

VARIABILIDADE SAZONAL E INTRA-ANUAL DA RECICLAGEM DE VAPOR D'ÁGUA NO BRASIL

Ranyére Silva NÓBREGA¹

Enilson Palmeira CAVALCANTI²

RESUMO

Nesse trabalho foram analisados os campos do fluxo de vapor d'água, evapotranspiração, precipitação e reciclagem de vapor d'água durante o período de 1958 a 1998 para analisar a variabilidade sazonal e intra-anual da reciclagem de vapor d'água sobre o Brasil. Os resultados revelaram que o Nordeste comportou-se como sumidouro de vapor d'água na atmosfera durante novembro a junho, enquanto o Sudeste comportou-se como sumidouro de outubro a março, e o Norte durante todo o ano. Observaram-se também reciclagens de vapor d'água relativamente pequenas sobre o Norte e Nordeste do Brasil, e os maiores valores no Sudeste, evidenciando que os alísios de sudeste e nordeste que atingem o Norte e Nordeste do Brasil são os maiores responsáveis pelo aporte de umidade na atmosfera da região, no entanto, também ficou evidente que parte desta umidade sobre o Nordeste que não é transformada em chuva contribui para a precipitação da porção oriental da área Norte, de maneira que a contribuição da flora e hidrografia da Amazônia para a precipitação aumenta em direção oeste. Ao longo do ano, observou-se que a reciclagem apresenta maiores valores no verão do Nordeste e Sudeste, enquanto no Norte, os maiores valores ocorreram durante a primavera.

Palavras-chave: Fluxo de vapor d'água, evapotranspiração, precipitação, advecção umidade.

ABSTRACT

In this study, we analyzed the field of the flow of water vapor, evaporation, precipitation and recycling of water vapor during the period 1958 to 1998 to examine the seasonal variability and intra-annual recycling of water vapor on Brazil. The results showed that the Northeast has behaved as a sink of water vapor in the air during November to June, while the Southeast behaved with sink from October to March, and the North throughout the year. There were also recycles water vapor relatively small on the North and Northeast Brazil, and the highest in the Southeast, showing that the trade winds from the southeast and northeast to reach the North and Northeast Brazil are the most responsible for contributing to moisture in the atmosphere of the region, however, was also evident that some of this moisture over the Northeast that is not transformed into rain contributes to precipitation in the eastern half of North field, so that the contribution of flora and hydrography of the Amazon to the fallout increases towards the west. Over the years, it was observed that recycling has higher values in summer in the Northeast and Southeast, while the North, the highest values occurred during the spring.

Key words: water vapor flow, evapotranspiration, precipitation, humidity advection.

¹ Professor do Depto. de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco. E-mail: ranyere.nobrega@ufpe.br.

² Professor do Depto. de Ciências Atmosféricas da UFCG. E-mail: enilson@dca.ufcg.edu.br.

1. INTRODUÇÃO

A precipitação sobre uma região da superfície é composta por duas componentes: a componente advectiva resultante do fluxo de vapor d'água externo e a componente interna resultante do fluxo de vapor d'água da evaporação local. Reciclagem de precipitação é definida como a contribuição da água evaporada localmente para a água precipitada na mesma região. Estudar a reciclagem de precipitação sobre regiões da superfície produz informações úteis das possíveis interações da hidrologia e clima. O grau da reciclagem de vapor d'água de uma região determina o papel da hidrologia da superfície da terra no clima da região, por um lado, e o papel do clima a formação de superfícies de recursos de água, por outro lado. A taxa de reciclagem é a medida do efeito de realimentação solo-umidade-precipitação que é, em particular, importante para o sistema solo-atmosfera (BRUBAKER et al., 1993; ELTAHIR & BRAS, 1994; TRENBERTH, 1999; RADATZ, 2005; NÓBREGA et al., 2006).

Muitos métodos de quantificação da reciclagem de vapor d'água vem sendo desenvolvidos. Savenije (1995) derivou uma função contínua baseada na aproximação Lagrangiana para o coeficiente de reciclagem e usou sobre uma região do Sahel. Brubaker et al. (1993) desenvolveu uma equação linear (BUDYKO, 1974) usando médias mensais da evapotranspiração, precipitação e transporte de umidade. Dados em pontos de grade foram usados para diagnosticar o ciclo médio anual da reciclagem de vapor d'água para várias regiões do globo. A vantagem desse método é a eficiência computacional, que permite a análise de dados em longo prazo. Trenberth (1999) usou este método para calcular mapas global da sazonalidade da reciclagem de vapor d'água. Similarmente, Eltahir & Bras (1994) desenvolveu um método de diagnóstico da reciclagem de vapor d'água que usa a variabilidade espacial de dados hidrológicos em pontos de grade no cálculo. Este método foi testado para ciclos de reciclagem média anual na Bacia Amazônica e na Bacia do Rio Mississipi.

Tais resultados, apesar das diferenças quantitativas, evidenciam que a quantificação desse mecanismo é um indicador da importância dos processos na superfície da terra para o balanço d'água e também um indicador da sensibilidade climática relacionada às alterações nesses processos. Diversos estudos comprovaram que a reciclagem de vapor d'água é um mecanismo de realimentação potencialmente significativo, sendo possível determinar o papel hidrológico da contribuição local no clima sobre uma região e adjacências. Além disso, alterações indevidas na superfície podem afetar a contribuição local da evaporação e, conseqüentemente, o mecanismo de reciclagem de vapor d'água. Essas alterações poderão

refletir em variabilidades climáticas que podem comprometer o bem-estar econômico e social do homem e também provocar mudanças no meio ambiente.

