



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

NAIANA MILENA OLIVEIRA GOMES

**TRANSPORTE DE VAPOR D'ÁGUA DA AMAZÔNIA PARA O CENTRO
OESTE, SUL E SUDESTE DO BRASIL A PARTIR DE DADOS DE REANÁLISE**

**CAMPINA GRANDE – PB
FEVEREIRO DE 2019**

NAIANA MILENA OLIVEIRA GOMES

**TRANSPORTE DE VAPOR D'ÁGUA DA AMAZÔNIA PARA CENTRO
OESTE, SUL E SUDESTE DO BRASIL A PARTIR DE DADOS DE REANÁLISE**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, como parte do requisito necessário à obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.

Orientador: Prof. Dr. Enilson Palmeira Cavalcanti.

Área de Concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escala

Sub-área: Climatologia

CAMPINA GRANDE - PB

FEVEREIRO DE 2019

G633t Gomes, Naiana Milena Oliveira.
 Transporte de vapor d'água da Amazônia para centro oeste, sul e
 sudeste do Brasil a partir de dados de reanálise / Naiana Milena Oliveira
 Gomes. – Campina Grande, 2019.
 51 f. : il. color.

 Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de
 Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2019.
 "Orientação: Prof. Dr. Enilson Palmeira Cavalcanti".
 Referências.

 1. Climatologia – Brasil. 2. Meteorologia de Meso e Grande Escala.
 3. Fluxo Zonal. 4. Fluxo Meridional. 5. Precipitação. I. Cavalcanti,
 Enilson Palmeira. II. Título.

CDU 551.58(81)(043)

NAIANA MILENA OLIVEIRA GOMES

TRANSPORTE DE VAPOR D'ÁGUA DA AMAZÔNIA PARA O CENTRO OESTE,
SUL E SUDESTE DO BRASIL À PARTIR DE DADOS DE REANÁLISE

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 08/03/2019

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. ENILSON PALMEIRA CAVALCANTI
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. VICENTE DE PAULO RODRIGUES DA SILVA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Dr. ALEXANDRE MAGNO TEODOSIO DE MEDEIROS
Agência Executiva de Gestão das Águas
Estado da Paraíba

“Aos meus pais Ana e Jeremias,
pelo grande exemplo de vida e
amor, dedico-lhes”

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida e por ter me mostrado que nada é impossível e ao meu anjo da guarda por te iluminado nesta caminhada difícil.

À Universidade Federal de Campina Grande e seu corpo docente, não esquecendo da administração e secretaria que realizam suas atividades brilhantemente e estão sempre empenhados, disponibilizado todo um suporte para nós alunos.

Aos meus Pais que sempre foram exemplo de superação não deixando as dificuldades atrapalharem nosso sonho e minha família como um todo que sempre me apoiaram e acreditaram em mim.

A minha grande amiga, que sempre esteve comigo me incentivando, dando forças e pelos momentos de descontração.

Ao meu orientador, prof. Dr. Enilson Palmeira Cavalcanti pela orientação, incentivo e dedicação necessária para execução desta dissertação.

A todos os professores do departamento de meteorologia que foram tão importantes na minha formação acadêmica.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro e concessão de bolsa.

RESUMO

O presente estudo tem como principal objetivo analisar características do transporte do vapor d'água climatológico da região Amazônica em direção ao Centro Oeste, Sul e Sudeste do Brasil a partir de dados de reanálise. E assim, uma melhor compreensão em relação a atuação dos fluxos zonal e meridional com ênfase em uma climatologia de 30 anos de dados (1988 a 2017). Para avaliar o transporte de vapor d'água da Amazônia para as regiões Sul e Sudeste do Brasil no período de 1988 a 2017 foi tomado três “cortes” nas latitudes de 15°, 20° e 25° S entre os meridianos de 70° a 45° W, denominadas de Áreas 1, 2 e 3. Foram avaliados aspectos da variação sazonal e interanual destes fluxos, e buscou-se correlacionar com a precipitação de regiões do sul e sudeste pré-definidas. Foram utilizados neste trabalho dados mensais de reanálises do modelo global *National Center of Environmental Prediction - National Center for Atmospheric Research – NCEP-NCAR* referente a 30 anos de dados (1988 a 2017). Os resultados revelaram que na maioria das análises o fluxo meridional de vapor d'água integrado verticalmente foi bem satisfatório apresentando uma boa correlação em relação a precipitação pluvial das regiões do sul e sudeste do Brasil, além de mostrar que a maioria do transporte de umidade que passa pela Amazônia acontece de norte para sul.

Palavras-chave: Fluxo zonal, fluxo meridional e precipitação

ABSTRACT

The present study has as main objective to analyze characteristics of the transport of the water vapor of climatological of the Amazon region toward the Center West, South and Southeast of Brazil from data of reanalysis. Thus, a better understanding of the performance of zonal and southern flows with emphasis on a 30-year data climatology (1987 to 2017). In order to evaluate the transport of water vapor from the Amazon to the South and Southeast regions of Brazil from 1988 to 2017 three "cuts" were taken at latitudes of 15 °, 20 ° and 25 ° S between the meridians of 70 ° a 45 ° W, denominated Areas 1, 2 and 3. Aspects of the seasonal and interannual variation of these flows were evaluated, and it was sought to correlate with the precipitation of pre-defined south and southeast regions. Monthly data from reanalysis of the global model National Center for Environmental Prediction (NCEP-NCAR) for 30 years of data (1988 to 2017) were used. The results showed that in the majority of the analyzes the vertical flow of water vapor was quite satisfactory, showing a good correlation with the precipitation of the southern and southeastern regions of Brazil, as well as showing that the majority of moisture transport passes through the Amazon happens from north to south.

Keywords: Zonal flow, southern flow, precipitation

LISTA DE FIGURAS

Figura 01. Área de estudo composta por 3 áreas: A1, A2 e A3 nas latitudes de 15°, 20° e 25°, respectivamente.	21
Figura 2 Ilustração esquemática do diagrama BoxPlot.	23
Figura 3. Representação gráfica da distribuição T de student.	24
Figura 4. Fluxo Meridional (média mensal) de vapor d'água integrado verticalmente (Norte-Sul, ao longo de 70° - 45° W) menor que 100 (kg/m.s), no período de 1988 a 2017, a) Latitude de 15° S, b) Latitude de 20° S e c) Latitude de 25° S.	27
Figura 5. Fluxo Zonal (média mensal) de vapor d'água integrado verticalmente (Oeste-Leste, ao longo de 70° - 45° W) maior que 100 (kg/m.s), no período de 1988 a 2017, a) Latitude de 15° S, b) Latitude de 20° S e c) Latitude de 25° S.	28
Figura 6. Fluxo de vapor d'água (kg/m.s) integrado verticalmente ao longo de 70° - 45° W, (composição do Fluxo zonal e meridional) no período de 1988 a 2017, a) Latitude de 15° S, b) Latitude de 20° S e c) Latitude de 25° S.	29
Figura 7. Séries temporais mensais do Fluxos Zonal e Meridional de vapor d'água (kg/m.s) integrado verticalmente no período de 1988 a 2017, a) Média na área 1 (-60,0° a -65,0° W e -12,5° a -17,5° S), b) Média na área 2 (-57,5° a 62,5° W -17,5° a -22,5° S) e c) Média na área 3 (-52,5° a 57,5° W e -22,5° a -27,5° S).	31
Figura 8. Diagrama boxplot da variabilidade sazonal do fluxo zonal (média mensal) de vapor d'água integrado verticalmente, no período de 1988 a 2017, na latitude de 15° S (a), 20° S (b) e 25° S (c).	33
Figura 9. Diagrama boxplot da variabilidade sazonal do fluxo meridional (média mensal) de vapor d'água integrado verticalmente, no período de 1988 a 2017, na latitude de 15° S (a), 20° S (b) e 25° S (c).	34
Figura 10. Diagrama de Hovmoller da componente zonal do vento (kg/m.s) no período de 1988 a 2017, a) Latitude de 15° S, b) Latitude de 20° S e c) Latitude de 25° S.	36
Figura 11. Diagrama de Hovmoller da componente meridional do vento (kg/m.s) no período de 1988 a 2017, a) Latitude de 15° S, b) Latitude de 20° S e c) Latitude de 25° S	37

Figura 12. Diagrama boxplot da média mensal de precipitação pluvial (mm) para 4 cidade do sul e sudeste do Brasil (1988 a 2017): Belo Horizote, Curitiba, Porto Alegre e São Paulo.	39
Figura 13. Diagrama de correlação entre o fluxo zonal e meridional de vapor d'água integrado verticalmente com precipitação pluvial da cidade de São Paulo no período de 1988 a 2017, a) Latitude de 15° S, b) Latitude de 20° S e c) Latitude de 25° S.	41
Figura 14. Diagrama de correlação entre o fluxo zonal e meridional de vapor d'água integrado verticalmente com precipitação pluvial da cidade de Belo Horizonte no período de 1988 a 2017, a) Latitude de 15° S, b) Latitude de 20° S e c) Latitude de 25° S.	42
Figura 15. Diagrama de correlação entre o fluxo zonal e meridional de vapor d'água com precipitação pluvial da cidade de Curitiba no período de 1988 a 2017, a) Latitude de 15° S, b) Latitude de 20° S e c) Latitude de 25° S.	43
Figura 16. Diagrama de correlação entre o fluxo zonal e meridional de vapor d'água com precipitação pluvial da cidade de Porto Alegre no período de 1988 a 2017, a) Latitude de 15° S, b) Latitude de 20° S e c) Latitude de 25° S.	44

LISTA DE SIGLAS

CO₂ - Gás Carbônico

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico Sul

JBN - Jatos de Baixos Níveis

ENOS - El Niño Oscilação Sul

ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

LI - Linha de Instabilidade

FF - Frente Fria

FZ - Fluxo Zonal

FM - Fluxo Meridional

NW - Noroeste

SE - Sudeste

PRP - Precipitação

POA - Porto Alegre

SP - São Paulo

BH - Belo Horizonte

CUR - Curitiba

OMM – Organização Meteorológica Mundial

NCEP/NCAR – *National Center of Environmental Prediction - National Center for Atmospheric Research*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivo Geral	14
1.2 Objetivos específicos	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Amazônia como fonte de vapor d'água para atmosfera	15
2.2 Transporte de vapor d'água para atmosfera	18
3. DADOS E METODOLOGIA	20
3.1 Caracterização da Área de estudo	20
3.2 Dados Utilizados	22
3.3 Formulação teórica	22
3.4 Diagrama de Boxplot	23
3.5 T de Student	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5. CONCLUSÕES	46
6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	47

1- INTRODUÇÃO

A Amazônia com toda sua extensão representa a maior floresta tropical úmida do planeta, ocupando cerca de 600 milhões de hectares abrangendo nove países da América do sul (Bolívia, Peru, Equador, Colômbia, Venezuela, Guiana, Suriname, Guiana Francesa e Brasil). Estando no território brasileiro a maior parte da floresta com mais de 5 milhões de quilômetros quadrados que corresponde a 61% da área do país, denominada de Amazônia legal constituída por nove estados Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima e parte dos estados de Mato Grosso, Tocantins e Maranhão.

A floresta Amazônica localiza-se na região tropical de latitudes baixas favorecendo a disponibilidade de energia solar, portanto, temperaturas médias elevadas e grande volume pluviométrico o ano inteiro. Desempenha um papel de grande importância em relação as trocas de energia, umidade e massa que contribuem para a manutenção do clima global e local, atuam na absorção e armazenamento de CO₂, além disso, uma contribuição fundamental da floresta amazônica é o transporte de vapor d'água para as regiões Centro Oeste, Sudeste e Sul do Brasil.

Alguns estudos mostram que há um fluxo de vapor d'água do Norte para o Sul e Sudeste do Brasil passando pelo Centro Oeste e que esse fluxo seja proveniente da região Amazônica (SALATI e RIBEIRO, 1979). A origem do vapor d'água é o Oceano Atlântico, entretanto a divergência do fluxo de vapor de água indica que somente 50% da precipitação na região é resultante dessa fonte primária de vapor, que é proveniente dos ventos alísios, onde cerca de 60% desse vapor de água entra através da fronteira Leste e 34% da fronteira Nordeste (COSTA e FOLEY, 1999; COSTA e FOLEY, 2000; PAEGLE e MO, 2002; CARVALHO et al., 2010). Os outros 50% do vapor d'água necessário para gerar precipitação na Amazônia são oriundos da própria florestas por intermédio do processo de evapotranspiração.

A partir dessas duas fontes de vapor (Oceano Atlântico e a floresta Amazônica) a região se torna uma importante fonte de umidade para a parte do Centro Oeste, Sul e Sudeste do Brasil, bem como para a porção Norte da Argentina que engloba a bacia do Prata, assim contribuindo para ocorrência de precipitação nessas regiões (MARENGO et al., 2004; VERA et al., 2006; ARRAUT e SATYAMURTH, 2009).

O desmatamento, um dos maiores problemas ambientais na Amazônia, teve um grande avanço nas últimas décadas em decorrência das atividades humanas, em que há algumas evidências de que este tenha influenciado as características da baixa atmosfera (FISCH, et al., 1998). Grande parte desta área já foi desmatada, segundo o IBGE cerca de 51% nos últimos 20 anos, aproximadamente 754.840 km² foi desmatado da maior região florestal do planeta, isto representa 15% da totalidade da Amazônia e 20% da área florestada, para exemplificar o tamanho deste desflorestamento, colocou-se que tudo que já foi desmatado equivale a aproximadamente três vezes a cidade de São Paulo. Com aumento do desmatamento temos impacto direto na evapotranspiração que é um elemento chave que compõe o equilíbrio hidrológico da região.

Existem vários fenômenos atmosféricos que atuam na América do Sul, dentre estes o transporte de vapor de água da floresta Amazônica para o Sul e Sudeste do Brasil, sendo um processo realizado pela circulação geral da atmosfera juntamente com a influência do oceano e continente onde estes são responsáveis pela distribuição das chuvas em todo no território continental. (ARRAUT e SATYAMURT, 2009).

Dentre outros fenômenos existem aqueles que tem influência significativa sobre a região Amazônica, a exemplo da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que é um fenômeno atmosférico atuante no verão do hemisfério sul, ou seja, nos meses de dezembro a março, sendo caracterizado por uma banda de nebulosidade no sentido noroeste-sudeste (NW-SE), com seu início desde a Amazônia podendo amplificar-se até o Oceano Atlântico (KOUSKY, 1988), a atuação desse sistema tem impacto direto no regime pluviométrico na maior parte da América do Sul.

Dos Jatos de Baixos Níveis (JBN), definido por um sistema de ventos com altas velocidades (acima de 10 m/s) localizados a um ou dois quilômetros acima da superfície, com uma extensão horizontal de aproximadamente 500 km dentro da escala subsinótica e com forte oscilação diurna. O JBN possui o seguinte mecanismo: os ventos alísios do Oceano Atlântico, possui um ar úmido e ao passar pela Amazônia pode agregar uma grande quantidade de umidade devido à alta evapotranspiração desta região, sendo assim canalizado pelos Andes, a componente meridional do vento de Norte ganha uma certa aceleração (MARENGO, 2004).

E por fim, o fenômeno ENOS, de escala global, que ocorre pelo aquecimento anômalo das águas subsuperficiais do Oceano Pacífico Norte, provocando alterações na

América do Sul, em questões de temperatura e precipitação. Este fenômeno é responsável por grandes volumes de chuva no Sul, isto ocorre devido ao aumento da intensidade da corrente de jato, formando uma espécie de bloqueio impedindo o avanço de frentes frias para o Sudeste do Brasil, ou seja, os sistemas frontais ficam estacionados sobre a região Sul.

Desta forma esta pesquisa objetivou-se analisar a climatologia do transporte médio de vapor d'água da Amazônia para as regiões do centro-oeste, sul e sudeste do Brasil, a partir de dados de reanálise, verificando possíveis anomalias e características deste transporte. Pretende-se verificar também mudanças no comportamento médio de transporte de vapor d'água durante o período estudado. E assim, uma melhor compreensão em relação a atuação dos fluxos zonal e meridional com ênfase em 30 anos de dados (1988 a 2017).

1.1- Objetivo Geral

Este trabalho, tem como objetivo geral avaliar características do transporte do vapor d'água climatológico da região Amazônica em direção ao Centro Oeste, Sul e Sudeste do Brasil a partir de dados de reanálise.

