

# CLIMATOLOGIA DA ESTAÇÃO CHUVOSA DE MINAS GERAIS: DE NIMER (1977) À ZONA DE CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL

Magda Luzimar de Abreu(\*)

## ABSTRACT

The climate of Minas Gerais state, Brazil, is described by the association of tropical and extratropical phenomena which determine two seasons: dry and wet. This association is known as South Atlantic Convergence Zone - ZCAS causing intense, continuous rain, which can last several days. This paper describes the ZCAS and its effects over Minas Gerais. It also indicates a parallel between this climatological feature and the description of the Climate of southeastern Brazil, by Edmon Nimer, an well known climatologist by Brazilian Geographers.

## INTRODUÇÃO

Na região tropical, no Hemisfério Sul, existem fenômenos que caracterizam uma interação entre as latitudes médias e as tropicais. O principal deles é a organização da convecção tropical, manifestada por uma banda de nebulosidade convectiva. Estas organizações tem sido estudadas por pesquisadores nos últimos 30 anos. Elas foram inicialmente, observadas na década de 70, em cartas de brilho médio extraídas de imagens do satélite meteorológico NOAA (radiação de onda longa – rol).

Elas são denominadas Zonas de Convergência - ZC, tem direção preferencial noroeste/sudeste e são mais atuantes nos meses de maior convecção tropical (novembro a março). Elas são zonas semi-estacionárias e são consideradas entidades climatológicas através das quais calor é transportado, nos altos níveis, para o Pólo Sul. Existem três ZC no Hemisfério Sul: A Zona de Convergência do Pacífico Sul – ZCPS, a Zona de Convergência do Índico Sul – ZCIS e a Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS.

Elas tem em comum a convecção tropical a oeste de sua formação e a orientação noroeste/sudeste. A ZCIS e a ZCAS tem a convecção a elas associada sobre os continentes africano e sulamericano, respectivamente. A ZCPS tem a sua região de convecção principalmente sobre o oceano Pacífico Oeste, na região da Indonésia, conhecida como continente marítimo. Esta região se caracteriza por águas oceânicas superficiais muito quentes, em torno de 27° C. A ZCPS apresenta também a maior extensão entre as três ZC.

Porém das três ZC, a que mais nos interessa é a ZCAS por afetar diretamente ao Brasil. Esta ZC é responsável pela precipitação de verão observada na região centro-sul do País, atingindo as regiões sudeste, centro-oeste, norte do Paraná e sul da Bahia.

## O CLIMA DE MINAS GERAIS

O Estado de Minas Gerais, por sua localização geográfica, sofre a influência de fenômenos meteorológicos de latitudes médias e tropicais que imprimem à região características de um clima de Transição. Duas estações bem definidas podem ser identificadas: uma seca e uma chuvosa.

A exemplo do território continental brasileiro, o Estado sofre a influência de frentes frias durante todo o ano. Estas, conhecidas como Frente Polar Atlântica – FPA, se originam, principalmente do Pacífico Sul. Elas atravessam os Andes no sul do continente e, devido aos efeitos da rotação do planeta e da presença da Cordilheira, deslocam-se em direção ao equador com uma orientação noroeste/sudeste. Assim, elas atingem regiões tropicais como o Rio de Janeiro ou o litoral leste do Nordeste. A massa de ar fria na retaguarda da frente, originada do sul do continente e, conhecida como Massa Polar - MP, atinge o Estado mineiro provocando quedas de temperaturas do ar, no verão, que incomodam a população acostumada com as temperaturas elevadas desta região tropical.

No inverno, devido ao gradiente de temperatura do ar entre o equador e o polo sul ser muito intenso, as frentes apresentam um forte gradiente barométrico que gera regiões de movimento ascendente no lado equatorial do sistema frontal. Esta movimentação do ar origina precipitação tipicamente frontal, que atinge principalmente a Região Sul do Brasil e o sul do Sudeste. Quando as discontinuidades de temperatura e de umidade são muito intensas a precipitação atinge também o Estado de Minas Gerais. Esta situação é exemplificada na figura 1 que mostra as temperaturas mínima, máxima e médias e a precipitação em Belo Horizonte - BH nos primeiros 9 dias de junho de 1997 quando a passagem de um sistema frontal entre o dia 5 e 6, provocou chuvas e baixas temperaturas. As frentes

normalmente se deslocam para o Atlântico e, por prosseguirem em direção ao equador, podem levar precipitação até o litoral leste do Nordeste.

