

Vórtices ciclônicos em altos níveis sobre o Nordeste do Brasil

Michelyne Duarte Coutinho de Moraes, Manoel Alonso Gan

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - CPTEC/ INPE, São Paulo, Brasil

michelyneduarte@gmail.com

Resumo

Algumas climatologias sobre os Vórtices ciclônicos em altos níveis (VCANs) foram realizadas durante os 30 anos de existência do Climanálise. Neste capítulo, serão apresentados os resultados de duas climatologias recentes, as quais utilizaram o mesmo método automático para localização dos sistemas. Verificou-se entre essas climatologias uma diferença média anual, devido ao método ter sido executado com dados, período e área diferentes. Entretanto, ambas mostraram que a maioria dos VCANs perdura de 1 a 4 dias em todas as estações do ano e não foram encontrados casos no inverno com durações maiores do que 6 dias. Houve predominância de vórtices sem profundidade nos estágios do ciclo de vida e estações do ano, entretanto, a frequência foi maior de casos que alcançaram máxima extensão vertical até o nível de 300 hPa na primavera e outono e até 400 hPa no verão. Em adição, no inverno não foram encontrados VCANs com profundidade abaixo de 700 hPa. A distância total percorrida pela maior parte dos casos é de 2000 km, sendo que no inverno o valor máximo pode chegar até 4000 km, o qual é inferior ao máximo alcançado nas demais estações, especialmente na primavera e verão, quando o vórtice pode alcançar valores superiores a 6000 km. Em geral, as climatologias mostraram predomínio de VCANs com ciclo de vida, profundidade e distância total percorrida maiores nas estações mais quentes.

Palavras-chave: Vórtices ciclônicos em altos níveis, Nordeste do Brasil, climatologias.

1. Introdução

Sobre a região do Nordeste do Brasil (NEB) atua um sistema meteorológico de importância relevante para a distribuição de precipitação, conhecido como Vórtice Ciclônico em Altos Níveis (VCAN). Este é definido como um sistema de baixa pressão de escala sinótica formado na alta troposfera, com circulação ciclônica fechada e que possui o centro mais frio do que a sua periferia (Kousky e Gan, 1981). Algumas climatologias foram direcionadas para o estudo de características desses sistemas, dentre as primeiras realizadas, destacam-se os estudos de Kousky e Gan (1981) e Gan (1982) que usaram imagens de satélite no canal infravermelho para localizar os sistemas. Foi verificada predominância de casos durante o verão principalmente no mês de janeiro, enquanto que no inverno não foi possível visualizar os sistemas com essas imagens. Ramirez (1997) confirmou, também subjetivamente, predomínio de 46 % dos vórtices no verão e a mínima duração ocorreu no inverno. Notou-se ainda maior confinamento dos sistemas na alta troposfera (200-300 hPa) com 84 casos, apesar de que 77 casos foram observados com profundidade até 500 hPa e raramente até 700 hPa. Em adição, o ciclo de vida médio encontrado foi de 6,8 dias, sendo a mínima duração de 4 dias no inverno e a máxima de 10,6 dias no verão. Presumiu-se ainda uma relação positiva entre a extensão vertical e o ciclo de vida dos vórtices. O objetivo deste artigo é apresentar alguns resultados climatológicos recentes dos VCANs do NEB obtidos por Coutinho (2008) e Moraes (2016), o qual utilizou o mesmo método automático desenvolvido por Coutinho (2008) para identificação desses sistemas. Em suma, esse método localiza o vórtice através da busca de valores mínimos de vorticidade relativa na grade dos dados com limiar de $-2,5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ (Silva, 2005), considerando oito pontos vizinhos. Após identificar o mínimo de vorticidade relativa, o método verifica se a circulação horizontal do vento é ciclonicamente fechada, a uma distância de até quatro pontos de grade do mínimo nas direções norte, sul, leste e oeste. Ressalta-se que esse método foi aprimorado por Moraes (2016), de forma que se passou a identificar automaticamente a trajetória e a estrutura vertical dos VCANs.