1.2- Objetivos Específicos

- Integração vertical do fluxo de vapor d'água mediante dados do NCEP/NCAR;
- Identificar faixas longitudinais que caracterizem o transporte de vapor d'água da Amazônia para o Sul e Sudeste da América do Sul;
- Obtenção de séries temporais da média mensal do fluxo de vapor d'água em áreas predefinidas em um período de 30 anos;
- Analisar a variação sazonal e interanual do fluxo de vapor d'água em áreas predefinidas.
- Analisar a influência dos fluxos zonal e meridional do vapor d'água integrado verticalmente na precipitação em regiões do sul e sudeste do Brasil.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta revisão bibliográfica tem como finalidade fundamentar o estudo do transporte de umidade na Amazônia, os sistemas que atuam e que contribuem de alguma forma com esse transporte. Desta forma, no primeiro momento será apresentado uma breve discussão sobre a área de estudo, caracterizando sua climatologia, após será apresentado uma abordagem de algumas pesquisas realizadas sobre o transporte de vapor d'água da Região Amazônica.

2.1- Amazônia como fonte de vapor d'água para atmosfera

A Amazônia com maior extensão de floresta quente e úmida do globo, apresenta uma vasta variabilidade de fauna e flora, composta por uma grande rede de rios, lagos e igarapés, que acoplados formam a maior bacia hidrográfica do mundo, o chamado rio Amazonas, com aproximadamente 6.000 km de extensão.

A floresta tropical é de grande importância para o equilíbrio do clima global e ajuda a moderar a temperatura. É nas florestas que acontece a absorção de dióxido de carbono (CO₂). A floresta tropical é caracterizada por árvores de grande porte e as chuvas excessivas e bem distribuídas ao longo do ano favorecem o seu desenvolvimento, com pequenos períodos de estiagem, onde ainda ocorrem chuvas isoladas, do tipo convectiva, bastante intensa e com pouca duração. (COSTA, 2007).

A Amazônia possui um clima quente e úmido com pequenos gradientes de temperatura, bastante nebulosidade e muita precipitação, na qual durante o ano todo recebe um forte saldo de energia solar incidente. Existem centenas de bilhões de árvores na floresta amazônica que liberam grandes quantidades de vapor d'água para atmosfera. A precipitação média anual é de aproximadamente 2.300 mm. Aproximadamente 55 a 60% das chuvas na Amazônia são provenientes da evapotranspiração de seus ecossistemas, entretanto nem toda a evapotranspiração gerada na Amazônia é convertida em precipitação na mesma. Na estação chuvosa, por exemplo, a precipitação é normalmente maior que o dobro da taxa de evapotranspiração, ou seja, grande parte da umidade utilizada para produzir chuva é transportada pela parte externa da região (oceano

a atlântico), na qual os ventos alísios são predominantemente de leste, em função da rotação da terra. (CORREIA et al., 2007).

A maior floresta tropical úmida do mundo é a floresta Amazônica, na qual é importante para o nosso ecossistema global, onde parte dela está localizada no Brasil. Esse bioma concentra metade da vida na terra e abriga também a maior rede fluvial onde há maior parte de água doce disponível (DUARTE, 2011).

O transporte de energia da região equatorial para os polos se dá pelo aquecimento diferencial da superfície e o gradiente de temperatura. Em 1986, houve a primeira tentativa de exemplificar a circulação atmosférica de maneira simples por Halley, onde buscou associar os ventos alísios de leste a baixa convergência na região equatorial de maior aquecimento (equador térmico). Tendo em vista algumas das dificuldades encaradas pela simples teoria da circulação de grande escala de Halley, começaram a ser questionadas por Hadley em 1735, no qual preocupou-se com a deflexão dos ventos em um globo rotacionando para direita no hemisfério norte e para esquerda no hemisfério sul. (BARRY e CHORLEY, 2013).

NOBRE (2014) mostrou a importância da evapotranspiração massiva da floresta Amazônica. Em seu estudo os resultados foram bem significativos, no qual foram estimados a quantidade total de água vindo do solo através das raízes que é lançado para atmosfera durante o dia por meio das árvores ali existentes. O estudo abrangeu uma área de 5,5 milhões de km² e o resultado foi surpreendente. 20 bilhões de toneladas de água é transpirada diariamente, isso equivale a 20 trilhões de litros, que a floresta amazônica lança para atmosfera terrestre. Com isso temos a explicação de quanto a floresta é uma importante fonte de umidade e o quanto ela pode lançar de vapor d'água para a atmosfera.

Grande parte das chuvas que caem sobre a Amazônia é formada pela própria floresta, por meio da evapotranspiração, trata-se de uma espécie de reciclagem de precipitação. ROCHA (2015) afirma que o conceito de reciclagem de precipitação está referido ao mecanismo de retroalimentação “feedback” entre a superfície e a atmosfera, no qual a evapotranspiração contribui significativamente na precipitação total sobre uma região. Resumindo, a reciclagem de precipitação é definida como a quantidade de água que é evapotranspirada da superfície terrestre em uma determinada região retornando em forma de chuva sobre a mesma região.

A Amazônia possui uma vasta extensão de floresta tropical úmida, contendo uma área de 6,5 milhões de km², equivalente a 56% das florestas tropicais. Isso mostra a dinâmica das trocas de energia, umidade e massa entre a superfície e a atmosfera essenciais para manutenção do clima global e regional. A exemplo da absorção e liberação do excedente de gás carbônico (CO²), vapor d'água para regiões distantes, a reciclagem de precipitação para conservar seus ecossistemas, entre outros (ROCHA et al., 2017). Na região Amazônica a convecção é um importante mecanismo de aquecimento da atmosfera tropical e sua variabilidade, quando se fala de intensidade e posição. Assim assumindo um papel importante na definição do tempo e do clima desta região. A floresta Amazônica é uma região de maior armazenamento de vapor d'água da região tropical, alimentando de uma forma contínua a circulação geral da atmosfera devido a sua grande extensão (SUMILA, 2016).

A precipitação na Amazônia apresenta grande variabilidade espaço-temporal pela atuação de diferentes sistemas de várias escalas (local, meso sinótica e global) que atuam na região (ROCHA et al., 2017). O regime de precipitação da Amazônia apresenta-se em dois períodos bem distintos: o período chuvoso que está compreendido entre os meses de novembro e março e o período de seca (sem muita atividade convectiva está entre os meses de maio e setembro. Já os meses de abril e outubro são considerados meses transitórios entre os dois regimes.

O desmatamento da região amazônica pode ocasionar várias mudanças em grande escala o que pode comprometer no clima regional e global. O reflexo do desmatamento nos mostra algumas alterações como a diminuição do fluxo de vapor d'água para atmosfera, alteração da convecção da bacia Amazônica que geram mudança nos sistemas de circulação regional, a exemplo da alta da Bolívia, corrente de jato subtropical e a baixa sul-americana (SUMILA et al., 2017).

2.2- Transporte de vapor d'água para atmosfera

A concentração de vapor d'água, um dos gases que compõem a atmosfera é relativamente pequena, com bastante variabilidade tanto no espaço quanto no tempo e em geral, a medida que sobe na atmosfera o vapor d'água diminui. Em regiões tropicais (quentes e úmidas), pode-se encontrar próximo à superfície uma quantidade de vapor d'água em proporção tão elevada quanto 40 g/kg^{-1} de ar seco e nas regiões polares (frias e secas) essa quantidade reduz para aproximadamente $0,5 \text{ g/kg}^{-1}$. Embora este gás apresente baixa concentração, ele é um constituinte atmosférico muito importante por interferir na distribuição de temperatura, pois colabora nos processos de absorção e liberação de calor sensível para atmosfera e pelo transporte de calor latente de evaporação de regiões mais aquecidas para regiões menos aquecidas, quando é liberado calor sensível, momento em que o vapor é condensado. (CAVALCANTI et al., 2009)

Assim, o vapor d'água se comporta como um termorregulador, impossibilitando que a camada de ar próximo ao solo se esfrie em demasia durante a noite. Além disso, ao realizar a transformação da fase líquida para a gasosa, este absorve calor latente acumulado, desta maneira estará aquecendo a atmosfera. Apresentando alta concentração nos trópicos e nas regiões equatoriais úmidas e baixas nas altas altitudes e nos polos, estabelecendo um fluxo das baixas para as altas latitudes, que após condensar e precipitar, acaba aquecendo aquelas regiões (VIANELLO e ALVES, 2000)

Segundo Cavalcanti e Correia (2009), a topografia da Cordilheira dos Andes forma um bloqueio no fluxo sobre a região Amazônica e na parte Leste dos Andes. Deste modo, foi observado uma alteração o fluxo em direção ao Sul durante o verão, essa alteração se dá pela presença de um jato de baixos níveis atuante a Leste dos Andes, que transporta vapor d'água da Amazônia para a porção Central, Sul e Sudeste do Brasil. O transporte de vapor d'água é principalmente para Oeste em baixa latitude, por conta dos ventos alísios e de Oeste em alta latitude, isto se dá pelo escoamento padronizado da circulação na região (CORREIA et al., 2006). A maior parte do vapor d'água vem do oceano, transportada para o continente pelos ventos alísios, que sopram de leste para oeste uma pequena porção dessa umidade se condensa em nuvens e cai como chuva sobre a Amazônia

O vapor d'água é o único constituinte atmosférico a mudar de estado em condições naturais e por consequência se torna responsável pelo surgimento das nuvens e por outros

fenômenos meteorológicos importantes como: chuva, neve, orvalho, etc. Desempenhando um papel de suma importância nos processos atmosféricos (VAREJÃO-SILVA, 2006).

A água no planeta terra pode ser encontrada nos três estados físicos (sólido, líquido e gasoso) e em vários locais diferentes como: na superfície, subsuperfície, atmosfera e biosfera, que está sempre em transição entre os estados físicos e localidades (COELHO NETTO, 1995; MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Para melhor entendimento sobre a origem desse fluxo de vapor d'água (RODWELL E HOSKINS, 2001), observaram em seu estudo um giro que é ocasionado pelo aquecimento diabático liberado no sistema de monções da América do Sul, que além de proporcionar esse giro, age na manutenção da alta subtropical do Atlântico Sul durante o verão do hemisfério sul.

Também, SATYAMURTY et al. (2012), em uma de suas pesquisas realizadas, estudaram as fontes e sumidouros de vapor d'água na floresta Amazônica, no qual concluíram que 68% das chuvas da Amazônia se dá pelo transporte de vapor d'água do Oceano Atlântico Tropical Norte e Sul.

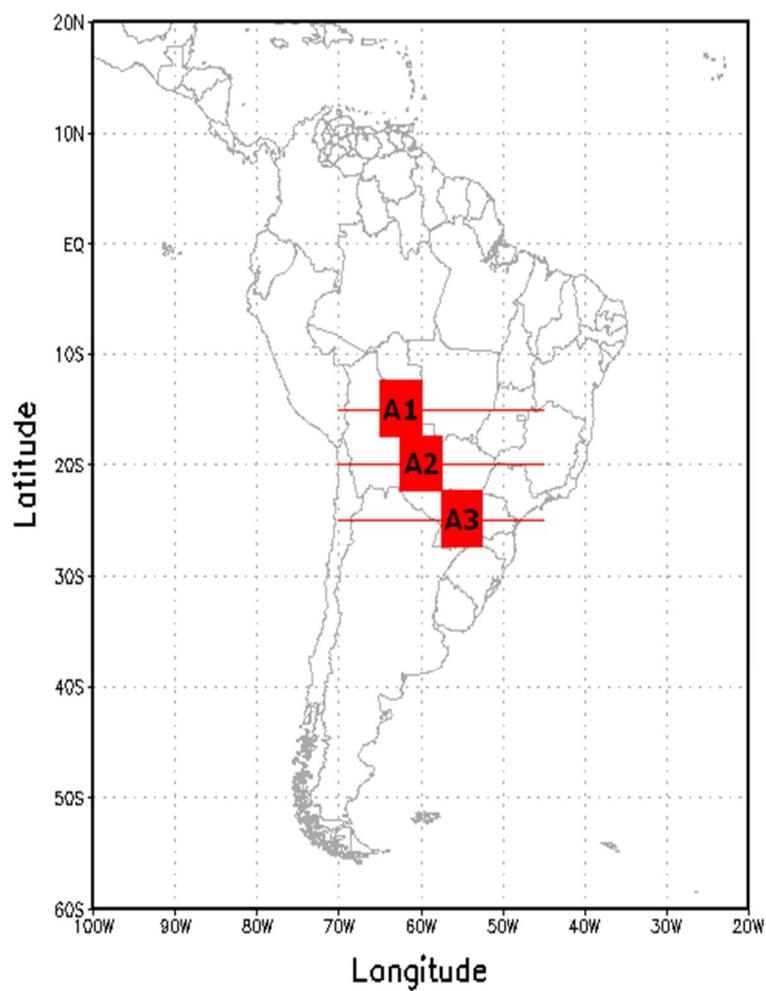
3. DADOS E METODOLOGIA

3.1. Caracterização da área de estudo

A área de estudo deste trabalho abrange a região da floresta Amazônica, Centro Oeste, Sul e Sudeste do Brasil. A região Norte do Brasil que está situada na faixa tropical global é caracterizada por conter uma atmosfera bastante úmida e com grande atividade convectiva, devido ao grande saldo de energia solar durante o ano todo. A parte do Centro Oeste funciona como um “corredor” desse fluxo de vapor d’água, assim esse fluxo de vapor de água é transportado até o Sul e Sudeste da América do Sul.

Para avaliar o transporte de vapor d’água da Amazônia para as regiões Sul e Sudeste do Brasil no período de 1988 a 2017 foi tomado três “cortes” nas latitudes de 15°, 20° e 25° S entre os meridianos de 70° a 45° W, conforme apresentado na Figura 1.

Verificada a intensidade destes fluxos buscou-se identificar áreas onde apresentam maior intensidade do fluxo de vapor d’água da Amazônia para as regiões Sul e Sudeste do Brasil (fluxo zonal positivo $> 100 \text{ kg/m.s}$, pois o fluxo é de oeste para leste e fluxo meridional negativo $< -100 \text{ kg/m.s}$, fluxo de norte para sul). Com base nessa análise foram delimitadas três áreas A1, A2 e A3 (Figura 1) e calculado os fluxos médios de vapor d’água integrados verticalmente para cada área gerando séries temporais de valores mensais no período de 1988 a 2017. E para correlacionar os fluxos zonal e meridional de vapor d’água integrado verticalmente, foram escolhidos grandes centros urbanos do sul e sudeste como: Belo Horizonte, São Paulo, Curitiba e Porto Alegre, para analisar a possível influência e/ou contribuição destes fluxos na precipitação pluvial.



GrADS: COLA/IGES

Figura 1. Área de estudo composta por 3 áreas: A1, A2 e A3 nas latitudes de 15°, 20° e 25°, respectivamente.

A delimitação de cada área é dada por:

15°S → $60,0^\circ$ a $65,0^\circ$ W
 $12,5^\circ$ a $17,5^\circ$ S → para área 1 (A1).

20°S → $57,5^\circ$ a $62,5^\circ$ W
 $17,5^\circ$ a $22,5^\circ$ S → para área 2 (A2).

25°S → $52,5^\circ$ a $57,5^\circ$ W
 $22,5^\circ$ a $27,5^\circ$ S → para área 3 (A3).

3.2. Dados utilizados

Foram utilizados neste trabalho dados mensais de reanálises do modelo global *National Center of Environmental Prediction - National Center for Atmospheric Research – NCEP-NCAR* referente a 30 anos de dados (1988 a 2017). As variáveis utilizadas são: umidade específica do ar, componente zonal e meridional do vento e pressão à superfície. Estes dados apresentam resolução espacial de 2,5° de latitude por 2,5° de longitude com grade global de (144x73) e dados de precipitação mensal obtidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

As reanálises do NCEP/NCAR utilizam um sistema de assimilação de dados globais incorporando todo sistema observacional atual. Este projeto surgiu no ano de 1995 para suprir as necessidades do monitoramento do clima. (KALNAY et al., 1996).