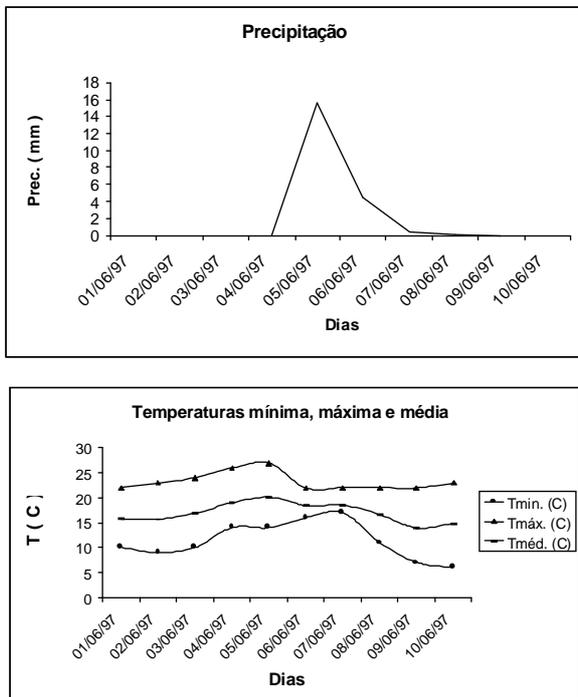


Fig. 1: Distribuição da precipitação e temperaturas durante a passagem de um sistema frontal no inverno, em junho de 1997, em Belo Horizonte - MG. Fonte: DEPV - Aeroporto da Pampulha.

Figure 1: Precipitation and temperature distribution during a frontal system event in June, 1997, over Belo Horizonte - MG. Data source: DEPV - Pampulha's Airport.

À medida que a frente fria avança em direção ao equador os gradientes norte-sul térmico e barométrico diminuem e consequentemente, a precipitação a eles associada. Ainda assim, alguns sistemas podem atingir a região norte do Brasil, permitindo que apenas a massa de ar frio afete esta área. Neste caso ocorrem os chamados episódios de friagem na região Amazônica, responsável por valores de temperaturas mínimas absolutas, inferiores a 14° C no centro-sul da região (Nimer, 1989; Fish et. al., 1996).

No verão, o gradiente térmico é pequeno e as frentes continuam atuando sobre o País, porém, a atividade convectiva a elas associadas é pequena. Deveríamos esperar então, pouca precipitação sobre Minas Gerais e o Brasil central. Ao contrário, o aquecimento continental nesta época do ano, gera intensas células de baixa pressão espacialmente distribuídas. Isto favorece a formação de chuvas intensas no Estado, muitas vezes

acompanhadas por ventos, trovoadas e granizos. Estas células podem se formar localmente e se dissipar rapidamente, ou se formarem em extensas regiões, configurando núcleos de baixa pressão, principalmente observados no sudeste da Amazônia e Brasil central. Também nesta estação do ano a região amazônica apresenta grande concentração de umidade do ar na baixa troposfera, contrastando com os baixos índices de umidade no sul do continente.

## A CLIMATOLOGIA DO ESTADO DE MINAS GERAIS, SEGUNDO EDMONNIMER

Segundo Nimer (1989) a região Sudeste, e consequentemente o Estado de Minas Gerais, se caracterizam por ter um clima de transição entre as latitudes tropicais, quentes e, as médias, temperadas. O Estado é atingido por perturbações de sul, de leste e de oeste. As correntes perturbadas de sul estão associadas à atuação da FPA e das MP. As perturbações de leste estariam, segundo o pesquisador, associadas às ondas de leste. Estas são formações ondulatórias na média e alta atmosfera que se deslocam na região equatorial, de oeste para leste.

As correntes perturbadas de oeste estão relacionadas a núcleos de baixa pressão, conhecidos na climatologia por **Linhas de Instabilidade Tropical – IT**, depressões barométricas induzidas ou calhas induzidas. Para Nimer estas IT, são observadas como depressões à superfície e identificadas nas cartas sinóticas, como ondulações nos centros de alta pressão em superfície, na estação chuvosa. Nimer afirma que alguns autores acreditam que estas altas podem estar associadas à perturbações na massa equatorial continental predominante na região amazônica. Outros como nós mesmos, entendem que estas altas estão associadas à configuração do anticiclone subtropical, que atua com pouca intensidade nesta época do ano.