2. Climatologia

Com respeito ao ciclo de vida dos VCANs, pode-se observar na Figura 1, a qual apresenta a frequência de casos encontrada por Coutinho (2008), que a grande maioria dos VCANs dura de 2 a 4 dias, correspondendo a 667 casos (75,3 %). Essa característica está presente em todas as estações do ano através da Tabela 1. Para durações maiores, o histograma ainda mostra que a frequência de casos diminui gradualmente de forma que apenas 38 casos perduram 11 dias ou mais, o que representa 4,3 % do total identificado no período. Logo, a maioria dos VCANs do NEB são sistemas que apresentam ciclo de vida relativamente curto, e ainda que esses sistemas podem atuar no inverno, exceto para durações maiores do que 6 dias. Esse resultado discorda dos obtidos por Kousky e Gan (1981) e Gan (1982) os quais utilizaram imagens de satélites no canal infravermelho. Como nesse canal espectral não é possível visualizar os VCANs sem nebulosidade, esses autores não puderam detectar VCANs no inverno, caracterizados por ausência de nebulosidade e somente podem ser observados nas imagens do canal do vapor d'água.

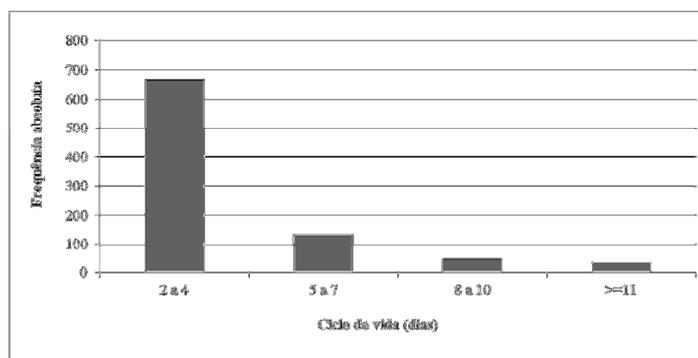


Figura 1- Distribuição da frequência absoluta de VCANs para classes de ciclo de vida (dias) de 1979 a 2006. Fonte: Coutinho (2008).

De acordo com a distribuição interanual dos vórtices da Tabela 1, observa-se formação média de 32 VCANs por ano, ou seja, um número inferior à média anual de 58,4 casos obtida por Morais (2016). Essa diferença de casos pode ter ocorrido pelo fato de Coutinho (2008) ter utilizado as reanálises do NCEP e Morais (2016) as do Era-Interim, que possui resolução horizontal maior. Ademais, o período dos dados e a área também são diferentes.

Nota-se ainda na Tabela 1 que a frequência maior de VCANs ocorreu nos anos de 1990 e 2003 com 39 e 38 casos, respectivamente. Enquanto que a minoria nos anos de 1981 e 1992, com 25 casos e 1995 com 23 casos. Considerando o ciclo de vida, verifica-se maior número de casos no verão com duração de 2 a 4 dias nos anos de 1984 e 1990 com 17 VCANs, embora aqueles com persistência de 11 dias ou mais foram mais frequentes em 1980 com 4 casos. Nessa mesma classe de ciclo de vida, foi registrado 1 caso na primavera e no outono nos anos de 1997 e 2001. Para a classe de 2 a 4 dias, a predominância é maior nessas estações do ano com 13 e 11 casos que ocorreram nos anos de 1982 e 1980, respectivamente. Apenas pode ser visto 1 caso com duração de 5 a 7 dias no inverno de 2001, não sendo observado vórtices que duram mais. Outro ponto que pode ser destacado da Tabela 1 é que não fica evidente a relação entre o número de VCANs e os eventos de El Niño e La Niña.

Ciclo	2 - 4				5 - 7				8 - 10				≥11				Total	
	Estação	SON	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM		JJA
1979	3	12	3	1		4	1		1	1				1				27
1980	6	7	11	2	1	1	1								4			33
1981	3	11	3			5			1					1	1			25
1982	13	11	4			1			1	2				1				33
1983	6	8	7	3	1	4	1			1				2				33
1984	4	17	8	1		5												35
1985	4	8	9	1		4				1								27
1986	5	16	5			3				1								30
1987	6	7	6		1	4	1			3								28
1988	1	16	3	2		5	1			1				2				31
1989	5	15	6			2				1				2				31
1990	6	17	6		2	4	2			1				1				39
1991	7	8	4	1		5	1			1				1				28
1992	1	11	4	3	1	1	2			1				1				25
1993	6	13	6		1	3				2								31
1994	8	14				4	3		1	1				1				32
1995	6	10	2		1					3				1				23
1996	2	18	1			3	3		1					1				29

Tabela 1- Distribuição interanual e sazonal do número de VCANs por ciclo de vida (dias) de 1979 a 2006.