3.3. Formulação teórica

Com a velocidade do vento representada por suas componentes zonal e meridional (u e v), a temperatura do ar e a umidade relativa, com base nos procedimentos previstos pela OMM-Organização Meteorológica Mundial, foi determinada a razão de mistura saturada que é normalmente usada para aproximar a umidade específica q (WMO, 1971).

Para análise do comportamento em escala temporal, enfatizando os anos que foram mais intensos a água precipitável e fluxo de vapor d'água foi integrado verticalmente, Seguindo Cavalcanti (2001), calculou-se a água precipitável média na coluna atmosférica entre a superfície e o nível de 300 hPa através da expressão:

$$W = \frac{1}{g} \int_{P_t}^{P_s} q dp \quad (1)$$

$$\vec{Q} = Q_\lambda \vec{i} + Q_\phi \vec{j} \quad (2)$$

Usando as componentes u e v do vento e a umidade específica, foram calculadas as componentes zonal e meridional do fluxo de vapor d'água integrado em uma coluna atmosférica, da superfície até o nível de 300 hPa, dadas pelas seguintes expressões:

$$Q_{\lambda} = \frac{1}{g} \int_{P_t}^{P_s} q u \, dp \quad (3)$$

$$Q_{\phi} = \frac{1}{g} \int_{P_t}^{P_s} q v \, dp \quad (4)$$

Em que W é a água precipitável (mm), Q_{λ} e Q_{ϕ} são as componentes zonal e meridional do fluxo de vapor d'água integrado verticalmente, u e v representam as componentes zonal e meridional do vento, q é a umidade específica do ar e g a aceleração gravitacional. A integração se deu do nível de pressão no topo P_t ($P_t=300\text{hPa}$) até o nível da superfície com pressão P_s .

3.4. Diagrama Boxplot

O boxplot ou diagrama de caixa consiste em uma ferramenta gráfica que permite visualizar a distribuição e valores dos dados, permitindo uma concepção sobre o carácter dos dados. O boxplot utiliza cinco medidas estatísticas definidas pelo: primeiro (Q_1), pelo terceiro quartil (Q_3), incluindo a mediana em seu interior conhecida como segundo quartil (Q_2), o limite superior (máximo) e limite inferior (mínimo) da série de dados. A mediana é uma medida de localização do centro da distribuição de n elementos, definida pelos elementos ordenado da amostra, a mediana é o valor dividido ao meio, desta forma, 50% dos elementos da amostra se apresentam menores ou iguais à mediana e os 50% restantes se apresentam em maiores ou iguais à mediana (RAIMUNDO, 2008).

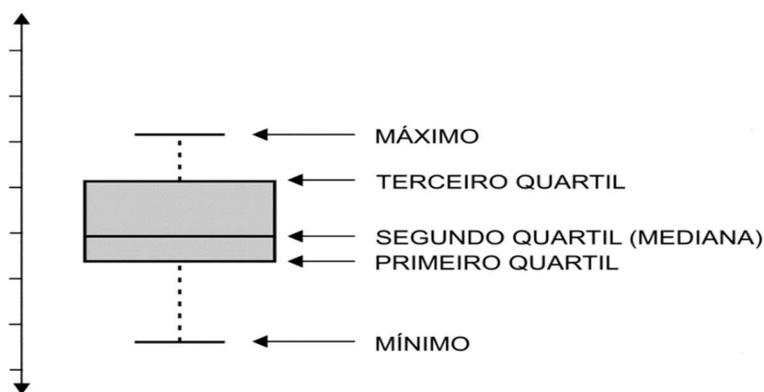


Figura 2. Ilustração esquemática do diagrama BoxPlot.

3.5. T de Student

O teste t (de Student) foi desenvolvido por Willian Sealy Gosset em 1908 que usou o pseudônimo “Student” em função da confidencialidade requerida por seu empregador (cervejaria Guinness) que considerava o uso de estatística na manutenção da qualidade como uma vantagem competitiva. O teste t de Student tem diversas variações de aplicação, mas sempre há a limitação do mesmo ser usado na comparação de duas (e somente duas) médias e as variações dizem respeito às hipóteses que são testadas.

É um teste de hipótese que usa conceitos estatísticos para rejeitar ou não uma hipótese nula, desde que o objeto de teste siga uma distribuição t de student. A hipótese nula é sempre sugerida com base em probabilidades estatísticas de uma determinada amostra ou população, sendo que essa hipótese sempre confronta tais propriedades e através das informações obtidas, podemos dizer se uma hipótese nula é verdadeira ou não, sendo capaz de aceita-la ou rejeitá-la.

A distribuição t é uma distribuição de probabilidade teórica, é simétrica a curva normal padrão, porém com caudas mais largas, ou seja, ao criar uma simulação da t de student, pode-se gerar valores mais extremos que uma simulação da normal. O único parâmetro que define e caracteriza sua forma é o número conhecido como graus de liberdade, quanto maior for esse parâmetro, mais próxima da normal ela será.

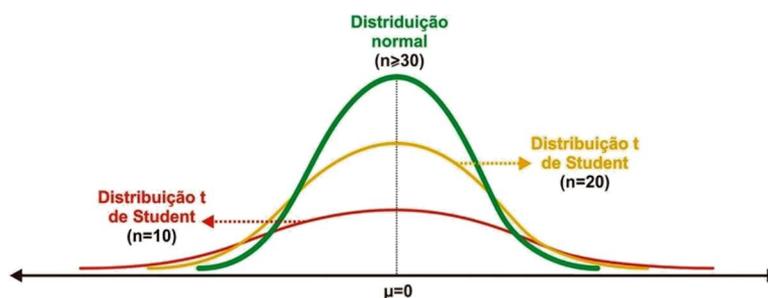


Figura 3. Representação gráfica da distribuição T de student.

O teste de significância T de Student, foi aplicado com os consecutivos valores do parâmetro

Foi aplicado o teste de significância t, de Student, com os seguintes valores do parâmetro t:

$$t = \frac{r \sqrt{N - 2}}{\sqrt{1 - r^2}} \quad (5)$$

Em que N é o número de meses dos dados. A partir da equação (5) foi extraído o coeficiente de correlação crítico (rc), na qual é um valor para aceitar ou não a hipótese estatística.

$$rc = \sqrt{\frac{t^2}{(N - 2) + t^2}} \quad (6)$$

Para a correlação, N = 12, ou seja, N - 2 = 10, que representa o grau de liberdade. Desta forma os valores correspondentes de t e rc são:

- para 99 % de significância, ou seja, com erro de 1% ($\alpha = 0,01$), t = 2,76; rc = 0,66;
- para 95 % de significância, ou seja, com erro de 5% ($\alpha = 0,05$), t = 1,81; rc = 0,50;

Desta forma os coeficientes de correlação com 10 graus de liberdade a significância estatística de que realmente há correlação entre as variáveis é de 99 % para r igual ou superior a 0,66; e assim sucessivamente para os restantes níveis de significância.

O método baseia-se em rejeitar ou não a hipótese nula (H0) na qual não satisfaz, aderindo um nível de significância (α) e (H1) onde a hipótese é satisfatória quando $rc > r$. Podendo ser interpretado pelo grau de significância quando a probabilidade de cometer o erro H0 for verdadeira.

4- RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 4 e 5 representam os fluxos meridional e zonal (média mensal) (kg/m.s), respectivamente, integrados verticalmente entre os meridianos de 70° W a 45° W, referente ao período de 1988 a 2017, nas latitudes de 15°, 20° e 25° S. Ressalta-se que o fluxo meridional de vapor d'água corresponde ao transporte de norte para sul (valores negativos) e o fluxo zonal de vapor d'água corresponde ao transporte de leste para oeste (valores positivos). As médias obtidas em cada mês são expressas em função da latitude, na qual teve como objetivo principal analisar o comportamento desses fluxos ao longo dos anos. O fluxo de vapor d'água atmosférico decresce com a altura, desta forma, as maiores concentrações encontra-se nos baixos níveis da atmosfera.

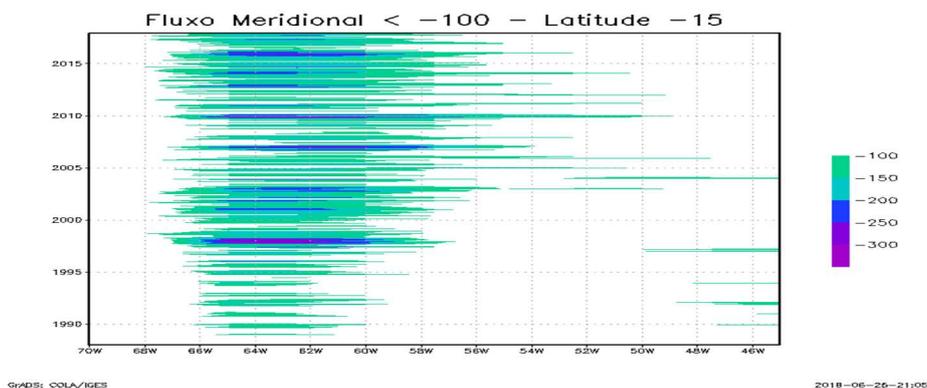
Na Figura 4(a) em 15°S observa-se, entre 66° W e 58° W, uma forte incidência do fluxo meridional de vapor d'água de norte nessa faixa de latitude. Já na Figura 4(b) em 20°S, a incidência do fluxo meridional mais intenso se dá entre 52° W e 58° W, apresentando valores bem representativos em ambas figuras chegando em torno de -250 a -300 kg/m.s. Por outro lado, na Figura 4(c) em 25°S, pode-se destacar uma pequena incidência desse fluxo nas faixas entre 60° W a 52° W, apontando valores inferiores a -250 kg/m.s quando comparada com as informações anteriores.

Com base nessas informações pode-se dizer que o comportamento médio do fluxo meridional de vapor d'água observado nas imagens (Figura 4a, b e c), submete-se a uma dinâmica padrão conduzida pela atuação dos ventos alísios que são formados pela confluência dos ventos de sudeste (hemisfério Sul) e de nordeste (hemisfério Norte) advindos do oceano Atlântico como fonte de vapor para essas regiões, o que parece ter uma influência sobre esse escoamento.

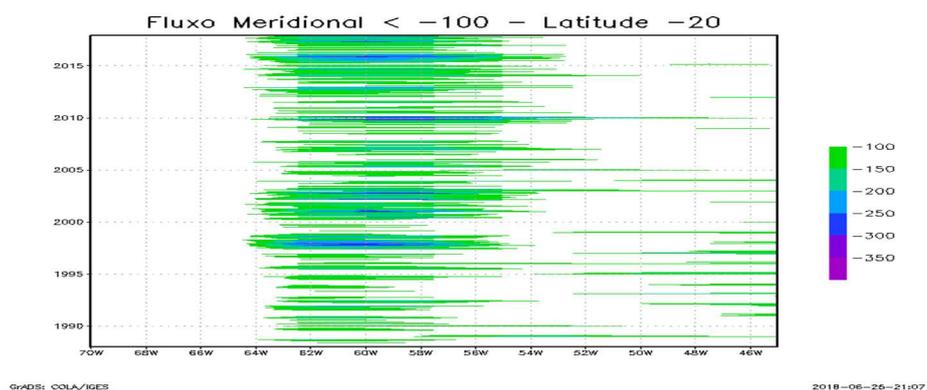
Na Figura 5(a) em 15°S, observa-se que o fluxo zonal de vapor d'água apresenta pouca incidência com valores em torno de 100 a 200 kg/m.s entre as faixas de 66° W a 60° W. Já na Figura 5(b) em 20°S, é possível verificar um escoamento mais perceptível com valores convergindo de 150 a 200 kg/m.s entre as faixas de 62° a 48° W e na Figura 5(c) em 25°S, entre as faixas de 56° a 46° W, convergindo de 200 a 250 kg/m.s ao de alguns anos.

De acordo com a climatologia dos fluxos, a componente meridional do fluxo de vapor d'água integrado verticalmente apresentou-se mais significativa no período estudado, que a componente zonal.

a)



b)



c)

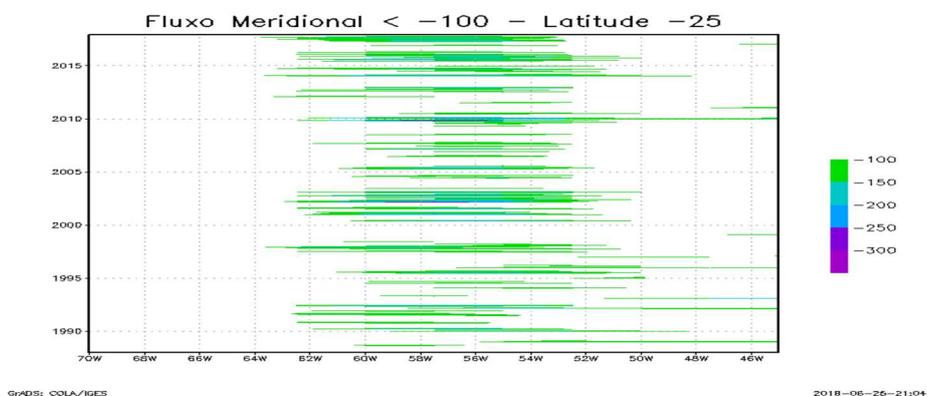
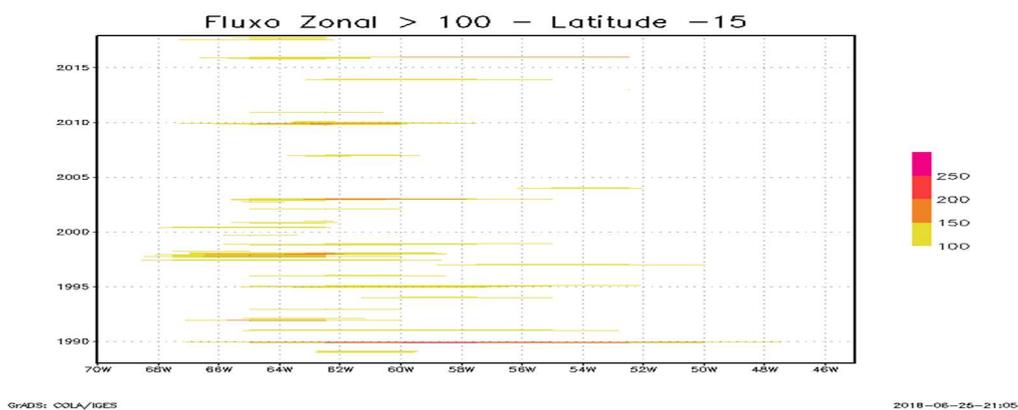
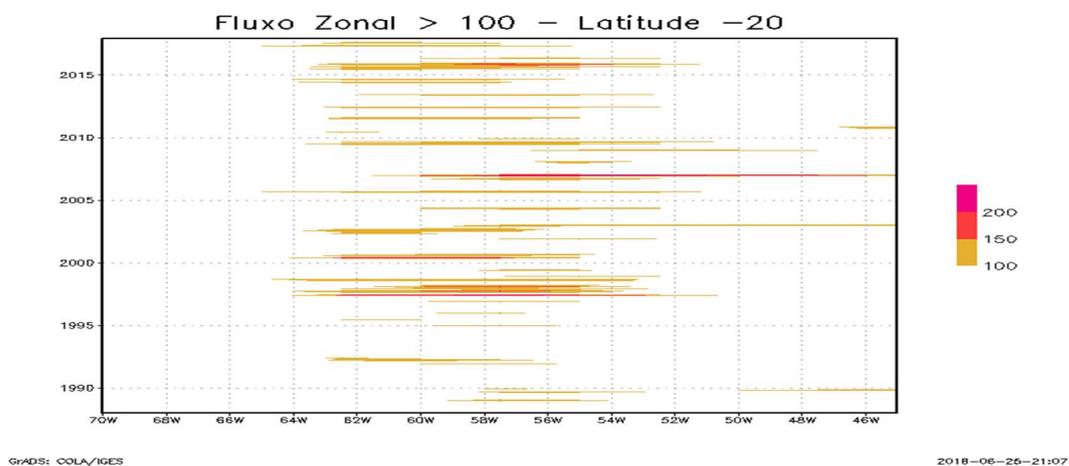


Figura 4. Fluxo Meridional (média mensal) de vapor d'água integrado verticalmente (Norte-Sul, ao longo de 70° - 45° W) menor que 100 (kg/m.s), no período de 1988 a 2017, a) Latitude de 15° S, b) Latitude de 20° S e c) Latitude de 25° S.

