



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**ANÁLISE DO TRANSPORTE DE UMIDADE DA
AMAZÔNIA PARA O SUDESTE DO BRASIL DURANTE O
VERÃO AUSTRAL (DJF)**

Murilo da Costa Ruv Lemes
Dr. Gilvan Sampaio de Oliveira

INPE
Cachoeira Paulista – SP
2016



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS



**ANÁLISE DO TRANSPORTE DE UMIDADE DA
AMAZÔNIA PARA O SUDESTE DO BRASIL DURANTE O
VERÃO AUSTRAL (DJF)**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Murilo da Costa Ruv Lemes (UNITAU, Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: murilo.lemes@inpe.br

Gilvan Sampaio de Oliveira (CCST/INPE, Orientador)

E-mail: gilvan.sampaio@inpe.br

COLABORADORES

Dr. Guillermo Oswaldo Obregón Párraga (CCST/INPE)

LISTA DE FIGURAS E ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Mapas do fluxo de umidade integrado na vertical do trimestre DJF de 1995-1996 (ano mais chuvoso, à esquerda) e 2014-2015 (ano menos chuvoso, à direita) em São Paulo. Fonte: Elaborada pelo Autor 12
- Figura 2 – Gráfico de representação cronológica do histórico de precipitação no trimestre DJF em São Paulo (área: 20S-27/305W-315W). Elaborada pelo autor com dados de precipitação NOAA 13
- Figura 3 – Gráfico de representação cronológica do histórico de precipitação no trimestre DJF na Amazônia. Fonte: Elaborada pelo autor com dados de precipitação NOAA 13
- Figura 4 – Mapas do fluxo de umidade integrado na vertical do trimestre DJF de 1988 (ano mais chuvoso) e 2014 (ano menos chuvoso) na amazonia. Fonte:Elaborada pelo Autor 14
- Figura 5 – Gráfico do cálculo da anomalia da precipitação em São Paulo. Fonte: Elaborada pelo autor com dados de precipitação NOAA 15
- Figura 6 – Gráfico da anomalia de umidade que permaneceu em São Paulo em escala cronológica. Fonte de dados de precipitação: NOAA. 15
- Figura 7 – Mapa da média do fluxo integrado na vertical (1979 – 2014). Fonte: Elaborada pelo autor no GrADS com dados NOAA 16
- Figura 8– Mapa anual médio dos anos com presença do El Niño. Fonte: Elaborada pelo autor no GrADS com dados NOAA 17

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados do fluxo de umidade integrado na vertical em (kg/kg) comparados pela média dos anos de El Niño, La Niña, período total e anos de maior e menor precipitação na Amazônia e em São Paulo.17

Erro! Indicador não definido.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	9
2	ÁREA DE ESTUDO.....	9
3	OBJETIVO.....	10
4	METODOLOGIA	10
5	CONCLUSÃO	18
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	19

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado saúde e força para superar todas as dificuldades. Minha família, por ter dado a base para que tudo isso fosse possível. Meu orientador, Professor Doutor Gilvan Sampaio de Oliveira, que em todos os momentos, de forma solícita, tirou dúvidas, incentivou e me ajudou nessa pesquisa. Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais pela infraestrutura, aos pesquisadores que sempre estiveram despostos para ajudar, de forma especial, Dr Guillermo Oswaldo Obregón Párraga, Dr Luiz Tadeu da Silva, Dr Linconl Muniz Alves e Dr Gilberto Fisch (IAE). Por fim, agradeço ao colega de trabalho Marcelo Leme do Prado pela ajuda direta que me deu ao longo da pesquisa.

RESUMO

Nos verões de 2013-2014 e 2014-2015 a região Sudeste do Brasil passou por um período de grande estiagem. Ao estudar o transporte de umidade da região amazônica para o Sul e Sudeste do Brasil pode-se notar que há uma grande correlação entre ambos, principalmente na estação chuvosa (DJF), mesmo considerando que entre o final de novembro até o final de fevereiro a principal atividade convectiva sobre o país, está interligada a uma banda de nebulosidade com orientação NO/SE ao oceano Atlântico adjacente, sendo assim chamado de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Além da ZCAS, outro fator importante para a ocorrência de precipitação na Região Sudeste é a passagem de sistemas frontais. Em época de ZCAS observa-se um intenso jato de baixos níveis (JBN) transportando umidade tropical oriunda do Atlântico e Amazônia para os subtrópicos, gerando convergência do fluxo de umidade e precipitação no Amazonas (BR), sudeste e centro, enquanto que divergência é observada no leste do Brasil, Nordeste da Argentina, Paraguai, sul da Bolívia e norte do Chile, devido ao enfraquecimento do transporte de umidade para a bacia do Prata. Foi avaliado nos últimos 36 anos (1979-2015) o comportamento do transporte de umidade em anos muito chuvosos e muito secos na Região Sudeste do Brasil, com ênfase nos últimos verões: 2013-2014 e 2014-2015, que foram marcados por intensa estiagem, principalmente no estado de São Paulo. Também foi analisado o comportamento desse transporte de umidade quando há a presença do ENOS (El Niña-Oscilação Sul) e em anos normais, porém, ambos voltados para o verão austral (DJF).