Segundo Nimer a origem destas depressões poderiam ser relacionadas “... **ao movimento ondulatório que se verifica na frente polar ao contato com o ar quente da zona tropical**. A partir dessas ondulações formam-se, ao norte da FP, uma ou mais IT sobre o continente. Após formadas, elas se deslocam **com extrema mobilidade até 60 km/hora, embora possam permanecer estacionárias**. À medida que a FP caminha para o Equador, as IT se deslocam para E, ou mais comumente para SE, anunciando, com nuvens pesadas e geralmente chuvas tipicamente tropicais, a chegada da FP com antecedência de 24 horas, **a qual, no entanto, pode não chegar.**”<sup>1</sup>.

## A ZONA DE CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL

As IT são centros de baixa pressão, semi-estacionários observados durante a primavera e o verão que, como mencionado por Nimer, estão associadas ao intenso aquecimento do continente brasileiro nestas

<sup>1</sup> - Os negritos são nossos. FP é abreviação para Frente Polar que entendemos estar se referindo à FPA

estações. Nesta mesma época, a disponibilidade de umidade, principalmente na região amazônica, é muito grande. Esta umidade, em função do giro anticiclônico dos ventos sobre o território brasileiro e, da presença dos Andes, é transportada para leste e sudeste. Assim a combinação destes dois fatores, IT e umidade, favorecem a formação de forte convecção, que contribui para os altos índices pluviométricos observados nas regiões norte, centro e sudeste, incluindo o estado mineiro.

Nos últimos 20 anos, o advento da imagem de satélite meteorológico, permitiu observar que, quando as frentes frias atingem a região Sudeste do Brasil, **pode** ocorrer uma associação entre elas e as IT. Quando esta associação se dá, dizemos que acontece uma interação entre os sistemas de latitudes médias (frentes) e os de latitudes tropicais (IT, depressões ou calhas induzidas). Esta interação é conhecida como Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS, sendo responsável pelas chuvas intensas, prolongadas, que ocorrem no Sudeste e no Estado de Minas Gerais, e que são conhecidas popularmente como “**invernadas**”.

A ZCAS portanto é formada pela associação entre a FPA e a convecção tropical, principalmente proveniente da região amazônica. Este é um fenômeno climático (Rocha e Gandu, 1996). Ela apresenta uma banda de nebulosidade orientada noroeste-sudeste que é observada tanto nos dados de precipitação, quanto nas imagens de satélites meteorológicos e nas observações de Radiação de Onda Longa emitida para o espaço.

O papel da FPA na dinâmica de formação da ZCAS é essencial. Ela funciona como um canalizador da convergência do ar nos baixos níveis da atmosfera que alinha, na sua direção as IT e, conduz a umidade originada na região amazônica, para sudeste. O ar úmido e quente sobe, resfria e condensa, formando nuvens ao longo da FPA. A orientação noroeste-sudeste da ZCAS é determinada pela contribuição da FPA, que sobre o continente, apresenta esta mesma direção preferencial.

A ZCAS é observada pelo menos uma vez por mês durante a estação chuvosa e, é confundida com a frente fria clássica, convencionalmente definida pela escola norueguesa. Daí Nimer e outros climatologistas acreditarem que as IT se originam do “... **movimento ondulatório que se verifica na frente polar ao contato com o ar quente da zona tropical...**”. Tal associação decorre do fato do meteorologista observar simultaneamente, nos dados sinóticos, as presenças das depressões tropicais e da fraca FPA, durante a ocorrência destes eventos. Nestes casos diz-se que a precipitação é causada pela frente. Para nós o que ocorre é a precipitação em função da atuação das IT. A FPA contribui com a organização, duração (estacionaridade) e intensificação da quantidade de precipitação.

Quadro (1993) e Quadro e Abreu (1994) investigaram casos de ocorrência da ZCAS durante dez anos. Eles observaram que os eventos de precipitação associados à ZCAS duram em média 7 dias, podendo perdurar até 10 dias. Esta duração se justifica uma vez que, a FPA nesta época do ano, tem caráter estacionário, devido

aos fracos gradientes térmico e barométrico entre o equador e o pólo. Daí, Nimer afirmar que as IT se deslocam rapidamente, “**embora possam permanecer estacionárias**”. Na realidade as IT tem como características o rápido deslocamento, formação e dissipação. A estacionaridade da convecção está associada à da FPA. A associação das duas pode resultar na rapidez do deslocamento da convecção quando predominar a atuação das IT, ou na estacionaridade quando o predomínio for das características da FPA. No primeiro caso as chuvas são intensas e de curta duração por se originarem de cumulus-nimbus. No segundo caso a precipitação é moderada a forte, de longa duração (várias horas), associadas à presença de nuvens estratiformes, que diminuem acentuadamente a insolação à superfície tornando os dias de verão úmidos e cinzentos e gerando grande acúmulo de chuvas.