a)



b)



c)

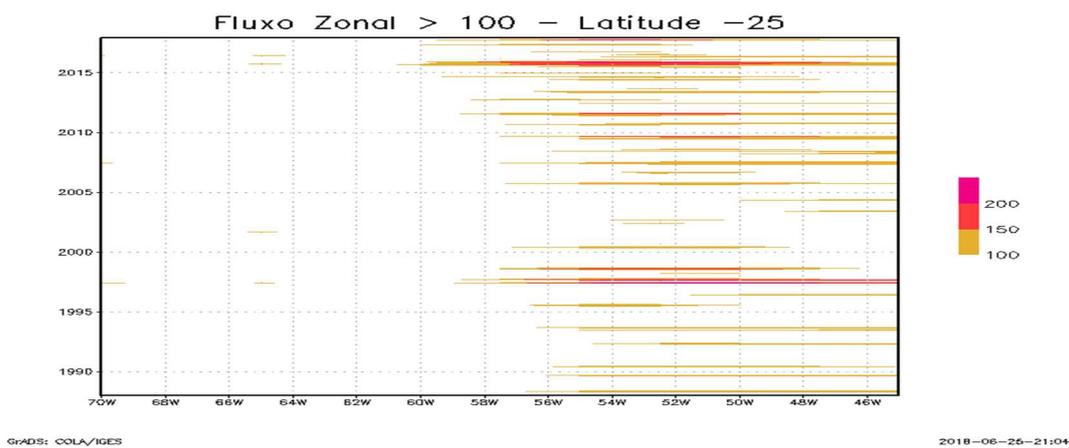
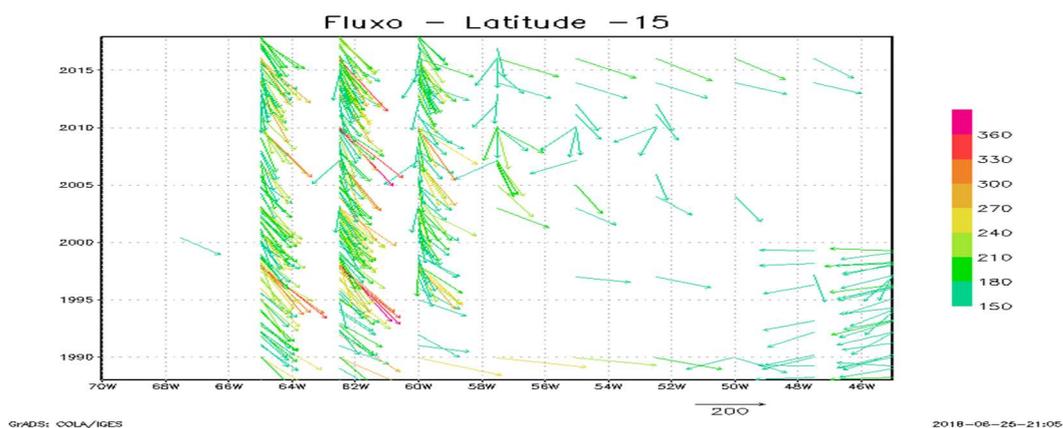


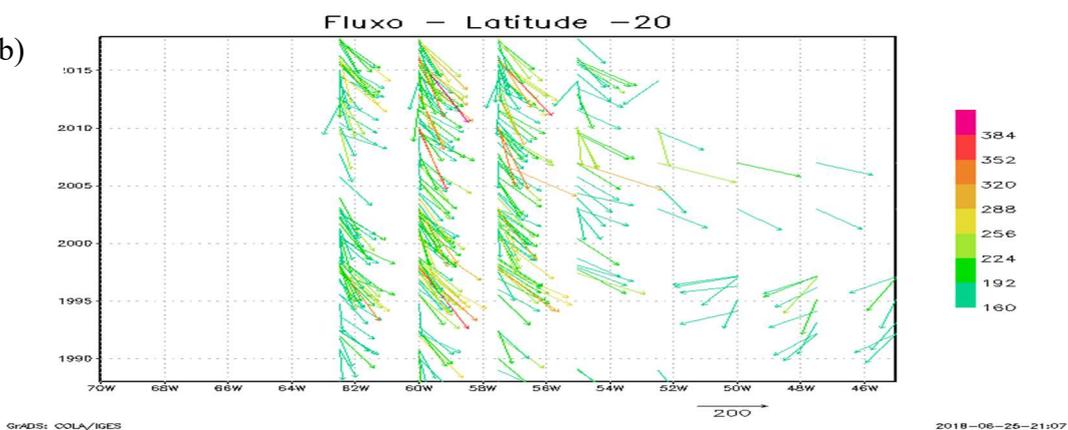
Figura 5. Fluxo Zonal (média mensal) de vapor d'água integrado verticalmente (Oeste-Leste, ao longo de 70° - 45° W) maior que 100 (kg/m.s), no período de 1988 a 2017, a) Latitude de 15° S, b) Latitude de 20° S e c) Latitude de 25° S.

A Figura 6 (a), (b) e (c), representam a composição média do fluxo zonal e meridional de vapor d'água integrado verticalmente ao longo de 70° a 45° W, referente ao período de 1988 a 2017, nas latitudes de 15°, 20° e 25° S respectivamente. Pode-se observar na região de estudo que a maioria dos ventos resultantes são de noroeste, sendo resultado dessa composição média entre os ventos de norte e os ventos de oeste, reforçando esse transporte de vapor d'água em direção ao sul e sudeste do Brasil.

a)



b)



c)

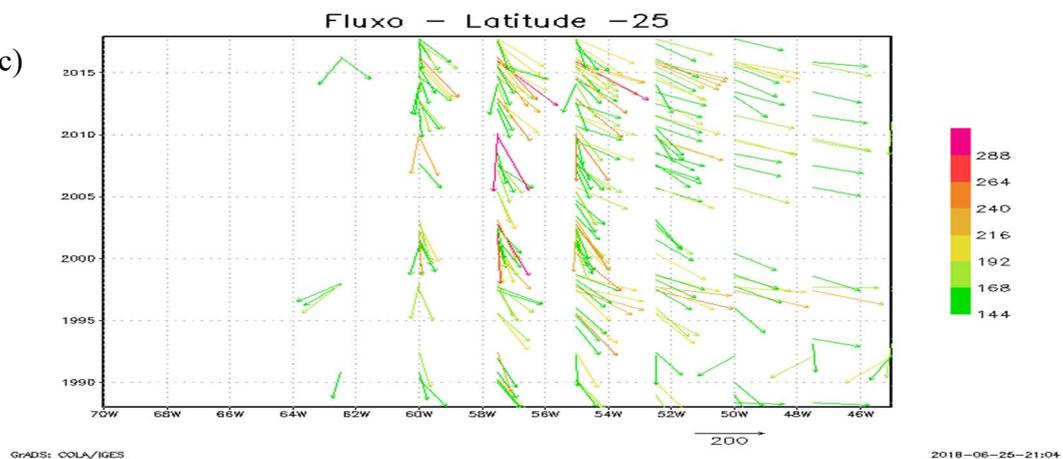


Figura 6. Fluxo de vapor d'água (kg/m.s) integrado verticalmente ao longo de 70° - 45° W, (composição do Fluxo zonal e meridional) no período de 1988 a 2017, a) Latitude de 15° S, b) Latitude de 20° S e c) Latitude de 25° S.

A Figura 7 corresponde as séries temporais dos fluxos zonal e meridional de vapor d'água integradas verticalmente onde foram obtidas médias em cada área: **Área 1** (-60° a 65° W e -12,5° a -17,5°S), **Área 2** (-57,5° a 62,5°W e -17,5° a -22,5°S) e **Área 3** (-52,5° a 57,5° W e -22,5° a -27,5°S), correspondentes a 15, 20 e 25° S respectivamente.

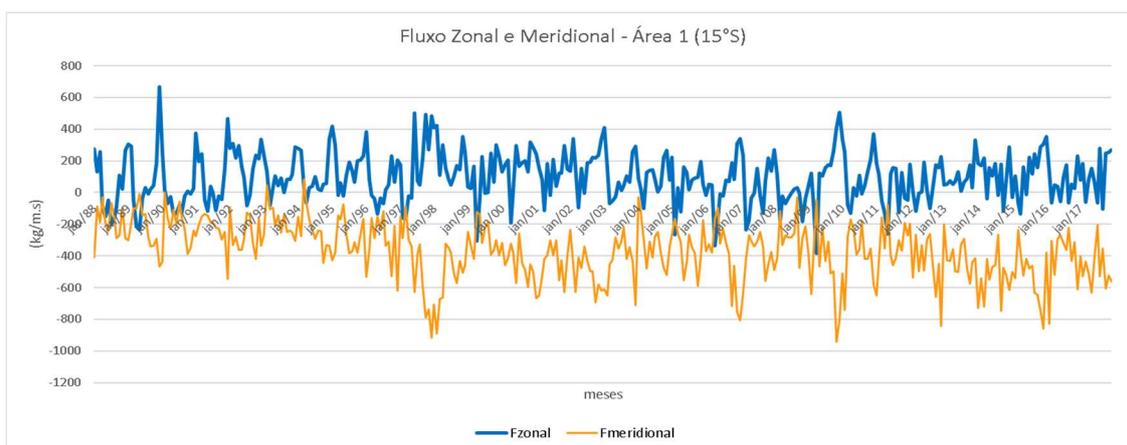
Na Figura 7(a), equivalente a área de 15°S, com enfoque na componente zonal do vapor d'água é possível destacar meses que foram mais significativos pronunciado em “picos” que podem ser facilmente identificados ao longo da série. Dentre estes meses, dezembro de 1989, junho de 1997 e dezembro de 2009, foram os meses que destacaram-se apresentando valores em torno de 660 kg/m.s, 500 kg/m.s e 504 kg/m.s na devida ordem. E o fluxo meridional de vapor d'água com valores bem evidenciados nos meses de dezembro de 97, -916 kg/m.s e novembro de 2009, -940 kg/m.s.

Na Figura 7(b), condizente a área de 20° S, analisando o fluxo zonal pode-se observar dois meses com valores bem expressivos ocorrido em junho de 1997 em torno de 600kg/m.s e o mês de junho de 2000 atingindo um valor de 500 kg/m.s. Por outro lado, o fluxo meridional do vapor d'água foram nos meses de dezembro de 1997, com valor bem significativo em torno de -1046 kg/m.s e o mês de novembro de 2009, atingindo -1063 kg/m.s.

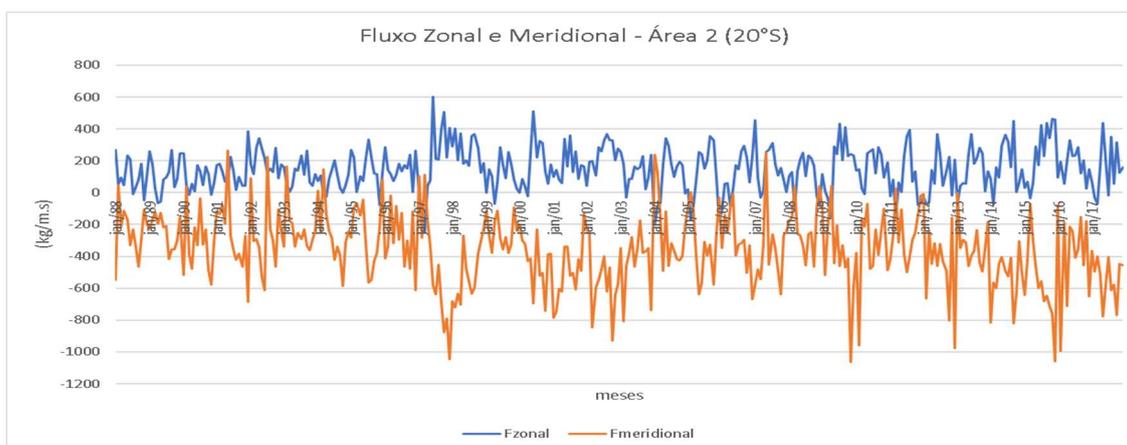
Na Figura 7(c), equivalente a área de 25°S, observando primeiramente o fluxo zonal os meses que tiveram realce foram junho de 1997 com valor por volta de 655 kg/m.s e novembro de 2015, com valor em torno de 599 kg/m.s.

De modo geral Quando o fluxo zonal é mais intenso para leste e o fluxo meridional é mais intenso para sul. O fluxo meridional integrado verticalmente é preferencialmente de norte para sul nas três áreas estudadas

a)



b)



c)

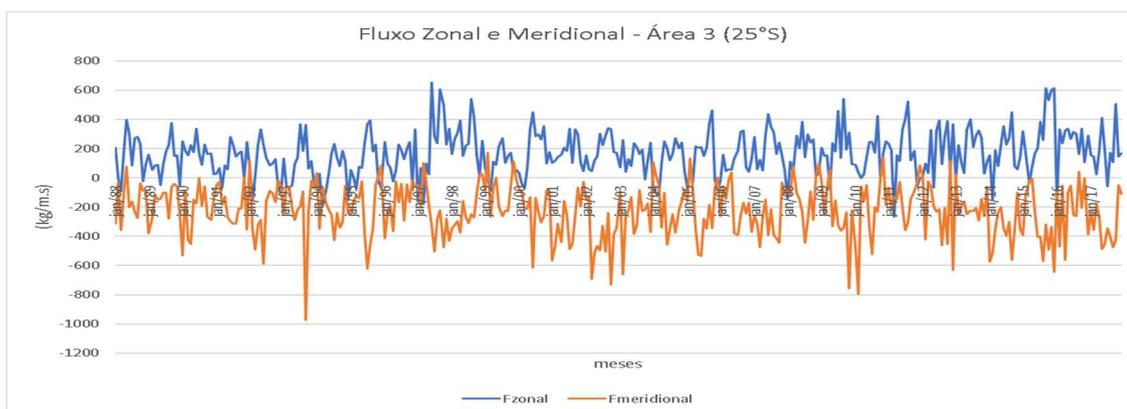


Figura 7. Séries temporais mensais do Fluxos Zonal e Meridional de vapor d'água (kg/m.s) integrado verticalmente no período de 1988 a 2017, a) Média na área 1 ($-60,0^{\circ}$ a $-65,0^{\circ}$ W e $-12,5^{\circ}$ a $-17,5^{\circ}$ S), b) Média na área 2 ($-57,5^{\circ}$ a $62,5^{\circ}$ W $-17,5^{\circ}$ a $-22,5^{\circ}$ S) e c) Média na área 3 ($-52,5^{\circ}$ a $57,5^{\circ}$ W e $-22,5^{\circ}$ a $-27,5^{\circ}$ S).

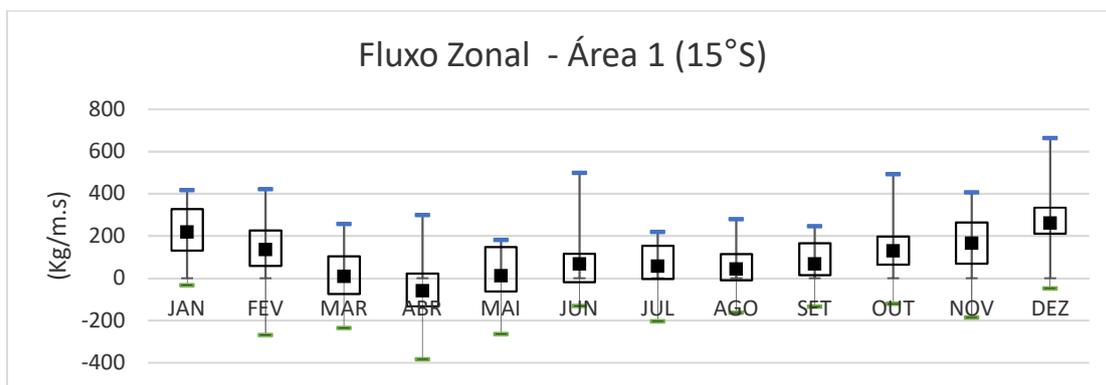
A Figura 8 representa a variabilidade sazonal do fluxo zonal de vapor d'água integrado verticalmente nas latitudes de 15° S, 20° S e 25° S.