Palavras chave: Amazônia, São Paulo, Transporte de umidade integrado na vertical, Chuva.

ABSTRACT

In the summers of 2013-2014 and 2014-2015 the Southeast region of Brazil went through a period of great drought. By studying the moisture transport from the Amazon region to the south and southeast of Brazil may be noted that there is a great correlation between the two, especially in the rainy season (DJF), even considering that between the end of November until the end of February to main convective activity over the country, is linked to an orientation with cloudiness band NO / SE ocean adjacent Atlantic, so called South Atlantic Convergence Zone (SACZ). In addition to SACZ another important factor for the occurrence of precipitation in the Southeast is the passage of frontal systems. In time SACZ observed an intense low level jet (LLJ) carrying tropical moisture coming from the Atlantic and Amazon to the subtropics, generating convergence of moisture flux and precipitation in the Amazon (BR), southeast and center, while divergence is observed in eastern Brazil, northeastern Argentina, Paraguay, southern Bolivia and northern Chile, due to the weakening of the moisture transport to the Plata basin. It was assessed in the last 36 years (1979-2015) the moisture transport behavior in very wet years and dry in southeastern Brazil, with emphasis in recent summers: 2013-2014 and 2014-2015, which were marked by intense drought , mainly in the state of São Paulo. Also the behavior of moisture transport was analyzed when there is the presence of ENSO (El Niña-Southern Oscillation) and in normal years, however, both facing the austral summer (DJF).

Keywords: Amazon, Sao Paulo, Integrated Moisture Flow Vertically, Rainfall

1 INTRODUÇÃO

Um dos fenômenos climáticos mais importante presente na América do Sul, é o transporte de umidade, ou seja, um processo realizado pela circulação geral da atmosfera com influência oceânica e continental responsável pela distribuição das chuvas em todo o território do continente.

Esse processo, possui vários mecanismos, um dos mais importantes, é a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) estudada por Herdies et al (2002), que observaram um intenso jato de baixos níveis (JBN) transportando umidade tropical oriunda do Atlântico e Amazônia para os subtropicais, gerando convergência do fluxo de umidade e precipitação no Amazonas (BR), sudeste e centro. Entretanto, é observado uma divergência deste fluxo no leste do Brasil, Nordeste da Argentina, Paraguai, sul da Bolívia e norte do Chile, devido ao enfraquecimento do transporte de umidade para a bacia do Prata. A ZCAS é a grande responsável por grandes volumes de chuva no verão austral, ou seja, nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro.

Este projeto buscou minuciar os mecanismos e suas atividades para uma melhor compreensão do transporte de umidade na América do Sul, da região amazônica para o Sul e Sudeste do Brasil. Na estação chuvosa da Região Sudeste, Dezembro-Janeiro-Fevereiro (DJF), esse transporte é influenciado pela Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), gerando assim, maior umidade para as regiões. Foram feitas diversas análises em função de anos chuvosos e secos, com um período de 40 anos até os dias de hoje, tendo como foco especial os últimos verões (2013-2014, 2014-2015) e o comportamento do transporte de umidade em anos de ENOS e normais, ou seja, sem a presença do ENOS.

2 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo deste trabalho contempla, de forma geral, a região de floresta amazônica e o Sudeste do Brasil, especificamente o estado de São Paulo, local de inúmeros reservatórios, como o sistema Cantareira.

A floresta amazônica é a maior floresta tropical do mundo, possuindo diferenciados ecossistemas, além de ser uma floresta úmida de terra firme, apresenta diversos tipos de matas, campos abertos e até espécies do cerrado. Além disso é fundamental para o equilíbrio do planeta, pois seus rios representam cerca de 20% das reservas de água doce do planeta, abrangendo também, diversas reservas minerais.

São Paulo é a maior cidade por números de habitantes do Brasil, cerca de 11.967.825 pessoas residem no município que possui uma área de 1.521.110km², é uma das maiores economias do país no setor industrial.

