

## I. Introdução

Na maior parte das regiões intertropicais o clima se distingue por apresentar significativa sazonalidade pluviométrica. Em alguns anos, entretanto, o fortalecimento dessa característica é responsável por repercussões marcantes ao meio-ambiente. Se, por um lado, um verão ainda mais chuvoso que o normal pode causar prejuízos em decorrência de enchentes, deslizamentos de terra em encostas urbanas e intensificação da erosão dos solos no campo, por outro, um inverno anormalmente mais seco representa riscos para a agricultura e é capaz de comprometer a qualidade do ar nas cidades, a vazão de cursos d'água e a produção e abastecimento de energia, por exemplo.

O Brasil tem grande parte de seu território inserido em latitudes baixas e, embora disponha de uma larga costa oceânica, seu interior está sujeito aos efeitos mais agudos da continentalidade durante os meses de estiagem. A sazonalidade pluvial do Brasil Central é conhecida por sua população que ano após ano enfrenta longos períodos sem chuva, nos quais não são raros eventos de forte calor e baixa umidade atmosférica.

A região de Belo Horizonte possui clima Tropical subquente semi-úmido e estação seca com duração de quatro a cinco meses, entre abril e setembro (NIMER, 1979). Lucas e Abreu (2004) observaram que cerca de 80% dos casos de precipitação anual na cidade ocorrem durante a estação chuvosa. A dinâmica climática regional, por meio de um sistema de alta pressão semi-estacionário cujo centro localiza-se no Atlântico Sul, confere notória estabilidade atmosférica à região ao longo de um extenso período do ano. Sobre o continente, esse sistema – Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) – constitui uma massa de ar seco, relativamente quente e quase totalmente desprovida de nuvens (TUBELIS; NASCIMENTO, 1992). Quando atua no Sudeste do país, afasta as instabilidades tropicais, inibe a passagem de frentes frias, reduz a umidade atmosférica e favorece a concentração de poluentes aéreos nas grandes cidades (BASTOS; FERREIRA, 2000).

Além do ASAS, a região da capital mineira é periodicamente atingida por Anticiclones Polares Migratórios (APM). A princípio, o deslocamento desse sistema em direção às latitudes tropicais pode organizar a formação de frentes frias que provocam chuva ou ao menos elevam a umidade do ar. Em seguida, seu

avanço na retaguarda da frente reduz a temperatura e a umidade, exceto quando percorre trajetória oceânica e costuma manter a umidade em patamares adequados. Embora sejam mais freqüentes e intensos no inverno, os APM são capazes de invadir o centro-sul do país em qualquer época do ano (NIMER, 1979).

Nos últimos anos, especialmente entre o final do inverno e início da primavera, alertas de órgãos competentes têm sido difundidos em consequência de valores extremamente baixos de umidade relativa do ar registrados em diversas regiões de Minas Gerais, inclusive em Belo Horizonte. A eventual ocorrência desses episódios é normal nessa época, contudo, a freqüência com que têm sido observados não condiz com a conhecida amenidade e conforto climático de algumas regiões mineiras. O relatório do estudo de planejamento da capital destacava o clima agradável do sítio urbano que abrigaria a nova cidade: *“Belo Horizonte tem um clima ameno e saudável, próprio para a cultura das plantas temperadas”*. Sobre a umidade, apesar de verificar sua redução na estação seca, afirmava que tal comportamento não ocasionaria *“prejuízo higiênico a umidade normal da atmosfera”* (PEREIRA, 1893, p. 26). Estariam esses eventos recentes indicando redução da umidade no clima de Belo Horizonte? Tal comportamento poderia ser atribuído a um possível fortalecimento de anticiclones sobre a região?

A umidade relativa do ar é o índice que quantifica percentualmente a presença de vapor d'água na atmosfera. Durante a estação mais quente e chuvosa, a variável normalmente exhibe seus mais elevados valores, ao passo que nos meses de estiagem, níveis reduzidos podem ser observados, sobretudo durante as tardes. Esse movimento é próprio da dinâmica climática de regiões tropicais afetadas pela continentalidade e não fosse a ocorrência de casos extremos pouca atenção despertaria.

### **1.1 Justificativa**

A umidade é um parâmetro importante para a promoção de conforto ambiental e qualidade de vida às populações. No Brasil, a Defesa Civil, a partir de recomendações da Organização Mundial de Saúde (OMS), considera valores de umidade relativa inferiores a 30% inadequados à saúde humana. A persistência

de altas pressões sobre grandes centros urbanos pode resultar em prolongados períodos sem chuva, nos quais há redução da umidade relativa e comprometimento da qualidade do ar pelo acúmulo de poluentes nas camadas atmosféricas mais próximas do solo (inversão térmica).

Estudos ainda não conclusivos da área médica indicam que fatores climáticos como umidade (baixa), pressão (alta), temperatura (baixa) e velocidade dos ventos (baixa), são capazes de elevar o número de indivíduos internados por asma e outras doenças respiratórias (SALDANHA; BOTELHO, 2008). Segundo Telles Filho (2008), baseando-se em dados do Sistema Único de Saúde (DATASUS), a cada ano são realizadas em torno de 350 mil internações por asma no Brasil, a um custo médio de 100 milhões de reais ao governo. Cerca de duas mil pessoas morrem anualmente devido à enfermidade no país. As populações jovem e idosa são as mais atingidas.

A variabilidade da umidade interfere no aspecto fisiológico dos mais diversos seres vivos. Na pecuária influencia o bem-estar e a produtividade animal e para as plantas e culturas agrícolas é um dos fatores que condicionam o desenvolvimento de microorganismos patógenos (PACHECO; BASTOS, 2004).

A ausência de estudos recentes sobre o comportamento climatológico da umidade relativa do ar em Belo Horizonte e sua variabilidade anual e interanual justifica o desenvolvimento desse trabalho. Para a região em questão também não foram realizados trabalhos que verificassem a relação entre o comportamento dessa variável e a atuação de anticiclones atmosféricos, em especial o Subtropical do Atlântico Sul.

Padilha Reinke e Satyamurty (2004), em um estudo de caso sobre baixa umidade no Brasil Central, encontraram a mesma lacuna e afirmaram que *“compreender o fenômeno é importante já que suas conseqüências, como o aumento da poluição e de queimadas, trazem prejuízos ao meio ambiente e à vida da população”* (p. 2). Também alertaram para a necessidade de investigação da relação entre a ocorrência de baixa umidade no Brasil Central e a posição do ASAS. Este caminho é importante, pois poderá trazer respostas acerca do papel da pressão sobre a umidade na região e, então, contribuir para a compreensão dos impactos do comportamento da Alta Subtropical sobre outras variáveis, como o tempo de duração das estiagens e a temperatura.

Finalmente, as informações coletadas e processadas neste trabalho poderiam vir a ser utilizadas na elaboração de um novo índice de qualidade de vida humana para Belo Horizonte.

## **1.2 Objetivos**

Este trabalho tem como objetivo geral analisar o comportamento climatológico da umidade relativa do ar em Belo Horizonte e a possível relação dessa variável com a atuação de anticiclones - avaliada pelo comportamento da pressão atmosférica - sobre a área.

Os objetivos específicos são assim definidos:

- 1º) Determinar a climatologia e a variabilidade anual e interanual – sazonal e mensal – da umidade relativa do ar, pressão atmosférica, precipitação e temperatura em Belo Horizonte e as relações dessas variáveis entre si.
- 2º) Determinar a duração climatológica da maior estiagem do ano na cidade, sua variabilidade interanual e sua relação com as demais variáveis estudadas.
- 3º) Diagnosticar e compreender a atuação do ASAS e do APM e seus impactos sobre a umidade relativa do ar na área de estudo.

