



UMA ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE VÓRTICES CICLÔNICOS DE ALTOS NÍVEIS E FORMAÇÃO DUTOS ATMOSFÉRICOS DE SUPERFÍCIE NA ÁREA DO AEROPORTO DE PETROLINA PE

André Gomes Penaforte¹, Magaly de Fatima Correia²

RESUMO

A influência da atuação de Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) na formação de dutos atmosféricos na região do aeroporto internacional de Petrolina foi avaliada neste trabalho. Dados de ar superior, obtidos através de sondagens realizadas no mês de janeiro em Petrolina PE, no período entre 2000 – 2014 foram usados no cálculo do índice de refração modificado e determinação dos dutos. Para atingir os objetivos propostos neste estudo as análises foram concentradas no mês de janeiro, período de maior atuação de VCAN na Região Nordeste. Enfoque especial foi dado aos anos com maior frequência de dutos em superfície. Os resultados mostram que do total de 367 dias com observações diárias de dados de ar superior, realizadas às 12 UTC, foram detectados 473 casos de sub-refração, 623 de super-refração, 241 registros de dutos elevados e 67 dutos de superfície (DS). Observou-se que 55% das ocorrências dos DS se formaram em condições atmosféricas sob a influência de VCAN com o centro predominantemente posicionado sobre o Oceano Atlântico. Em 30% dos casos, os DS se posicionaram no continente.

Palavras-chave: Refratividade, VCAN, Dutos.

¹Aluno do Meteorologia, Departamento de Ciências Atmosféricas, UFCG, Campina Grande, PB, e-mail: andrepenaforte@hotmail.com

²Doutora, Professora, Departamento de Ciências Atmosféricas, UFCG, Campina Grande, PB, e-mail: magaly_correia@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

Um país com dimensões como o Brasil, as telecomunicações são de fundamental importância. Considerando-se que ainda no momento atual, os fluxos de comunicação à longa distância são responsáveis por uma grande troca de informações. Entretanto é de forma significativa o avanço nas redes de telecomunicações, pois mesmo com todo esse avanço tecnológico ainda existem atrasos de sinais ou até percas de sinais radioelétricos. Alguns pesquisadores trabalham no intuito de conseguir a diminuição desses problemas.

O avanço nas telecomunicações é de suma importância tanto social quanto economicamente, pois algumas empresas utilizar diariamente as redes de comunicações para estabelecer seu funcionamento. Um caso comum no Brasil é a Empresa Brasileira de Telecomunicações SA (EMRATEL) que mesmo com todo esse avanço tecnológico ainda utiliza a forma via rádio em suas transmissões de sinais.

Percas ou atrasos dos sinais radioelétricos são causados pelas mudanças no de refração no meio de propagação, onde as variações horizontais e verticais do índice são influenciadas pela distribuição vertical do vapor de água, pressão, temperatura e água líquida. O transporte de massa de ar é importante no caso da propagação em microondas. As grandes mudanças antrópicas na região estão entre uma das principais causas das perturbações atmosféricas.

Em latitudes altas as inversões de temperatura representam o principal mecanismo de formação de dutos atmosféricos. Nas latitudes tropicais as inversões térmicas não são intensas para conseguir gerar as condições necessárias para a formação de dutos a não seja quando estão associados com a estratificação da umidade vertical (BEAN & DUTTON, 1968; AMORIM et. al., 1998, PATEL, 2001; CHAVES FILHO, et. al., 2013). Onde os movimentos de ar descendentes estão entre as principais causas das inversões térmicas para a formação de dutos elevados na região semiárida brasileira.

Neste contexto, o principal desenvolvimento dessa pesquisa teve como foco principal analisar as influências e condições meteorológicas, observada entre 2000 a 2014 do mês de janeiro, no padrão de refração atmosférica para Petrolina-PE. Onde o desenvolvimento de estudos sobre a relação entre as variações na estrutura

vertical do vapor d'água e condições anômalas da refração atmosférica é importante uma vez que essencial para o bom funcionamento de sistemas de sensoriamento remoto

DADOS E METODOLOGIA

O principal conjunto de dados utilizados nas é constituído por dados diários de ara superior provenientes de sondagens atmosféricas realizadas em Petrolina-PE (09° 38'S -40° 48'W; 370,0 m) às 12 UTC, disponíveis no site da Universidade de Wyoming – EUA, entre os anos de 2000 – 2014 do mês de janeiro, disponível em <<http://weather.uwyo.edu>>.

O critério para utilizar esse período de dados, foi por ser um mês que o VCAN tem sua atuação, além de ser o período de úmido para a região.

Área de Estudo

A cidade de Petrolina é a região da Usina Hidrelétrica de Sobradinho, estando inserido no semiárido brasileiro (Figura 1), englobando um dos polos agroindustrial mais importante do Brasil. A partir da construção da usina no início dos anos de 1980, os setores do Médio e Submédio da Bacia Hidrológica do Rio São Francisco passaram por mudanças ambientais e econômicas. Mudando o uso da terra com a implantação da agricultura de forma irrigada no contorno da usina, culminando na grande exportação de frutas e crescimento urbano acelerado (CORREIA, 2001; CORREIA *et al.*, 2006), tendo um clima influenciado por sistemas de ventos locais resultantes dessas ações antrópicas.