Estudos anteriores com modelos de reciclagem de vapor d'água vêm focando os resultados nas variações médias anuais e sazonal. Nesse trabalho, analisamos além da variabilidade sazonal, a variabilidade intra-anual e a contribuição de cada face (norte, sul, leste e oeste) na reciclagem de vapor d'água.

2. METODOLOGIA

2.1. Dados

Os dados utilizados são referentes às "reanálises" do modelo global do NCAR/NCEP. Utilizaram-se os valores mensais de umidade específica do ar (q) e componentes zonal (u) e meridional (v) do vento, para uma grade de $2,5^\circ$ por $2,5^\circ$ de latitude e longitude, respectivamente, em 6 níveis padrão (superfície, 925, 850, 700, 500, e 300 hPa) no período de 1958 a 1998.

O projeto "reanálises" do NCAR/NCEP teve início por volta de 1995 e gerou uma base de informações de variáveis meteorológicas em pontos de grade. Nesse processamento, foi aplicado o estado atual da arte em análise e previsão dentro de um rígido controle de qualidade, para assimilação dos dados observacionais. Diferentes plataformas de observações foram utilizadas na geração das "reanálises", dentre as quais se destacam: estações de superfície, navios, aeronaves, balões piloto, radiossondas, bóias e satélites (KALNAY et al., 1996).

Tem-se observado que as "reanálises" apresentam altos valores de umidade relativa do ar, nos níveis superiores da atmosfera, quando comparados aos valores observados, mas, para o estudo em questão, isto não é relevante, dado que a concentração substancial de vapor d'água atmosférico se encontra nos baixos níveis, abaixo de 500 hPa.

2.2. Área de Estudo

Foram definidas três diferentes áreas sobre o Brasil, de 10 por 10 graus de latitude e longitude respectivamente, a saber: área Nordeste ($2,5^\circ$ - $12,5^\circ$ S e $35,0^\circ$ - $45,0^\circ$ W), área Norte ($0,0^\circ$ - $10,0^\circ$ S e $55,0^\circ$ - $65,0^\circ$ W) e área Sudeste ($15,0^\circ$ - $25,0^\circ$ S e $40,0^\circ$ - $50,0^\circ$ W). O tamanho de todas as áreas é de aproximadamente $1.232.100 \text{ km}^2$ (Fig. 1).

Em relação às grandes bacias hidrográficas tem-se que a área Nordeste cobre a maior parte da bacia do Nordeste, parte da bacia do médio São Francisco e toda bacia do baixo São Francisco e ainda parte norte da bacia do Leste. Destacam-se importantes cidades

contidas nessa área, tais como: Teresina (PI), Fortaleza (CE), Natal (RN), João Pessoa (PB), Recife (PE), Petrolina (PE), Maceió (AL), Aracajú (SE) e Juazeiro (BA).

Já a área denominada de Norte está totalmente contida na bacia Amazônica e fica quase centrada na cidade de Manaus (AM). O grande destaque é dado à floresta amazônica que tem importância vital para o clima do Brasil e do mundo.

Na área chamada de Leste tem-se a nascente do rio São Francisco na denominada bacia do alto São Francisco, parte sul da bacia do Leste e parte leste da bacia do Paraná. Nessa área encontram-se grandes metrópoles, como: Rio de Janeiro (RJ), São Paulo (SP), Belo Horizonte (MG), Vitória (ES) e Goiânia (GO), entre outras.