3 OBJETIVO

Os objetivos da iniciação científica foram:

- Avaliar o transporte de umidade médio climatológico da região amazônica em direção ao Sudeste do Brasil durante o verão austral (DJF) a partir de dados observados e reanálises, como por exemplo, ERA – INTERIM e NCEP/NCAR Reanalysis 1 e 2;
- Verificar mudanças no padrão médio de transporte de umidade em anos chuvosos e secos na região Sudeste do Brasil a partir de dados observados e reanálises;
- Estudar o histórico do transporte de umidade no trimestre DJF, com ênfase nos últimos 36 anos (1979 - 2015), com uma atenção maior nos últimos dois verões;
- Analisar, por meio de gráficos, o comportamento do fluxo de umidade integrado na vertical em uma linha cronológica, identificando a presença de tendências ou não;
- Verificar possíveis anomalias de natureza física que ocorreram nos períodos indicados por gráficos;

4 METODOLOGIA

Inicialmente, um estudo do clima na região de floresta amazônica e, também, da região do estado de São Paulo foi realizado para melhor compreensão dos mecanismos que agem sobre condições normais e anormais nesses lugares. Ao longo da análise

destes mecanismos, foi executado, com os conhecimentos adquiridos, uma série de mapas do transporte de umidade no Brasil tanto anual como sazonal.

Todos os dados relacionados à precipitação e dados para o cálculo de umidade foram obtidos a partir de Reanálises do site do NCEP/NCAR (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis2.html>), a seguir, todos eles foram tratados no CDO (Climate Data Operators) para serem utilizados no GrADs (Grid Analysis and Display System).

No CDO foi possível realizar diversos cálculos, tais como: médias mensais, médias anuais, soma, climatologia, entre outras operações. Com todos os arquivos tratados e utilizando as variáveis: vento, pressão atmosférica e umidade específica, realizou-se o cálculo do fluxo de umidade integrado na vertical para análise do comportamento em escala temporal, minuciando os anos extremos, ou seja, anos com muita chuva e intenso transporte de umidade e anos com pouca chuva e com um transporte de fraca intensidade.

Após todos os processos, os dados foram organizados em gráficos com uma escala cronológica para um melhor entendimento do comportamento, da precipitação e do fluxo de umidade integrado na vertical. De acordo com o cálculo da anomalia, $X' = X_i - \bar{X}$, onde, X' = anomalia, X_i = ano observado e \bar{X} = média climatológica, com isto, foi possível identificar possíveis mudanças no comportamento da precipitação ao longo de todo período estudado.

RESULTADOS

Ao longo de todo o estudo do transporte de umidade do verão austral (DJF), foram realizados diversos cálculos e análises. A seguir, foram confeccionados diversos mapas e gráficos do fluxo de umidade integrado na vertical e da precipitação, comparando o seu comportamento ao longo do período estudado, de 1979 a 2015, minuciando a existência de tendências no transporte de umidade, na precipitação e, também, os possíveis motivos e os sistemas meteorológicos que atuaram nos eventos extremos analisados dentro do período.

O fluxo de umidade integrado na vertical, apresentado na Figura 1, no trimestre DJF para os anos extremos (1995, ano mais chuvoso no trimestre DJF dentro do período estudado (1979-2015) e também, em 2014, ano de maior estiagem no estado de São Paulo.) Registrou-se que a umidade que chegou a São Paulo em 1995 (13,7kg/kg) é mais que o dobro que chegou em 2014 (6,9kg/kg), demonstrando assim, um déficit muito grande de umidade, provinda principalmente na face norte do quadrado, face esta que representa a umidade oriunda do norte da América do Sul.

