pequena variação acima dos $10,1 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ de umidade, a região apresentou um índice pluviométrico que contribuiu para a manutenção do volume de água nos reservatórios após a crise de 2013/14.

O verão de 2019 foi considerado neutro, ou seja, sem a presença de El Niño ou La Niña, entretanto o aporte de umidade para São Paulo foi acima da média ($15,2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$). Para a floresta Amazônica, o valor de saída de umidade ficou abaixo da média ($31,2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$), registrando $25,4 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$). Isso foi indicativo de uma maior contribuição de umidade do oceano Atlântico Sul, que, por sua vez, também contribui na quantidade de umidade, principalmente para a costa leste do estado de São Paulo, principalmente para a capital (o soerguimento da serra do mar é menor na região, sendo que isso contribui para maior entrada de umidade (OLIVEIRA e SILVA DIAS, 1982; RUV LEMES et al, 2019). A partir dos painéis apresentados nas Figuras 3 e 4, é possível identificar a forte e direta relação entre a floresta Amazônica e São Paulo, embora o sistema de alta pressão estacionário no oceano Atlântico Sul também tenha influência nesse processo.

As Tabelas 1 e 2 mostram, para as regiões da Amazônia e São Paulo, respectivamente, em números, a quantidade de umidade que entrou, saiu e o balanço associado, isto é, a diferença do que saiu e entrou (caso positivo indica que maior umidade permaneceu, indicando fonte de umidade, negativo indica que a região é sumidouro de umidade), por fim, o valor da coluna quinta coluna indica o valor climatológico, extraído de Ruv Lemes et al (2020). A Tabela 2 indica que, praticamente, todos os verões analisados foram acima da média para entrada de umidade em São Paulo, porém, a saída de umidade foi abaixo da média, variando entre $2,6$ e $5,3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$. O balanço de umidade para a região ficou acima do esperado para o trimestre ($4,3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$), chegando em 2016 em $31,6 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ de umidade.

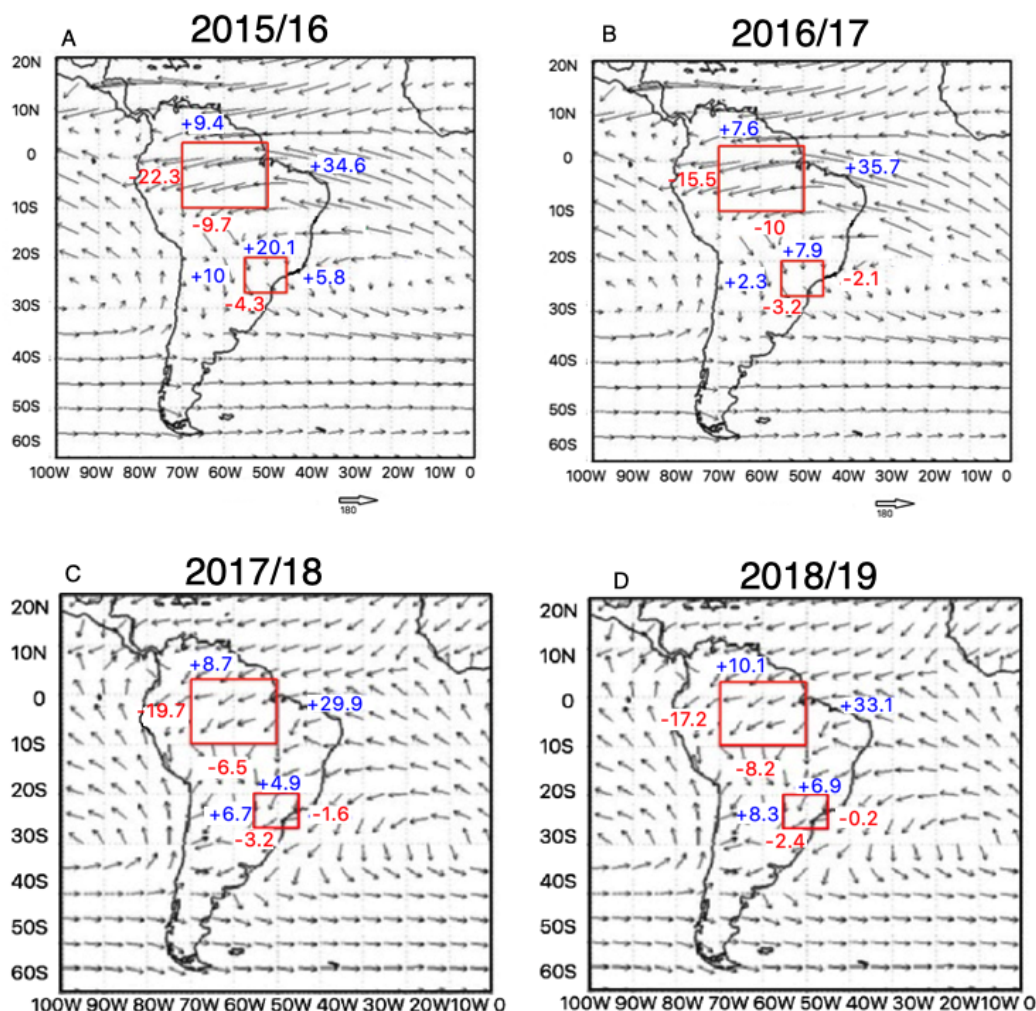
Figura 04– Transporte de umidade na América do Sul pelo cálculo do fluxo de umidade integrado na vertical em até 500 hPa ($\text{kg}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$). Valores em azul significam entrada de umidade, valores em vermelho saída de umidade.



XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA

Saberes acadêmicos, populares e institucionais em Climatologia: contextos para uma agenda socioambiental

UFPB - João Pessoa, de 10 a 14 de agosto de 2021



Fonte: Autor (2020).

Contudo, é interessante comparar a Tabela 1 com a Tabela 2, pois os valores de umidade em São Paulo dependem dos valores da Amazônia, como visto anteriormente. Todavia, os valores de saída de umidade, nos últimos 3 verões analisados (2017, 2018 e 2019), foram classificados como abaixo da normal climatológica ($31,2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$). Embora os valores de entrada de umidade na Amazônia estejam dentro de uma pequena variação dentro da média (apenas 2018 foi abaixo), os valores de saída têm sido significativamente abaixo. Nota-se, também, que os valores do balanço de umidade na Amazônia foram, em todos os verões analisados, acima da média. Os verões de 2017 e 2019 resultaram em um balanço de



XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA

Saberes acadêmicos, populares e institucionais em Climatologia: contextos para uma agenda socioambiental

UFPB - João Pessoa, de 10 a 14 de agosto de 2021

umidade de $17,8 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$, 2018 com $12,4 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ e 2016 com $12,0 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$. Essa comparação é extremamente importante para futuras análises sobre o transporte de umidade, além da influência do desmatamento neste processo.

Tabela 01 - Valores do fluxo de umidade integrado na vertical ($\text{kg}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$) para a região da floresta Amazônica.

Ano	Entrada (E)	Saída (S)	Balanco (B)	Climatologia
2016	44,0	32,0	12,0	
2017	43,3	25,5	17,8	E = 42,5
2018	38,6	26,2	12,4	S = 31,2
2019	43,2	25,4	17,8	B = 11,3

Fonte: Autor (2020)

Tabela 02 - Valores do fluxo de umidade integrado na vertical ($\text{kg}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$) para a região de São Paulo.

Ano	Entrada (E)	Saída (S)	Balanco (B)	Climatologia
2016	35,9	4,3	31,6	
2017	10,2	5,3	4,9	E = 10,6
2018	11,6	4,8	6,8	S = 6,3
2019	15,2	2,6	12,6	B = 4,3

Fonte: Autor (2020)

4. Considerações finais

Sem dúvida a floresta Amazônica é a principal fonte de umidade para a região sudeste do Brasil ao longo do período de verão (DJF). Nas outras estações do ano, esse transporte é pouco expressivo em decorrência da circulação geral da atmosfera regional, ou seja, mecanismos, como o sistema da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), estão mais enfraquecidos e desempenham outro papel nas condições do tempo. Todavia, ações humanas no uso e cobertura da terra atreladas ao desmatamento da Amazônia podem alterar esse processo de interação biosfera fascinante que garante a vida na floresta e em regiões remotas, contribuindo, principalmente, para o ciclo hidrológico.