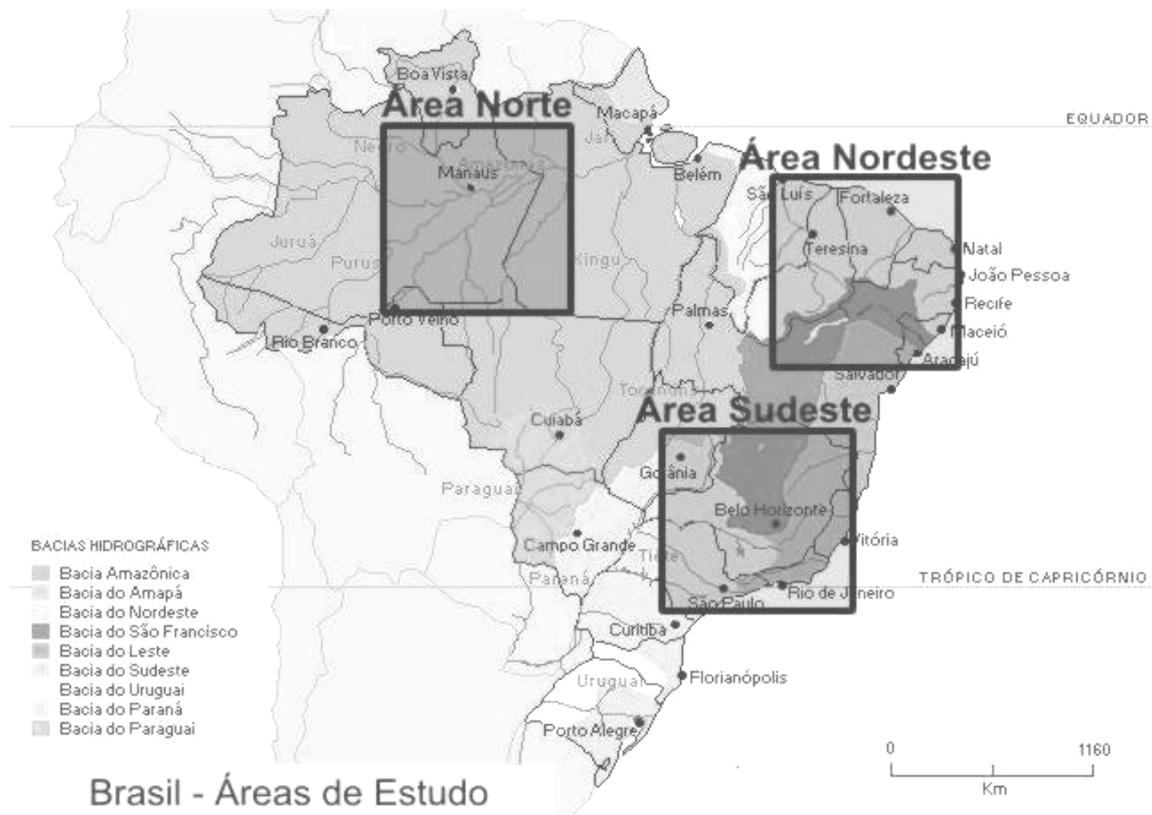


Figura 1. Brasil - Áreas de Estudo: Área Nordeste; Área Norte e Área Sudeste.

2.3. Formulação Teórica

Para o cálculo do fluxo de vapor de água integrado verticalmente utilizaram-se as expressões:

$$Q_{\lambda} = \frac{1}{g} \int_{300}^{P_s} u \cdot q \cdot dP \quad (1)$$

e,

$$Q_{\phi} = \frac{1}{g} \int_{300}^{P_s} v \cdot q \cdot dP \quad (2)$$

para o fluxo zonal e meridional, em que u e v é a velocidade zonal e meridional do vento, q a umidade específica, g a aceleração da gravidade e P_s a pressão à superfície.

Para a reciclagem foi utilizado o modelo descrito por Trenberth (1999) que tem como base a evaporação média, precipitação média, escala de comprimento e transporte médio de umidade. Com isso a precipitação total sobre uma região pode ser dividida em precipitação de origem local (P_m) e precipitação de origem advectiva (P_a), ou seja:

$$P = P_a + P_m. \quad (3)$$

A reciclagem de vapor d'água pode, então, ser dada como:

$$\rho = \frac{ET.L}{PL + 2\bar{F}}, \quad (4)$$

em que ET é a evapotranspiração, L é a escala de comprimento e \bar{F} é o fluxo médio de vapor d'água. Para calcular o fluxo que entra e que sai de um volume de controle, considera-se um esquema conforme a Figura 2.

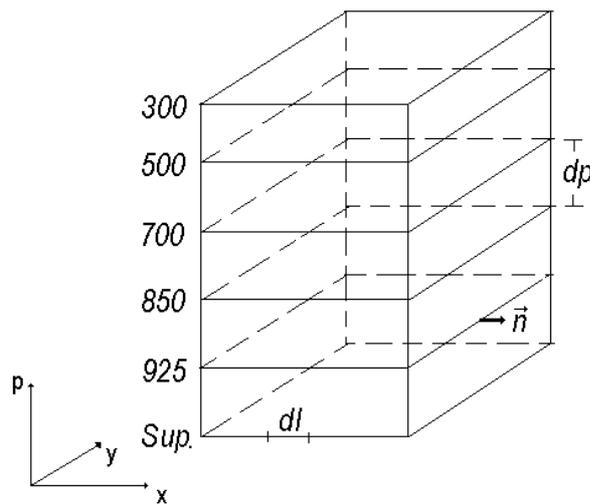


Figura 2. Esquema gráfico para o volume de controle.

Definindo-se fluxo resultante (F_r) em um volume de controle qualquer, como:

$$F_r = F_s + F_e = \frac{1}{g} \int_{300}^{Sup} \left(\oint_l q \vec{V} \cdot \vec{n} dl \right) dp, \quad (5)$$

e, também, o fluxo absoluto (F_a) como:

$$F_a = F_s + |F_e| = \frac{1}{g} \int_{300}^{Sup} \left(\oint_l |q \vec{V} \cdot \vec{n}| dl \right) dp, \quad (6)$$

em que F_s é o fluxo que sai do volume (positivo quando $q \vec{V} \cdot \vec{n} > 0$), F_e é o fluxo que entra no volume (negativo quando $q \vec{V} \cdot \vec{n} < 0$), g é a aceleração da gravidade, q é a

umidade específica, $\vec{V} = u\vec{i} + v\vec{j}$ é o vetor velocidade do vento, \vec{n} é o vetor normal unitário (positivo dirigindo-se para fora do volume de controle), dl é um elemento infinitesimal da curva fechada em cada nível de pressão e dp é um elemento infinitesimal de pressão na vertical.