Por estar associada à convecção tropical, que se estabelece na região amazônica, a ZCAS tende a se manifestar na primavera e, na região Sudeste, a partir do mês de outubro (Quadro, 1993 e Quadro e Abreu, 1994). Em outubro/novembro ela atua principalmente no norte de Minas Gerais e sul do Estado da Bahia. No início do verão ela predomina sobre o centro-sul de Minas Gerais, norte do Rio de Janeiro e Espírito Santo e, deslocando-se para o sul, atingindo os estados de São Paulo e Rio de Janeiro. Isto sugere que a máxima atuação da ZCAS apresenta uma variabilidade espacial deslocando-se latitudinalmente de norte (no início da estação chuvosa) no seu início para sul (no meio da estação chuvosa).

A figura 2 ilustra esta possível migração da máxima precipitação associada à ZCAS do norte do Estado no início da estação chuvosa, em direção ao sul no final desta. Ela mostra a distribuição das normais climatológicas da precipitação entre outubro e março (estação chuvosa) em quatro localidades de Minas Gerais: Pedra Azul (16°00' S; 41°17' W) - PA, Teófilo Otoni (17°51' S; 41°31' W) - TO, Belo Horizonte (19°56' S, 43°56' W) - BH e, São Lourenço (22°06' S; 45°01' W) - SL. Observa-se que as chuvas são mais intensas ao norte (PA e TO) no início da estação chuvosa (outubro), em dezembro e janeiro as chuvas atingem grande parte do Estado. O máximo de precipitação atinge a região da capital mineira em dezembro e janeiro e, no sul do Estado, as chuvas ainda persistem em fevereiro. É pois indispensável a presença da convecção tropical para que se forme um sistema de realimentação entre esta e a FPA, razão pela qual a ZCAS é climatologicamente observada na primavera-verão do Hemisfério Sul. Esta configuração, associada à ZCAS, foi primeiramente documentada, no Brasil, por Oliveira (1986) que analisou o papel da associação da convecção tropical e dos sistemas frontais no clima do Brasil.

Alguns climatólogos e meteorologistas justificam as chuvas contínuas, conhecidas como invernadas, que ocorrem em Minas Gerais no verão, como sendo causadas pela atuação da FPA estacionária. Nós preferimos dizer que este tipo de precipitação é causada pela associação entre a frente e a IT, ou seja, pela

ZCAS. Não podemos esquecer que, no inverno e outono, as FPA também estão presentes na região, mas a precipitação a elas associada é muito pequena, como mencionado anteriormente, mesmo quando a FPA é intensa como foi ilustrado na figura 1. Logo a presença da FPA não é condição bastante e suficiente para causar chuvas convectivas como as que ocorrem no verão. Sem a interação entre ela e as IT e a umidade da região amazônica, o verão em Minas Gerais seria, acreditamos, muito menos chuvoso. Portanto podemos considerar a ZCAS como sendo a manifestação da “nossa frente, tipicamente tropical”.