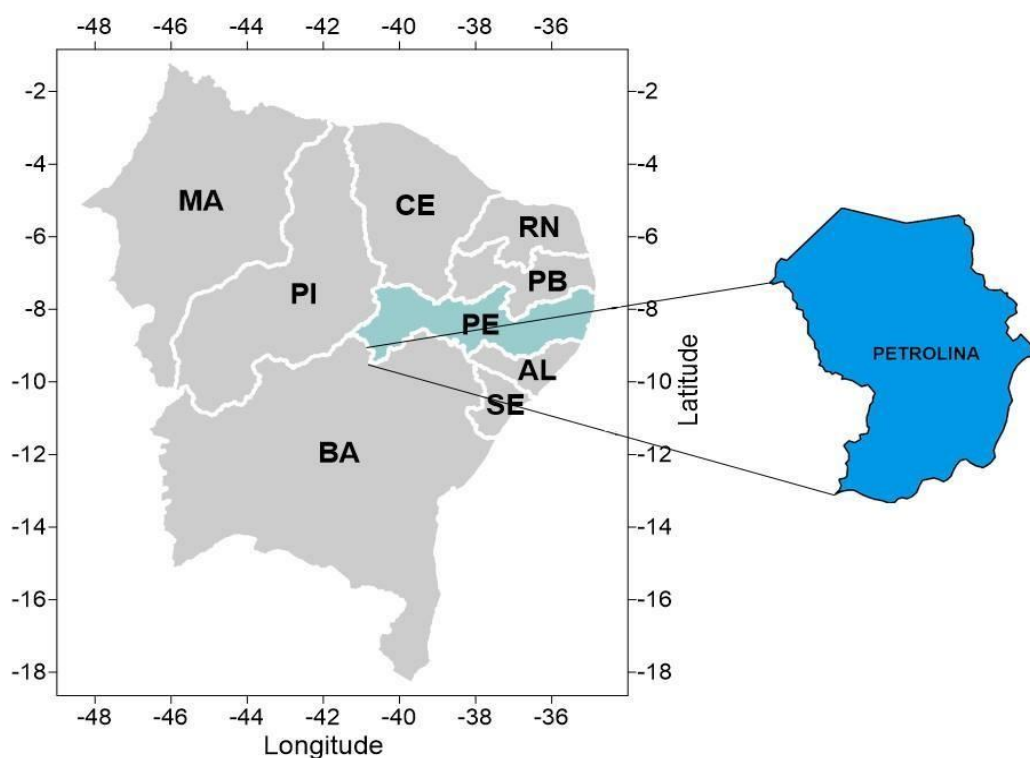


Figura 1. Localização geográfica da cidade de Petrolina-PE.

Aspectos Climáticos

A distribuição espacial das chuvas no semiárido nordestino é concentrada no período novembro a abril, sendo moduladas basicamente nas atuações de quatro sistemas atmosféricos: A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), caracterizando-se pela confluência dos alísios de nordeste e sudeste, pela ascensão do ar quente e úmido e a formação de nuvens convectivas, Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), estando associado com áreas de forte atividades convectivo e precipitação intensa (periferia do sistema, especificamente parte oeste) e regiões sem chuvas delimitadas em função de seu posicionamento geográfico (parte central do sistema). Movimentos subsidentes no centro do VCAN inibem o desenvolvimento das nuvens (Silva Aragão et. al., 2007; Aragão et, al., 2000), a presença se sistemas frontais procedentes de latitudes médias pela oscilação Maden – Julian (KOUSKY & KAIANO, 1994).

Outros autores ressaltam como característica marcante nesse período seco na região, a persistência de inversões térmicas de subsidência do ar associado com a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS).

MATERIAIS E MÉTODOS

A relação entre as variáveis meteorológicas e a refratividade N é dada pela equação:

$$N = 10^6(n - 1) = N_s + N_u = 77,6 \frac{P}{T} + 3,73 \times 10^5 \frac{e}{T^2} \quad (1)$$

Em que,

$$N_s = \frac{77,6}{T} P; \text{ é o termo seco da refratividade;}$$

$$N_u = \left(3,73 \times 10^5\right) \frac{e}{T^2}; \text{ é o termo úmido da refratividade;}$$

P é a pressão atmosférica (mb); T é a temperatura atmosférica (K); A pressão atmosférica (P) foi determinada a partir da equação:

$$P \cong \frac{e^{0,622}}{r} \times 10^3 \text{ Na qual,}$$

$$r = 622 \frac{e}{(P - e)} \text{ é a razão de mistura em (g/kg);}$$

e é a pressão de vapor (mb) e;

$$e_s(T) = 6,11 \times \exp\left[\frac{(17,67T)}{(T + 243,5)}\right] \text{ é a pressão de vapor de saturação (mb).}$$

$$UR = \frac{e}{e_s(T)} \text{ é a umidade relativa;}$$

$$\frac{dN}{dh} = 0,35 \frac{dP}{dh} - 1,3 \frac{dT}{dh} + 7 \frac{dr}{dh} \quad (2)$$

Em que, r representa a razão de mistura (g/kg).

O duto se forma quando $\frac{dN}{dh} \leq -157 \frac{\text{unidades de } N}{\text{km}}$

Essa situação é possível para:

$\frac{dT}{dh} > 0$ Inversão térmica

$\frac{dr}{dh} < 0$ Secagem atmosférica

Quatro regimes de refração são considerados:

1. Condições de Sub-refração: quando $dN/dZ > 0$: nestes casos, as ondas são desviadas para cima da trajetória original, diminuindo, assim, o alcance máximo da propagação;

2. Condições de Refração Normal: quando, $-79 < dN/dZ < 0$. Nesta situação, as ondas podem sofrer uma pequena mudança na direção inicial, acompanhando a curvatura da Terra e aumentando o alcance das ondas eletromagnéticas em relação ao horizonte geográfico;

3. Super-refração: este tipo de condição ocorre quando $-157 < dN/dZ < -79$. A curvatura da trajetória aumenta para baixo, ou seja, o feixe é desviado na direção da superfície terrestre;

4. Receptação (Dutos): condição atmosférica em que uma determinada camada pode aprisionar ondas radioelétricas em propagação. Ocorre quando $dN/dZ < -157$. Nestes casos, a super-refração é tão intensa que a onda eletromagnética fica oscilando dentro de uma mesma camada.