Visto que $|F_e| = -F_e$, se $F_e < 0$, tem-se, então, que:

$$F_s = (F_a + F_r) / 2, \quad (7)$$

e

$$F_e = -(F_a - F_r) / 2 \quad (8)$$

Portanto,

$$F_s = \frac{1}{2g} \left[\int_{300}^{Sup} \left(\oint_l |q\vec{V} \cdot \vec{n}| dl \right) dp + \int_{300}^{Sup} \left(\oint_l q\vec{V} \cdot \vec{n} dl \right) dp \right]; \quad (9)$$

e

$$F_e = -\frac{1}{2g} \left[\int_{300}^{Sup} \left(\oint_l |q\vec{V} \cdot \vec{n}| dl \right) dp - \int_{300}^{Sup} \left(\oint_l q\vec{V} \cdot \vec{n} dl \right) dp \right] \quad (10)$$

O fluxo resultante (F_r) e o absoluto (F_a) em termos de cada face do volume são dados, respectivamente, por:

$$F_r = \frac{1}{g} \int_{300}^{Sup} \left(\int_{Sul} qv dl + \int_{Leste} qu dl + \int_{Norte} qv dl + \int_{Oeste} qu dl \right) dp; \quad (11)$$

$$F_a = \frac{1}{g} \int_{300}^{Sup} \left(\int_{Sul} |qv| dl + \int_{Leste} |qu| dl + \int_{Norte} |qv| dl + \int_{Oeste} |qu| dl \right) dp, \quad (12)$$

ou, ainda,

$$F_r = \frac{1}{g} \int_{300}^{Sup} \left[(\overline{qvL})_{Sul} + (\overline{quL})_{Leste} + (\overline{qvL})_{Norte} + (\overline{quL})_{Oeste} \right] dp; \quad (13)$$

e

$$F_a = \frac{1}{g} \int_{300}^{Sup} \left[(|qv|L)_{Sul} + (|qu|L)_{Leste} + (|qv|L)_{Norte} + (|qu|L)_{Oeste} \right] dp, \quad (14)$$

em que L é o comprimento da respectiva face.

A divergência de umidade foi calculada através da equação do balanço de massa, desprezando a taxa local da mudança no armazenamento de umidade atmosférica, ou seja:

$$\nabla \cdot \vec{Q} = \bar{E} - \bar{P} \quad (15)$$

Foi utilizado o ajuste de massa, para garantir a continuidade de massa no volume de controle, de acordo com Cavalcanti (2001).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 1, 2 e 3 têm-se as componentes médias mensais da divergência do vapor d'água ($\nabla \cdot \vec{Q}$), precipitação (P), evapotranspiração (ET), fluxo de vapor d'água que entra (F_e) e que sai (F_s) por unidade de área e reciclagem de vapor d'água (ρ) para as áreas Nordeste, Norte e Sudeste, respectivamente.

A componente da divergência mostra que a área Nordeste comportou-se como sumidouro de vapor d'água nos meses de novembro a junho, e nos demais meses como fonte de vapor d'água. Já a região Norte comportou-se como sumidouro ao longo do ano e na área Sudeste foi observada a maior variação sazonal da divergência, comportando-se como sumidouro de outubro a março e fonte de vapor d'água nos demais meses.

Os valores mais significativos de reciclagem foram observados na área Sudeste com máximo valor de 23,3% em abril e os menores valores sobre a área Nordeste, com valor mínimo de 8,7%. Pela definição de reciclagem de vapor d'água esses valores eram esperados, como pode ser observado na Equação 4. As áreas Nordeste e Norte recebem grande quantidade de umidade advectada do oceano Atlântico (que pode ser observada nos valores obtidos para F_e). O ar quente tropical favorece a saturação do vapor d'água que armazena maior quantidade de umidade, sendo a mesma transportada do Oceano Atlântico a uma taxa elevada para a Regia Nordeste (ROSEN et al., 1979), que por sua vez é advectada para a região Norte. Por outro lado, os baixos valores de d'água sobre a área Sudeste são atribuídos a velocidade do vento e menor conteúdo de umidade.

No entanto, observa-se que em meses onde a evapotranspiração é maior, a reciclagem também é maior, mesmo que o F_e também aumente, como por exemplo, o mês de janeiro para as áreas Nordeste e Norte, em que se observa valor de reciclagem de 11,9% e 13,6%, respectivamente. Sobre a área Norte o F_e foi maior, mas como a evapotranspiração também foi maior, resultou em um valor de reciclagem maior sobre a área Norte. Observa-se essa característica ao longo do ano em todas as áreas estudadas, sendo mais visível nas áreas Norte e Nordeste. Já na área Sudeste a variação sazonal da reciclagem está relacionada, também, a uma maior variação sazonal do F_e .

Tabela 1. Componentes utilizadas na estimação de ρ sobre a área Nordeste.

Meses	$\nabla.\bar{Q}$	<i>P</i>	<i>ET</i>	<i>F_e/A</i>	<i>F_s/A</i>	ρ
	mm/mês	mm/mês	mm/mês	mm/mês	mm/mês	%
Janeiro	-100,3	226,4	126,1	-464,6	364,3	11,9
Fevereiro	-116,2	233,7	117,6	-419,7	303,5	12,3
Março	-143,4	270,0	126,6	-461,1	317,7	12,1
Abril	-117,8	236,3	118,5	-458,6	340,8	11,4
Mai	-77,1	192,9	115,7	-512,3	435,2	10,1
Junho	-21,0	125,4	104,4	-521,2	500,2	9,1
Julho	7,9	89,5	97,4	-512,1	520,0	8,7
Agosto	31,5	54,7	86,2	-475,7	507,2	8,3
Setembro	25,5	54,1	79,6	-452,8	478,3	8,1
Outubro	10,5	80,9	91,4	-444,3	454,8	9,3
Novembro	-25,6	131,1	105,4	-437,0	411,4	10,8
Dezembro	-64,3	183,2	118,9	-464,1	399,8	11,4
Ano	-49,2	156,5	107,3	-468,6	419,4	10,3

Tabela 2. Componentes utilizadas na estimação de ρ sobre a área Norte.