## II. Fundamentação Teórica

### 2.1 Circulação geral da atmosfera

A atmosfera terrestre é dinâmica, isto é, porções de ar podem se deslocar vertical ou horizontalmente segundo princípios e mecanismos físicos. O aquecimento diferenciado do Planeta pelo Sol produz movimentos verticais na atmosfera, como a expansão e ascensão do ar em regiões quentes e a contração e subsidência em latitudes frias. A subsidência do ar sobre a superfície é responsável pelo surgimento de áreas de alta pressão, enquanto que a ascensão resulta em regiões de baixa pressão. Essas diferenças barométricas configuram movimentos compensatórios na atmosfera, sempre da alta para a baixa pressão (TUBELIS; NASCIMENTO, 1992).

Uma das primeiras tentativas em criar um modelo de circulação geral da atmosfera foi realizada por George Hadley em 1735 (AYOADE, 1983). Ao observar o aquecimento desigual entre a região equatorial e as polares, Hadley sugeriu uma circulação em que ventos globais se deslocariam dos pólos em direção ao equador como forma de compensar as diferenças térmicas entre as duas zonas. Essa circulação em superfície seria complementada por fluxos de ar em altos níveis: o ar frio ao se dirigir para o equador se tornaria mais quente e menos denso, ascenderia formando nuvens e chuva, e logo retornaria aos pólos via altitude. O modelo admitia, assim, a existência de apenas uma grande célula de circulação (meridional) por hemisfério. A origem de sua limitação residia no fato de não considerar parte das conseqüências do movimento de rotação, supor um Planeta de superfície homogênea e um Sol dirigido permanentemente ao equador.

Embora simples, esse foi o primeiro modelo a admitir os efeitos da rotação da Terra na direção dos ventos (MUSK, 1988). Mesmo um século antes de Gaspard Coriolis, Hadley observou a persistente direção dos alísios e sugeriu que resultasse da rotação. Tal movimento imprimiria componentes para oeste (em superfície) e leste (em altitude) na direção desses ventos globais.

Com a difusão dos estudos e princípios de Coriolis no início do século XIX, a proposta de Hadley foi desenvolvida e aprimorada. Em 1856, William Ferrel

criou um modelo baseado na existência de três células meridionais por hemisfério. Novas versões e aperfeiçoamentos ao modelo de Ferrel foram divulgados, dentre os quais destacam-se: Bergeron (1928), Bjerknes (1937) e Rossby em 1941 (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Paralelamente a esses trabalhos, o avanço de observações e pesquisas sobre a atmosfera permitiu a Gilbert Walker (1932) propor a existência de células de circulação zonal. Essas células, definidas na região equatorial, se organizariam entre os continentes e oceanos e estariam associadas ao comportamento distinto que tais superfícies apresentam frente ao aquecimento (OLIVEIRA *et al.*, 2001).

### **2.1.1 Circulação meridional**

A circulação meridional tem origem no aquecimento desigual do Planeta e no efeito do movimento de rotação na atmosfera. O desequilíbrio de radiação entre a região equatorial, onde há saldo positivo de energia, e as polares, deficitárias, promove deslocamentos de ar entre essas latitudes como meio de diminuir as disparidades energéticas (AYOADE, 1983). A rotação, por sua vez, responsável pela Força de Coriolis, imprime componentes na direção dos ventos e cria centros de pressão dinâmicos.

Na zona equatorial o ar mais aquecido e menos denso ascende na atmosfera, transporta umidade em altitude e possibilita a formação de nuvens. Essa área de baixa pressão térmica é destino de ventos de nordeste e sudeste (alísios) que se originam em centros de alta pressão subtropical nos hemisférios norte e sul, respectivamente. As altas subtropicais, localizadas próximo às latitudes médias (30°), têm origem dinâmica e maior desenvolvimento sobre os oceanos (CRITCHFIELD, 1983).

Ainda em superfície, o intenso resfriamento e a elevada densidade do ar nas zonas polares (90°) resultam na formação de centros de alta pressão térmica, de onde partem ventos (polares) para latitudes inferiores. Tal configuração propicia a organização de outra zona de convergência de ventos, entre os centros de alta polar e os de alta subtropical, em torno da latitude 60°, estabelecendo mais uma área de baixa pressão, agora dinâmica.

Esses centros de pressão funcionam de forma sistêmica por meio de movimentos verticais e horizontais em baixa e alta atmosfera e constituem, assim,

as chamadas células de circulação geral encontradas em ambos hemisférios (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007) (FIG. 1). São elas:

- Célula de Hadley (entre 0° e 30° de latitude): em superfície formada pelos ventos alísios (de sudeste ou nordeste) que ascendem até a tropopausa próximo ao equador e descem aos 30° de latitude. (OLIVEIRA *et al.*, 2001)
- Célula de Ferrel (entre 30° e 60°): em superfície formada pelos ventos de oeste que se originam nas altas subtropicais e ascendem próximo a latitude 60°.
- Célula Polar (entre 60° e 90°): em superfície formada pelos ventos polares (de leste) que se originam nas altas latitudes (pólos) e ascendem próximo a latitude 60°.

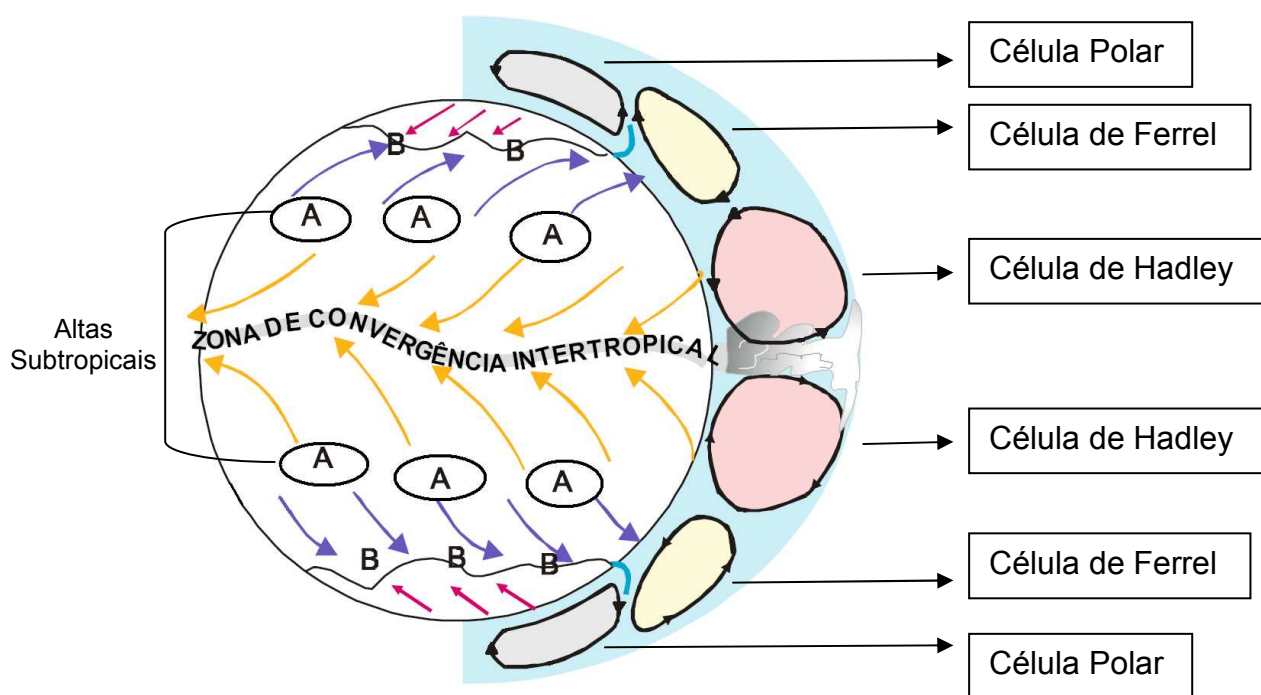


FIGURA 1 – Células de circulação geral, ventos globais predominantes e centros de alta (A) e baixa (B) pressão atmosférica.