A detecção e estimativa da frequência de formação de dutos troposféricos foram feitas com base na construção de perfis verticais do índice de refração modificado (M) obtido pela equação:

$$M = N + 0,157Z$$

(3)

Em que,

N é a refratividade; Z é a altura (mgn).

O esquema apresentado na figura 2 ilustra os diferentes regimes de refração atmosférica.

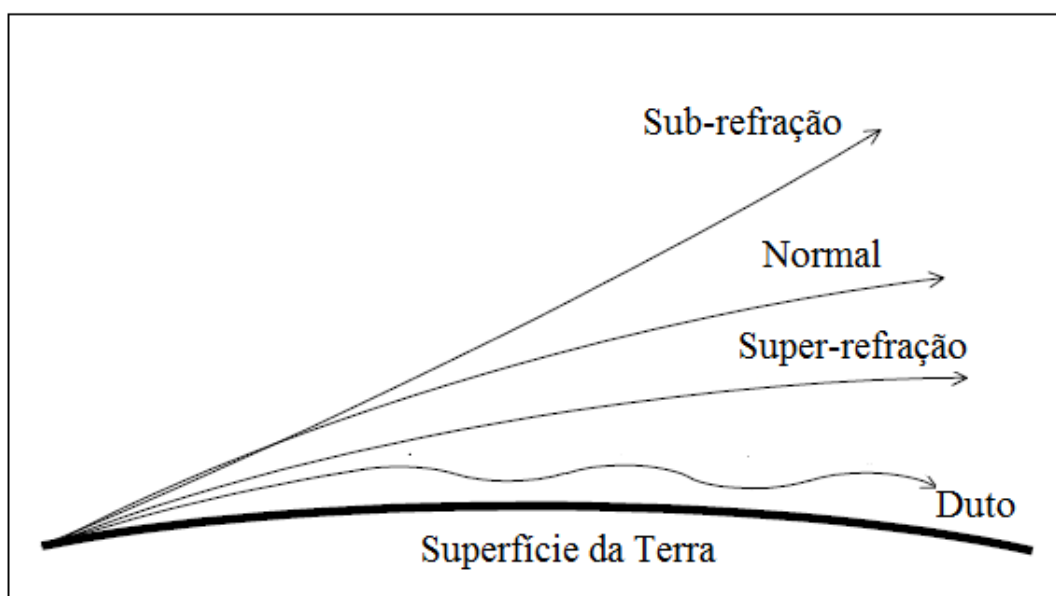


Figura 2. Regimes de refração atmosférica.

DESENVOLVIMENTO

Aprofundar estudos de rádio climatologia iniciados na primeira fase do desenvolvimento da pesquisa PIBIC (2015/2016). Com um enfoque particular dado na investigação sobre a relação entre as variações atmosférica e mudanças na estrutura vertical da temperatura e umidade em períodos de atuação do VCAN.

Neste relatório são apresentados resultados finais das atividades desenvolvidas no período de agosto de 2016 a agosto de 2017.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Número de casos de VCANs que atuou na região do Nordeste do Brasil (NEB) no período entre 2000 e 2014 do mês de janeiro está apresentado na figura 3. Informações adquiridas através dos boletins climanalise foram importantes para essa estimativa, onde considerou uma média de maiores dias de atuação do vórtice sobre a região (oceano ou continente) para obter a ocorrência, considerando que atuação do sistema abaixo de 20° Sul não influencia sobre o nordeste brasileiro. Observa-se claramente um maior número de casos de VCAN com centro posicionado mais sobre oceano.