Meses	$\nabla.\bar{Q}$	<i>P</i>	<i>ET</i>	<i>F_e/A</i>	<i>F_s/A</i>	ρ
	mm/mês	mm/mês	mm/mês	mm/mês	mm/mês	%
Janeiro	-78,5	236,9	158,4	-504,8	426,3	13,6
Fevereiro	-67,8	213,0	145,2	-468,0	400,1	13,4
Março	-80,0	237,1	157,1	-494,8	414,8	13,7
Abril	-88,6	231,4	142,8	-474,9	386,3	13,1
Mai	-81,5	220,7	139,1	-509,3	427,8	12,0
Junho	-39,7	169,1	129,5	-486,7	447,0	11,7
Julho	-10,0	139,7	129,7	-466,8	456,8	12,2
Agosto	-22,0	153,8	131,8	-453,4	431,4	12,7
Setembro	-56,9	198,4	141,5	-468,7	411,8	13,1
Outubro	-86,1	243,5	157,5	-434,8	348,7	15,3
Novembro	-94,5	245,8	151,3	-388,5	294,0	16,3
Dezembro	-92,5	247,9	155,4	-468,2	375,7	14,2
Ano	-66,5	211,4	144,9	-468,2	401,7	13,4

Tabela 3. Componentes utilizadas na estimacão de ρ sobre a rea Sudeste.

Meses	$\nabla \bar{Q}$ mm/mês	P mm/mês	ET mm/mês	F_e/A mm/mês	F_s/A mm/mês	ρ %
Janeiro	-76,6	217,8	141,2	-295,7	219,1	19,3
Fevereiro	-55,7	182,3	126,6	-262,3	206,6	19,4
Março	-47,6	182,3	134,6	-240,0	192,3	21,9
Abril	1,6	118,9	120,5	-198,5	200,1	23,3
Maiο	34,1	62,1	96,2	-181,2	215,4	21,0
Junho	38,9	29,4	68,3	-177,8	216,7	16,1
Julho	33,1	26,3	59,4	-176,4	209,5	14,4
Agosto	29,8	25,5	55,3	-185,2	215,0	13,0
Setembro	20,0	48,3	68,3	-206,3	226,3	14,2
Outubro	-19,0	127,9	108,9	-237,2	218,2	18,7
Novembro	-52,8	182,9	130,1	-244,5	191,6	21,0
Dezembro	-74,1	214,8	140,7	-278,9	204,7	20,1
Ano	-14,0	118,2	104,2	-223,7	209,6	18,5

Nas Tabelas 4, 5 e 6 têm-se os fluxos médios de vapor d'água em cada uma das faces (Norte, Sul, Leste e Oeste) para as áreas citadas acima. Os valores observados indicam que nas áreas Nordeste e Norte a maior contribuio para o F_e ocorre na face leste e  da ordem de 82,5 % e 81, 3 %, respectivamente, relacionada principalmente a atuao dos ventos alisios.  interessante observar que a contribuio média anual da face sul na rea Nordeste  maior do que a face Norte, relacionada  contribuio da Zona de Convergência do Atlântico Sul na adveco de umidade para esta rea. Já na rea Norte a face Norte contribui mais do que a Sul, neste caso, relacionada  atuao da Zona de Convergência do Intertropical. Na rea Sudeste a maior contribuio  observada na face Leste com 47 %, relacionada principalmente a adveco proveniente dos ciclones extratropicais e na face Oeste com 29,1%, indicando a importância da Bacia Amazônica como provimento de umidade para a essa rea.

Analisando o F_s das áreas Norte e Nordeste, principalmente na face oeste,  possível enfatizar com mais clareza a contribuio dessas áreas na adveco de umidade para as regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil. A umidade transportada para a região Norte, proveniente do Nordeste e do Oceano Atlântico,  adicionada  umidade originada

da evapotranspiração sobre a Bacia Amazônica e parte dessa umidade é transportada para as regiões vizinhas. Esse transporte está relacionado à presença de uma corrente de jato em baixos níveis localizada à leste dos Andes. Estudos recentes têm investigado a associação dessa corrente com as estações secas e chuvosas sobre tais regiões (CAVALCANTI & SOUZA, 2002; GAN et al., 2002; MARENGO, 2002). Essa característica também foi observada por Eltahir & Bras (1994), em que os autores afirmaram que o fluxo que sai da Bacia Amazônica pode contribuir significativamente para o ciclo hidrológico das regiões adjacentes.

Tabela 4. Fluxo médio de vapor d'água que entra (Fe) e que sai (Fs) em cada face (mm/mês) para a área Nordeste.

Meses	Norte		Sul		Leste		Oeste		Soma
	F_e/A	F_s/A	F_e/A	F_s/A	F_e/A	F_s/A	F_e/A	F_s/A	FR
Janeiro	-37,7	48,2	-14,5	58,4	-403,6	3,6	-8,8	254,1	-100,3
Fevereiro	-39,6	35,4	-20,3	39,2	-353,4	2,9	-6,4	226,0	-116,2
Março	-47,4	33,7	-31,2	35,7	-377,5	1,7	-5,0	246,7	-143,4
Abril	-30,2	42,4	-64,3	14,2	-361,6	2,0	-2,6	282,2	-117,8
Mai	-9,5	79,1	-95,2	6,6	-403,6	4,4	-4,0	345,1	-77,1
Junho	-4,0	114,8	-103,3	2,5	-410,9	3,5	-3,0	379,3	-21,0
Julho	-6,1	145,0	-109,2	2,1	-394,1	3,7	-2,7	369,1	7,9
Agosto	-8,8	155,7	-88,8	1,1	-376,0	2,9	-2,1	347,5	31,5
Setembro	-17,9	122,3	-61,4	5,6	-371,0	3,3	-2,5	347,1	25,5
Outubro	-28,0	88,9	-28,3	21,9	-385,9	3,3	-2,1	340,7	10,5
Novembro	-27,3	70,2	-12,5	52,8	-393,1	3,5	-4,1	285,0	-25,6
Dezembro	-32,8	57,6	-12,1	66,5	-411,4	4,2	-7,8	271,5	-64,3
Ano	-24,1	82,8	-53,4	25,6	-386,8	3,3	-4,3	307,9	-49,2