1997	6	7	2	1		5			1	3			1	1	1		28
1998	4	16	8		1	1	1			3	1			1			36
1999	4	15	7		1	5	1			1							34
2000	7	9	4		1	3	2		1	3				1			31
2001	3	16	5	2		4	2	1					1	1	1		36
2002	9	10	3	2	1	2	5			2				2			36
2003	5	15	9			2	2			2				3			38
2004	9	10	10	1	1	2	1							2			36
2005	7	12	5	2	1	3			1	2	1			1			35
2006	4	19	6		3	1				1				2			36
Total	150	348	147	22	17	86	30	1	8	37	2	0	2	33	3	0	886

Fonte: Adaptado de Coutinho (2008).

A climatologia sazonal da distância total percorrida pelos VCANs pode ser observada na Figura 2, segundo Morais (2016). Verifica-se que até a dissipação, a maioria dos casos percorre até 2000 km em todas as estações do ano, sendo 79,5 % na primavera, 62,7% no verão, 81,1 % no outono e 90,7 % no inverno. À medida que ocorre aumento do percurso total, a frequência de casos diminui, ou seja, isso traz uma relação direta com o ciclo de vida apresentado na Figura 1 e indica que VCANs com durações menores apresentam percurso total menor, por outro lado, casos com durações maiores percorrem maiores distâncias. Ainda é notável que no verão, o máximo percorrido é de até 11000 km, enquanto que na primavera é de até 9000 km, no outono este limite diminui para até 6000 km e no inverno, a diminuição do valor limítrofe é para até 4000 km. Isso significa que não existem VCANs com percursos totais maiores do que 4000 km no inverno, bem como totais percorridos superiores a 6000 km só são observados nas estações mais quentes, sendo a frequência de 1,2 % e 5,5 % de casos na primavera e verão, respectivamente.

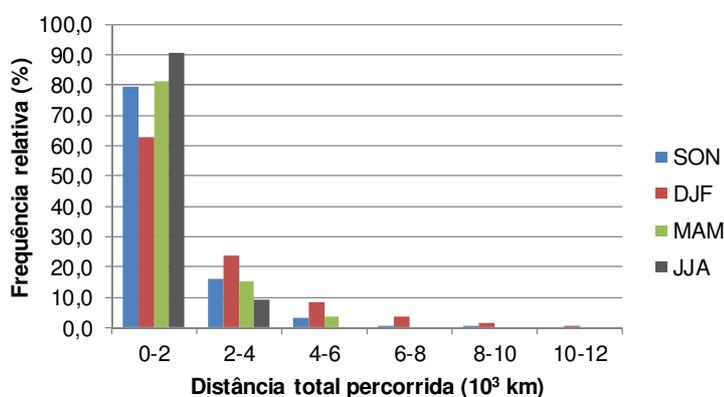


Figura 2- Frequência relativa de VCANs (%) por distância total percorrida (10^3 km) de 1984 a 2013. Fonte: Morais (2016).

Morais (2016) analisou o comportamento da profundidade dos VCANs em três estágios do ciclo de vida, conforme mostra a Figura 3. A frequência relativa de VCANs na formação (Fig. 3a) e dissipação (Fig. 3c) é similar para cada camada atmosférica e estação do ano. Nota-se que o número de VCANs tende a diminuir quando se aproxima de níveis mais baixos, indicando para um número menor de casos que se formam ou dissipam com extensão vertical profunda. De maneira geral, a distribuição dos vórtices nestes estágios é mais significativa para profundidades até o nível de 500 hPa. Do total, a predominância é de 45% (46,4%) dos casos não apresentarem profundidade na formação (dissipação) e 16,2% (17,4%) se formarem (dissipam) com profundidade na camada 200-300 hPa. O maior percentual sazonal na formação (dissipação) é de permanência no nível de 200 hPa com 35,2 % (37,8 %) na primavera, 52,2 % (52,9) no verão, 40% (40%) no outono e 44,5 % (52,3 %) no inverno. Nessa estação, podem se formar 0,7 % de casos com profundidade até 925 hPa, porém na dissipação, a extensão vertical máxima é até 700 hPa com 3,9 % de casos. A porcentagem total nas demais estações do ano é de 1,1 % que se formam e 1,7 % que dissipam com profundidade até o nível de 1000 hPa.