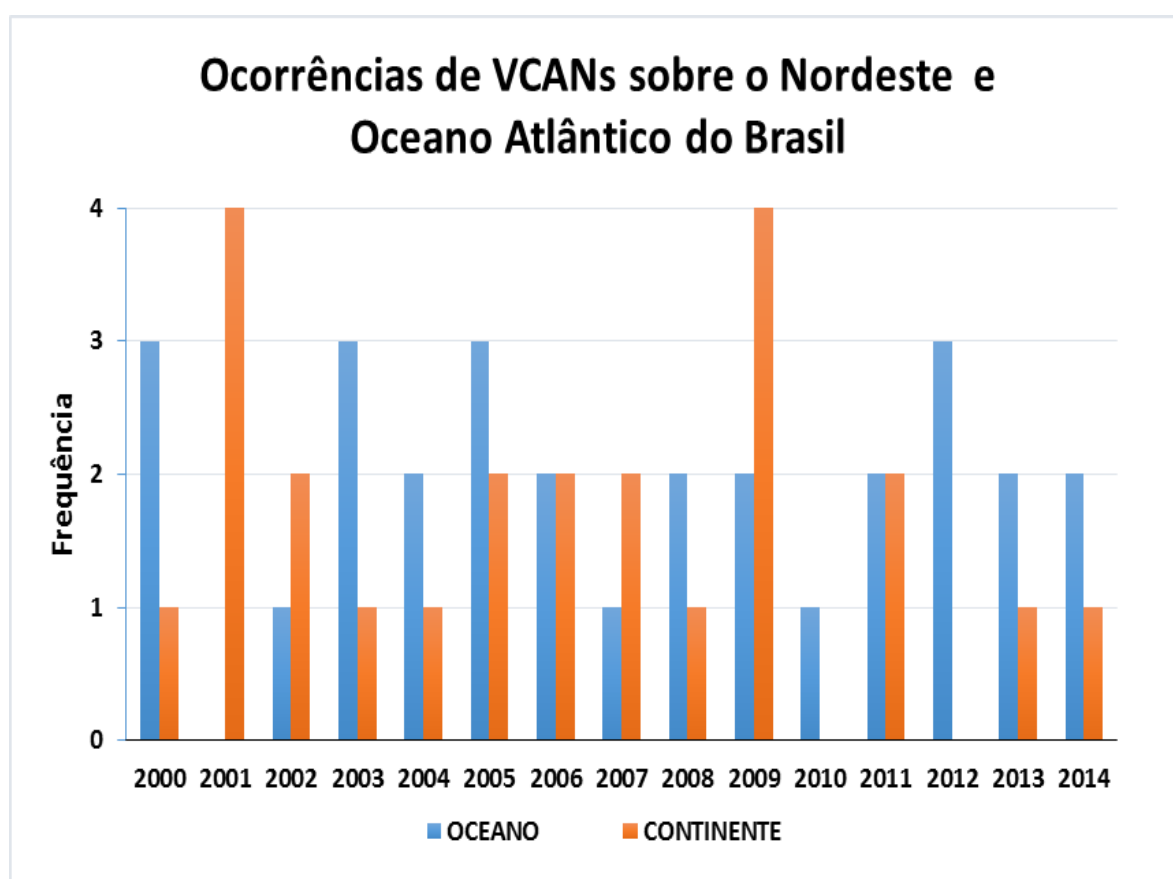


Figura 3. Frequência de VCAN que atuaram no Nordeste do Brasil no mês de janeiro no período de 2000 a 2014.

Os centro dos VCANs é apresentada pela figura 4, que atuaram em toda América do Sul, onde as diversidades de cores das bolinhas significa a atuação de vários VCANs, é disponível pelo website do CPTEC. Segundo informe do boletim do

climanálise os anos de 2001, 2005, 2007 e 2012 foram anos que os vórtices não contribuiu com chuvas acima da média histórica, mesmo nos anos de 2005, 2007 e 2012 alguns VCANs que atuaram na região do nordeste brasileiro se posicionou sobre o Oceano Atlântico, que esse posicionamento influência nas chuvas para região ficaram abaixo das médias históricas. Porém em 2004 a cidade de Petrolina – PE, ocorreu diversas inundações devido ao posicionamento dos VCANs que atuou (figura 4.b).

Normalmente os dutos de superfície são associados ao transporte vertical de umidade do ar na baixa atmosfera comum em períodos chuvoso como o caso de janeiro para a região em estudo. Já dutos elevados estão associado com a subsidência, por causa que a subsidência faz com que a queda no teor de vapor da atmosfera (secagem atmosférica) aprisione o ar úmido e forme os dutos elevados.

Os gradientes negativos (super-refração) ocorrem associados com aumento da temperatura e queda acentuada da umidade com altura. Situação oposta é observada com gradientes positivos (sub-refração). Em geral, observa-se queda acentuada da temperatura e aumento da umidade com a altitude.