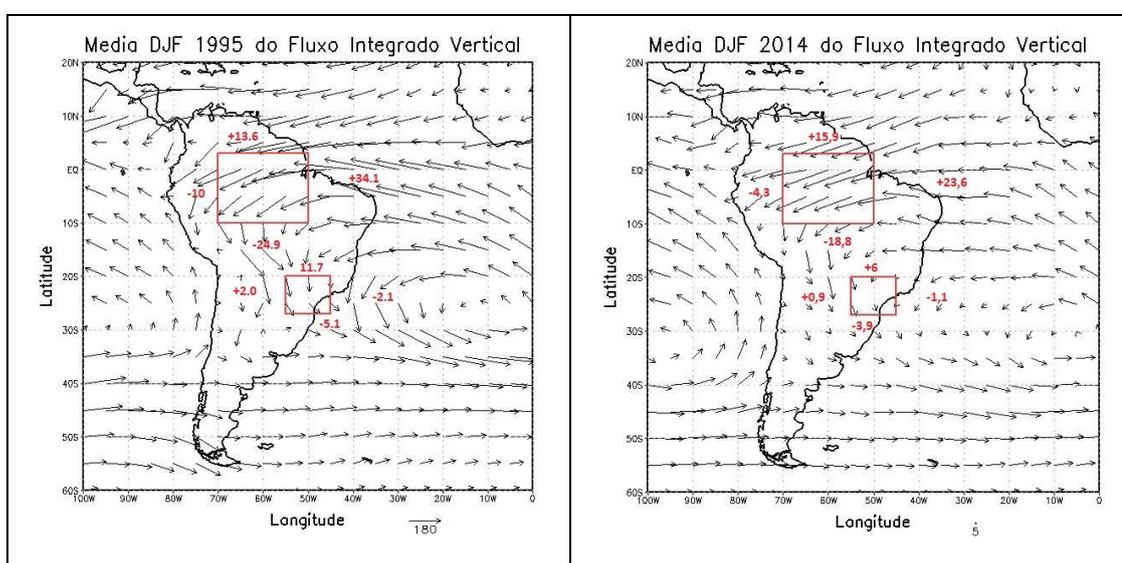


Figura 1 – Mapas do fluxo de umidade integrado na vertical do trimestre DJF de 1995-1996 (ano mais chuvoso, à esquerda) e 2014-2015 (ano menos chuvoso, à direita) em São Paulo. Fonte: Elaborada pelo Autor

É de grande importância comparar os mapas do fluxo de umidade integrado na vertical, com o gráfico do histórico da precipitação (Figura 2), ambos representando o trimestre DJF por ano. É notória a tendência na precipitação nos últimos anos, assim como uma menor quantidade de umidade entrando no estado de São Paulo, principalmente na área descada ao norte do estado, de acordo com a Figura 1. A partir de 2011, a precipitação em São Paulo é muito reduzida, e decresce até 2014, quando se tem o ponto mais baixo desde 1979. Vale lembrar que nos anos de 1983, 1997 e 2005, foram marcados pelo fenômeno meteorológico ENOS (El Niño Oscilação Sul), junto

com eles, os anos anteriores, ou seja, 1982 e 1996, passaram por uma grande quantidade de precipitação e os anos 1988, 1989, 2007 e 2008 tiveram a presença de La Niña.

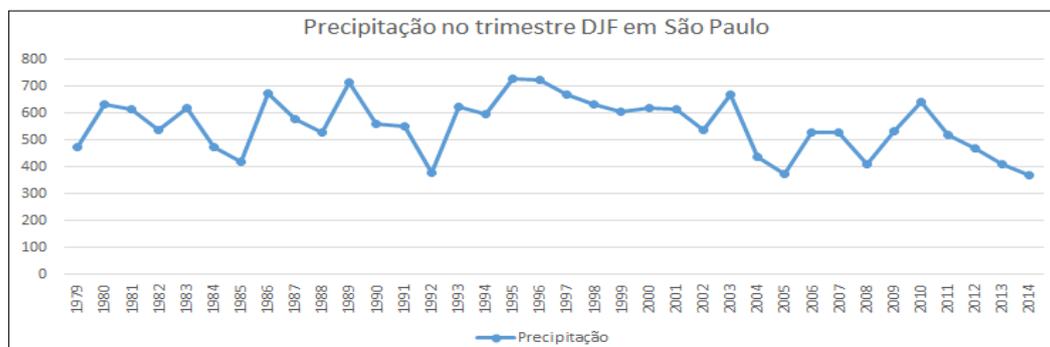


Figura 2 – Gráfico de representação cronológica do histórico de precipitação no trimestre DJF em São Paulo (área: 20S-27/305W-315W). Elaborada pelo autor com dados de precipitação NOAA

A partir do gráfico da Figura 2 e do mapa do fluxo de umidade integrado na vertical (Figura 1), ambos em relação ao trimestre DJF, da região de floresta amazônica, identifica-se outras tendências ao longo do tempo. A Figura 3 indica uma queda na precipitação a partir da década de 1980-90 até os anos 2000, com um grande declive dos índices pluviométricos nos anos de 2013-2014 e 2014-2015, representando uma redução de 200mm, quando comparados ao último pico.