Fonte: adaptada de VAREJÃO-SILVA, M.A (2006),

### 2.1.2 Circulação zonal – Walker

A circulação zonal ou de Walker é resultante do comportamento termodinâmico diferenciado entre as superfícies continentais e oceânicas (AYOADE, 1983). A água possui elevado calor específico, condição que lhe confere uma maior inércia frente ao aquecimento. Por outro lado, os continentes têm menor calor específico e aquecem e resfriam mais rapidamente. Assim, a temperatura das massas oceânicas tende a ser mais estável que a dos continentes ao longo do dia e ano.

Tal circulação, influenciada pela distribuição de terras e mares, organiza-se nas baixas latitudes no sentido leste-oeste, de modo que no verão é marcada pela ascensão de ar nos continentes (mais quentes) e subsidência sobre os oceanos (mais frios), especialmente nas regiões orientais do Pacífico e Atlântico (OLIVEIRA *et al.*, 2001). No inverno, com o resfriamento continental mais acentuado, os centros de altas (subsidência) deslocam-se para os continentes e as baixas (ascendência) têm sua área de influência reduzida. Esses centros de pressão interagem entre si formando células de circulação a exemplo do que acontece com a circulação meridional.

Segundo Moreira (1999), as células de circulação zonal e meridional também estão em interação e em função das condições oceânicas. Alterações em qualquer componente do sistema Hadley-Walker provoca conseqüências aos demais, resultando na reorganização do sistema em busca equilíbrio.

## 2.2 Sistemas atmosféricos

### 2.2.1 Massas de ar

A circulação geral é possível graças aos gradientes térmicos, higrométricos e barométricos entre as diversas porções de ar que constituem a atmosfera terrestre. Essas porções ou massas de ar possuem extensão considerável (horizontal e vertical) e características de temperatura e umidade homogêneas. As massas geralmente se organizam em superfícies planas e extensas, de baixa altitude e preferencialmente sob condições de estabilidade atmosférica (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007). Ao se deslocarem de suas regiões de origem podem influenciar as condições termohigrométricas de outras áreas, bem como serem influenciadas por elas.

As massas de ar têm no fator latitude o principal condicionante para definição de suas características térmicas. Nas regiões tropicais, em virtude da maior incidência de radiação solar, as massas são quentes. Nas latitudes polares são frias. A natureza da superfície onde se formam determina seu grau de umidade. Geralmente, enquanto massas de ar continentais são secas, aquelas que se organizam sobre oceanos são úmidas.<sup>1</sup>

Porém, o fato de determinada massa ser úmida não significa que seja instável e poderá causar chuva. Associadas a centros de ação positivos (anticiclones) ou negativos (ciclones), as massas têm nessa característica a condição mais determinante para sua estabilidade ou instabilidade.

---

<sup>1</sup> Excepcionalmente, a Massa Equatorial Continental (mEc) é quente e úmida. Originada sobre a Amazônia Ocidental, a mEc conta com a umidade fornecida pela evapotranspiração vegetal e evaporação fluvial, além de umidade proveniente, por advecção, do Oceano Atlântico.

### 2.2.2 Anticiclones

Os anticiclones são centros de alta pressão atmosférica. Esses sistemas se distinguem por possuir um padrão de circulação que apresenta subsidência e divergência de ar na superfície (convergência na alta troposfera). Tais características resultam em condições de tempo nas quais predominam estabilidade atmosférica, céu limpo e baixa umidade (MUSK, 1988).

A origem das altas relaciona-se a circulação geral da atmosfera que, por sua vez, é determinada pelo formato da Terra e seu movimento de rotação, conforme Hadley e Ferrel e apresentado no item 2.1.1. Segundo esse modelo, é possível identificar duas faixas de altas no Planeta: o cinturão das altas subtropicais (latitudes 30°) e a zona das altas polares (latitudes 90°) (VAREJÃO-SILVA, 2006).

O cinturão das altas subtropicais não é contínuo, mas constituído por cinco centros anticiclônicos localizados em alto mar. De origem dinâmica, esses sistemas se caracterizam por serem semi-estacionários já que podem se deslocar ligeiramente ao longo do ano, conforme a circulação zonal (Walker). São eles (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007):

- No Hemisfério Sul: anticiclones subtropicais do Atlântico Sul, Pacífico Sul e Anticiclone de Mascarenhas (Oceano Índico), que apresentam circulação anti-horária.
- No Hemisfério Norte: Anticiclone dos Açores (Atlântico Norte) e Anticiclone do Havaí ou Subtropical do Pacífico Norte, com circulação horária.

Nas latitudes elevadas, devido ao resfriamento da superfície e a forte subsidência do ar, localizam-se as altas polares. São essas regiões que originam massas de ar frio associadas a Anticiclones Polares Migratórios. Esses sistemas são capazes de percorrer várias latitudes ocasionando queda de temperatura e umidade por onde passam. À medida que se deslocam em direção aos trópicos também assimilam características dessas regiões tornando-se menos frios e secos.

### 2.2.2.1 Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul

O Anticiclone ou Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), sistema associado à Massa Tropical Atlântica (mTa), se caracteriza – devido à intensa radiação solar tropical – por altas temperaturas e elevada umidade específica sobre o oceano (NIMER, 1979). Entretanto, apesar dessas características, o sistema é incapaz de gerar precipitação significativa de chuva já que a umidade e nebulosidade a ele associada se restringe a uma estreita faixa da atmosfera próxima a superfície marítima (MOREIRA, 2002)<sup>2</sup>.

O ASAS possui grande importância para o clima da América do Sul, seja no verão ou inverno (BASTOS; FERREIRA, 2000). Vianello e Maia (1986) consideram o sistema determinante na definição de grande parte das condições de tempo no continente sul-americano. Segundo Molion *et al.* (2004), o clima dessa região é amplamente afetado pelo deslocamento longitudinal (zonal) do centro do Anticiclone Subtropical ao longo do ano.

Durante a estação chuvosa, o aquecimento continental e a alta disponibilidade de umidade promovem condições de instabilidade na atmosfera. O ar aquecido e menos denso ascende facilmente, transporta umidade em altitude e favorece a formação de nuvens espessas, responsáveis por consideráveis volumes de chuva. Nessas condições, o ASAS encontra-se reduzido ao Oceano Atlântico. Sobre o continente predomina um sistema de baixa pressão<sup>3</sup>, associado à Massa Equatorial Continental (mEc) (NIMER, 1979).