É possível observar a variabilidade sazonal ao longo do ano do fluxo zonal de vapor d'água integrado verticalmente. Na área 1 (15° S), apresentando mínimo no mês de março, abril e maio e seu máximo no verão entre os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, em torno de 600 kg/m.s. Na área 2 (20° S), os valores máximo se localizam no trimestre de outubro, novembro e dezembro, com valores em torno de 500 kg/m.s e seu mínimo nos meses de janeiro, fevereiro e março com valores em torno de -200 kg/m.s. Na área 3 (25°S), seus máximos se encontram no inverno (junho, julho e agosto) apresentando valores em torno de 600 kg/ m.s e seu mínimo no verão (dezembro, janeiro e fevereiro) com valores por volta de -150 kg/m.s.

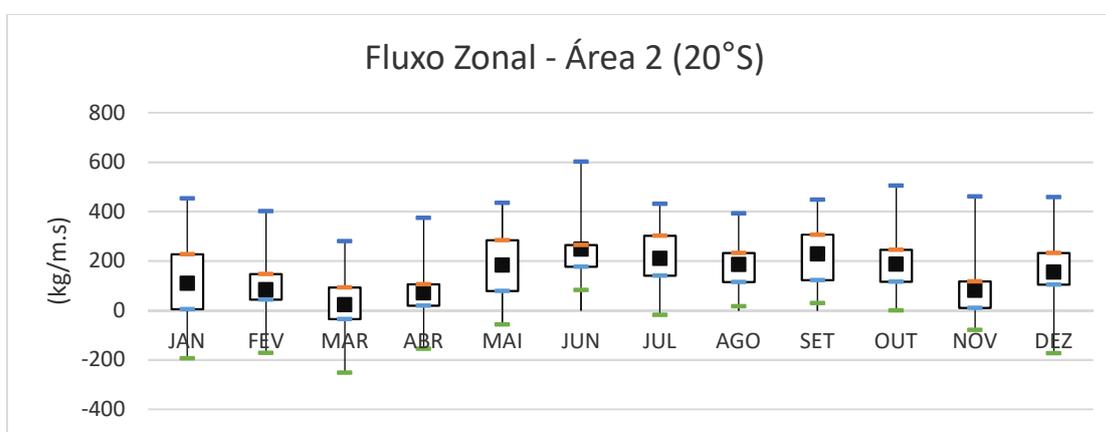
A Figura 9 corresponde a variabilidade do fluxo meridional do vapor d'água integrado verticalmente nas latitudes de 15° S, 20° S e 25° S.

De modo geral a variabilidade sazonal do fluxo meridional de vapor d'água nas áreas 1 e 2 (15° S e 20° S) estudadas apresentam seus máximos nos meses de verão (dezembro, janeiro e fevereiro) com valores de aproximadamente -100 kg/m.s e seus mínimo nos meses de inverno (junho, julho e agosto) com valores em torno de - 900 kg/m.s. Nota-se que na área 3 (25° S), a variabilidade do fluxo meridional apresenta seu máximo durante o verão abrangendo os meses de outubro, novembro e dezembro, com valores em torno de -700 kg/m.s e seu mínimo no inverno (junho, julho e agosto) com valores de aproximadamente -590 kg/m.s.

a)



b)



c)

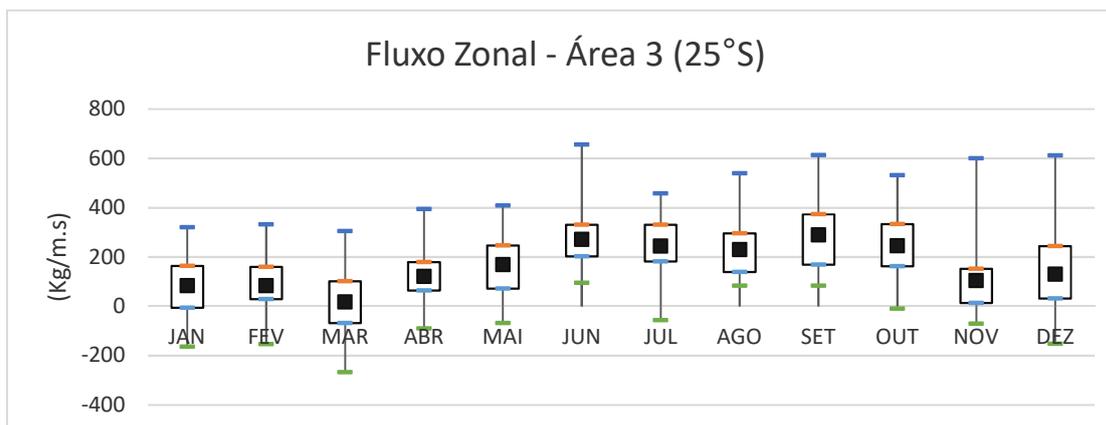
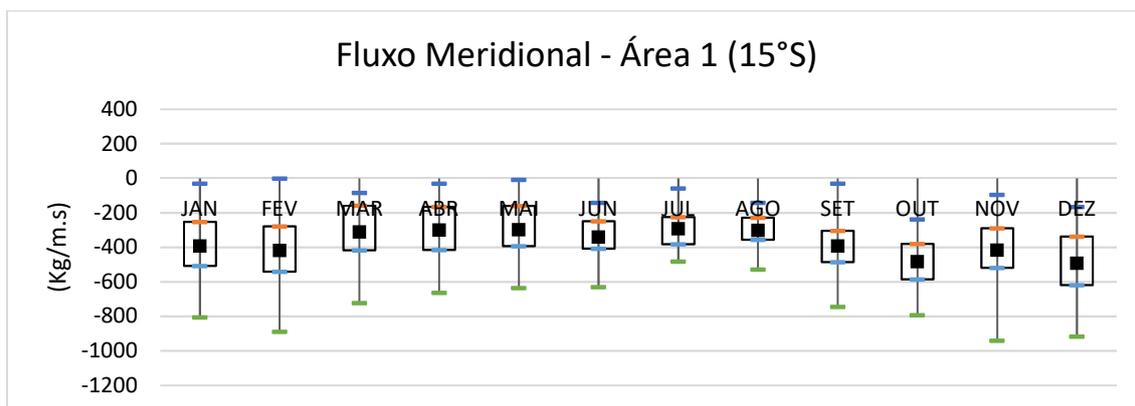
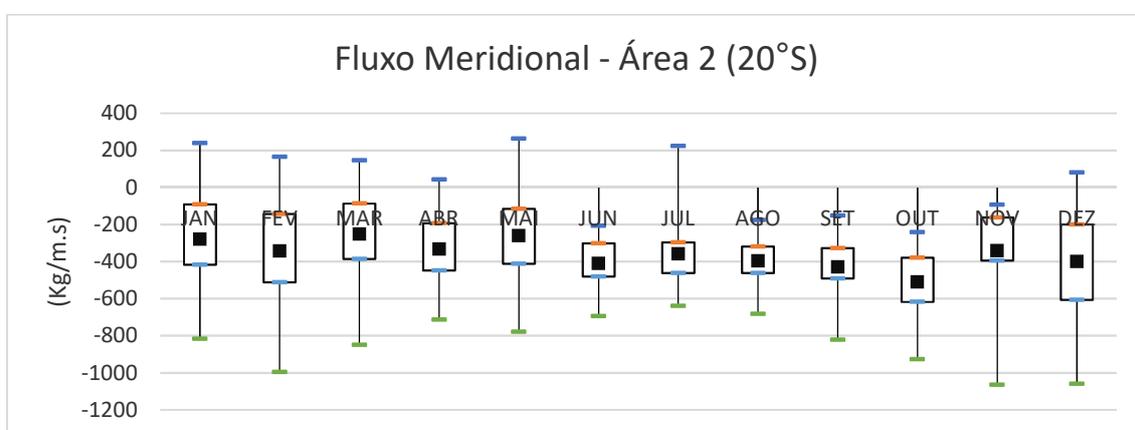


Figura 8. Diagrama boxplot da variabilidade sazonal do fluxo zonal (média mensal) de vapor d'água integrado verticalmente, no período de 1988 a 2017, na latitude de 15° S (a), 20° S (b) e 25° S (c).

a)



b)



c)

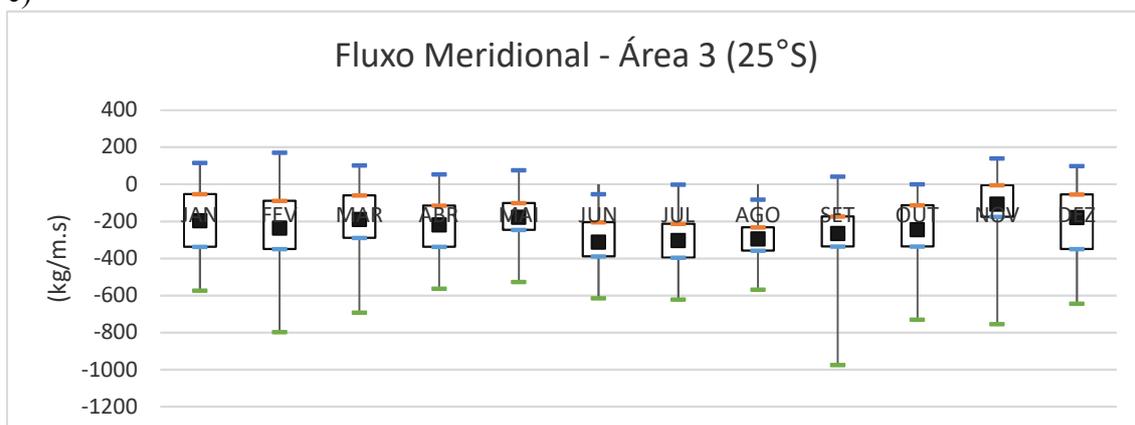


Figura 9. Diagrama boxplot da variabilidade sazonal do fluxo meridional (média mensal) de vapor d'água integrado verticalmente, no período de 1988 a 2017, na latitude de 15° S (a), 20° S (b) e 25° S (c).

Na figura 10, temos os gráficos com os diagramas de Hovmoller do fluxo zonal nas latitudes de 15°S, 20°S e 25°S respectivamente.

Observa-se que a variação interanual do fluxo zonal do vento na área 1 (15° S), apresenta valores positivos correspondente aos ventos de leste para oeste no verão, destacando alguns anos que foram bastante significativos dentre estes os anos de 1989, 1997, 1998, 2009, 2015 e 2016 e valores negativos nos meses de inverno. Já na área 2 (20° S), os valores positivos se encontram nos meses de inverno. Os anos mais significativos foram 1997, 1998, 2009, 2015 e 2016 e apresentando valores negativos nos meses de verão.

Na área 3 (25° S), os valores positivos do fluxo zonal se localizam nos meses de inverno e os anos que mais representam esse fluxo são os anos de 1997, 1998, 2002, 2003, 2015 e 2016. A variação interanual mostra a evolução da componente zonal dos ventos de oeste para leste ao longo dos anos.

Na figura 11, temos os gráficos com os diagramas de Hovmoller do fluxo meridional e meridional das latitudes de 15°S, 20°S e 25°S respectivamente.

É possível a variação interanual do fluxo meridional do vento na área 1 (15° S), apresenta valores negativos equivalente aos ventos de norte para sul no verão, destacando os anos que foram bastantes significativos dentre estes são os anos de 1997, 1998, 2009, 2015 e 2016. Na área 2 (20° S), nota-se que os valores negativos se encontram nos meses de verão e os anos intensos foram 1997, 1998, 1999, 2002, 2003, 2014, 2015 e 2016.

Já na área 3 (25° S), os valores negativos se encontram nos meses de inverno, os anos que foram mais intensos foram 1997, 1998, 2002, 2003, 2009 e 2010, com valores positivos nos meses de verão.

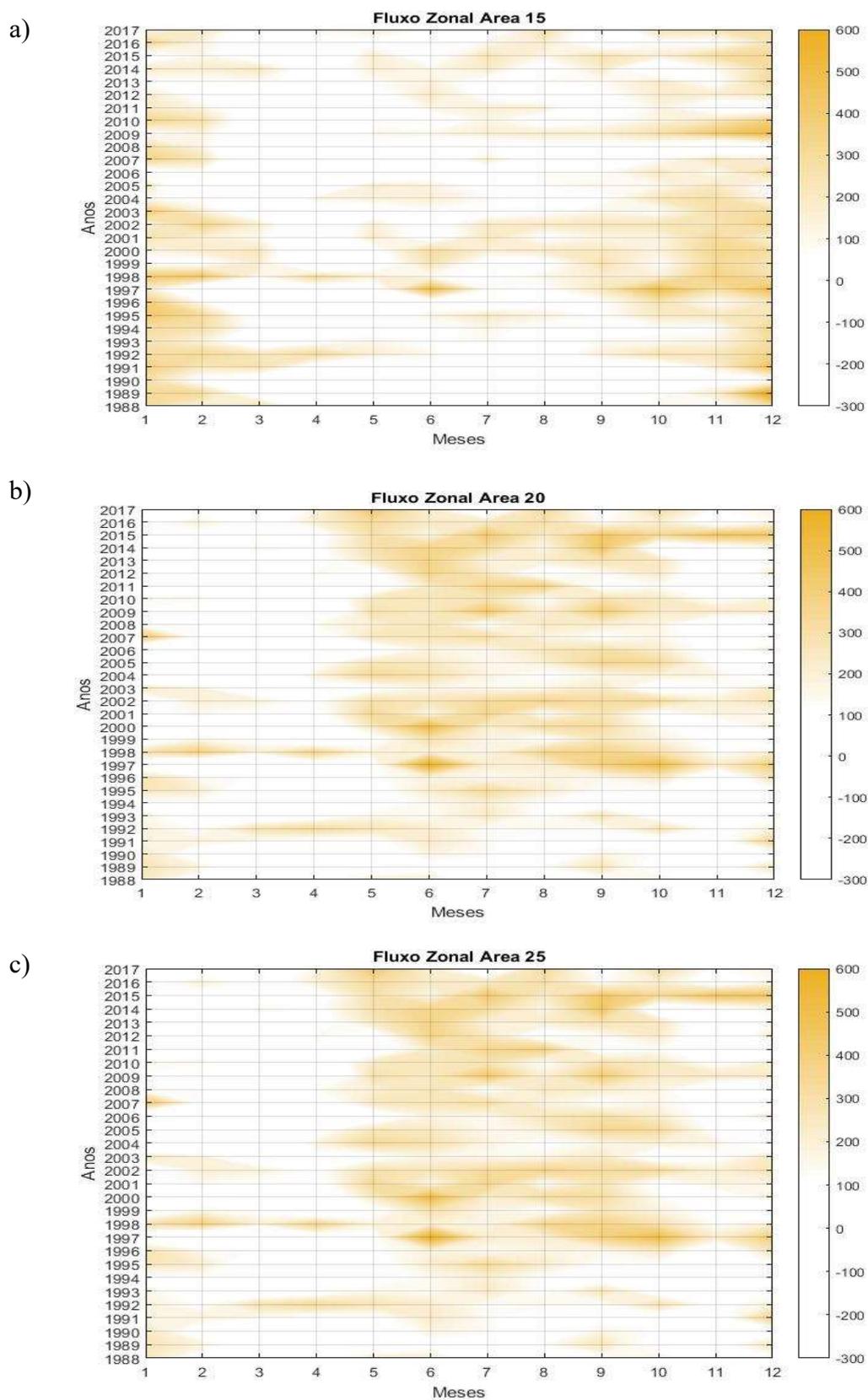


Figura 10. Diagrama de Hovmoller da componente zonal do vento (kg/m.s) no período de 1988 a 2017, a) Latitude de 15° S, b) Latitude de 20° S e c) Latitude de 25° S respectivamente.