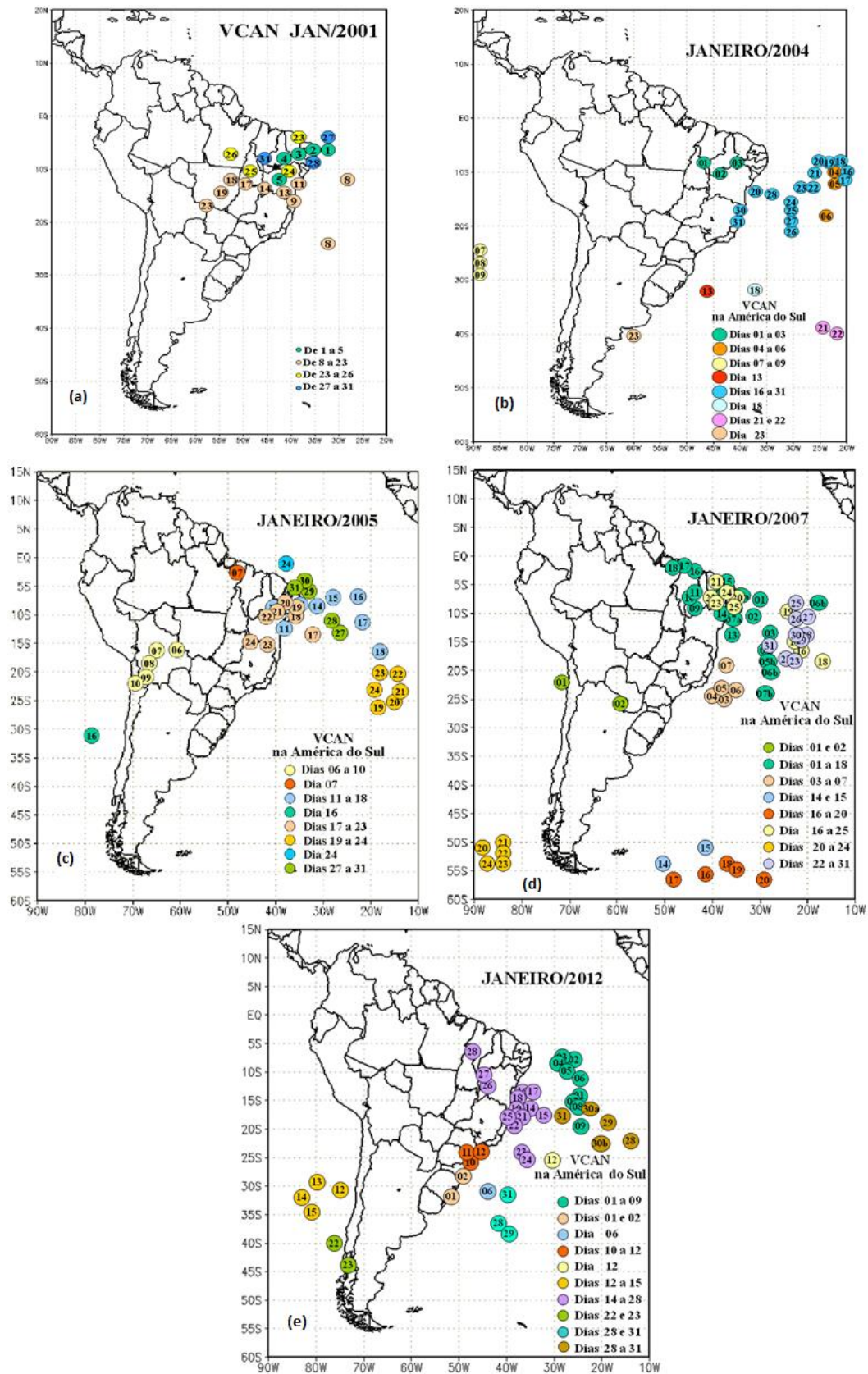


Figura 4. Trajetória dos centros do VCAN de janeiro de 2001, 2004, 2005, 2007 e 2012.

De um total de 367 dias de observações diárias de ar superior, entre 2000 – 2014 do mês de janeiro, realizada às 12 UTC (Tabela 1). Foram detectados 623 super-refração, 473 sub-refração, 241 duto elevado e 67 duto de superfície. Os anos de 2001, 2004, 2005, 2007 e 2012 foram o que mais se destacaram no período analisado, pois foram os anos que ocorreram mais dutos de superfície.

Tabela 1. Distribuição das ocorrências das camadas atmosféricas com gradientes anômalos de refratividade.

Condições Anômalas	Dutos de Superfície	Duto Elevado	Sub-refração	Super-refração
2000	2	8	24	50
2001	14	13	26	45
2002	0	0	5	7
2003	0	9	22	55
2004	8	7	14	12
2005	6	5	20	39
2006	3	2	4	5
2007	15	17	28	57
2008	2	30	55	47
2009	3	29	45	44
2010	1	11	36	27
2011	2	15	49	54
2012	6	16	46	44
2013	3	19	31	48
2014	2	60	67	89
Total	67	241	473	623

Perfis verticais das temperaturas do ar (T), temperatura do ponto de orvalho (Td), razão de mistura (r), índice de refração modificado (M) e imagem do satélite GOES – 12 e GOES – 13 no canal infravermelho, para os dias 02 de janeiro de 2004, 30 de janeiro de 2007 e 6 de janeiro de 2012 com os centros do VCAN em

diferentes localidades, apresentada as situações de ocorrências de dutos de superfície, dutos elevados, sub-refração e super-refração detectados no período analisado (figura 6, 7 e 8).

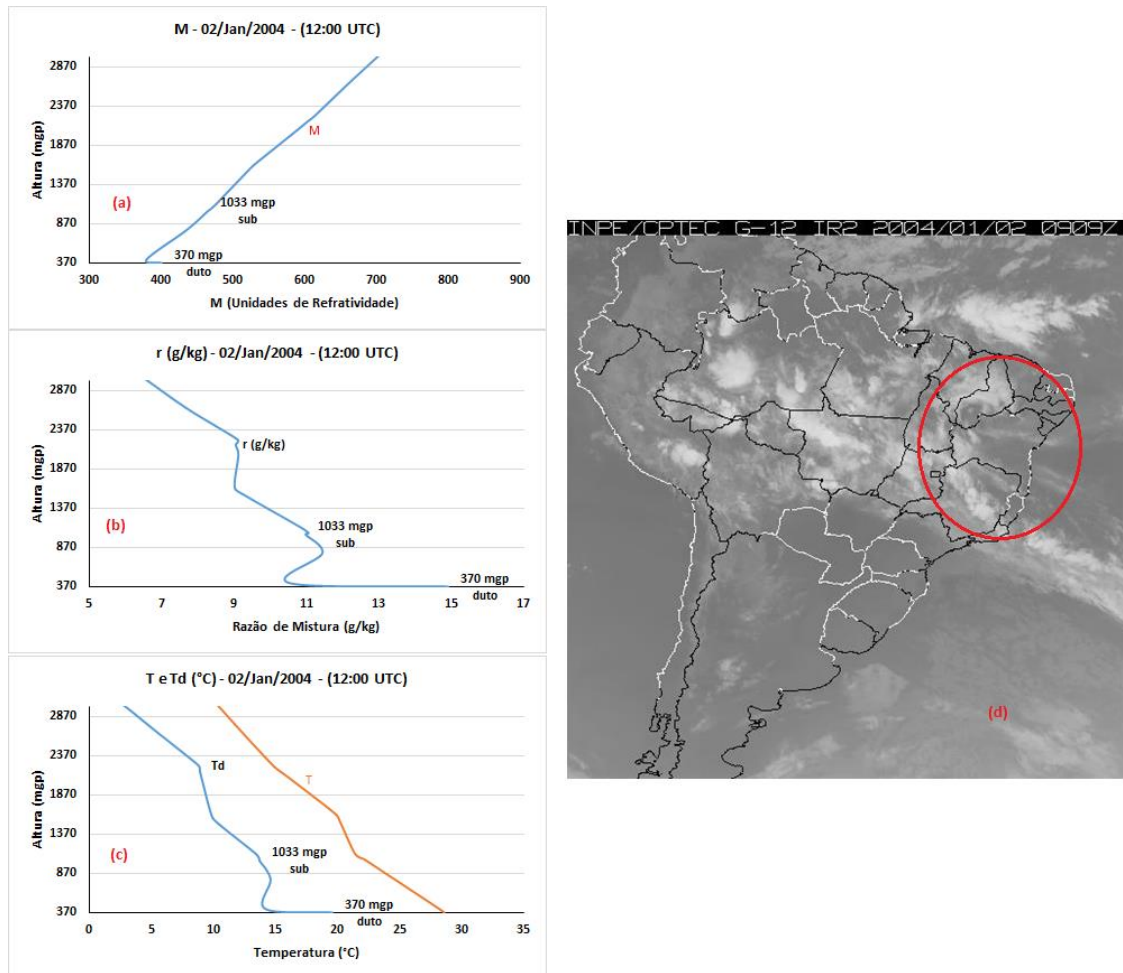


Figura 6. Perfis verticais do índice de refração modificado (M) (a), da razão de mistura (g/kg) (b), temperatura e temperatura do ponto de orvalho (c) e imagem do satélite GOES – 12 no canal infravermelho em baixa resolução as 9:09 horas, para o dia, 02 de janeiro de 2004.

