CLIMATOLOGIA TROPICAL

Capítulo 5

Massas de Ar e Sistemas Atmosféricos Atuantes no Brasil: da Escala Continental ao Nordeste



Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

1. Introdução

Uma massa de ar é um volume atmosférico de grandes dimensões horizontais que adquire, sobre uma região-fonte, propriedades relativamente homogêneas de temperatura e umidade. Essa homogeneidade não é permanente: ao se deslocar em resposta aos gradientes de pressão, a massa carrega consigo as marcas térmicas e higrométricas do local onde se formou, mas vai perdendo ou reforçando essas características conforme atravessa superfícies distintas - oceano, floresta, área seca, relevo mais elevado. É justamente esse processo de formação, deslocamento e transformação (ou tropicalização, quando uma massa fria se aquece ao avançar sobre baixas latitudes) que estrutura boa parte da dinâmica climática do território brasileiro.

O Brasil ocupa uma posição pouco comum nesse quesito. Trata-se de um país de dimensão continental, situado majoritariamente entre o Equador e o Trópico de Capricórnio, com mais de 7 mil quilômetros de litoral voltados para o Atlântico e sem grandes cadeias montanhosas capazes de barrar o avanço de massas de ar no sentido norte–sul, como ocorre, por exemplo, nos Estados Unidos com as Montanhas Rochosas ou na Europa com os Alpes. O relevo brasileiro, majoritariamente de baixa altitude e sem barreiras orográficas contínuas na direção meridiana, permite que massas de origem equatorial, tropical e mesmo polar circulem com relativa liberdade por boa parte do território, produzindo um mosaico climático que não se explica apenas pela latitude.

A nomenclatura das massas de ar segue uma lógica simples, herdada da escola francesa de climatologia dinâmica e adaptada por geógrafos brasileiros a partir de meados do século XX: o nome combina a classificação térmica de origem (equatorial, tropical ou polar) com a natureza da superfície de formação (continental ou atlântica/oceânica). Massas equatoriais e tropicais nascem quentes; a massa polar, fria. Massas de origem continental tendem a ser secas na formação; as de origem oceânica, úmidas - ainda que essa regra se altere conforme a trajetória. Cinco massas respondem, em conjunto, pela circulação atmosférica de superfície sobre o Brasil: a Equatorial Continental (mEc), a Equatorial Atlântica (mEa), a Tropical Continental (mTc), a Tropical Atlântica (mTa) e a Polar Atlântica (mPa).

2. As cinco massas de ar atuantes no território brasileiro

2.1 Massa Equatorial Continental (mEc)

Forma-se sobre a Amazônia ocidental, onde a intensa evapotranspiração da floresta e a grande disponibilidade de energia solar produzem uma massa quente e extremamente úmida. É a principal responsável pelo transporte de vapor d'água da bacia amazônica para o restante do país. Sua atuação é praticamente constante sobre a região Norte ao longo do ano; no verão austral, expande-se sobre parte do Centro-Oeste e alcança o Nordeste e o Sudeste, enquanto no inverno perde força e recua para os limites da Amazônia ocidental.

2.2 Massa Equatorial Atlântica (mEa)

Origina-se no Atlântico Norte, próximo à linha do Equador, e chega ao Brasil quente e úmida. Está associada à formação dos ventos alísios de nordeste e atua principalmente sobre a faixa litorânea das regiões Norte e Nordeste, com maior intensidade no verão. Ao penetrar no continente, tende a perder umidade e força rapidamente, o que limita seu alcance às porções mais próximas da costa.

2.3 Massa Tropical Continental (mTc)

Nasce na depressão do Chaco, área de baixa altitude compartilhada por Bolívia, Paraguai e Argentina, sob forte insolação e baixa disponibilidade de umidade - daí seu caráter quente e seco. Sua área de atuação concentra-se no Centro-Oeste brasileiro, podendo se estender a porções do Sul e do Sudeste, especialmente no verão. No inverno, curiosamente, essa mesma massa pode funcionar como um anteparo relativo ao avanço de ar mais frio vindo do sul, amenizando o resfriamento em algumas situações.