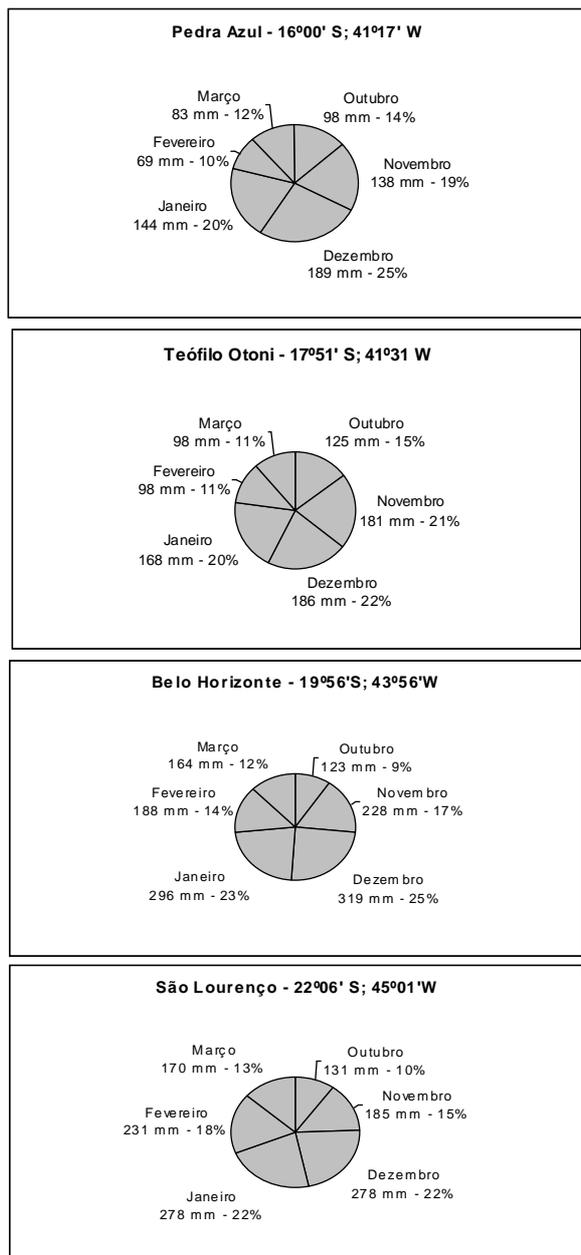


Figura 2: Distribuição das normais climatológicas da precipitação e sua contribuição percentual na estação chuvosa, em quatro localidades no Estado de Minas Gerais. Fonte: INMET (1992).

Figure 2: Climatic precipitation and percentage of its contribution for the rainy season at selected cities in Minas Gerais. Data source: INMET (1992).

As figuras 3 e 4 mostram a distribuição de chuvas, temperaturas e direção predominante do vento máximo, em dois meses distintos em BH: em janeiro de 97 (fig. 3) quando a ZCAS atuou no Estado (Climanálise, 1997) e, em janeiro de 98 (fig. 4), quando possivelmente, em função do fenômeno El Niño, não foi observada a atuação do fenômeno. Observa-se que em 97 a capital mineira registrou mais de 300 mm de chuva em seis dias. A precipitação foi praticamente ininterrupta neste período, embora poucas horas de trovoadas tenham sido registradas. As temperaturas mínimas ficaram em torno de 20°C e as máximas não ultrapassaram 25°C durante os primeiros 4 dias de atuação do sistema. Os ventos mantiveram-se persistentes do quadrante S/SE, indicando a convergência do ar ao longo da FPA. Por outro lado em 98, entre os dias 8 e 13 de janeiro foram observadas chuvas intensas, isoladas, com duração de poucas horas (exceto no dia 9), e trovoadas durante quase todo o período.

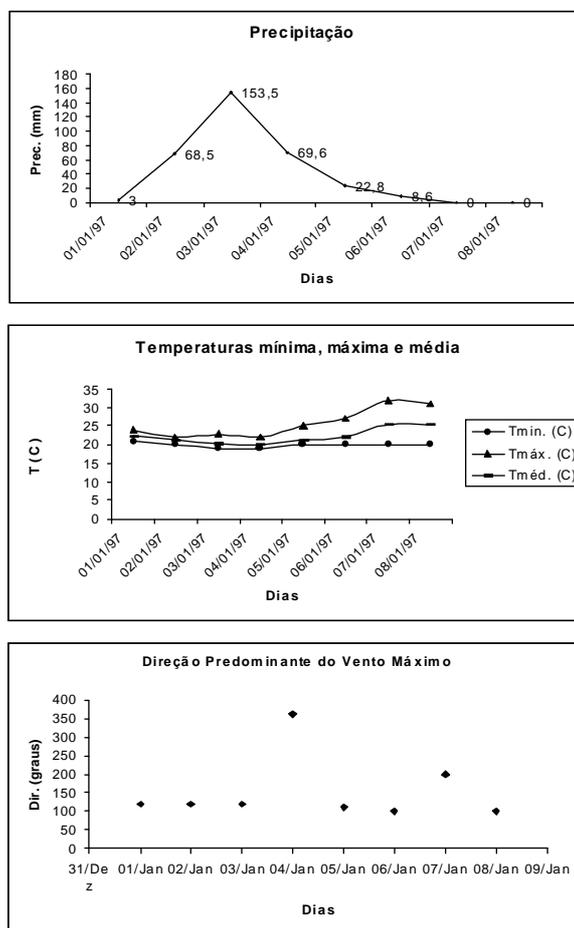


Figura 3: Distribuição da precipitação, temperaturas e direção do vento para um episódio de chuvas com a atuação da ZCAS em janeiro de 1997, em Belo Horizonte - MG. Fonte: DEPV - Aeroporto da Pampulha.