O presente trabalho avaliou o transporte de umidade, através do fluxo de umidade integrado na vertical, nos verões entre 2016 e 2019. O verão de 2016 foi importante, pois marcou o final do período de seca do estado de São Paulo, e da região sudeste do Brasil de



XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA

Saberes acadêmicos, populares e institucionais em Climatologia:
contextos para uma agenda socioambiental

UFPB - João Pessoa, de 10 a 14 de agosto de 2021

maneira geral, para o reabastecimento dos reservatórios da região. Esse verão foi classificado como El Niño Central, isso auxiliou numa maior intensidade do transporte de umidade da região Amazônica para São Paulo, o que já foi evidenciado pela literatura anteriormente, principalmente nos eventos de 1986 e 1997 (RUV LEMES et al, 2020).

Para os verões seguintes (2017 e 2018), considerados La Niña, o transporte de umidade em São Paulo foi mais próximo à média climatológica, com os valores do balanço final acima da climatologia, porém com uma variação esperada. Por fim, o último verão analisado (2019) foi, também, acima da média. Uma maior entrada, cerca de $5,0 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ de umidade a mais, quando comparado a média para o trimestre, foi observado na região. Entretanto, ao analisar a região da floresta Amazônica, foi observado uma diminuição no aporte de umidade que sai da região e é transportado para o centro-oeste e sudeste do Brasil. A quantidade de umidade que saiu da floresta Amazônica foi de, aproximadamente, $5,0 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ de umidade menor do que a média ($31,2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$). O balanço na Amazônia, em todos os verões analisados, foi maior do que a média, da mesma forma que a entrada de umidade na região (exceto pelo verão de 2018).

Uma certa modificação nos padrões no transporte de umidade tem sido observada nos últimos anos. Um maior número de pesquisas são necessárias para compreender se o desmatamento da floresta Amazônica já está interferindo no transporte de umidade. É extremamente importante monitorar este transporte de umidade, visto que a maior parte das usinas hidrelétricas brasileiras estão no sul e sudeste do Brasil, assim como grandes plantações agrícolas que alimentam a população e são responsáveis pela balança comercial favorável para o Brasil. De qualquer forma, é necessário reduzir ao máximo o desmatamento da Amazônia, pois, como demonstrado, a região é a fonte de umidade da chuva na região de São Paulo.

5. Referências

ALVES, L.M.; MARENGO, J.A.; CAMARGO, H.J.; CASTRO, C., 2005 – Início da Estação Chuvosa na Região Sudeste do Brasil: Parte I – Estudos Observacionais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n.3, p. 385-394



XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA

Saberes acadêmicos, populares e institucionais em Climatologia:
contextos para uma agenda socioambiental

UFPB - João Pessoa, de 10 a 14 de agosto de 2021

ARRAUT, J. M.; NOBRE, C. A.; BARBOSA, H. M. J.; OBREGON, G.; MARENGO, J. Aerial rivers and lakes: looking at large large-scale moisture transporte and its relation to Amazonia and subtropical rainfall in South America. **Journal of Climate**, v.24, p.543-556, 2012.

BACKER, J. C. A.; SPRACKLEN, D. V. Climate benefits of intact Amazon forests and the biophysical consequences of disturbance. **Frontiers in Forests and Global Change**, v.2, p.47, 2019.

BRAGA, H. A.; MOLION, L. C. B.; A seca de 2013/2014 na região sudeste do Brasil. **Anuário de Geociências**, v.42, p.100-107, 2018.

COELHO, C. A. S.; CARDOSO, D. H. F.; FIRPO, M. A. F. Precipitation diagnostic of an exceptionally dry event in São Paulo, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v.125, p.769-784, 2016.

DA SILVA, R. C.; FISCH, G. Cenário hidroclimáticos futuros (2011-2040) para a represa de Paraibuna, SP, Brasil: Subsídios para a transposição entre bacias hidrográficas. **Geociências**, v.38, n.2, p587-597, 2019.