Embora seu centro esteja mais afastado do continente nessa época, a Alta Subtropical costuma avançar sobre o Brasil Central em plena estação chuvosa. Nesses períodos, a atividade convectiva é inibida, o que causa redução da precipitação e elevação das temperaturas. Prates (1994), Cupolillo (1995), Paiva (1995) e Silva Dias e Marengo (2002) (*apud* CUPOLILLO, 2008) caracterizam alguns destes episódios como veranicos – curtos períodos de estiagem durante a estação chuvosa, com duração de dez a vinte dias.

---

<sup>2</sup> Nimer (1979) adverte que a presença de uma corrente marítima quente próxima a borda ocidental desse sistema ocasiona mais instabilidades nesse setor do que em sua porção oriental, próxima a África.

<sup>3</sup> Baixas (ou depressões) são sistemas atmosféricos marcados por instabilidade e ascendência do ar. Sob determinadas condições provocam chuva.

No inverno, o relativo resfriamento continental reduz as condições de instabilidade e chuva. O ASAS se estabelece de forma persistente sobre o interior da América do Sul, provocando forte subsidência atmosférica e diminuindo a umidade. Segundo Vianello e Maia (1986), devido sua subsidência característica, a atuação do ASAS no continente é responsável por dias de céu limpo, ausência de chuvas e agravamento da poluição atmosférica. O sistema “*inibe a entrada de frentes e causa inversão térmica e concentração de poluentes nos principais centros urbanos das regiões Sudeste e Sul*” (BASTOS; FERREIRA, 2000, p. 612). Monteiro (1997) coincide com os demais autores e afirma que, quando muito prolongada, a estabilidade proporcionada pelo ASAS pode aumentar a concentração de poluentes aéreos.

As conseqüências da permanência da Alta Subtropical nessas regiões são bastante conhecidas pelas populações locais. A baixa umidade relativa do ar, inferior a 15 % em eventos extremos, associada à poluição urbano-industrial prejudica a saúde humana, sobretudo em crianças e idosos. No meio rural da região Centro-Oeste, a fumaça particulada oriunda de queimadas agrícolas constitui um agravante desse quadro.

Padilha Reinke e Satyamurty (2004) observaram que episódios extremos de baixa umidade relativa no Brasil Central estão relacionados à estagnação de uma massa de ar quente e seco associada ao processo de continentalização do ASAS. Nessas ocasiões as incursões de frentes frias e massas de ar polar para a região central do país são interrompidas por períodos prolongados. Ferreira *et. al.* (2006) destacaram como um dos principais fatores para a queda da umidade relativa do ar no Brasil Central, o estabelecimento do ASAS e de sua forte subsidência em níveis médios (500 hPa).

Sette (2005, p. 34) explica a atuação do ASAS no Brasil Central por meio das denominações “*Sistema Tropical Atlântico (STA)*” e “*Sistema Tropical Atlântico Continentalizado (TAC)*”, sendo este último uma extensão modificada do primeiro. Segundo a pesquisadora, a presença desse sistema sobre o interior do país é bastante notável durante os meses de junho a setembro, quando não é mais possível identificar a convergência de umidade frontal. A presença do TAC no inverno dessa região resulta em uma atmosfera quente, seca, estável, desprovida de nebulosidade e com ausência de precipitação. A permanência desse sistema dificulta a atuação de linhas de instabilidade e depressões tropicais

e equatoriais. A partir de setembro um novo aquecimento continental reverte essa situação e o TAC se retira progressivamente para o oceano.

Sant'Anna Neto (1990, p. 41) também distingue a atuação do Anticiclone Subtropical entre oceano e continente. Enquanto a “*Massa Tropical Atlântica (TA)* apresenta umidade mais ou menos alta, em superfície, pressões relativamente elevadas e constantes, além de ventos geralmente de leste e nordeste”, a “*Massa Tropical Atlântica Continentalizada (TAC)*”, decorrente do avanço da mTa sobre o continente, se caracteriza por temperaturas elevadas, baixa umidade relativa do ar e pressões inferiores às de sua face oceânica.

Na costa brasileira, o ASAS é responsável por ventos significativos do quadrante leste. Servain e Lukas (1990 *apud* QUADRO *et. al.*, 1996) verificaram que, no começo do ano, a direção predominante dos ventos no litoral nordestino é leste/nordeste. Com a intensificação da Alta Subtropical sobre o continente no meio do ano, a circulação anticiclônica passa a atingir perpendicularmente a costa nordestina com ventos de sudeste. Nessa época, sobretudo entre os meses de abril e julho, o litoral da região é beneficiado pelo transporte de umidade marítima, o que define sua estação chuvosa.

Barbosa (1999) associa a variabilidade anual de chuvas no Nordeste à posição do ASAS. Segundo o autor, em anos secos o sistema costuma encontrar-se ampliado latitudinalmente sobre o oceano com o eixo de seu centro inclinado para o norte. Já em anos de chuva acima da média na região, o eixo do ASAS apresenta-se expandido zonalmente para o oeste, com uma maior penetração sobre o continente sul-americano na altura do Sudeste brasileiro. O autor observa que em sua posição média o ASAS tem seu eixo inclinado perpendicularmente a costa sul da Bahia, sendo essa uma posição intermediária às anteriores (nem tanto ao norte, nem tanto ao oeste).

Ito e Ambrizzi (2000, p. 860-861) também associaram desvios de precipitação à posição de anticiclones subtropicais: “*quando um anticiclone persiste numa região por vários dias [...] impedindo a progressão normal de sistemas frontais, diz-se que ele atua como um sistema de bloqueio [...] provocando diminuição da precipitação e temperaturas acima da média*”. Satyamurty *et al.* (1998 *apud* MENDES, 2006) sugerem a presença do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul como condicionante à trajetória de depressões e sistemas causadores de chuva na América do Sul.

Barbieri (2005) destaca que o regime pluviométrico do centro-sul do Brasil é amplamente influenciado pela posição e intensidade do ASAS. O início da estação chuvosa no Brasil Central é relacionado ao enfraquecimento dos ventos de leste/nordeste oriundos da circulação anticiclônica e intensificação do escoamento de noroeste, o qual transporta umidade da Amazônia para o Brasil Central. Para Kodama (1993 *apud* BASTOS; FERREIRA, 2000) a convergência de umidade sobre o Atlântico Sul nessa época é modulada pela circulação da Alta Subtropical.

Ito e Ambrizzi (2000) realizaram um trabalho sobre a climatologia do ASAS nos meses de inverno para o período 1982-1996. Os resultados indicaram que em julho o centro do sistema apresentou seu maior deslocamento longitudinal, expandindo-se para oeste até aproximadamente a longitude 10° W (e até a 5° W e a 4° W em junho e agosto, respectivamente). Os autores encontraram uma pequena variação latitudinal da posição média do centro do sistema ao longo do inverno, sendo sua localização próxima à latitude 28° S. Os resultados de Ito e Ambrizzi (2000) coincidem com os encontrados na literatura.

Hastenrath (1985) observou um ligeiro deslocamento do centro da Alta Subtropical para norte (entre 27° e 28° S) e sua expansão para oeste (entre 12 e 14° W) no inverno do Hemisfério Sul. No restante do ano, o autor encontrou o centro do sistema entre 29° e 33° de latitude sul e entre 0 a 11° de longitude oeste. Machel *et al.* (1998 *apud* ITO; AMBRIZZI, 2000) afirmaram que a variação sazonal do centro do ASAS é caracterizada por uma dupla oscilação longitudinal, estando mais a leste em outubro e abril e mais a oeste em julho/agosto e de janeiro a março.