2.4 Massa Tropical Atlântica (mTa)

Formada sobre o Atlântico Sul, na faixa subtropical de alta pressão, nasce quente e relativamente seca, mas absorve umidade ao longo do deslocamento sobre o oceano, chegando ao continente já carregada de vapor d'água. É a massa de maior alcance latitudinal: atua por toda a extensão do litoral brasileiro. No inverno, ao avançar sobre o Nordeste, contribui para as chuvas do tipo frontal na faixa leste; no verão, sobre o Sudeste, produz as chuvas orográficas típicas da Serra do Mar e da Mantiqueira. É também a massa que compõe, junto com a mPa, boa parte dos sistemas frontais que cruzam o país de sul a norte.

2.5 Massa Polar Atlântica (mPa)

É a única massa de origem polar a influenciar o Brasil, formando-se no extremo sul da Argentina, próximo à Patagônia. Fria e úmida, avança pelo continente sul-americano dividida, de modo geral, em dois ramos principais: um que segue pelo interior, ao longo do corredor formado pela depressão do Chaco e pelo Pantanal, e outro que acompanha o litoral, do Rio Grande do Sul em direção ao Nordeste. No Sul do país, sua chegada está associada a geadas e, em situações mais extremas, à ocorrência de neve; no Centro-Oeste e na Amazônia, provoca os episódios de friagem, com quedas bruscas de temperatura mesmo em plena floresta equatorial. Quando o ramo litorâneo da mPa encontra a mTa ao longo da costa, o contraste térmico e de umidade entre as duas massas gera as frentes frias responsáveis por parte importante das chuvas de inverno no leste do Nordeste.

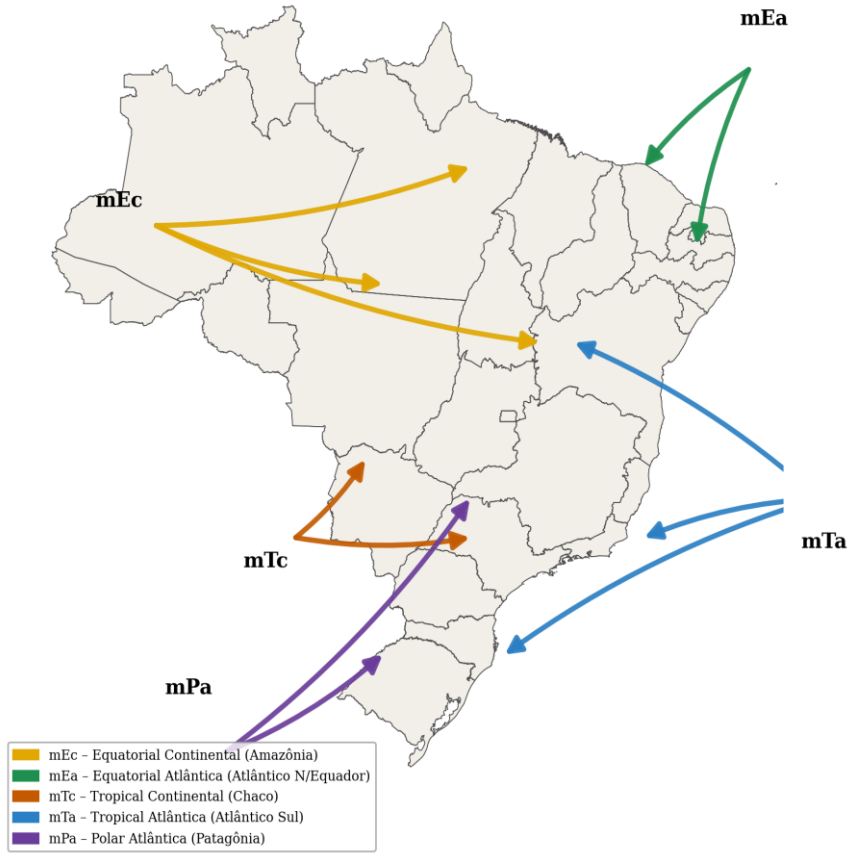


Figura 1 - Massas de ar atuantes no território brasileiro: regiões de origem e direção geral de deslocamento. Elaboração própria, com base em Mendonça (2009)) e na bibliografia de climatologia geográfica citada no texto.