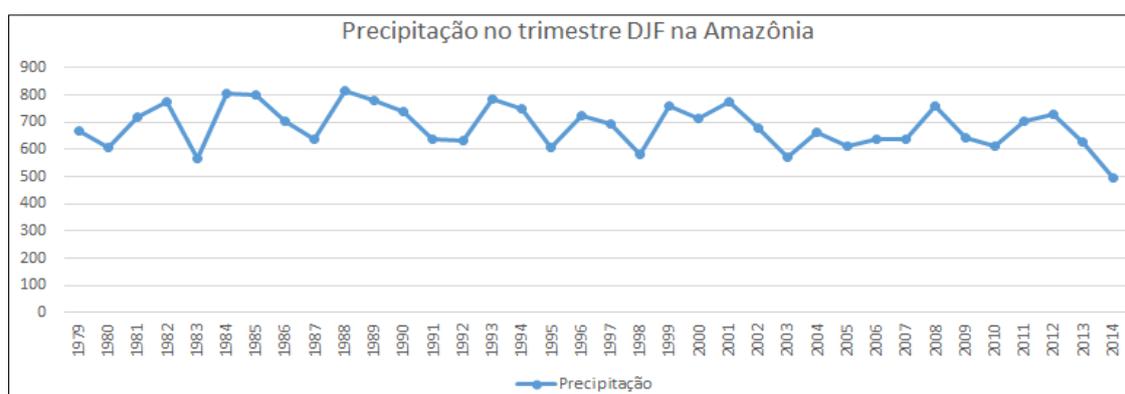


Figura 3 – Gráfico de representação cronológica do histórico de precipitação no trimestre DJF na Amazônia. Fonte: Elaborada pelo autor com dados de precipitação NOAA

A Figura 4 indica a quantidade de umidade que entrou (+) na região e quanto saiu (-), no trimestre DJF analisado pelo ano de maior chuva na região de floresta amazônica (1988) e, também, no ano de menor chuva (2014). A umidade que permaneceu em 1988 na região foi de 21,5kg/kg, já em 2014 a quantidade foi de 16,4kg/kg de umidade, ou seja, uma queda de 23,8% de umidade.

Tal queda é notável na borda leste no quadro da Amazônia (Figura 4), com uma diminuição de 3kg/kg e, proporcionalmente, uma diminuição na saída de umidade, especialmente na borda oeste do quadro.

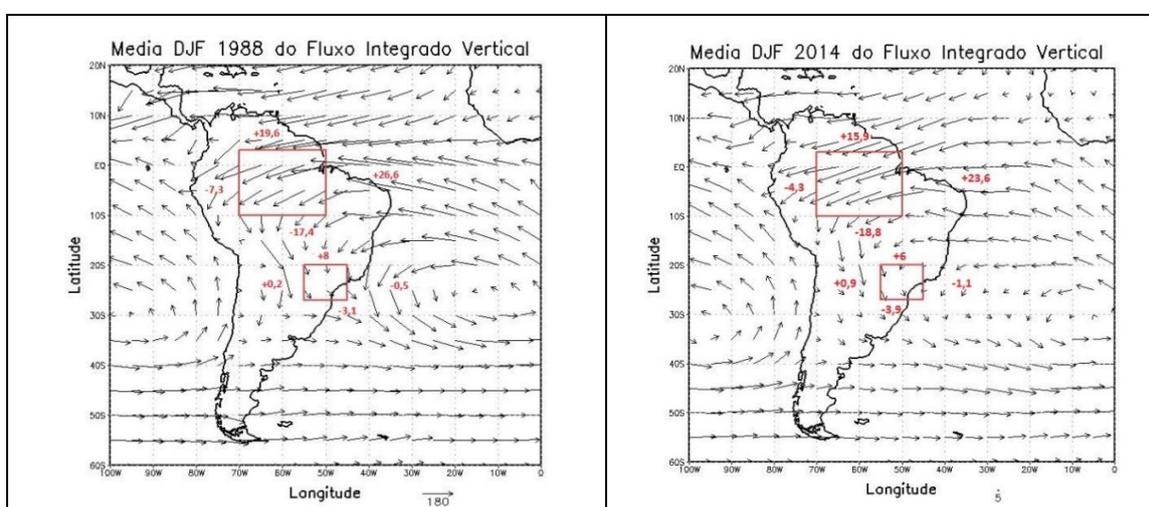


Figura 4 – Mapas do fluxo de umidade integrado na vertical do trimestre DJF de 1988 (ano mais chuvoso) e 2014 (ano menos chuvoso) na amazonia. Fonte:Elaborada pelo Autor

Após todas análises realizadas, foram levantados gráficos referentes a possíveis anomalias, que aconteceram nos últimos anos, tanto na Amazônia, quanto na região do estado de São Paulo.

As Figuras 5 e 6, detalha exatamente as anomalias que, em escala cronológica, aconteceram em todo o período analisado. É importante observar que, há uma grande tendência nos últimos anos, em especial 2010 à 2014, houve uma grande queda na precipitação, logo após de um grande pico.