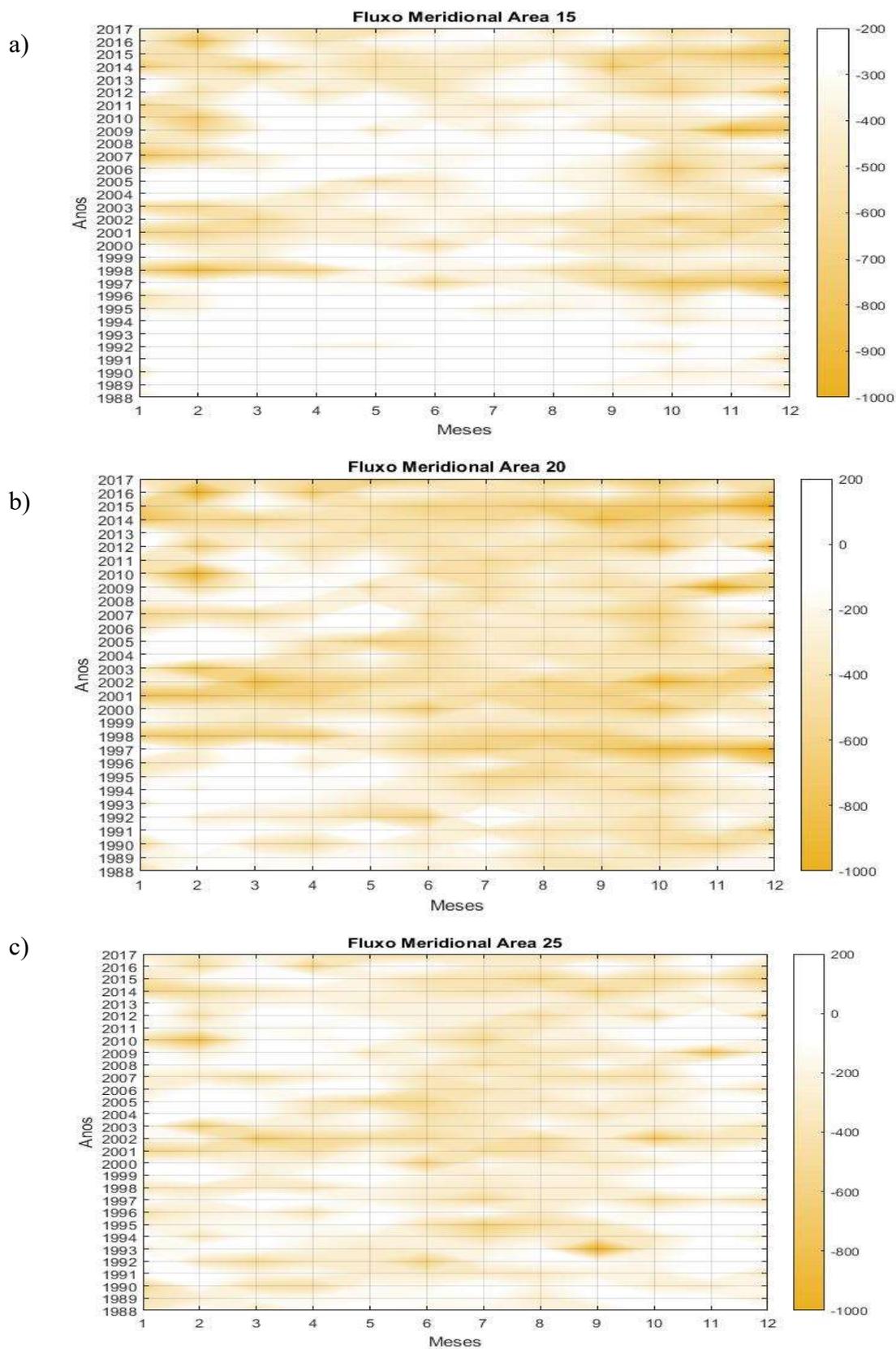


Figura 11. Diagrama de Hovmoller da componente meridional do vento (kg/m.s) no período de 1988 a 2017, a) Latitude de 15° S, b) Latitude de 20° S e c) Latitude de 25° S respectivamente.

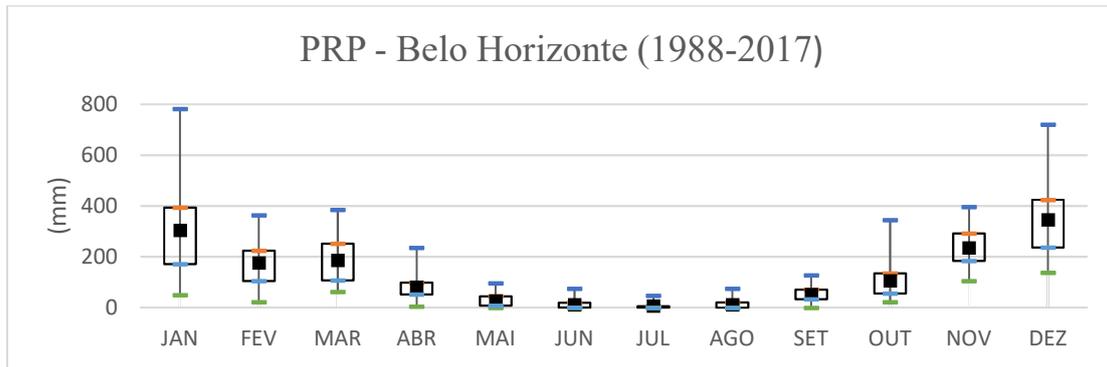
A Figura 12 foi obtida através das médias de precipitação mensais (mm) obtidas em cada estação de monitoramento com o objetivo de avaliar o comportamento espacial das variáveis de estudo, na qual pode-se identificar visualmente um comportamento climatológico próximo da normalidade nas 4 localidades dentre estas, Belo Horizonte, Curitiba, Porto Alegre e São Paulo.

É possível perceber a influência da sazonalidade ao longo do ano caracterizando os períodos de abril a outubro como seco e novembro a março como chuvoso na cidade de Belo Horizonte Figura 12(a). Chove ao longo do ano inteiro em Curitiba, Figura 12(b), o máximo de precipitação ocorre durante os meses de setembro a março e o mínimo de precipitação ocorre por volta de abril. Existe uma pluviosidade significativa ao longo do ano em Curitiba. Mesmo o mês mais seco ainda assim tem muita pluviosidade.

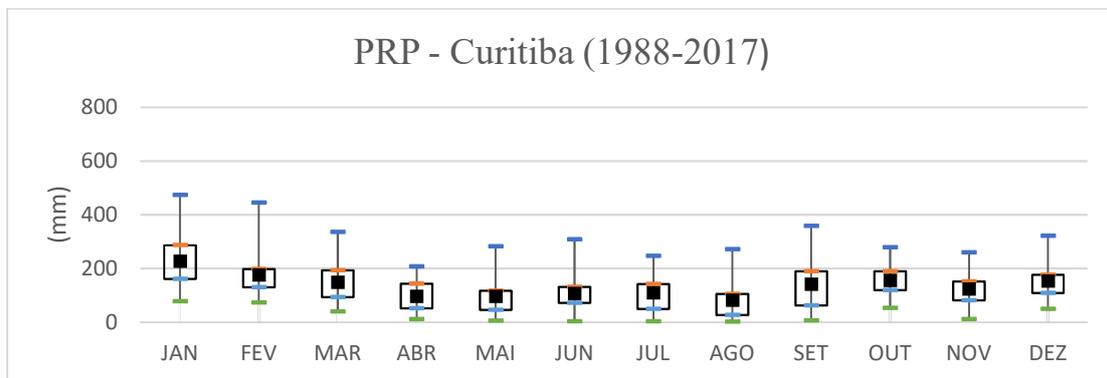
Na Figura 12(c), Porto Alegre tem variação sazonal significativa na precipitação mensal ao longo do ano, entre os meses de julho a novembro são considerados os meses mais chuvosos e o período menos chuvoso está compreendido entre os meses de dezembro a maio.

Na Figura 12(d), a cidade de São Paulo apresenta uma alta pluviosidade de precipitação nos meses: janeiro, fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro. Os meses abril, maio, junho, julho, agosto e setembro são aqueles com menores valores de precipitação pluvial. O regime de precipitação da cidade de São Paulo e Belo Horizonte são bastante semelhantes obedecendo um comportamento médio padrão da precipitação pluvial.

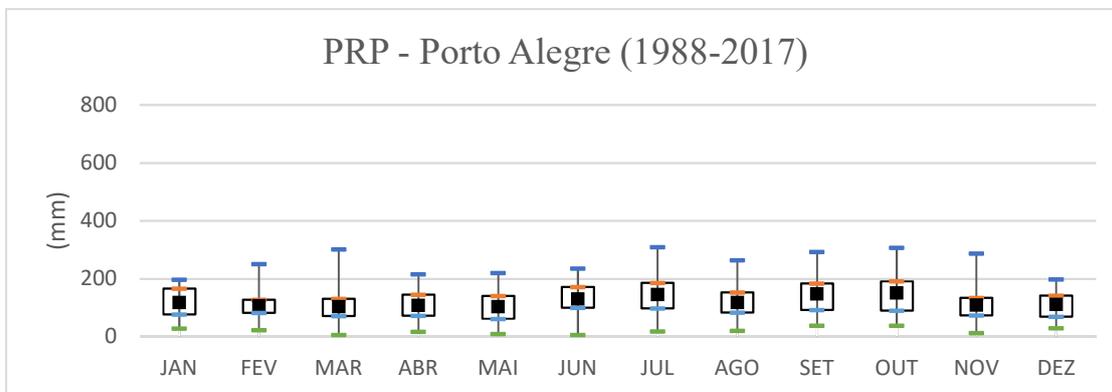
a)



b)



c)



d)

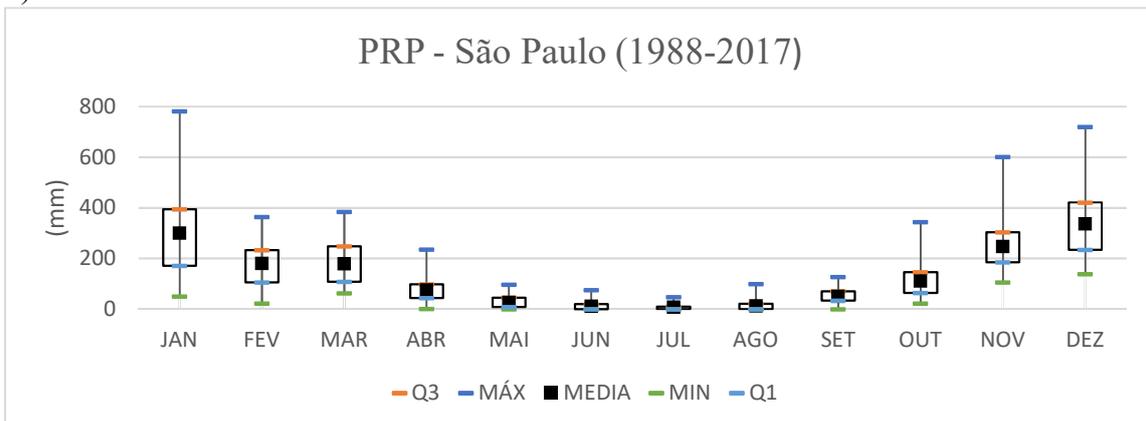


Figura 12. Diagrama boxplot da média mensal de precipitação pluvial (mm) para 4 cidade do sul e sudeste do Brasil (1988 a 2017): Belo Horizonte, Curitiba, Porto Alegre e São Paulo.

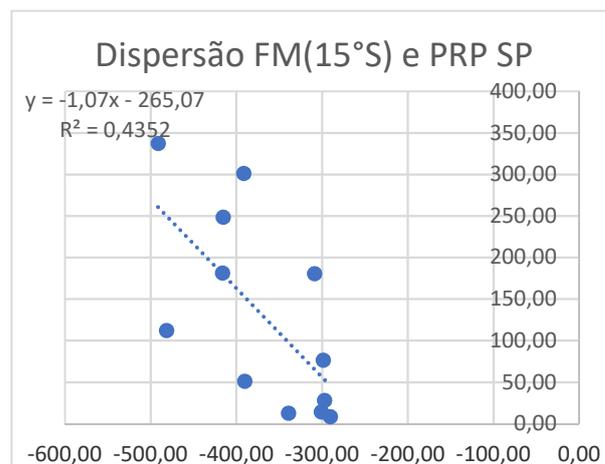
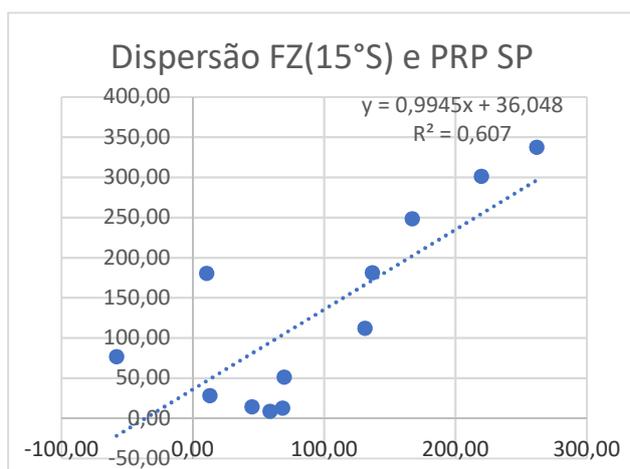
As Figuras 13, 14, 15 e 16, representam a correlação entre o fluxo zonal e meridional com a precipitação pluvial da cidade de São Paulo, Belo Horizonte, Curitiba e Porto Alegre no período de 1988 a 2017, a) Latitude de 15° S, b) Latitude de 20° S e c) Latitude de 25° S, respectivamente.

As correlações significam se haverá (contribuição positiva) ou não (contribuição negativa) do vapor d'água para as cidades do sul e sudeste escolhidas. O comportamento esperado dos fluxos tanto zonal quanto meridional é que apresentem uma correlação positiva, demonstrando suas contribuições do vapor d'água e conseqüentemente a contribuição no regime de precipitação destas cidades, ou seja, quanto mais intenso o fluxo meridional (ventos de norte para sul), maior será a ocorrência de precipitação. Desta forma, as correlações negativas serão descartadas da análise, pois não haverá contribuição do vapor d'água na precipitação destas cidades.

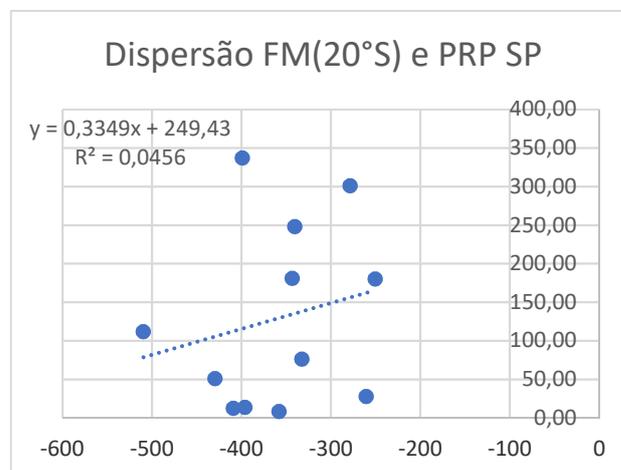
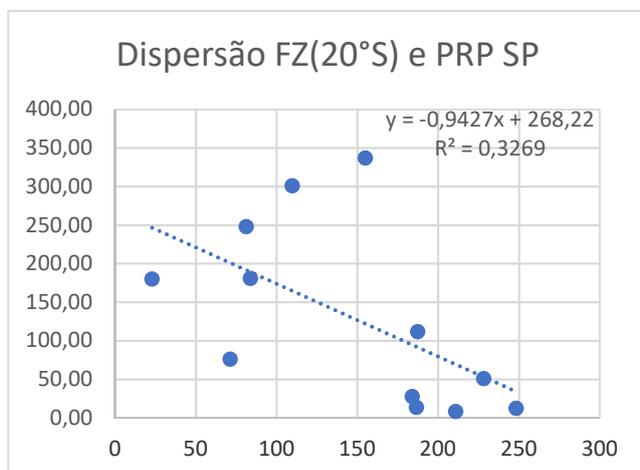
Observou-se que dentre as 3 áreas (15° S, 20 ° S e 25° S) estudadas a área que apresentou uma correlação positiva, ou seja, contribuição do vapor d'água para a precipitação pluvial tanto do fluxo zonal quanto o fluxo meridional para a cidade de São Paulo, foi a área 1 (15° S). Já para a cidade de Belo Horizonte e Curitiba a área que apresentou correlação positiva em ambas cidades foram os fluxos zonal e meridional referindo-se a área 1 (15° S). Já a cidade de Porto Alegre teve correlação positiva das áreas 2 e 3 (20 ° S e 25° S). Quanto mais intenso o fluxo meridional (ventos de norte para sul), maior será a contribuição de vapor d'água para precipitação pluvial em uma dada localidade.