Para ambos os casos dutos de superfície do dia 02 de janeiro de 2004 e 30 de janeiro de 2007 a queda brusca da razão de mistura é um indicativo da formação do duto (figura 6.b e 7.b). Esse efeito é visível no perfil vertical do índice de refração modificado (M) apresentado na figura 6.a e 6.a. Verifica-se uma queda abrupta de M com a altura no nível de aproximadamente. Esse nível coincide com a base de uma camada de inversão detectada facilmente nos perfis verticais da temperatura e temperatura do ponto de orvalho, apresentados na figura 6c e 6.7. Outro fator

importante é que a atividade convectiva do VCAN está sobre Petrolina ilustrada pelo círculo vermelho na imagem do satélite GOES – 12 (figura 6.d e 7.d).

Entretanto na sub-refração é observada com queda acentuada da temperatura do ponto de orvalho (figura 6.c) e aumento da umidade com a altitude (figura 6.b).

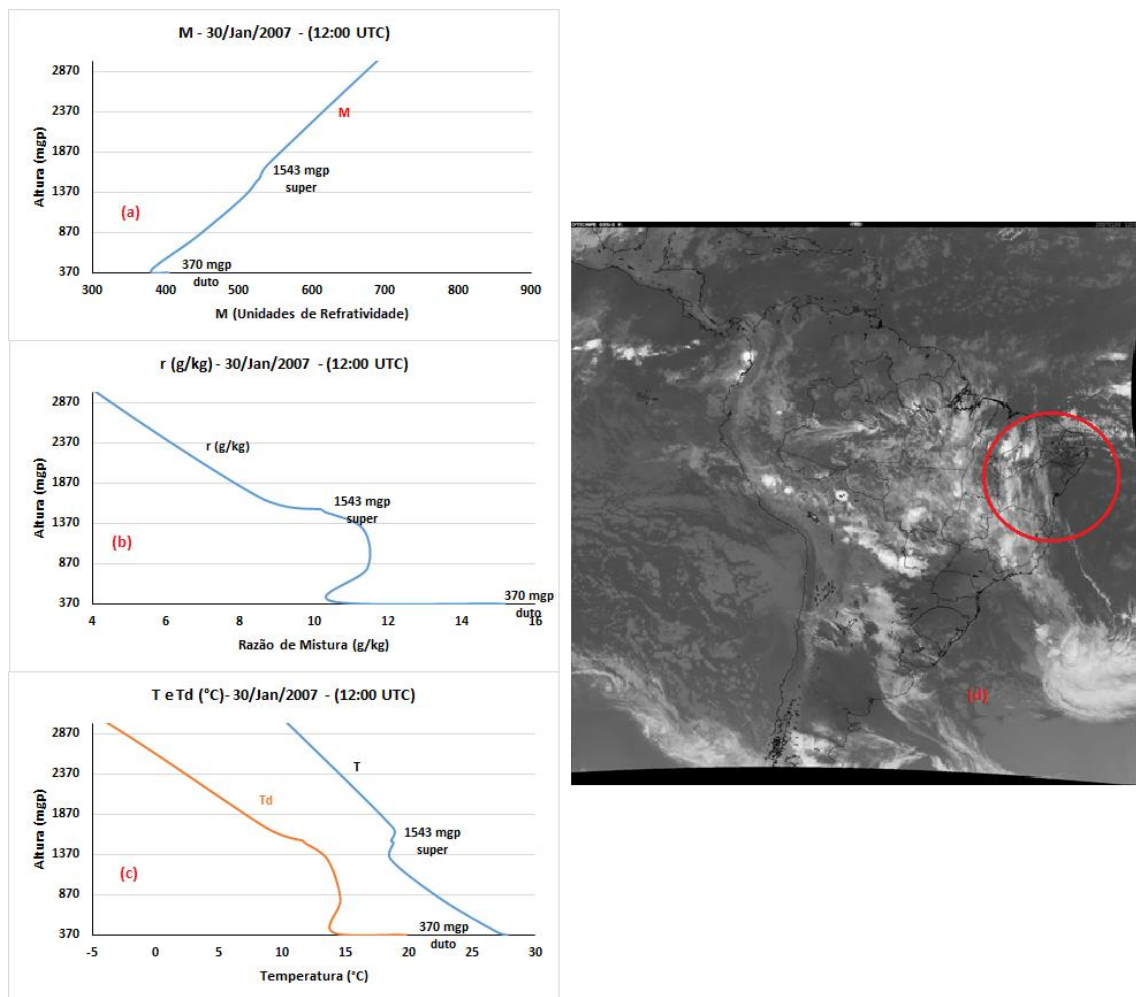


Figura 7. Perfis verticais do índice de refração modificado (M) (a), da razão de mistura (g/kg) (b), temperatura e temperatura do ponto de orvalho (c) e imagem do satélite GOES – 12 no canal infravermelho em baixa resolução as 12:00 horas, para o dia, 30 de janeiro de 2007.