O quadro a seguir sintetiza as características de cada uma das cinco massas.

Massa de ar	Sigla	Região de origem	Características na origem	Área de atuação principal	Estação de maior atuação
Equatorial Continental	mEc	Amazônia ocidental	Quente e muito úmida	Norte; expande-se sobre o Centro-Oeste e parte do Nordeste/Sudeste	Verão (atua o ano todo na Amazônia ocidental)
Equatorial Atlântica	mEa	Atlântico Norte, próximo à linha do Equador	Quente e úmida	Litoral das regiões Norte e Nordeste	Verão
Tropical Continental	mTc	Depressão do Chaco (Bolívia, Paraguai, Argentina)	Quente e seca	Centro-Oeste; pode alcançar parte do Sul e do Sudeste	Verão (no inverno atua como barreira ao ar frio)
Tropical Atlântica	mTa	Atlântico Sul subtropical	Quente e seca na origem; umidifica-se sobre o oceano	Todo o litoral brasileiro	Inverno (chuvas frontais no NE) e verão (chuvas orográficas no SE)
Polar Atlântica	mPa	Sul da Patagônia/Argentina	Fria e úmida	Sul, Sudeste e Centro-Oeste; ramos alcançam o litoral do Nordeste	Inverno

Tabela 1 - Comparação entre as massas de ar atuantes no Brasil.

Vale registrar dois refinamentos que a literatura de climatologia dinâmica costuma acrescentar a esse quadro simplificado. Primeiro, a mEa é, na prática, tratada como duas entidades conjuntas: a mEa de origem no Hemisfério Norte (mEan), que alimenta os alísios de nordeste, e a mEa de origem no Hemisfério Sul (mEas), tratada em conjunto com a mTa por terem comportamento muito semelhante ao penetrar no continente. Segundo, existe ainda um conjunto de massas de origem Pacífica (Equatorial Pacífica - mEp, Tropical Pacífica - mTp, e Polar Pacífica - mPp) que compõe a circulação da América do Sul como um todo, mas que, barradas pela Cordilheira dos Andes, não chegam a atuar diretamente sobre o território brasileiro - a mTp, por exemplo, limita-se a alimentar a Depressão do Chaco pela vertente oriental andina, contribuindo indiretamente para a formação da mTc.

QUADRO DE CURIOSIDADE

A Massa Tépida Kalaariana e o semiárido nordestino

Nem toda a bibliografia sobre o clima do Nordeste segue estritamente a classificação nacional de cinco massas. Dois geógrafos pernambucanos, Gilberto Osório de Andrade e Rachel Caldas Lins, propuseram em 1971 uma leitura complementar: a massa tropical atlântica que atinge o Nordeste, ao se diferenciar da mTa que segue para o Sul e o Sudeste, mereceria ser tratada como uma entidade própria, batizada de Massa Tépida Kalaariana (TK), ou massa morna Kalaariana.

A ideia por trás do nome não é apenas descritiva. Para os autores, o comportamento seco dessa massa sobre boa parte do interior nordestino guarda relação com o mesmo anticiclone semifixo do Atlântico Sul que, do outro lado do oceano, sustenta os desertos do Kalahari e da Namíbia, no sudoeste africano - daí o adjetivo "kalaariana". A TK chegaria ao litoral já relativamente seca, com uma camada de inversão dos alísios pouco espessa, o que dificulta a ascensão do ar e a formação de nuvens de maior desenvolvimento vertical no interior, ainda que provoque chuvas leves, de caráter orográfico, junto à faixa costeira e às serras e chapadas mais próximas do litoral.

A proposta de Andrade e Lins segue citada até hoje por autores que estudam o Agreste e o Sertão pernambucanos, funcionando menos como uma substituição da classificação clássica e mais como uma chave regional para explicar por que a semiaridez nordestina é tão persistente mesmo em uma faixa costeira banhada por uma massa de ar quente e, em tese, úmida.