Tabela 5. Fluxo médio de vapor d'água que entra (Fe) e que sai (Fs) em cada face (mm/mês) para a área Norte.

Meses	Norte		Sul		Leste		Oeste		Soma
	F_e/A	F_s/A	F_e/A	F_s/A	F_e/A	F_s/A	F_e/A	F_s/A	FR
Janeiro	-169,0	4,7	-9,2	100,9	-307,8	10,7	-18,8	310,1	-78,5
Fevereiro	-151,3	4,3	-11,4	79,2	-294,0	8,8	-11,3	307,8	-67,8

Março	-150,2	5,8	-12,1	58,1	-321,4	8,8	-11,1	342,0	-80,0
Abril	-110,3	7,1	-21,1	35,8	-340,5	2,2	-3,0	341,1	-88,6
Mai	-74,7	7,4	-25,2	34,1	-407,5	1,2	-1,9	385,2	-81,5
Junho	-37,7	15,7	-18,0	42,8	-428,5	1,5	-2,5	387,1	-39,7
Julho	-28,9	31,3	-16,4	38,7	-419,9	1,4	-1,6	385,4	-10,0
Agosto	-39,6	28,6	-13,9	40,5	-398,4	0,9	-1,4	361,3	-22,0
Setembro	-50,0	24,1	-14,8	53,4	-402,6	0,7	-1,2	333,6	-56,9
Outubro	-57,3	15,1	-7,4	72,5	-365,1	0,4	-5,0	260,7	-86,1
Novembro	-78,2	8,3	-8,0	74,4	-288,9	2,5	-13,3	208,8	-94,5
Dezembro	-136,3	5,0	-9,4	94,4	-302,1	7,7	-20,4	268,6	-92,5
Ano	-90,3	13,1	-13,9	60,4	-356,4	3,9	-7,6	324,3	-66,5

Tabela 6. Fluxo médio de vapor d'água que entra (F_e) e que sai (F_s) em cada face (mm/mês) para a área Sudeste.

Meses	Norte		Sul		Leste		Oeste		Soma
	F_e/A	F_s/A	F_e/A	F_s/A	F_e/A	F_s/A	F_e/A	F_s/A	
Janeiro	-101,2	10,7	-5,5	141,7	-111,9	31,0	-77,1	35,8	-76,6
Fevereiro	-70,3	14,5	-2,7	123,9	-141,6	14,3	-47,7	53,9	-55,7
Março	-56,0	21,3	-9,1	79,8	-128,9	25,2	-46,0	66,1	-47,6
Abril	-27,2	39,0	-12,7	40,6	-107,8	46,1	-50,8	74,5	1,6
Mai	-15,0	43,8	-11,6	41,0	-89,7	66,7	-64,9	63,8	34,1
Junho	-12,7	36,1	-3,3	65,1	-87,8	60,5	-74,0	55,1	38,9
Julho	-10,5	35,8	-3,6	72,1	-104,9	43,4	-57,4	58,1	33,1
Agosto	-10,0	35,6	-5,5	68,5	-105,1	47,8	-64,6	63,1	29,8
Setembro	-17,3	36,5	-9,1	58,2	-107,0	62,3	-72,9	69,4	20,0
Outubro	-41,6	24,2	-10,4	61,7	-107,0	77,0	-78,2	55,3	-19,0
Novembro	-76,7	10,7	-8,7	70,0	-89,6	73,1	-69,4	37,9	-52,8
Dezembro	-101,7	9,4	-6,0	115,6	-90,5	52,6	-80,7	27,1	-74,1
Ano	-45,0	26,5	-7,4	78,2	-106,0	50,0	-65,3	55,0	-14,0

Nas Figuras 3, 4 e 5 têm-se a reciclagem de vapor d'água média mensal e anual para todos os anos estudados, em que é possível observar tanto a variação sazonal como a intra-anual.

Observa-se na Figura 3 (área Nordeste) uma faixa de valores mínimos durante o inverno em praticamente todos os anos, com exceção do ano de 1992. Durante o inverno a superfície possui menor quantidade de água, devido à precipitação menos intensa, o que produz menor evapotranspiração, e conseqüentemente, menor reciclagem de vapor d'água. Os maiores valores são observados durante o verão. Com relação ao ano anômalo na faixa de menor valor, é necessário analisar se há relação entre anomalias de grande escala sobre os Oceanos e como elas poderão influenciar a reciclagem, como por exemplo em anos de eventos El Niño/ La Niña e Dipolos do Atlântico.

Na Figura 4 apesar de se observar uma faixa com menores valores durante, a distribuição sazonal ao longo dos anos não é tão clara quanto à da Figura 4. Observa-se maiores valores durante a primavera, já os menores valores se estendem do outono ao inverno, e em alguns anos, até o final do verão.