Em um estudo climatológico sobre a posição do centro do ASAS para 1948-1998, Molion *et al.* (2004) observou em maio sua posição mais a oeste (11° W) e em novembro mais a leste (3° W). A amplitude latitudinal anual encontrada foi de cerca de 4° entre as latitudes 29° e 33° S, sendo fevereiro, março e abril os meses em que o centro do sistema se encontrou mais a sul e junho, julho e agosto mais a norte.

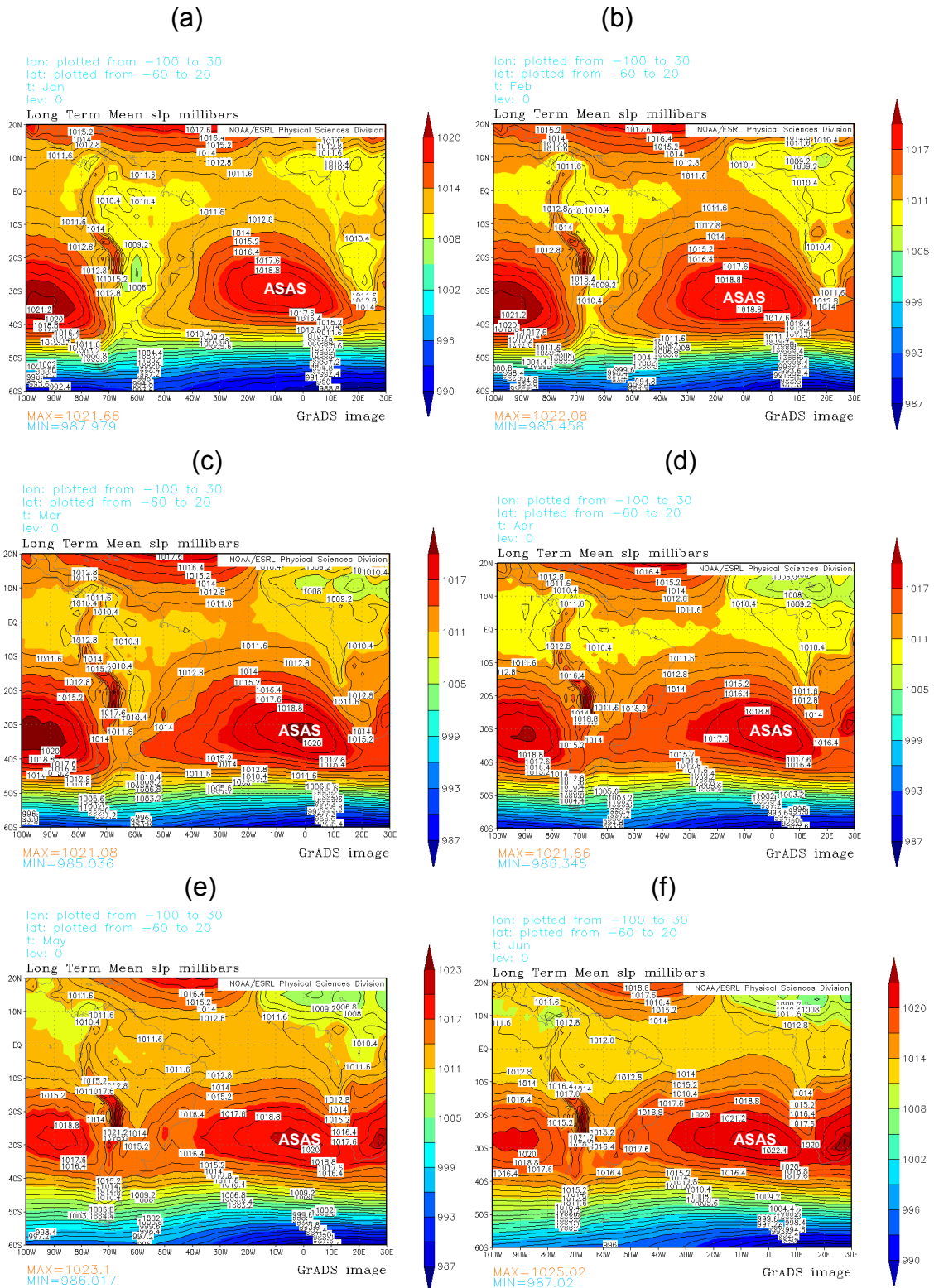
A série de mapas abaixo (MAPA 1.a-I) de autoria do National Centers for Environmental Prediction (NCEP, 1996) ilustra o comportamento climatológico mensal da pressão média ao nível do mar (superfície) na América do Sul e oceanos próximos no período 1968-1996. Os mapas permitem observar a

configuração do centro da Alta Subtropical no Oceano Atlântico e sua influência sobre o continente ao longo do ano.

Dezembro (MAPA 1.l), janeiro (MAPA 1.a) e fevereiro (MAPA 1.b) se destacam como meses em que o sistema encontra-se mais fraco, com sua área de influência praticamente reduzida ao oceano. Nesse período, embora seu centro encontre-se ligeiramente a sul de sua posição no inverno, o ASAS se dispõe latitudinalmente em direção a Alta dos Açores no Hemisfério Norte. Entre dezembro e abril são registrados os valores mínimos de pressão em seu centro – em torno de 1021 hPa (ITO; AMBRIZZI, 2000).