3. Frentes: o encontro entre massas de ar

3.1 O mecanismo geral das frentes

Uma frente é a zona de transição - ou "zona limite" - entre duas massas de ar com propriedades diferentes de temperatura e umidade. Onde elas se encontram, o ar não se mistura de forma homogênea: a massa mais fria e densa tende a permanecer junto à superfície, funcionando como uma cunha sobre a qual a massa mais quente e menos densa é forçada a subir. Essa superfície de contato inclinada é o que os manuais de meteorologia chamam de superfície frontal, e sua interseção com o solo é a frente propriamente dita. É justamente nessa faixa de contato, estreita se comparada à extensão das massas envolvidas, que o tempo se torna instável e o ar mais agitado.

As frentes costumam ser classificadas em três tipos, de acordo com qual massa avança sobre qual:

- Frente fria - o ar frio avança e força o ar quente, que está junto ao solo, a recuar e se erguer bruscamente. Por ser mais íngreme, desloca-se relativamente rápido (a faixa de instabilidade tem, em média, cerca de 400 km de largura) e produz chuvas mais concentradas, muitas vezes acompanhadas de rajadas de vento e queda rápida de temperatura.
- Frente quente - o ar quente avança sobre uma massa de ar frio que recua lentamente. Como a superfície frontal tem inclinação mais suave, a faixa de nebulosidade e

precipitação é mais larga (em torno de 1.000 km) e a chuva costuma ser mais fraca e contínua, precedida por um avanço gradual de nuvens altas e médias.

- Frente estacionária - ocorre quando nenhuma das duas massas tem energia suficiente para deslocar a outra. O contraste entre elas permanece sobre a mesma área por vários dias, o que pode gerar chuvas persistentes e, em casos mais extremos, cheias e alagamentos.

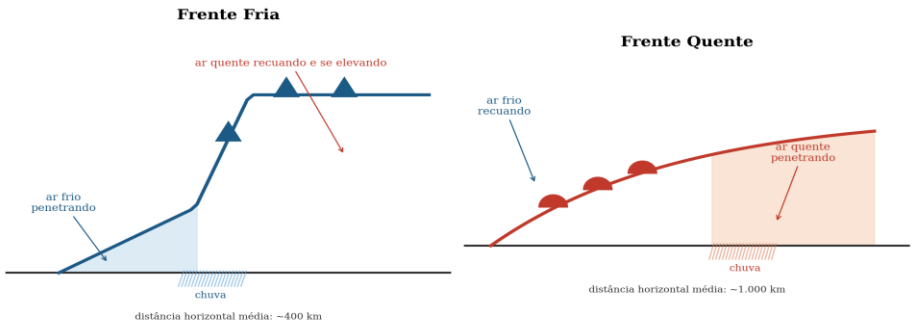


Figura 5 - Esquema simplificado de uma frente fria e de uma frente quente, com a inclinação típica da superfície frontal e a faixa de chuva associada a cada uma. Elaboração própria, com base na descrição de Tubelis e Nascimento (1984) e Ayoade (2003).

A passagem de uma frente também segue uma sequência característica de tipos de tempo, sentida antes, durante e depois de sua chegada: a pressão atmosférica cai à medida que o sistema se aproxima, o vento muda de direção e ganha intensidade, e a nebulosidade evolui de forma reconhecível - nuvens altas e finas anunciam a frente quente com bastante antecedência, enquanto a frente fria costuma chegar de forma mais súbita, com cumulonimbos e pancadas de chuva, para depois dar lugar a um tempo mais estável e, em geral, mais frio.

3.2 Os ramos de penetração da mPa no território brasileiro

Como já mencionado, a mPa é a única massa de origem polar que atua sobre o Brasil, e é justamente no encontro dela com as massas quentes que se formam a maior parte das frentes do país. Ao avançar sobre o continente, a mPa segue, de modo geral, três ramos ou corredores preferenciais, condicionados pela disposição do relevo sul-americano.

- 1º ramo (litorâneo) - acompanha a linha da costa, por ser o caminho com menos obstáculos físicos. É este ramo que, ao encontrar a mTa junto ao litoral, origina as frentes responsáveis pelas chuvas de outono/inverno no leste do país e que, com menor frequência e já bastante enfraquecido, consegue alcançar o litoral do Nordeste - sobretudo o sul e o leste da Bahia.