Observou-se que, os fluxos zonal e meridional em relação a precipitação das cidades, tiveram uma correlação positiva dependendo de sua área. A exemplo da cidade de Porto Alegre que conteve contribuição de vapor d'água na precipitação somente das áreas 2 e 3, pelo fato da cidade se localizar mais ao sul. Já as cidades de São Paulo, Belo Horizonte e Curitiba mostram que as áreas 1 e 2 que apresentaram correlação positiva, desta forma verificando-se a contribuição do vapor d'água na precipitação das mesmas.

a)



b)



c)

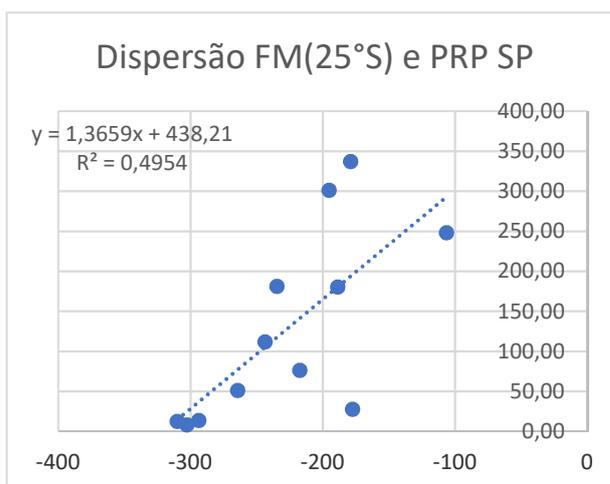
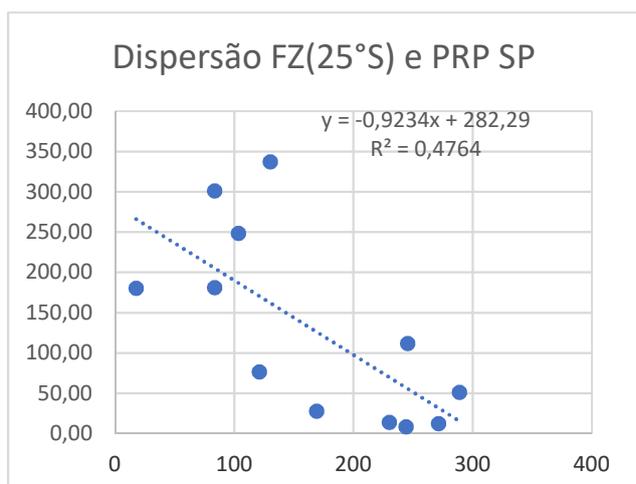
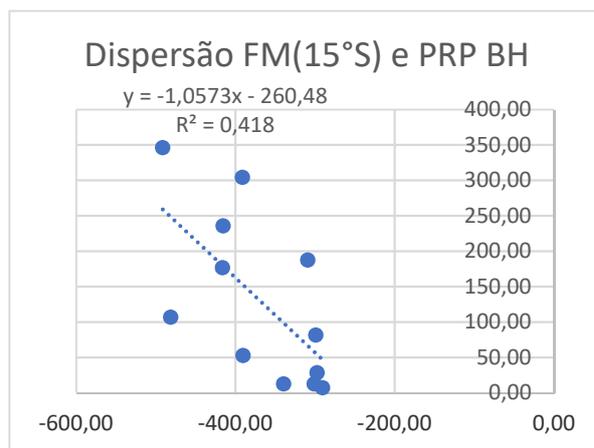
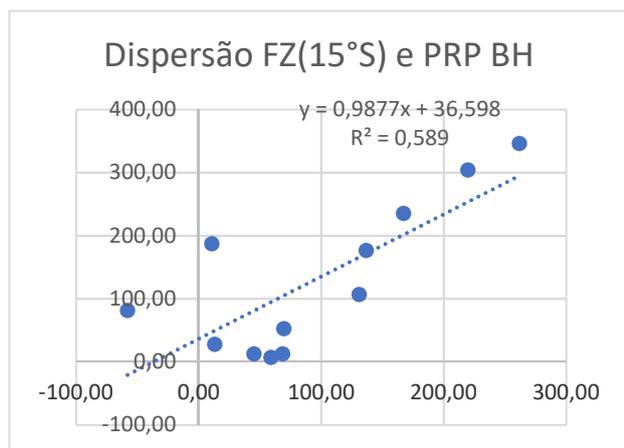
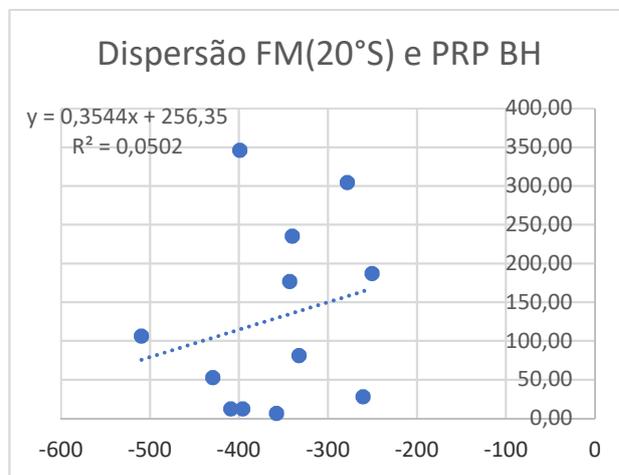
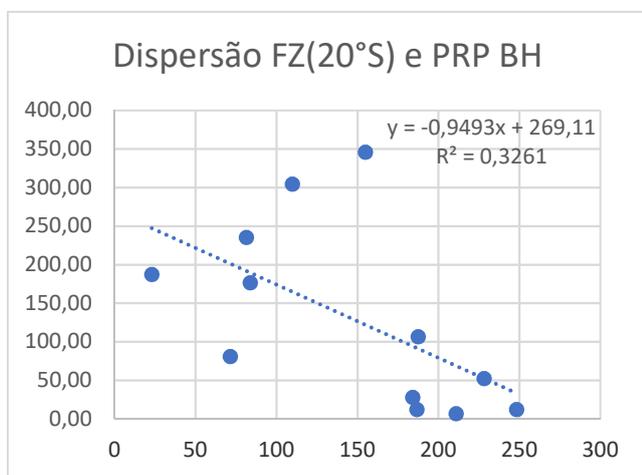


Figura 13. Diagrama de correlação entre o fluxo zonal e meridional de vapor d'água integrado verticalmente com precipitação pluvial da cidade de São Paulo no período de 1988 a 2017, a) Latitude de 15° S, b) Latitude de 20° S e c) Latitude de 25° S.

a)



b)



c)

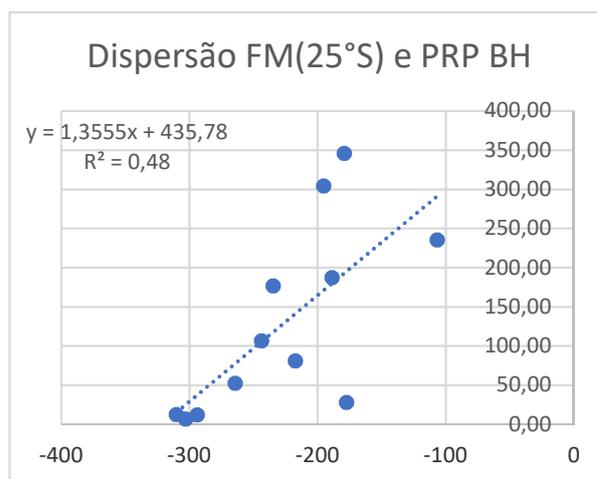
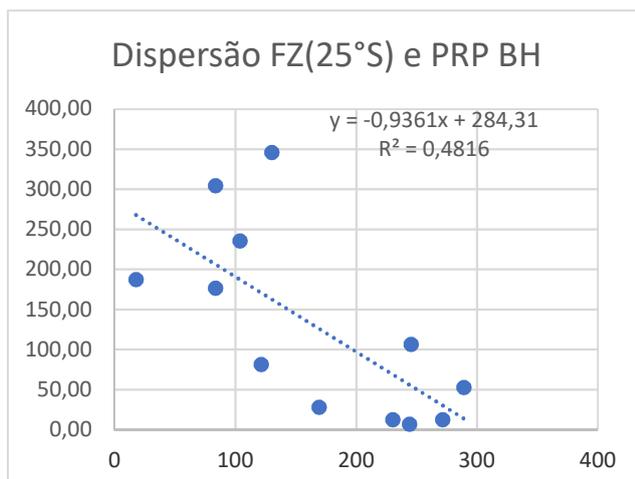
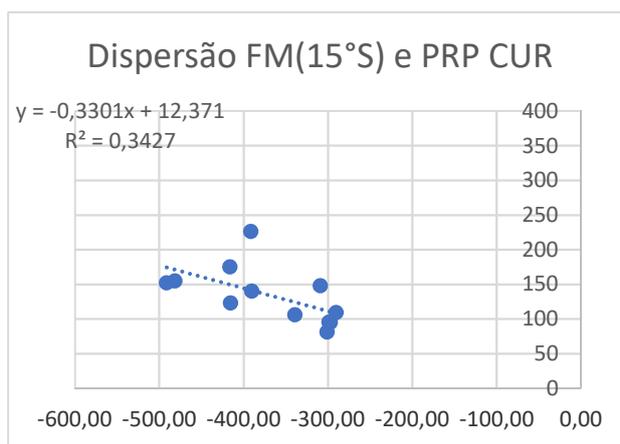
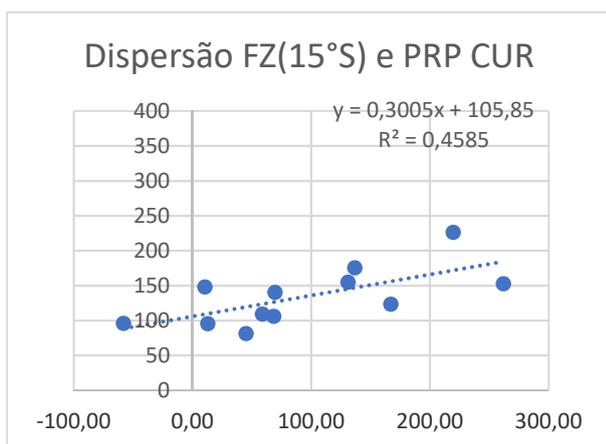
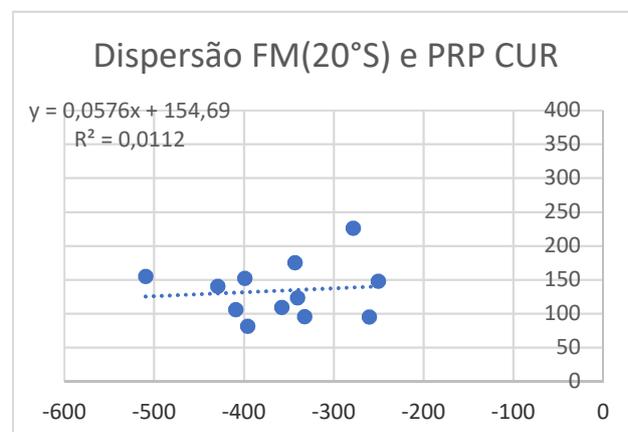
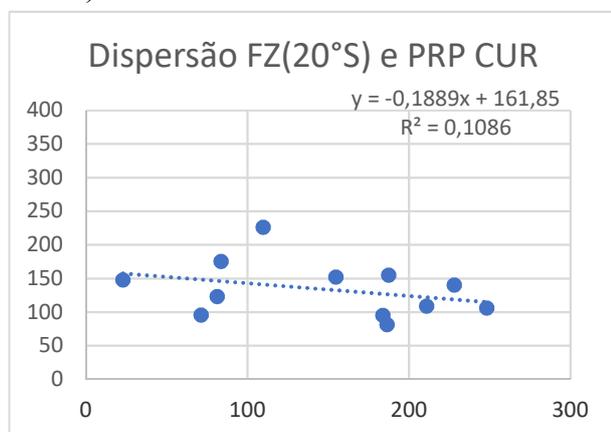


Figura 14. Diagrama de correlação entre o fluxo zonal e meridional de vapor d'água integrado verticalmente com precipitação pluvial da cidade de Belo Horizonte no período de 1988 a 2017, a) Latitude de 15° S, b) Latitude de 20° S e c) Latitude de 25° S.

a)



b)



c)

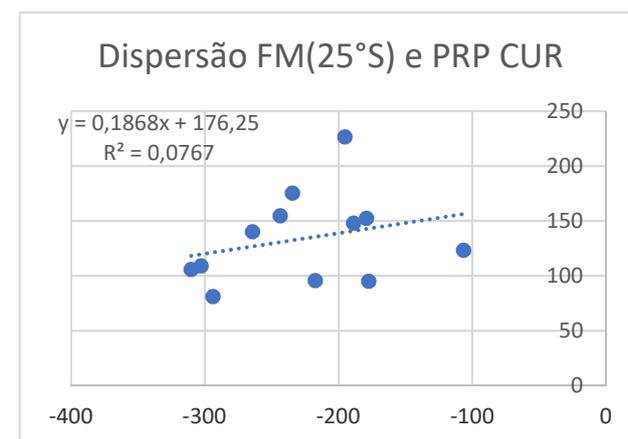
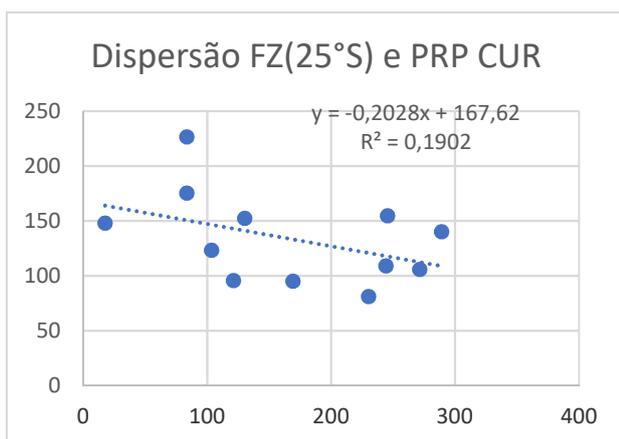
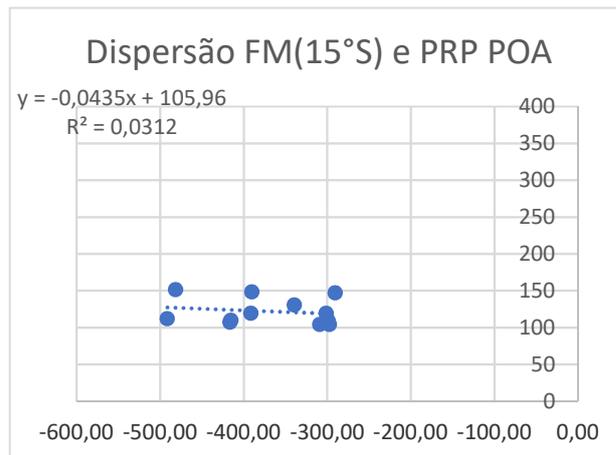
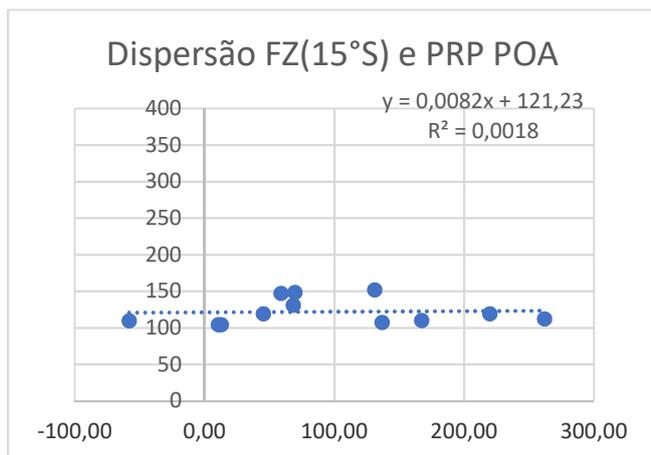
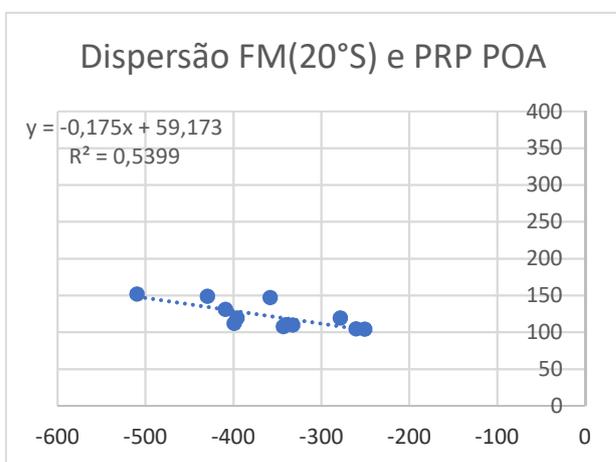
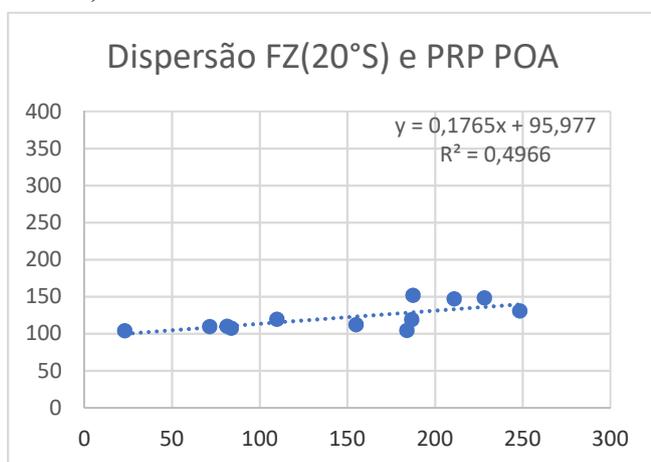