O comportamento da profundidade máxima adquirida pelos sistemas pode ser acompanhado pela Figura 3b. Em geral, nota-se maior distribuição do número de casos nas camadas da atmosfera quando comparada aos demais estágios, embora com maior concentração até o nível de 700 hPa. A frequência de VCANs é preponderante na camada 200-300 hPa com 19,2% seguida da camada 200-400 hPa com 17,9% e dos que permanecem em 200 hPa com 17,1%, apenas 2% se aprofundam na camada 200-1000 hPa. No verão, predominam casos com profundidade na camada 200-400 ou permanência no nível de 200 hPa. Na primavera e outono, o maior número de vórtices é observado na camada 200-300 hPa com 23,8 % e 18 %, respectivamente, enquanto que no inverno, a maioria de 30,5 % permanecem confinados no nível de 200 hPa. Ainda é interessante notar que 2,5 % dos casos apresentam extensão vertical até 925 hPa ou 1000 hPa no inverno, 3,9 % no outono e 5,4 % na primavera e no verão, ou seja, os vórtices tendem a ser mais profundos nas estações mais quentes.

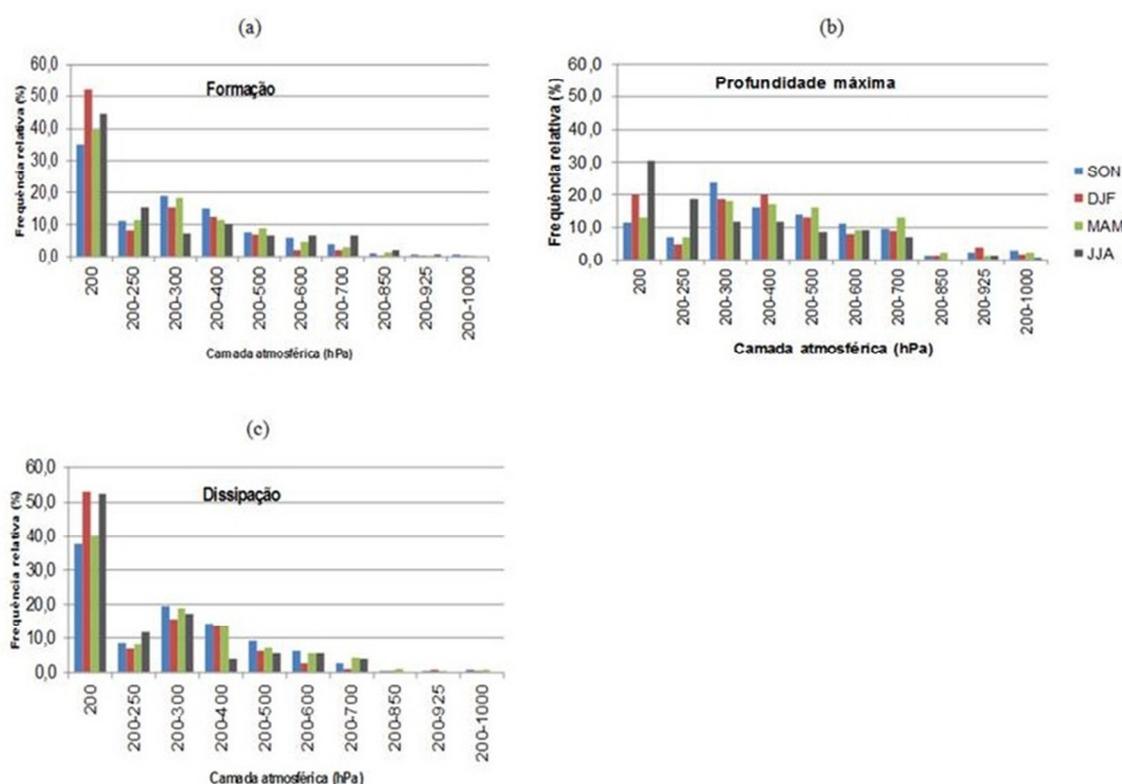


Figura 3- Frequência relativa de VCANs (%) por camada atmosférica (hPa) nos estágios de: (a) formação, (b) profundidade máxima e (c) dissipação para o período 1984-2013.