A variação sazonal e intra-anual está bem definida na Figura 5 com os menores valores durante o inverno e os maiores durante o outono. Essa área está sobre a atuação da Zona de Convergência do Atlântico SUL (ZCAS). SATYAMURTY et al. (1998) observou que a intensidade da alta subtropical é um dos fatores que influenciam a atividade convectiva na ZCAS, que é uma característica dominante durante o verão e outono e usualmente ausente durante o inverno, e está relacionada a precipitação sobre a região Sul/Sudeste do Brasil. Como dito anteriormente, uma das condições primordiais para a evapotranspiração é a disponibilidade de água na superfície, o que altera os valores da reciclagem, refletindo nessa variação sazonal.

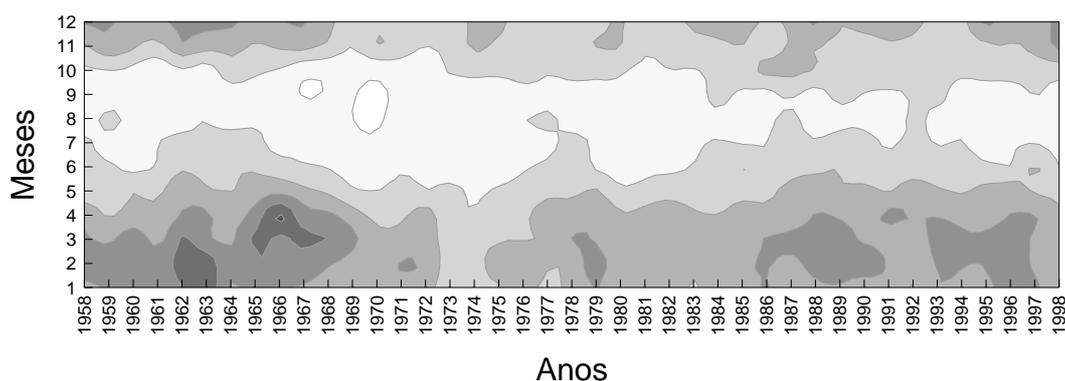


Figura 3. Reciclagem de vapor d'água média mensal e anual para a Área Nordeste.

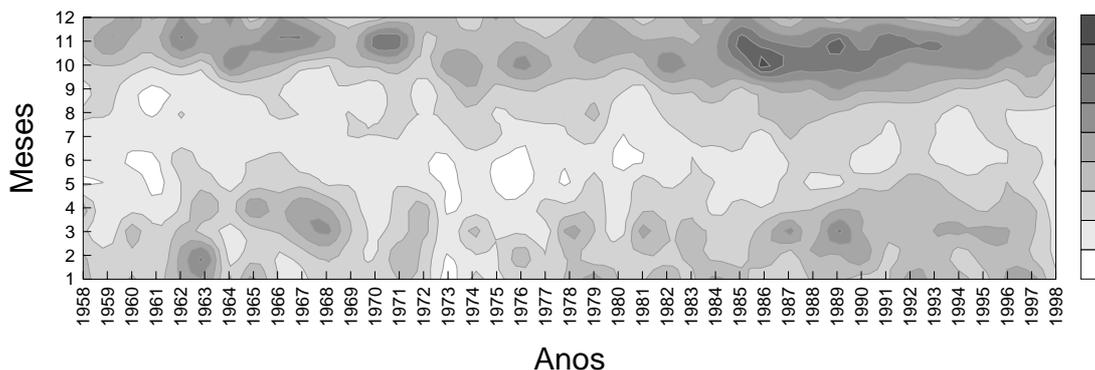


Figura 4. Reciclagem de vapor d'água média mensal e anual para a Área Norte.

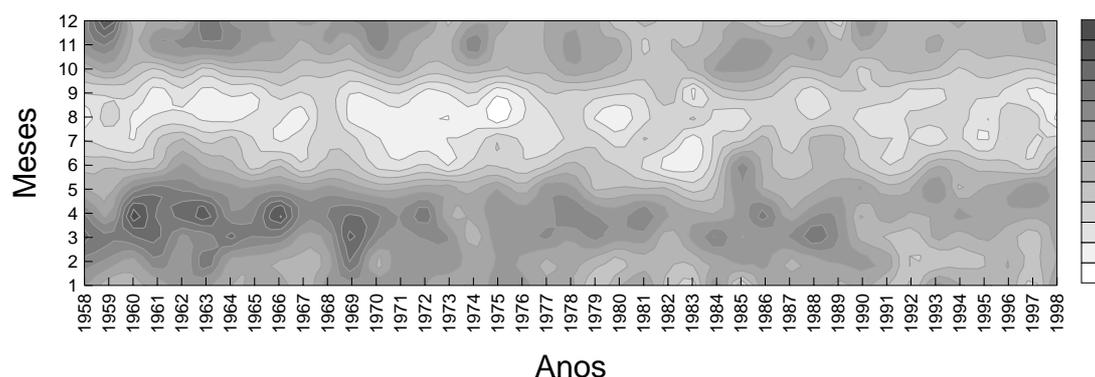


Figura 5. Reciclagem de vapor d'água média mensal e anual para a Área Sudeste.