A super-refração ocorreu com aumento da temperatura (figura 7.c) e queda acentuada da umidade com altura (figura 7.b), observa-se também que na camada da super-refração existe uma inversão de temperatura.

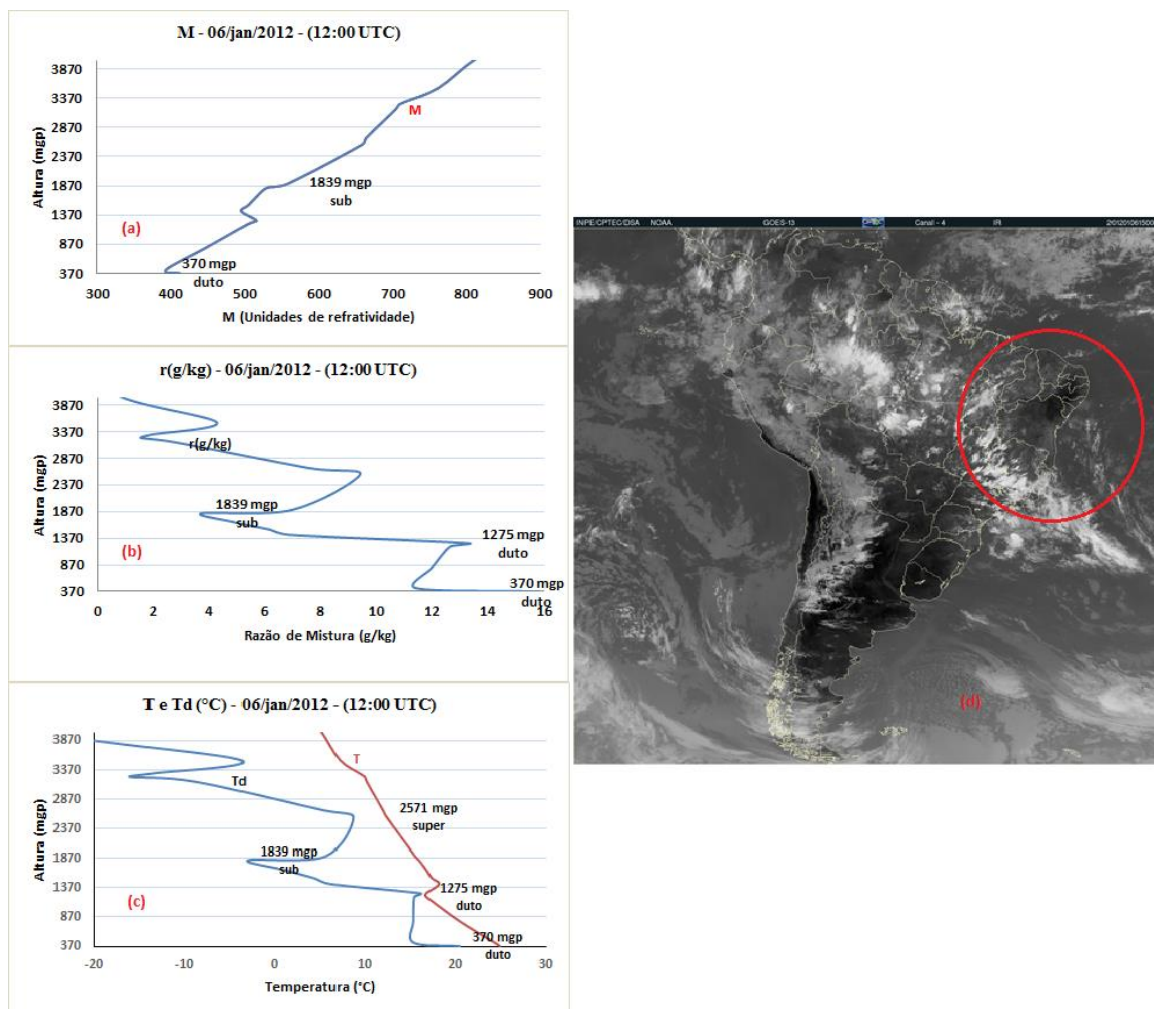


Figura 8. Perfis verticais do índice de refração modificado (M) (a), da razão de mistura (g/kg) (b), temperatura e temperatura do ponto de orvalho (c) e imagem do satélite GOES – 13 no canal infravermelho em baixa resolução as 15:00 horas, para o dia, 06 de janeiro de 2012.

A proximidade entre as curvas de T e Td é um indicativo do teor de umidade da atmosfera e/ou da estratificação vertical do vapor e da taxa de variação vertical da temperatura. Observa-se claramente que a formação de dutos elevados (figura 8.ch). Por outro lado, afastamento abrupto entre as curvas de T e Td a partir do nível de 1275 mgp, indica uma secagem na atmosfera. A redução da razão de mistura (redução da umidade) com a altura para o mesmo nível, apresentada na figura 8.b confirma o resultado.

Na camada abaixo do nível de 1275 mgp é um indicativo de que ar mais úmido fica retido abaixo da a camada de inversão de subsidência, devido que o

centro do VCAN está posicionado sobre a região central do nordeste e parte do Oceano Atlântico como ilustra o círculo vermelho na figura 8.d. A camada inversão térmica impede o transporte de umidade para níveis mais altos da atmosfera, condensação do vapor e conseqüentemente, a formação de nuvens. Em síntese, os dutos de superfície se formaram em decorrência do forte gradiente de umidade (uma camada de ar úmido sobreposto por uma camada de ar mais seco).

Os sinais radioelétrico na atmosfera podem afetar diversas áreas como telecomunicações (principalmente na área empresarial) e navegação marítima e aérea. Onde a radiopropagação na atmosfera depende principalmente das condições meteorológicas. Devido à interação entre os fenômenos vários sistemas meteorológicos entre eles o VCAN e a energia da propagação que pode causar a refração e atenuações nos sinais.