- 2º ramo (corredor central) - avança pelo corredor de planície formado entre a Cordilheira dos Andes e o Planalto Brasileiro (depressão do Chaco e Pantanal), responsável pelas geadas que atingem as lavouras do Sul e de São Paulo.
- 3º ramo (corredor andino) - segue ao longo da vertente oriental dos Andes até penetrar na Amazônia ocidental (Rondônia, Acre e sul do Amazonas), onde provoca o fenômeno da friagem: uma queda brusca de temperatura, que pode durar até quatro dias, capaz de derrubar as máximas de Porto Velho de cerca de 30°C para 11–12°C em poucas horas.

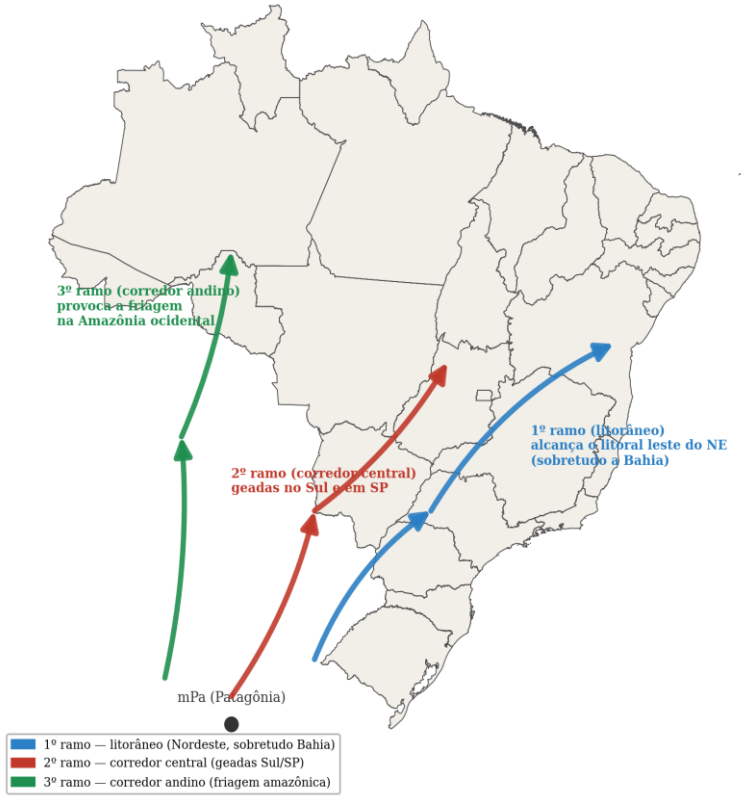


Figura 6 - Os três ramos de penetração da Massa Polar Atlântica (mPa) no território brasileiro. Elaboração própria, com base em Tubelis e Nascimento (1984) e Nimer (1989).

A intensidade das invasões polares varia com a estação: são mais frequentes e vigorosas entre maio e agosto, quando o anticiclone frio da Antártida atinge sua maior força, mas ocorrem, em menor escala, durante todo o ano - o Rio Grande do Sul, no extremo sul do país, chega a registrar mais de uma invasão por semana nos meses de pico.

4. Dinâmica sazonal: avanços e recuos

As cinco massas não atuam de forma estática nem isolada; seu comportamento resulta de um jogo contínuo de avanços e recuos ao longo do ano. No verão austral, o aquecimento do continente favorece a expansão das massas quentes - mEc, mEa e mTc - que ampliam sua área de influência para além das regiões-fonte. No inverno, esse quadro se inverte: o resfriamento do continente reduz o alcance das massas equatoriais e tropicais continentais, ao mesmo tempo em que a mPa ganha força e avança em latitude, empurrando a mTa à frente de si e produzindo, nesse processo, a maior parte dos sistemas frontais que atingem o país.

Os períodos de transição - outono e primavera - costumam concentrar os contrastes mais acentuados entre massas de origem muito distinta, o que se traduz em mudanças rápidas de tempo, aumento da instabilidade atmosférica e reorganização da circulação de superfície. Entender esse ritmo sazonal é o primeiro passo para compreender por que o Nordeste brasileiro, tema da próxima seção, apresenta um regime pluviométrico tão irregular no espaço e no tempo.