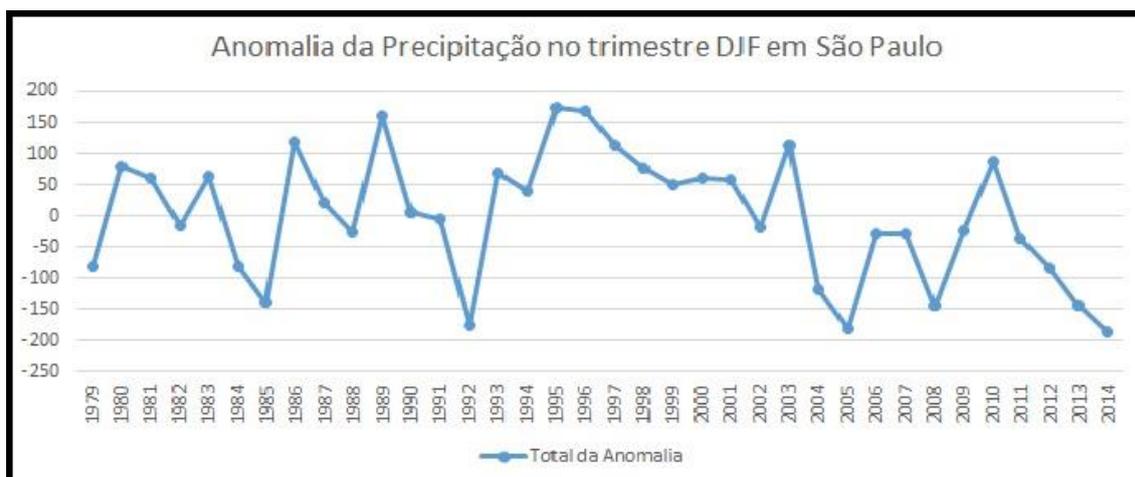


Figura 5 – Gráfico do cálculo da anomalia da precipitação em São Paulo. Fonte: Elaborada pelo autor com dados de precipitação NOAA

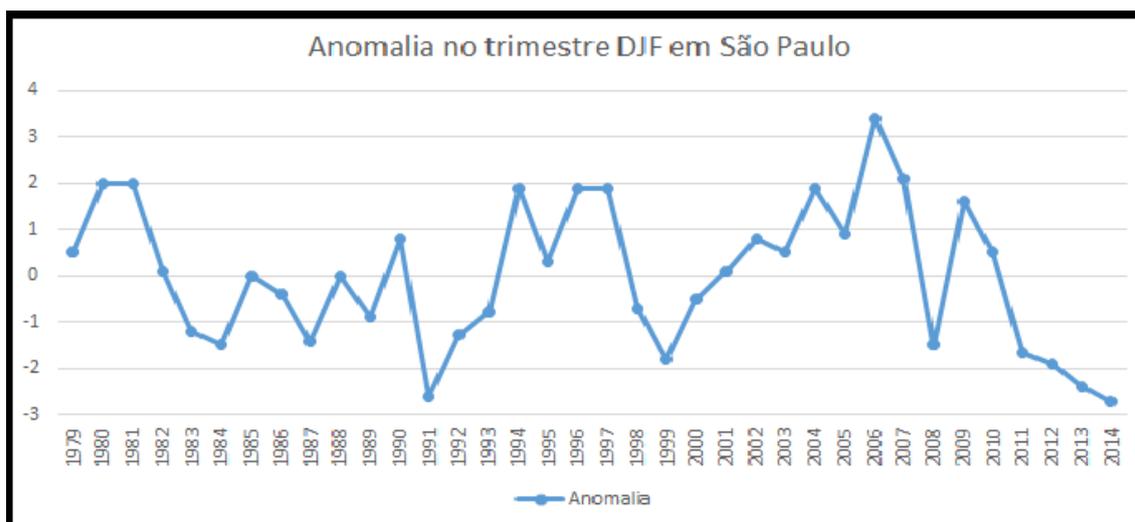


Figura 6 – Gráfico da anomalia de umidade que permaneceu em São Paulo em escala cronológica. Fonte de dados de precipitação: NOAA.

A próxima figura (Figura 7) indica a média do período, ou seja, como é o comportamento padrão médio de 1979 até 2014 no fluxo de umidade integrado na vertical na América do Sul, dando ênfase nas áreas representadas pelos quadrados em vermelho. Área de floresta amazônica está localizada nas latitudes de 10°S e 3°N e a área de São Paulo, localizada nas latitudes de 20°S e 27°S.