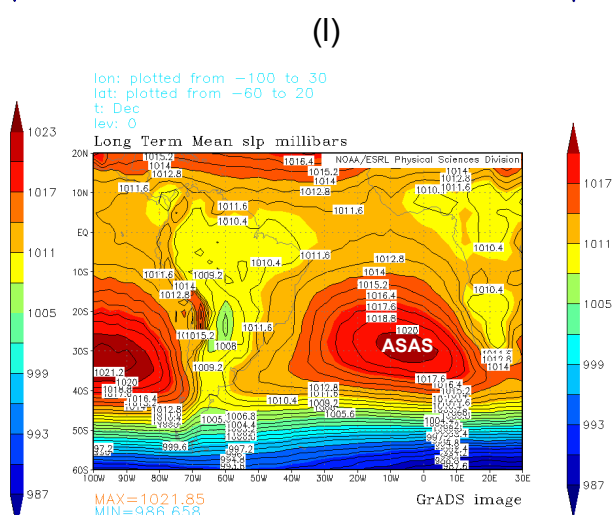
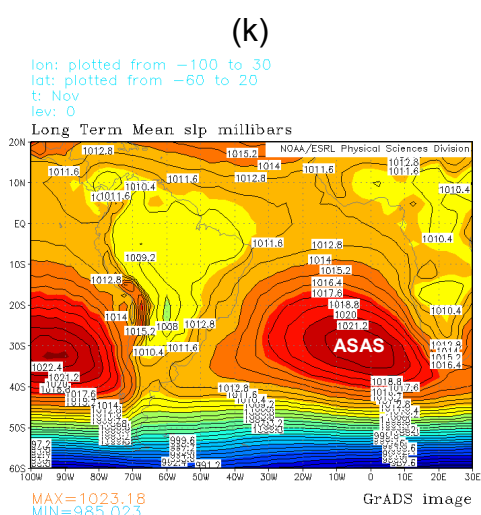
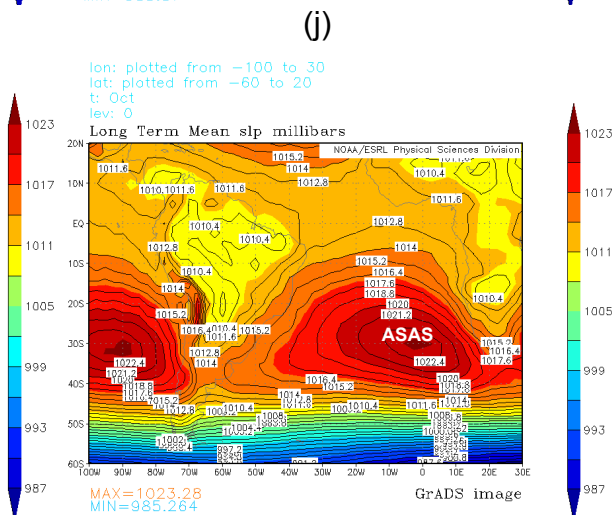
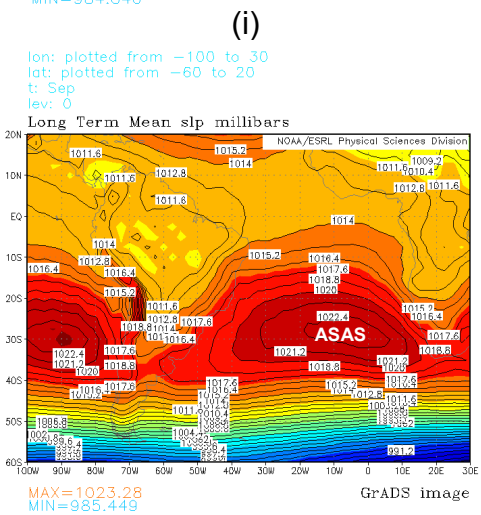
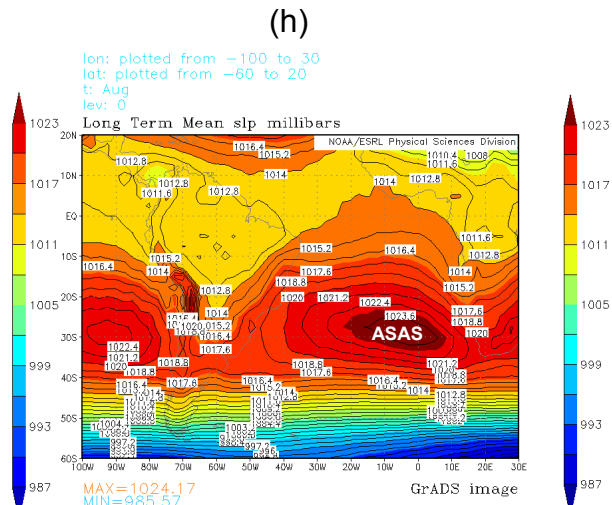
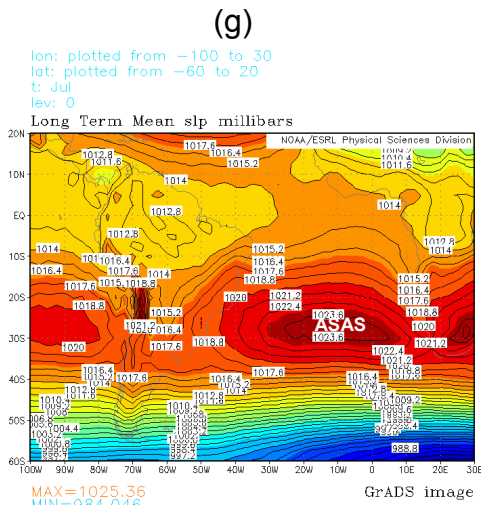
Durante o inverno austral, quando se encontra fortalecido, o ASAS expande sua influência no sentido oeste-leste em direção a Alta Subtropical do Pacífico Sul. A partir de março (MAPA 1.c) é possível observar a aproximação do Anticiclone sobre a América do Sul, sendo os meses de julho (MAPA 1.g) e agosto (MAPA 1.h) aqueles que melhor exibem essa influência. Ito e Ambrizzi (2000) destacaram que em agosto o sistema pode atingir um valor de pressão próximo a 1026 hPa.

**Pressão média ao nível do mar: janeiro a dezembro. Período 1968-1996**



MAPA 1 – Climatologia do ASAS em janeiro (a), fevereiro (b), março (c), abril (d), maio (e) e junho (f). – Período 1968-1996

Fonte: KALNAY et al. (1996)



MAPA 1 – Climatologia do ASAS em julho (g), agosto (h), setembro (i), outubro (j), novembro (k) e dezembro (l). – Período 1968-1996

Fonte: KALNAY et al. (1996)

### 2.2.2.2 Anticiclones Polares Migratórios

Os Anticiclones Polares Migratórios (APM) são sistemas transientes que invadem periodicamente o continente sul-americano com ventos de oeste a sudoeste. Embora possam ocorrer em qualquer época do ano, sua atuação é mais intensa e freqüente entre o outono e o inverno (NIMER, 1979). Constituem a Massa Polar Marítima ou Continental proveniente das latitudes altas e se caracterizam por possuir ar frio, denso e seco em sua origem. Ao longo de seu curso rumo aos trópicos, os APM têm suas características iniciais modificadas e tornam-se menos frios e secos.

A invasão do APM na América do Sul se dá entre dois anticiclones semi-estacionários: o ASAS e o Anticiclone Subtropical do Pacífico Sul (ASPS). O posicionamento das altas subtropicais exerce grande influência na penetração do sistema polar (VIANELLO; MAIA, 1986), algumas vezes impedindo sua progressão em direção a latitudes mais baixas.

Os APM costumam desenvolver três trajetórias preferenciais em seu deslocamento próximo a América do Sul. Na mais comum, ao alcançarem o extremo sul da Cordilheira dos Andes, na Patagônia, avançam a oeste dessa cadeia montanhosa constituindo a Massa Polar Pacífica (mPp). Quando se deslocam a leste dos Andes, em outras duas trajetórias, influenciam as condições climáticas do Brasil. Esse percurso caracteriza a Massa Polar Atlântica (mPa), capaz de atingir o país via interior ou litoral com ventos de sul a sudeste (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Em seu ramo continental, o ar frio e seco da mPa é conduzido ao Brasil por uma calha natural – a Planície do Chaco. Nesse percurso, sua influência sobre a temperatura e a umidade é ocasionalmente sentida até próximo a linha do equador, como exemplificado pelo conhecido fenômeno da friagem na Amazônia meridional<sup>4</sup> (MOLION, 1987). Segundo Monteiro (2007), durante o inverno, o ramo continental da mPa é responsável pela redução da umidade relativa do ar no centro-sul do Brasil, além de acentuadas quedas de temperatura durante as madrugadas e formação de geadas nas áreas mais elevadas do Sul e Sudeste do país. Sette (2005, p. 35) utiliza a denominação “*Sistema Polar Continentalizado*

---

<sup>4</sup> Nimer (1989) e Fish *et al.*, (1996) *apud* Abreu (1998) afirmam a ocorrência de temperaturas mínimas absolutas inferiores a 14° C na porção centro-sul da Amazônia.

(SPC)” para distinguir a atuação do ramo continental da mPa sobre o Brasil Central.