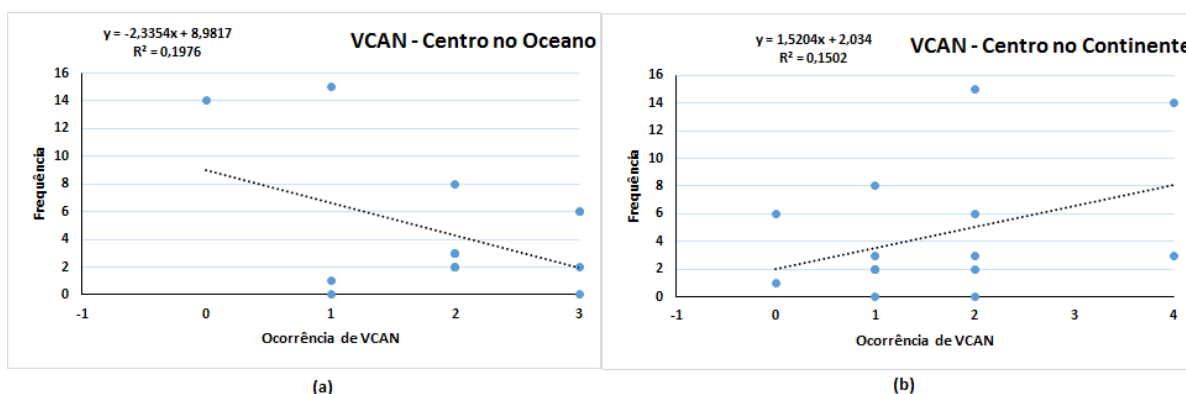


Figura 9. Correlação entre números de VCAN e frequência de dutos de superfície com centro do sistema: (a) no Oceano Atlântico e (b) no continente.

Não existe uma relação direta com o centro do VCAN e seu posicionamento geográfico (figura 9), pois com $r^2=0,19$ com o centro do sistema no oceano e $r^2=0,15$ com o centro no continente. Mostra que somente 19% e 15% do número de VCAN com posicionado geograficamente (continente / oceano) explica respectivamente a frequência de dutos de superfície. Entretanto, 81 % ($1 - 0,19$) para ocasião da atuação do VCAN com o centro no oceano e 85% ($1 - 0,15$) da sua variância com a atuação do VCAN com o centro sobre o continente. O que podemos concluir da reta de tendência linear é que a formação de dutos de superfície não depende da posição geográfica do VCAN e sim dependentes de outras condições.

CONCLUSÃO

As análises neste trabalho permitiu concluir que:

- Mudanças acentuadas nos gradientes verticais de temperatura e umidade provocadas pela atuação de vórtices ciclônicos de altos níveis (VCAN) na região Nordeste do Brasil são responsáveis por um número elevado de condições anômalas de refração atmosférica (sub-refração (36,68%) e super-refração (44,37%));
- Que variações na refratividade atmosférica podem causar interferências significativas no nível de sinais recebidos em enlaces de rádio;
- Existe uma forte relação entre inversões de subsidência e formação de dutos elevados;
- Existe uma forte relação na queda da razão de mistura para a formação de dutos de superfície;
- Não existe uma relação direta (linear) entre a frequência de dutos de superfície e a posição geográfica do VCAN (centro no oceano / centro no continente);

AGRADECIMENTOS

“O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil”. Onde o programa no qual o projeto foi desenvolvido no Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica - PIBIC/CNPq-UFCG.

REFERÊNCIAS

- BEAN, B.R. e DUTTON, E.J. (1968): Radio Meteorology. Dover Publications, Inc., New York, 435p.
- AMORIM, M. J. R.; SILVA ARAGÃO, M. R.; CORREIA, M. F. Incidência de dutos troposféricos no período do EMAS. In: X CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA E VIII CONGRESSO DA FLISMET, 1998, Brasília-DF. Anais do X Congresso Brasileiro de Meteorologia e VIII Congresso da FLISMET. 1998
- CHAVES FILHO, J. B, CORREIA, M. F., GURJÃO, C. D. S.; BARBIERE, L. F. P.; SILVA ARAGÃO, M. R. Formação de Dutos Troposféricos no Semiárido Brasileiro: Um Estudo de Caso em Condições Meteorológicas Extremas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, V. 6, p. 932-994, 2013.
- CORREIA, M.F.; SILVA DIAS, M.A.F.; SILVA ARAGÃO, M.R. Soil Occupation and Atmospheric Variations over Sobradinho Lake area. Part Two: A regional modeling study. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 94, p. 115-128, 2006. DOI 10.1007/s00703-005-0174-3.
- CORREIA, M. F. Impacto das Ações Antrópicas no Clima do Submédio do Rio São Francisco: Um Estudo Numérico e Observacional. 2001. **Tese de doutorado**. IAG-USP. São Paulo.
- PATEL, S. R., Refractive Index Spectral Transfer in Inhomogeneous Turbulence in Atmospheric / Oceanic Surface Layer.11th conference on Satellite Meteorology and Oceanography, AMS, Madison, WI. U. S. A. 15-18 October 2001.
- SILVA ARAGÃO, M. R.; DAMIÃO, M. C.; CAVALCANTI, I. F, CORREIA, M. F. (2007). Observational study of a rainy January day in the Northeast Brazil semi-arid region: synoptic and mesoscale characteristics. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, v.133, p.1127 – 1141.
- SILVA ARAGÃO, M. R., CORREIA, M. F.; ARAÚJO, H. A. (2000). Characteristic of C-Band Meteorological Radar Echoes at Petrolina, Northeast Brazil. International Journal of Climatology, v.20, p. 279-298.