Media do Fluxo Integrado na Vertical (1979–2014)

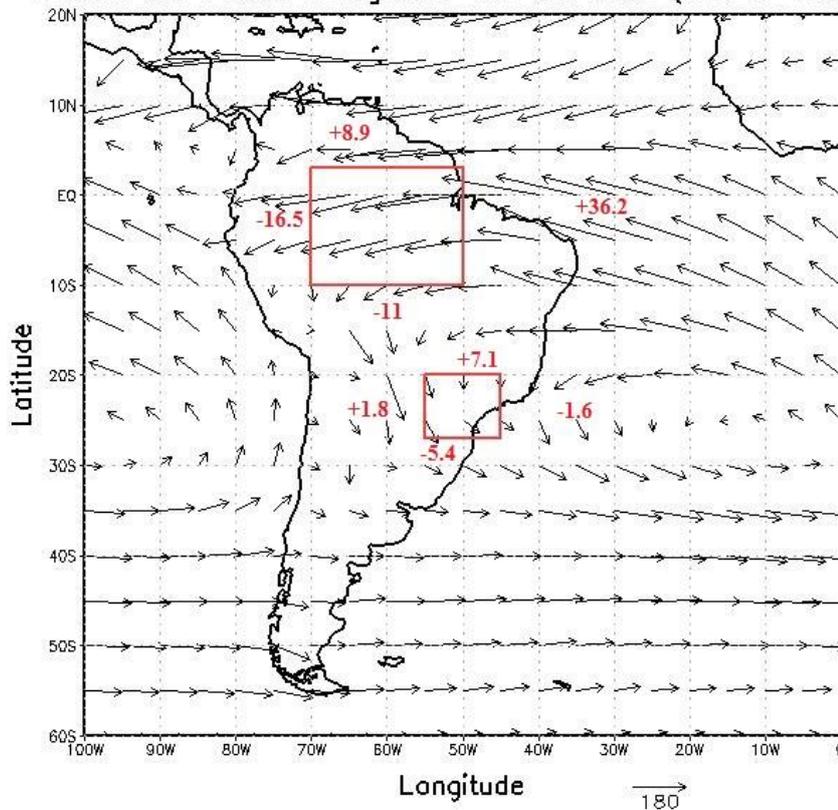


Figura 7 – Mapa da média do fluxo integrado na vertical (1979 – 2014). Fonte: Elaborada pelo autor no GrADS com dados NOAA

A Figura 8 (mapa anual médio dos anos com a presença do El Niño) demonstra os dados do fluxo de umidade em anos de ENOS. Utilizando esta figura é possível fazer uma comparação com a Figura 7, pois a intensidade do fluxo de umidade integrado na vertical é extremamente grande, quando esse fenômeno, oceano-atmosférico, está presente, enquanto na média do período, a quantidade de umidade que ingressa na região amazônica é cerca de 45,1kg/kg, já no período com influência do El Niño, a umidade fica em torno de 46,1kg/kg de entrada, ou seja, apenas em 3 anos com presença do fenômeno, sua média é de grande expressão para identificar um aumento de intensidade, que não necessariamente vêm acompanhado de chuva, mas sim de um aumento do transporte.

Em São Paulo, identificou-se o mesmo mecanismo que intensifica o transporte de umidade na região, houve um aumento de umidade entrando no território, porém, a quantidade que deixou o território, também, manteve-se constante de acordo com a que entrou, mesmo assim uma grande parte dessa umidade permaneceu nas áreas demarcadas no mapa.

Media anual dos anos com El Nino (1982-1983-1997-2005)

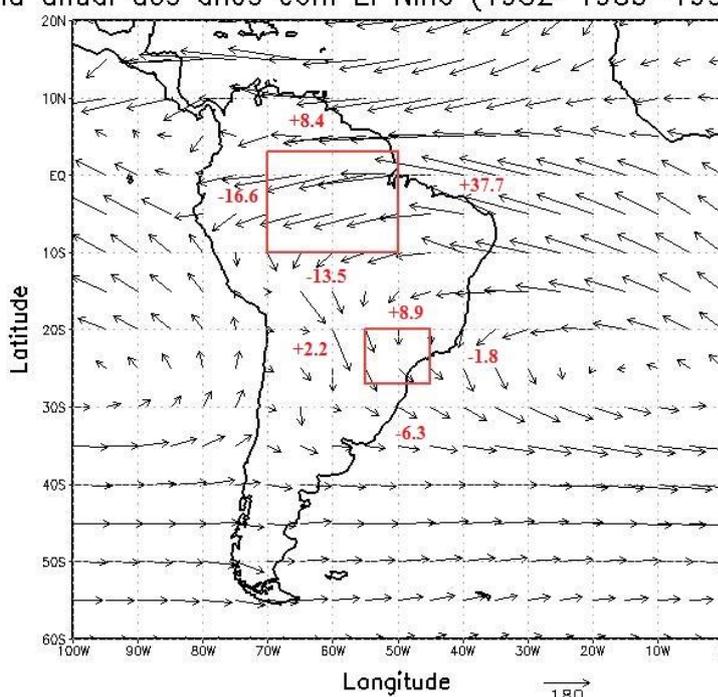


Figura 8– Mapa anual médio dos anos com presença do El Niño. Fonte: Elaborada pelo autor no GrADS com dados NOAA

A Tabela 1 indica a comparação real em números do fluxo de umidade integrado na vertical, afirmando que, nos anos de El Niño e La Niña, os números correspondentes ao transporte de umidade foram maiores do que em anos muito chuvosos, menos chuvosos e, inclusive do período total estudado. Com todos esses dados, é possível provar que em anos dos fenômeno meteorológicos (ENOS e La Niña) o transporte de umidade é notavelmente mais intenso do que em anos dentro da normalidade.