FONSECA, M. G.; ALVES, L. M.; AGUIAR, A. P. D.; ARAI, E.; ANDERSON, L. O.; ROSAN, T. M.; SHIMABUKURO, Y. E.; ARAGÃO, L. E. O. C. Effects of climate and land-use change scenarios on fire probability during the 21st century in the Brazilian Amazon. **Global Change Biology**, v.25, p.2931-2946, 2019.

JONES, C.; CARVALHO, L. M. The influence of the Atlantic multidecadal oscillation on the eastern Andes low-level jet and precipitation in South America. **Climate and Atmospheric Science**, v.40, p.1-7, 2018.

JONES, C. Recent changes in the South America low-level jet. **Climate and Atmospheric Science**, v.20, p.1-8, 2019.

LOVEJOY, T. E.; NOBRE, C. A. Amazon tipping point. **Science Advances**, v.4, p.eaat2340, 2018.

NOBRE, C. A.; MARENGO, J. A.; SELUCHI, M. E.; CUARTAS, A. L.; ALVES, L. M. Some characteristics and impacts of the drought and water crisis in southeastern Brazil during 2014 and 2015. **Journal of Water Resources and Protection**, v. 8, p.252-262, 2016.

PAIVA, P. F. P. R.; RUIVO, M. L. P.; SILVA, O. M. J.; MACIEL, M. N. M.; BRAGA, T. G. M.; ANDRADE, M. M. N.; SANTOS, P. C. J.; ROCHA, E. S.; FREITAS, T. P. M.; LEITE, T. V. S.;



XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA

Saberes acadêmicos, populares e institucionais em Climatologia:
contextos para uma agenda socioambiental

UFPB - João Pessoa, de 10 a 14 de agosto de 2021

GAMA, L. H. O. M.; SANTOS, L. S.; SILVAN, M. G.; SILVA, E. R. R.; FERREIRA, B. M. Deforestation in protected areas in the Amazon: a threat to biodiversity. **Biodiversity and Conservation**, v.29, p.19-38, 2020.

RUV LEMES, M. C.; REBOITA, M. S.; TORRES, R. R. Elementos fisiográficos e a precipitação no estado de São Paulo. In: A geografia física e as mudanças globais. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará (UFC), 2019. pp. (1-15).

RUV LEMES, M. C.; FISCH, G.; SAMPAIO, G. O.; TEDESCHI, R. G.; SILVA, J. P. R. Analysis of moisture transport from Amazonia to the southeastern Brazil during the austral summer. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13, p.2650-2670, 2020.

OLIVEIRA, A., SILVA DIAS, P. Aspectos Observacionais da Brisa Marítima em São Paulo. **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, v.2, pp. 129 - 161. Pelotas: RBMET, 1982.

PENNA, A. C., TORRES, R. R., GARCIA, S. R., MARENGO, J. A. Moisture flow on southeast Brazil: Present and future climate. **International Journal of Climatology**, p.1-33, 2020. doi: 10.1002/joc.6738.

SALATI, E.; DALL'OLIO, A.; MATSUI, E.; GAT, J. R. Recycling of water in the Amazon basin: An isotopic study. **Water Resources Research**, v.15, p.1250-1258, 1979.

SAMPAIO, G. O. **El Niño e você: o fenômeno climático**. São Paulo: Transtec Editorial, 2000.

SANTOS, F. D.; REBOITA, M. S. Jatos de baixos níveis a leste dos Andes: comparação entre duas reanálises. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.22, p.423-445, 2018.

SIQUEIRA-GAY, J.; YANAI, A. M.; LESSMANN, J.; PESSÔA, A. C. M.; BORJA, D.; CANOVA, M.; BORGES, R. C. Pathways to positive scenarios for the Amazon forest in Pará state - Brazil. **Biota Neotropica**, v.20, p.e20190905, 2019. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-bn-2019-0905>.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **PRODES**. Disponível em: http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal_amazon/rates. Acesso em: 27 de dez 2020.