QUADRO DE CURIOSIDADE

Frente fria ou resquício de frente? Um equívoco comum

É frequente encontrar, em livros didáticos e até em materiais de divulgação, a afirmação de que "as frentes frias são responsáveis por boa parte das chuvas de inverno no Nordeste". A frase não está de todo errada, mas costuma induzir a uma imagem equivocada: a de que frentes frias inteiras, como as que cruzam o Sul e o Sudeste do país, avançariam regularmente sobre o território nordestino.

Na prática, como discutido nesta seção, a maioria dos sistemas frontais que se formam a partir da mPa perde força ao longo do litoral e raramente chega ao Nordeste como uma frente organizada - isso ocorre, com alguma regularidade, apenas no sul e no leste da Bahia. Nos demais estados, o que a região recebe são os resquícios dessas frentes: ar mais seco e mais fresco, cavados em médios e altos níveis, e um reforço na instabilidade que já vinha sendo produzida por outros sistemas, como as ondas de leste e as Linhas de Instabilidade.

A diferença entre "frente" e "resquício de frente" não é apenas um detalhe terminológico. Ela explica, por exemplo, por que o leste do Nordeste tem um regime de chuvas de inverno mais irregular e menos previsível do que o Sul do Brasil, e por que essas chuvas costumam vir acompanhadas de uma queda de temperatura mais discreta do que a observada em latitudes mais altas.

Referências

AB'SABER, A. N. Sertões e sertanejos: uma geografia humana sofrida. Estudos Avançados, v. 13, n. 36, 1999.

ANDRADE, G. O. de; LINS, R. C. Os climas do Nordeste. In: As Regiões Naturais do Nordeste, o Meio e a Civilização. Recife: CONDEPE, 1971. p. 95-138.

AYOADE, J. O. Introdução à climatologia para os trópicos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V. E. Climatology of South American cold fronts. In: 7th International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography. Wellington: American Meteorological Society, 2003.

CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J. da; DIAS, M. A. F. S. (org.). Tempo e clima no Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

CHAN, C. S. Um estudo observacional da estrutura e comportamento dos distúrbios ondulatórios de leste sobre o oceano Atlântico Tropical Sul. Dissertação (Mestrado) – INPE, São José dos Campos, 1990.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. Revista Brasileira de Climatologia, v. 1, n. 1, 2005.

FORSDYKE, A. G. Previsão do tempo e clima. São Paulo: Melhoramentos, 1969.

GUERRA, A. J. T.; GUERRA, A. T. Novo dicionário geológico-geomorfológico. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997.

HASTENRATH, S.; LAMB, P. J. Climatic atlas of the tropical Atlantic and eastern Pacific oceans. Madison: University of Wisconsin Press, 1977.

KOUSKY, V. E. Frontal influences on Northeast Brazil. Monthly Weather Review, v. 107, n. 9, 1979.

KOUSKY, V. E.; GAN, M. A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. Tellus, v. 33, n. 6, 1981.

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

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. de O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste brasileiro. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 17, n. 1, 2002.

MOURA, A. D.; SHUKLA, J. On the dynamics of droughts in Northeast Brazil: observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. Journal of the Atmospheric Sciences, v. 38, n. 12, 1981.

NIMER, E. Climatologia do Brasil. Rio de Janeiro: Fundação IBGE, 1989.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P. da; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 25, n. 2, 2010.

TORRES, F. T. P. Introdução à climatologia. Recife: Geographica Consultoria, Estudos e Projetos Ambientais, 2008. (Série Textos Básicos de Geografia).

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras. São Paulo: Nobel, 1984.

UVO, C. R. B. A zona de convergência intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação da região Norte do Nordeste brasileiro. Dissertação (Mestrado) – INPE, São José dos Campos, 1989.

YAMAZAKI, Y.; RAO, V. B. Tropical cloudiness over the South Atlantic Ocean. Journal of the Meteorological Society of Japan, v. 55, n. 2, 1977.