Figure 3: Precipitation, temperature and wind direction distribution during a ZCAS event in January, 1997, over Belo Horizonte - MG. Data source: DEPV - Pampulha's Airport.

As temperaturas mínimas foram registradas em torno de 20°C, e as máximas, ao contrário do episódio de 97, se mantiveram acima de 24°C, valores mais condizentes com os esperados no verão tropical. Os ventos neste episódio apresentaram grande variabilidade na sua direção predominante. Estes exemplos ilustram o padrão distinto de chuvas de verão observadas em Minas Gerais. Em 1997 a atuação da ZCAS permitiu que a associação entre a FPA e as IT mantivessem um padrão contínuo de precipitação e baixas temperaturas para esta estação do ano. Em 1998 predominou as chuvas convectivas em função da ausência da ZCAS.

**CONCLUSÃO**

Há vinte anos atrás quando Edmon Nimer descreveu com brilhantismo os climas do Brasil, a informação meteorológica por satélite estava começando a ser utilizada pela comunidade climatológica brasileira. Dez anos, depois a tese de mestrado de Oliveira (1986), utilizando como metodologia este recurso tecnológico, mostrava a existência da interação entre a convecção tropical e os sistemas de latitudes médias. Hoje o entendimento da climatologia do Estado de Minas Gerais deve levar em consideração a atuação deste sistema dinâmico conhecido como Zona de Convergência do Atlântico Sul.

Resumindo, enumeramos quatro fatores que acreditamos sejam indispensáveis à configuração da ZCAS:

1. a presença das IT (ou calhas induzidas) originárias do aquecimento continental;
2. a zona de descontinuidade barométrica associada à penetração, sobre o continente, da Frente Polar Atlântica. Embora com pouca intensidade no verão, a FPA funciona como elemento organizador da convecção amazônica, direcionando-a no sentido noroeste/sudeste;
3. a presença dos Andes que nesta região central do continente sul americano, apresenta orientação noroeste/sudeste. A Cordilheira funciona como uma barreira para a baixa atmosfera, forçando os ventos alísios a girarem para sudeste em suas proximidades;
4. o giro dos alísios mencionado no item 3 que favorece a advecção de umidade, proveniente da Amazônia, para o sudeste, organizando-a no sentido noroeste/sudeste. Este mecanismo, juntamente com a FPA, funciona como uma canalizadora de umidade, desde a superfície até aproximadamente 5 km de altitude ou à altitude da superfície equivalente a 500 hPa.

Acreditamos que, tivesse o ilustre climatólogo Edmon Nimer, quando da sua descrição da Climatologia do Brasil, acesso às informações que a tecnologia espacial nos proporciona atualmente sobre a climatologia tropical, também ele, como nós, se encantaria com os atuais desafios que a ZCAS lança à comunidade científica. Os mecanismos que provocam o início dos eventos de precipitação associados à este fenômeno, bem como sua maturação, ainda são desconhecidos. Durante um episódio de ZCAS chove continuamente e a temperatura tende a cair. Isto pode ocorrer devido a presença contínua das nuvens (estratos, estratocumulus e cumulo-nimbus) que impedem a insolação de atingir a superfície ou, da FPA. O papel de cada um destes fatores ainda não está bem definido. Um dos indícios do enfraquecimento da ZCAS é a entrada de ar frio vindo do sul do continente, que se manifesta até próximo à superfície (Quadro, 1993; Quadro e Abreu, 1994). Esta massa de ar frio nos baixos níveis da atmosfera, causa queda ainda mais acentuada da temperatura do ar, provocando desconforto térmico à população em plena primavera/verão tropical. Ainda