Figura 15. Diagrama de correlação entre o fluxo zonal e meridional com precipitação pluvial da cidade de Curitiba no período de 1988 a 2017, a) Latitude de 15° S, b) Latitude de 20° S e c) Latitude de 25° S.

a)



b)



c)

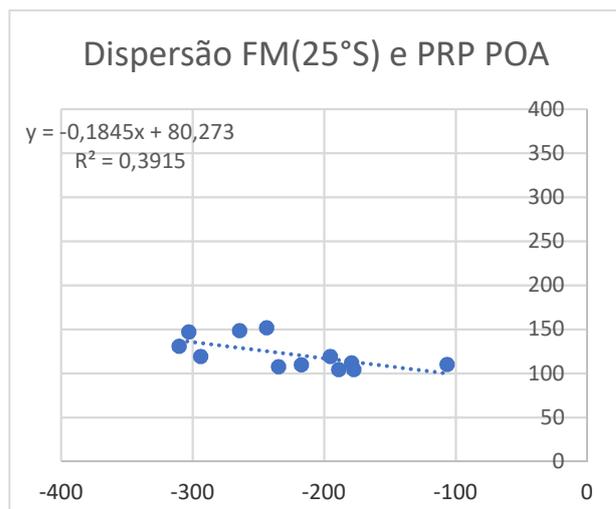
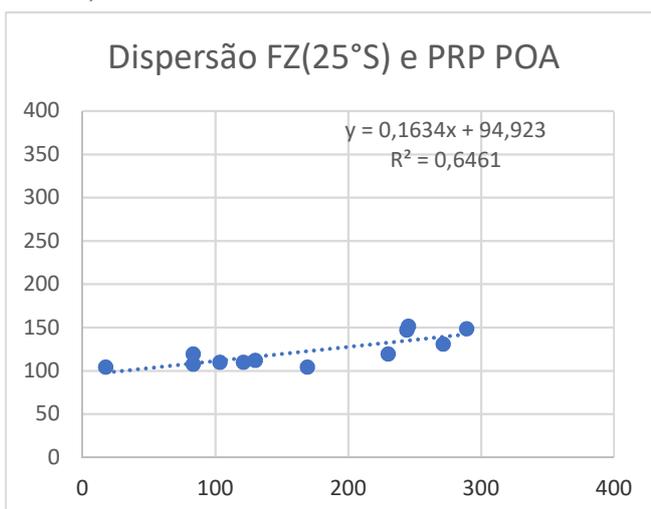


Figura 16. Diagrama de correlação entre o fluxo zonal e meridional de vapor d'água com precipitação pluvial da cidade de Porto Alegre no período de 1988 a 2017, a) Latitude de 15° S, b) Latitude de 20° S e c) Latitude de 25° S.

A Tabela 1 representa a significância estatística dos fluxos zonal e meridional de vapor d'água (kg/m.s) em função da precipitação pluvial das cidades de São Paulo, Belo Horizonte, Curitiba e Porto Alegre no período de 1988 a 2017 nas latitudes de 15°S, 20°S e 25°S.

Uma breve análise será feita para os três níveis de confiança correspondente a 99% ($\alpha=0,01$) e 95% ($\alpha=0,05$), os valores no interior da tabela representa o coeficiente significância estatística com certo nível de confiança. As áreas grifadas em vermelho representam as áreas que obtiveram uma contribuição positiva do vapor d'água na precipitação das localidades escolhidas.

O fluxo zonal em 15° S, apresentou uma boa correlação em relação a precipitação nas três primeiras cidades (SP, BH e CUR), com certo nível de confiança chegando a 99%. Já em 20° S, somente Porto Alegre mostrou-se bem representativo tanto no fluxo zonal quanto no fluxo meridional atingindo 99% de confiabilidade nesta correlação. Em 25° S, as cidades de SP e BH mostraram-se bem correlacionadas nos fluxos zonal e meridional, já Porto Alegre somente o fluxo zonal foi bem figurativo com significância estatística alcançando a 99%. O fluxo meridional em 15° S, apresentou uma significância estatística de 95% nas 3 primeiras cidades (SP, BH e CUR), fluxo zonal em 20° S para as cidades de (SP e BH) e em 25° S, com o fluxo meridional em Porto Alegre atingindo 95%.

Tabela 1. Teste de significância estatística dos fluxos zonal e meridional de vapor d'água (kg/m.s) em relação a precipitação pluvial (mm) das cidades de São Paulo, Belo Horizonte, Curitiba e Porto Alegre no período de 1988 a 2017 nas latitudes de 15°S, 20°S e 25°S. * Nível de confiança estatística a 99% ($\alpha=0,01$) e ** Nível de confiança estatística a 95% ($\alpha=0,05$);

	SP	BH	CUR	POA
FZ15	0,78*	0,77*	0,67*	0,04
FM15	0,65**	0,64**	0,56**	0,18
FZ20	-0,57**	-0,57**	-0,32	0,70*
FM20	-0,21	-0,22	-0,11	0,73*
FZ25	-0,69*	-0,69*	-0,43	0,80*
FM25	-0,70*	-0,69*	-0,28	0,63**

5- CONCLUSÕES

Nesta dissertação, foi realizado um estudo sobre o transporte de vapor d'água da Amazônia em direções as regiões do sul e sudeste do Brasil. Desta forma, os objetivos apresentados pelo estudo, algumas conclusões foram realizadas e com os resultados obtidos foi possível chegar a algumas conclusões.

Com base nos resultados obtidos acerca do transporte de vapor d'água integrado verticalmente na atmosfera e sua influência na precipitação sobre as regiões sudeste e sul do Brasil que:

1. De uma forma geral na Área 1, o fluxo meridional de vapor d'água integrado verticalmente, em que acontece o transporte de norte para o sul (valores negativos) e o fluxo zonal, em que o transporte ocorre de oeste para leste (valores positivos), foram bem correlacionados, apresentando uma contribuição positiva destes fluxos de vapor d'água na precipitação das cidades de Belo Horizonte, São Paulo e Curitiba.
2. Nas Áreas 2 e 3, a componente zonal e meridional de vapor d'água integrados verticalmente, mostraram-se uma contribuição positiva de vapor d'água na precipitação somente na cidade de Porto Alegre.
3. A variabilidade interanual do fluxo meridional de vapor d'água foi intensificando-se ao longo dos anos, apresentando uma evolução temporal.
4. A Variabilidade sazonal do fluxo meridional de vapor d'água mais intenso nas áreas 1 e 2 encontram-se entre os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, verão do hemisfério sul. Por outro lado, na área 3 alguns meses (pontuais) foram significativos nos meses de setembro, novembro e fevereiro. Na transição entre primavera e verão.

6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRAUT, J. M.; SATYAMURTY, P. Precipitation and water vapor transport in the Southern Hemisphere with Emphasis on the South American Region. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 48, p. 1902-1912, Março 2009.

BARRY, Roger G.; CHORLEY, Richard J. Atmosfera, Tempo e Clima. **Porto Alegre: Bookman**, 9.ed., 2013.

CAVALCANTI, E.P. **Teor e Transporte de Vapor d'água na Atmosfera do Nordeste do Brasil**. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Recursos Naturais, Campina Grande. 103p. 2001

CAVALCANTI, I.F.A.; FERREIRA, N.J.; JUSTI, M.G.A.; SILVA DIAS, M.A.F. (org.) Tempo e clima no Brasil. Oficina de Textos, 2009, 464p.

COELHO NETTO, A.L. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In: CUNHA, S.B. & GUERRA, A.J.T. (orgs). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2.ed. 1995.

CORREIA, F. W. S.; MANZI A. Impacto das modificações da cobertura vegetal no balanço de água na Amazônia: um estudo com modelo de circulação geral da atmosfera (MCGA). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3, p. 1-15, 2006.

CORREIA FWS, MANZI O.A., CANDIDO A.L. Balanço de Umidade na Amazônia e sua Sensibilidade às Mudanças na Cobertura Vegetal. **Ciencia e Cultura** 59: 39-43, ISSN 0009-6725. 2007

CORREIA, F. W. S.; MANZI, A. O.; CÂNDIDO, L. A.; dos SANTOS, R. M. N; PAULIQUEVIS, T. Balanço de umidade na Amazônia e sua sensibilidade às mudanças na cobertura vegetal. **Ciência e Cultura**, v. 59, n. 3, p. 39-43, 2007

COSTA, M. H.; FOLEY, J. A. Trends in the hydrological cycle of the Amazon basin. **J Geophys Res-Atmos**, 104: 14 189-98. 1999.

COSTA, M. H.; FOLEY, J. A. Combined effects of deforestation and doubled atmospheric CO₂ concentrations on the climate of Amazonia. **J Climate**, 13: 18–34. 2000.

COSTA, R. F.; SILVA, V. P. R.; RUIVO, M. L. P.; MEIR, P.; COSTA, A. C. L.; MALHI, Y. S.; BRAGA, A. P.; GONÇALVES, P. H. L.; SILVA JR., J. A.; GRACE, J. Transpiração em espécie de grande porte na Floresta Nacional de Caxiuanã, Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.2, p.180-189, 2007.

DUARTE, A. As chuvas e as vazões na bacia hidrográfica do rio Acre, Amazônia Ocidental: caracterização e implicações socioeconômicas e ambientais. **Amazônia: ciência e desenvolvimento**. Belém, V.6, n.12, p. 161-183, 2011.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma Revisão Geral Sobre o Clima da Amazônia. **Acta da Amazônia** 28(2): 101-126. 1998.

HOREL, J. D.; HAHMANN, A. N.; GEISLER, J. E.; An investigation of the annual cycle of convective activity over the tropical Americas. **Journal of Climate**, 2(11):1388-1403. 1989.

KALNAY, E.; KANAMITSU, M.; KISTLER, R.; COLLINS, W.; DEAVEN, D.; GANDIN, L.; IREDELL, M.; SAHA, S.; WHITE, G.; WOOLLEN, J.; ZHU, Y.; CHELLIAH, M.; EBISUZAKI, W.; HIGGINS, W.; JANOWIAK, J.; MO, K. C.; ROPELEWSKI, C.; WANG, J.; LEETMAA, A.; REYNOLDS, R.; JENNE, R.; JOSEPH, D. The NCEP/ NCAR 40-Year Reanalysis Project. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 77, n. 3, p. 437-471, 1996.

KOUSKY, V. E. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. **Revista Brasileira de Meteorologia**, n. 3, p. 217-231, 1988.

MARENGO, J. A. Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. *Theoretical and Applied Climatology*, n.78, p.79-96, 2004.

MARENGO J.A., SOARES W.R., SAULO C., NICOLINI M. Climatology of the Low-Level Jet East of the Andes as Derived from NCEP-NCAR Reanalyses: Characteristics and Temporal Variability. **Journal of Climate**, Vol 17 No 12. 2005.

MENDONÇA, F.A. & DANNI-OLIVEIRA, I.M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos. 2007.

MOLION, L.C.B. Climatologia Dinâmica da região Amazônica: mecanismos de precipitação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.2(1): 107 - 117, 1987.

OLIVEIRA, A.P.; FITZJARRALD D.R. The Amazon River Breeze and The Local Boundary- Layer: 2. **Linear Analysis And Modeling. Bound-Layer Meteoroly**. n.67, p.75- 96, 1994.

PAEGLE, J. N. e MO, K.C. Ligações entre a variabilidade da precipitação de verão na América do Sul e anomalias da temperatura da superfície do mar. **J. Climate**, 15 , 1389 - 1407 , 2002.

RAIMUNDO, C. C. Análise estatística multivariada da precipitação no nordeste brasileiro e sua relação com a Oscilação Decadal do Pacífico. 2008. 75p. **Monografia (Graduação em Meteorologia)**. UFAL. Maceió – AL, 2008.

ROCHA V.M.; SILVA CORREIA F.W.; MORELLI FONSECA P.A. Reciclagem de precipitação na Amazônia: Um estudo de revisão, **Revista Brasileira de Meteorologia**, 30: 59 – 70. 2015.

ROCHA, V.M.; CORREIA, F.W.S.; da SILVA, P.R.T.; GOMES, W.B.; VERGASTA, L.A.; de MOURA, R.G.; TRINDADE, M.S.P.; PEDROSA, A.L.; da SILVA, J.J.S. Reciclagem de Precipitação na Bacia Amazônica: O Papel do Transporte de Umidade e da Evapotranspiração da Superfície. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 3, p. 387-398, 2017.

RODWELL, M. J.; and B. J. HOSKINS. Subtropical anticyclones and summer monsoons. **Journal of Climate** 14:3192-3211. 2001

SALATI, E.; RIBEIRO, M. N. G. Floresta e Clima. **Acta Amazônica**, 9(4): 15-22, 1979.

SATYAMURTY, P., DA COSTA, C. P. W., MANZI, A. O. Moisture source for the Amazon Basin: a study of contrasting years, **Theoretical and Applied Climatology**. DOI: 10.1007/s007040120637-7. Springer-Verlag. 2012.

SUMILA, T. C. A. Fontes e Destinos de vapor de água na Amazônia e os efeitos do desmatamento. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Aplicada). Universidade Federal De Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola. 2016.

SUMILA, T. C. A., PIRES, G. F., FONTES, V. C. & COSTA, M. H. Sources of water vapor to economically relevant regions in Amazonia and the effect of deforestation. *J. Hydrometeorol.* 18,1643-1655. 2017

VAREJÃO-SILVA, M. A.; **Meteorologia e Climatologia**, Versão Digital 2, Recife, 2006. Disponível em:< http://www.icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/Meteorologia_e_Climatologia_VD2_Mar_2006.pdf> Acesso em: 24 nov. 2014.

VERA, C.; SILVESTRI, G.; LIEBMANN, B.; GONZÁLEZ P. Climate change scenarios for seasonal precipitation in South America from IPCC-AR4 models. **Geophysical Research Letters**, VOL. 33, L13707, doi:10.1029/2006GL025759, 2006.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. *Meteorologia Básica e Aplicações*, Editora UFV, Universidade Federal de Viçosa, 449 P., 1ª edição 1991, 1ª reimpressão 2000. 499p.:il.

VILLA NOVA, N. A.; SALATI, E; MATSUI, E. Estimativa da evapotranspiração na bacia Amazônica. **Acta Amazonica**,6(2):215-228. 1976.

WERTH, D.; AVISSAR, R. The local and global effects of Amazon deforestation. **Journal of Geophysical Research**. v.107, n. D20, 8087, doi:10.1029/2001JD000717, 2002.