Região	El Niño	La Niña	Média Período	Ano de maior precipitação (AM = 1989 SP = 1983)	Ano de menor precipitação (AM e SP = 2014)
Amazônia	N: +8.4	N: +10.7	N: +8.9	N: +10.7	N: +4.5
	S: -13.5	S: -9.5	S: -11	S: -8.9	S: -6.2
	L: +37.7	L: +34.4	L: +36.2	L: +29.9	L: +20.3
	O: -16.6	O: -15.5	O: -16.5	O: -13.3	O: -13.6
São Paulo	N: +8.9	N: +6.4	N: +7.1	N: +10.1	N: +6
	S: -6.3	S: -4.4	S: -5.4	S: -6.6	S: -3
	L: -1.8	L: -1.8	L: -1.6	L: -3	L: -1.2
	O: +2.2	O: +1.8	O: +1.8	O: +3.1	O: +0.9

Tabela 1 – Dados do fluxo de umidade integrado na vertical em (kg/kg) comparados pela média dos anos de El Niño, La Niña, período total e anos de maior e menor precipitação na Amazônia e em São Paulo.

5 CONCLUSÃO

O estudo detalhado do transporte de umidade no trimestre DJF, da região de floresta amazônica, para a região Sudeste do país, especialmente em São Paulo, apresentou dados concretos em relação a diminuição do fluxo de umidade integrado na vertical tanto em escala sazonal, quanto anual, que paralelamente, houve a diminuição da precipitação, principalmente a partir de 2011.

Esse comportamento anormal do padrão da precipitação foi estudado ao longo do trabalho, tendo como resultado algumas tendências nas chuvas em ambas as regiões, resultando assim nos períodos de grande estiagem acontecidos nos verões de 2013-2014 e 2014-2015. Através dos inúmeros gráficos confeccionados, obteve-se a noção do quão importante é o transporte de umidade oriundo da região de floresta amazônica ao longo do ano, em especial nos anos de ocorrência do ENOS, principalmente, no verão, representando assim uma expressiva e decisiva influência nos volumes de chuva em São

Paulo. Uma quantidade menor de umidade tem chegado ao estado, pode-se dizer que há dois fatores influenciando dentro desse quadro, um possível fator é uma mudança de direção na circulação atmosférica que pode estar causando esse desvio do fluxo de umidade para outras localidades e um segundo motivo seria uma maior precipitação nas regiões do Pantanal, Cerrado e Brasil central, sendo assim, uma continuação e um estudo mais detalhado de outras regiões seria necessário para obter a verdade das possibilidades avaliadas.

Verificou-se também uma correlação, entre anos muito e pouco chuvosos, nas duas regiões, sendo que, quando a Amazônia tem muita chuva, São Paulo tem pouca chuva e quando a Amazônia tem pouca chuva, São Paulo apresenta volumes elevados na precipitação. Os anos que houve a presença do ENOS (1982-1983, 1997, 2005) foram marcados em São Paulo, pela presença de um aumento da intensidade do transporte de umidade, provando então, comportar-se diferente (maior intensidade) nos anos do fenômeno ENOS.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carvalho L.M.V., Jones C, Liebmann B, 2002: Extreme Precipitation Events in Southeastern South America and Large-Scale Convective Patterns in the South Atlantic Convergence Zone. *J. Climate*, 15, 2377–2394.

- Herdies DL, da Silva A, Dias MAFS, Ferreira RN. 2002. The moisture budget of the bimodal pattern of the summer circulation over South America. *J. Geophys. Res.* **107**: D20.

- Obregón, G. O., J. A Marengo, C. A. Nobre (2014) Rainfall and climate variability: long-term trends in the Metropolitan Area of São Paulo in the 20th century, 61: 93–107, 2014, doi: 10.3354/cr01241.

- Silva Dias, M.A.F., J. Dias, L. Carvalho, E. Freitas, and P.L. Silva Dias, 2012: Changes in extreme daily rainfall for São Paulo, Brazil. *Climatic Change*, 116(3-4), 705-722.