Fonte: Morais (2016).

3. Conclusões

As climatologias de Coutinho (2008) e Morais (2016) corroboram em demonstrar que a maior parte dos VCANs do NEB apresenta ciclo de vida relativamente curto, pois perduram entre 1 e 4 dias em todas as estações do ano. Durações maiores do que 6 dias não foram identificadas no inverno, ao contrário são predominantes nas estações mais quentes.

A variabilidade interanual mostrou uma diferença média anual de 26,4 vórtices entre os estudos de Coutinho (2008) e de Morais (2016), justificada pelo fato do método ter sido usado com conjunto de dados, área e período diferentes. Além disso, possivelmente o uso dos dados de reanálises do NCEP favoreceu ao método prolongar o período de vida dos sistemas. Assim como observado por Ramirez (1999), não foi encontrada relação evidente entre o número de VCANs e os eventos de El Niño e La Niña nos estudos de Coutinho (2008).

Observou-se frequência maior de casos que percorrem até 2000 km durante todo o ciclo de vida, entretanto, não foram localizados casos no inverno com percurso total maior do que 4000 km e apenas na primavera e verão, foram vistos vórtices com total percorrido maior do que 6000 km.

Na avaliação da profundidade, pode-se confirmar certa tendência dos vórtices permanecerem no nível de 200 hPa nos estágios do ciclo de vida e estações do ano. No entanto, há indicação de que sua profundidade máxima é predominante na camada 200-300 hPa durante a primavera e outono e até 400 hPa no verão. Na formação e dissipação, poucos casos alcançam extensão vertical profunda, no total correspondem a 1,1 % que se formam e 1,7 % se dissipam com profundidade até o nível de 1000 hPa. Além disso, os casos profundos são vistos com maior frequência nas estações mais quentes, indicando relação positiva com o ciclo de vida e distância total percorrida. Durante o inverno, não foram identificados vórtices que apresentam profundidade até 850 hPa ou abaixo deste nível no estágio de dissipação.

4. Referências

- Coutinho MDL. 2008. Método objetivo de identificação dos vórtices ciclônicos de altos níveis na região tropical sul: validação e climatologia. *Dissertação*, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais do Brasil.
- Coutinho MDL, Gan MA, Rao VB. 2010. Método objetivo de identificação dos vórtices ciclônicos de altos níveis na região Tropical Sul: validação. *Rev Bras Meteorol* **25**:311-323.
- Gan MA. 1982. Um estudo observacional sobre as baixas frias da alta troposfera, nas latitudes subtropicais do Atlântico sul e leste do Brasil. *Dissertação*, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais do Brasil.
- Gan MA, Kousky VE. 1986. Vórtices ciclônicos da alta troposfera no Oceano Atlântico Sul. *Rev Bras Meteorol* **1**:19-28.
- Kousky VE, Gan MA. 1981. Upper tropospheric cyclonic vortices in the subtropical South Atlantic. *Tellus* **33**:538-551.
- Morais MDC. 2016. Vórtices ciclônicos de altos níveis que atuam no Nordeste do Brasil: estudo observacional e numérico. *Tese*, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais do Brasil.
- Ramirez MCV. 1997. Padrões climáticos dos vórtices ciclônicos em altos níveis no Nordeste do Brasil. *Dissertação*, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais of Brazil.
- Ramirez MCV et al. 1999. Statistical analysis of upper tropospheric vortices in the vicinity of northeast Brazil during the 1980-1989 period. *Atmosfera* **2**:75-88.
- Rao VB, Bonatti JP. 1987. On the origin of upper tropospheric cyclonic vortices in the South Atlantic Ocean and adjoint Brazil during the Summer. *Meteorol Atm. Phys* **37**(1):11-16.
- Silva LA. 2005. A influência do vórtice ciclônico de altos níveis (VCAN) sobre a precipitação do nordeste do Brasil (NEB) e as características associadas. *Dissertação*, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais do Brasil.