Quando desenvolve seu ramo marítimo pelo Oceano Atlântico, o APM adquire umidade e, devido à maior incidência de radiação tropical e subtropical, absorve calor (TUBELIS; NASCIMENTO, 1992). Nessa trajetória, o sistema é capaz de provocar ligeira queda de temperatura e aumento de nebulosidade estratiforme no litoral e parte do interior das regiões Sul e Sudeste do país. Em alguns casos, o transporte de umidade do oceano para continente é tão intenso que gera precipitações fracas e contínuas. Tais efeitos, decorrentes da infiltração marítima, estão relacionados à circulação anticiclônica de sudeste (VIANELLO; MAIA, 1986). Ainda nessa trajetória, não são raros episódios em que a tropicalização do sistema polar o modifica de tal forma a permitir sua incorporação ao ASAS, fortalecendo este último (Monteiro, 2007). O APM em avançado estágio de descaracterização é denominado “*Massa Polar Velha (PV)*” (SANT’ANNA NETO, 1990, p. 41).

Maia (1986) ressaltou que durante o inverno, os APM possuem mais energia e maior dimensão. Já no verão, têm pequena penetrabilidade continental, são menos baroclínicos e interferem pouco na temperatura. Nessa estação, a descontinuidade atmosférica resultante do avanço do sistema em direção ao equador é um dos principais mecanismos responsáveis pela organização da convecção tropical e ocorrência de chuvas (frontais) sobre o centro-sul do Brasil. Nimer (1979) destaca a importante influência das correntes perturbadas de Sul (frentes frias associadas ao APM) sobre o volume de chuvas no verão do Sudeste brasileiro.

### 2.2.3 Frentes frias

O deslocamento de massas de ar e seus respectivos centros de ação para regiões com características termohigrométricas distintas às de sua origem promove a formação de frentes. Uma frente pode ser entendida como uma superfície de descontinuidade atmosférica, onde o encontro de massas de ar diferentes resulta no surgimento de instabilidade e condições propícias à ocorrência de chuva (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

A estrutura de uma frente fria é normalmente constituída por uma porção de ar frio e seco em sua retaguarda e outra de ar quente e relativamente menos seco em sua vanguarda. O ar frio, mais denso e pesado, ao avançar sobre a massa de ar quente cria condições para ascendência atmosférica nessa faixa de contraste térmico.

A aproximação de um frente fria é prenunciada pela elevação da temperatura, intensificação de ventos continentais secos e quentes, queda da pressão devido ao enfraquecimento da alta antes dominante e redução da umidade relativa do ar. Posteriormente, sob domínio da frente em si, há elevação da umidade e/ou ocorrência de precipitação, ausência de direção predominante de ventos e redução de temperaturas máximas. Finalmente, a invasão do ar de origem polar é notada por mudanças na direção do vento, aumento progressivo da pressão atmosférica, queda relativa da temperatura, céu limpo e novo declínio da umidade (MONTEIRO, 2007).

Galvani e Azevedo (2003) observaram os impactos da passagem de uma frente fria por São Paulo (23° S / 46° W / 742 m) e utilizaram gráficos para representar o comportamento das variáveis pressão atmosférica e umidade relativa nos dias que antecederam e sucederam a chegada do sistema frontal. Os gráficos mostram um expressivo declínio da pressão seguido por uma rápida elevação, respectivamente, nos períodos anterior e posterior a passagem da frente (FIG. 2.a). Tal comportamento sugere a influência de anticiclones antes e após o domínio frontal. A pressão mínima foi registrada no momento em que houve ocorrência de precipitação. Nesse dia a umidade relativa se elevou atingindo seu ápice. (FIG. 2.b).

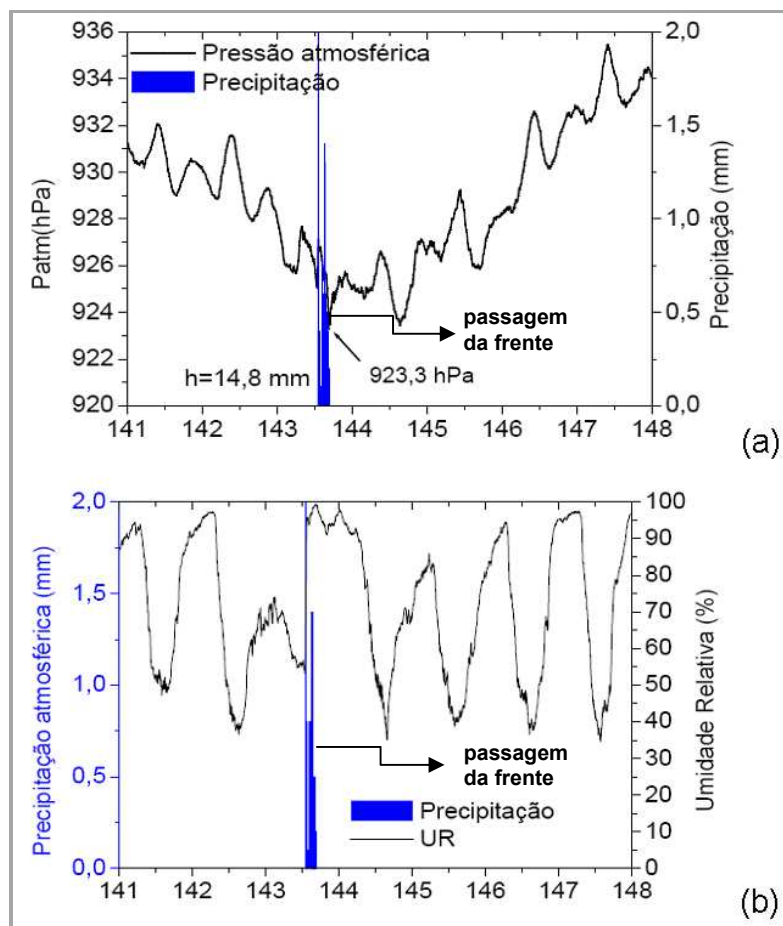


FIGURA 2 – (a) Pressão atmosférica e precipitação entre dias 21 e 27 de maio de 2003 (dias Juliano 141 a 148) em São Paulo. (b) Umidade relativa do ar e precipitação na cidade durante o mesmo período.

Fonte: Galvani e Azevedo (2003)

No centro-sul do Brasil, a exemplo do continente sul-americano, o deslocamento da mPa em direção aos sistemas tropicais intensifica frentes frias originadas no Pacífico Sul e organiza a formação da Frente Polar Atlântica (FPA) (FIG. 3). Rodrigues *et. al.* (2004) afirmam que nesse continente as frentes frias costumam configurar-se na direção noroeste-sudeste e avançar em uma trajetória sudoeste-nordeste até próximo a latitude 20° S, região central de Minas Gerais, onde começam a se dissipar (frontólise). Para Nimer (1979) esse processo decorre do estabelecimento de um equilíbrio dinâmico entre a alta polar da retaguarda e o ASAS. Nesses casos é comum a manutenção da frente semi-estacionada por alguns dias sobre o Sudeste brasileiro provocando expressivos volumes de chuva. Satyamurty *et. al.* (1998 apud RODRIGUES *et. al.*, 2004) observaram um maior tempo de permanência de frentes sobre essa região justamente durante os meses da estação chuvosa.