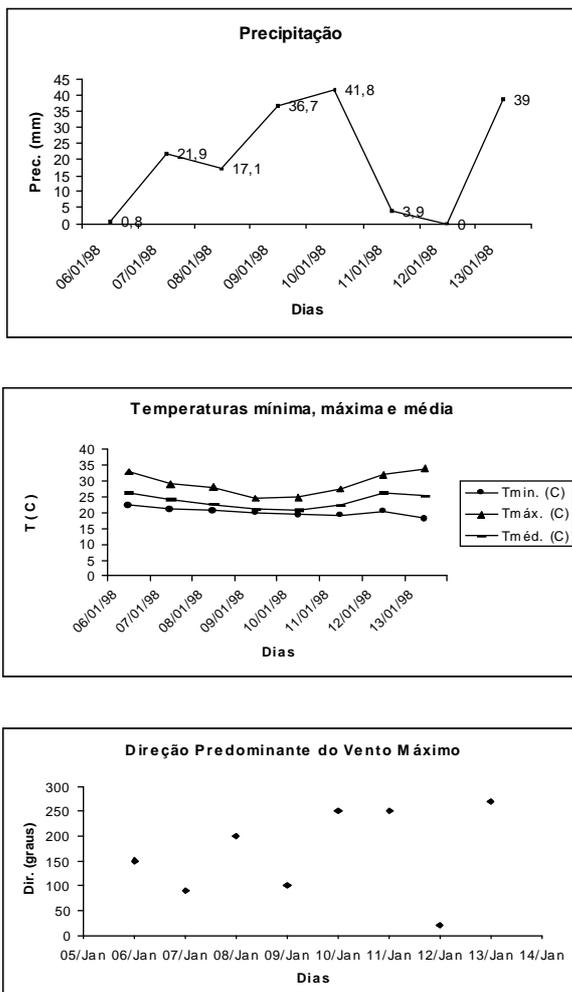


Figura 4: Distribuição da precipitação, temperaturas e direção do vento para um episódio de chuvas sem a atuação da ZCAS em janeiro de 1998, em Belo Horizonte - MG. Fonte: DEPV - Aeroporto da Pampulha.

Figure 4: Precipitation, temperature and wind direction distribution during a weather event in January, 1998, when the ZCAS was not detected, over Belo Horizonte - MG. Data source: DEPV - Pampulha's Airport.

não se sabe o quanto esta advecção de ar frio pode contribuir para o término do evento.

As consequências sócio-ambientais da atuação da ZCAS são sentidas nas constantes inundações provocadas pelo transbordamento dos rios e, nas cidades, pelos deslizamentos em assentamentos urbanos inadequados, muitas vezes com grandes prejuízos e até perdas de vidas humanas. Órgãos como a Defesa Civil, responsáveis pela segurança pública em casos de calamidades naturais, se vêm envolvidos com problemas destas natureza durante a estação chuvosa. Este é o caso do verão em Minas Gerais, onde tais transtornos são observados em áreas urbanas, incluindo Belo Horizonte.

#### AGRADECIMENTOS

À Divisão de Meteorologia Aeronáutica do DEPV - Aeroporto da Pampulha / BH, de onde se originam os dados utilizados nos gráficos apresentados neste artigo. À Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de Minas Gerais, por financiar projeto ao qual este artigo se relaciona.

#### BIBLIOGRAFIA

- CLIMANÁLISE: Boletim de Monitoramento Climático, 1997, V. 12: 1, 27.
- FISH, G.; MARENGO, J. A. & NOBRE, C. A., 1996: Clima da Amazônia. Climanálise Especial: edição comemorativa de 10 anos, 24-41.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 1992: Normas Climatológicas (1961-1990). Ministério da Agricultura e Reforma Agrária.
- NIMER, E., 1989: Climatologia do Brasil. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, RJ; 421 p.
- OLIVEIRA, A. S., 1986: Interações entre Sistemas na América do Sul e Convecção na Amazônia. Tese de Mestrado em Meteorologia - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP; (INPE - 4008 - TDL / 239).
- QUADRO, M. F. L. & ABREU, M. L., 1994: Estudo de Episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul sobre a América do Sul. Anais do VIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belo Horizonte, MG, 18 a 25 de Outubro, v. 2, 620-623.
- QUADRO, M. F. L., 1993: "Estudos de Episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul". Tese de Mestrado orientada pela autora Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, SP. INPE-6341-TDI/593.
- ROCHA, A. M. G. C. & GANDU, A. W., 1996: A Zona de Convergência do Atlântico Sul. Climanálise Especial: edição comemorativa de 10 anos, 140-142.