4. CONCLUSÕES

Na análise das componentes médias mensais notou-se que a área Nordeste comportou-se como sumidouro de vapor d'água durante novembro a junho e fonte durante os demais meses. A área Norte comportou-se como sumidouro durante todo o ano e a área Sudeste apresentou a maior variação sazonal, comportando-se como sumidouro de outubro a março e fonte nos demais meses. Área que correspondem a sumidouro indicam conversação do vapor d'água em líquido, ou seja, precipitação; fonte, o contrário.

A área Sudeste apresentou os maiores valores de reciclagem, com máximo de 23,3% em abril. Os menores valores foram encontrados na área Nordeste, com valor mínimo de 8,7%.

Os alísios de sudeste e este são responsáveis pela maior parte da umidade sobre as áreas Nordeste e Norte (como esperado pela Circulação Geral da Atmosfera) uma vez que a contribuição no fluxo de vapor foi de 82,5% e 81,3%, respectivamente. Agora é importante observar nos resultados discutidos que nos meses em que o Nordeste corresponde como fonte há um aumento nos valores de saída na face oeste, que contribui em um aumento na face leste da área Norte. De certa maneira, mostra que parte da

umidade dos alísios que atingem o Nordeste e não precipita, soma-se a umidade local do Nordeste e é adveçada para o Norte. Desta maneira, especialmente a reciclagem no Norte será maior na porção ocidental do que na oriental. Autores como Salati et al. (1979) e Lettau et al. (1979) afirmam que em torno de 50% da precipitação sobre a Amazônia é de origem local, no entanto, por estes resultados fica evidente que há uma variabilidade espacial, com aumento da contribuição da evapotranspiração local na precipitação em direção oeste, área que por sua vez, têm apresentado alto grau de desflorestamento.

Os menores valores de reciclagem ao longo do ano foram observados durante o inverno para a área Nordeste, concomitante com a menor disponibilidade hídrica na superfície. Já os maiores valores foram observados durante o verão.

Sobre o Norte a variabilidade anual não ficou tão clara quanto sobre o Nordeste, sobretudo com os menores valores. De certo modo, os maiores valores foram observados durante a primavera e os menores durante o outono e inverno, sendo que em alguns anos, até o final do verão.

Na área do Sudeste os menores valores ocorreram durante o inverno e os maiores durante o verão, concomitante com a expansão/contração da Alta semi-permanente do Atlântico Sul.

Os índices de reciclagem sobre o Norte e Nordeste, apesar de serem relativamente baixos, indicam a importância da contribuição da evapotranspiração local no conteúdo de vapor d'água sobre o Brasil. Parte de vapor d'água, originado localmente sobre a região Nordeste se adiciona ao vapor d'água advechado do oceano e é transportado para região Norte, que por sua vez, é somado ao vapor d'água originado da evapotranspiração sobre a região e parte deste vapor d'água é transportado para as regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul.

De um modo geral, os resultados obtidos foram satisfatórios e indicam a importância da quantificação da reciclagem de vapor d'água.

5. REFERÊNCIAS

BEZERRA, A.C.N.; CAVALCANTI, E.P. 2008. Energia estática sobre o norte e Nordeste do Brasil relacionada com a temperatura da superfície do mar. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 2, p. 239-263.

BRUBAKER, L.K.; ENTEKHABI, D.; EAGLESON, P.S. 1993. Estimation of Continental Precipitation Recycling. **Journal of Climate**, v. 6, p. 1077-1089.

BUDIKO, M.I. 1974. **Climate and Life**. Academic Press. 508p.

CAVALCANTI, E.P. 2001. 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.

ELTAHIR, E.A.B; BRAS, R.L. 1994. Precipitation recycling in the Amazon basin. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 120, p. 861-880.

GAN, A.M; KOUSKY, V.E.; ROPELEWSKI, C. 2002. The influence of the low level jet (LLJ) on the onset of Central Brazil precipitation. **Conference** on South American low-level jet. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, p. 5-7.

KALNAY, E., KANAMITSU, M., R., et al. 1996. The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 77, p. 437-471.

MARENGO, J.A; DIAS, P.L.S. 2002. The South American low-level jet east of the Andes during the 1999 LBA-TRMM and LBA-WET AMC campaign. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, p. 8079-8095.

NÓBREGA, R.S; CAVALCANTI, E.P.; SOUZA, E.P. 2005. Reciclagem de Vapor d'água sobre o Brasil utilizando Reanálises do NCEP-NCAR. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 2, p. 253-262.

RADATZ, R.L. 2005. Moisture recycling on the Canadian Prairies for summer droughts and pluvials from 1997 to 2003. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 131, p. 13-26.

ROSEN, R.D.; SALSTEIN, D.A.; PEIXOTO, J.P. 1979. Variability in the annual fields of large-scale atmospheric water vapor transport. **Monthly Weather Review**. AMS, Boston, USA. v. 107, p. 26-37.

SALATI, E.; DALL'OLIO, A.; MATSUI, E.; GAT.J. 1979. Recycling of water in the Amazon Basin: an isotopic study. **Water Resource Review**, v. 15, p. 1250-1558.

SATYAMURTY, P.; NOBRE, C.A.; DIAS, P.L.S. 1998. Meteorology of the south hemisphere. **Am. Meteor. Soc.**, v. 27, n. 49, p. 119-139.

SAVENIJE, H.G.H. 1995. The New definitions for moisture recycling and the relationship with land-use changes in the Sahel. **Journal of Hydrology**, v. 167, p. 57-78.

TRENBERTH, K.E. 1999. Atmospheric Moisture Recycling: Role of Advection and Local Evaporation. **Journal of Climate**, v. 12, p. 1368-1381.