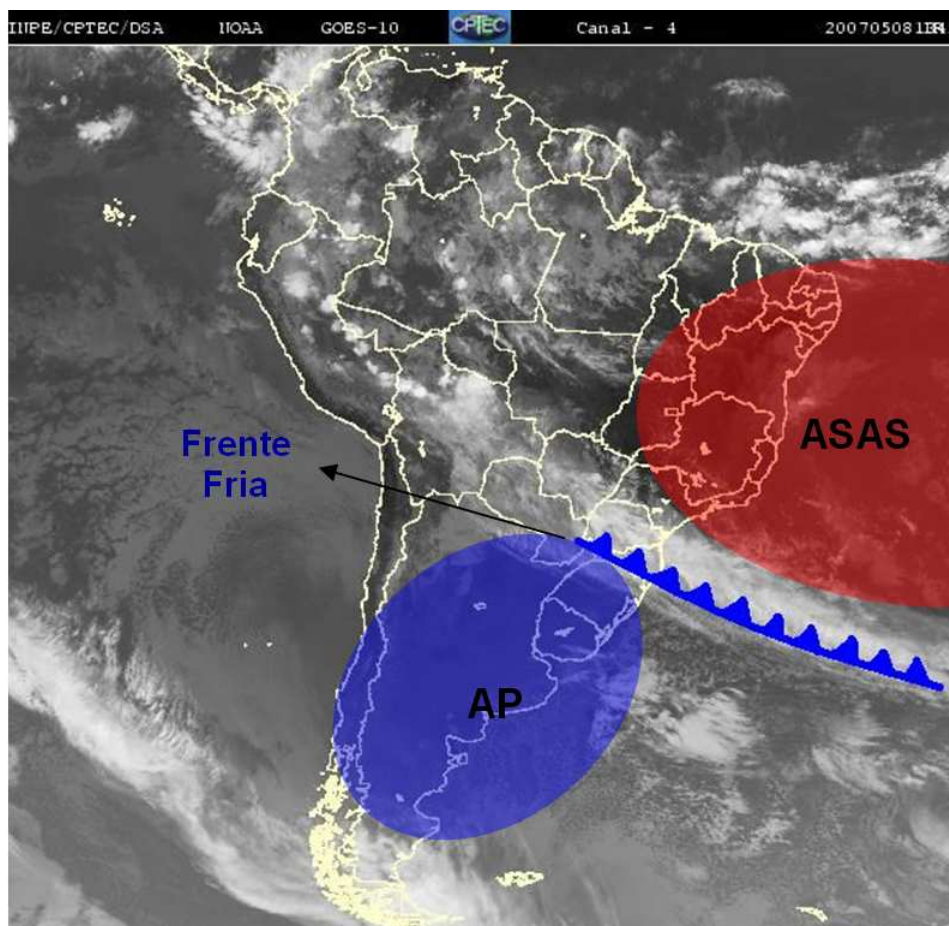


FIGURA 3 – Imagem de satélite da América do Sul, destacando uma frente fria, o APM (azul) e o ASAS (vermelho).

Fonte: INPE/CPTEC/DAS NOAA – 08/05/2007

Segundo Monteiro (1969) a FPA é fundamental no controle do regime pluvial do centro-sul do Brasil. Para Tarifa (1975) a FPA é, junto às Linhas de Instabilidade (LI), o principal sistema responsável por chuvas no Sudeste do país. Abreu (1998) sugere que o verão em Minas Gerais seria bem menos chuvoso não fosse a influência de frentes frias e da convergência de umidade Amazônica sobre a região.

No Brasil Central, as chuvas frontais são mais expressivas na primavera-verão (estação chuvosa), quando superfície e atmosfera encontram-se úmidas e aquecidas. No inverno (estação seca), a FPA encontra dificuldades para atingir a região devido ao estabelecimento da Alta Subtropical no interior do continente. Quando consegue vencer a barreira anticiclônica, produz volumes irrisórios de precipitação. Segundo Nimer (1979), isso se deve a pouca quantidade de umidade disponível nessa época, tanto na atmosfera dominada pelos sistemas tropicais, quanto pelos polares. Conforme estudos de Oliveira (1986), Lemos e

Calbete (1996) e Justi da Silva e Silva Dias (2000, 2002) (*apud* RODRIGUES *et. al.*, 2004), na estação seca as frentes atuam muito mais no litoral do que no interior do Sudeste.<sup>5</sup>

Apesar da elevada frequência com que esses sistemas transientes atuam sobre o centro-sul do Brasil, há períodos em que circunstâncias relativas à circulação zonal interrompem o escoamento atmosférico. Essas situações sinóticas, denominadas bloqueios atmosféricos, podem resultar em condições de persistente estabilidade, céu limpo, aumento da temperatura e queda da umidade nas regiões onde ocorre a permanência das altas.

No Brasil Central, esse tipo de estabilidade é capaz de provocar intensas ondas de calor e seca, sobretudo entre o fim do inverno e início da primavera. Van Loon (1956 *apud* CASARIN, 1983) afirma ser esse o período de maior frequência na ocorrência de bloqueios no Hemisfério Sul e destaca que, nessa região, costumam durar de 6 a 10 dias. Segundo Casarin (1983), a costa leste da América do Sul (55° W a 20° W) apresenta uma maior quantidade de situações de bloqueios entre a primavera e o início do verão. Fuentes (1997 *apud* MONTEIRO, 2007) associa a condição de bloqueio à permanência de altas pressões persistentes nas altas latitudes, o que impede o deslocamento zonal de oeste. Nessas regiões a situação é mais comum entre o outono e inverno.

---

<sup>5</sup> Já no Sul do país, os autores observaram maior frequência de sistemas frontais entre maio e dezembro.

### 2.3 Umidade atmosférica

A água é encontrada na atmosfera em forma de vapor. Sua origem é a superfície oceânica e continental, inclusive o solo. Os animais e vegetais também são fontes de vapor d'água. A transformação da água (líquida) em vapor envolve gasto de energia e aumenta com o saldo positivo de radiação (TUBELIS; NASCIMENTO, 1992).

A quantidade total de vapor d'água presente em determinada porção da atmosfera é geralmente medida em gramas/m<sup>3</sup> e denomina-se umidade absoluta. Todavia, é a razão entre esse valor e o total de vapor d'água presente na mesma atmosfera em estado de saturação<sup>6</sup> o melhor indicador sobre umidade no ar. Essa relação percentual, denominada umidade relativa, é altamente afetada por variações de temperatura (AYOADE, 1983).

O ar aquecido e expandido oferece mais espaço ao vapor d'água, ou seja, pode reter mais umidade. Porém, se a superfície não for capaz de preencher de vapor esses novos espaços, a atmosfera estará mais distante de seu ponto de saturação, logo, apresentará menor umidade relativa. O resfriamento atmosférico, por sua vez, reduz as condições para retenção de vapor. Contudo, como nessas condições o ar apresenta um volume menor, são poucos os espaços a serem preenchidos para que a saturação seja alcançada e a umidade relativa se mantém elevada. A relação inversa entre temperatura e umidade relativa é observada ao longo de um dia. Durante a tarde, quando a temperatura está mais elevada, são registrados os menores valores de umidade relativa do ar. Ao amanhecer, com temperaturas menores, a umidade relativa é maior.

A umidade atmosférica também sofre influência indireta de oscilações barométricas. Sob atuação de anticiclones, a predominância de movimentos de subsidência do ar dificulta o transporte da umidade disponibilizada pela superfície às camadas médias e superiores da troposfera. Já em regiões com baixa pressão, os movimentos de ascendência promovem constante elevação do vapor d'água na atmosfera que podem resultar em chuva. Em regiões intertropicais com influência da continentalidade, é possível observar um comportamento anual

---

<sup>6</sup> Estado no qual a concentração de vapor d'água é máxima sob determinadas condições de temperatura e pressão.

inverso entre umidade relativa e pressão, como ilustrado no gráfico a seguir para Belo Horizonte (GRAF. 1.a), Montes Claros (GRAF. 1.b) e Uberaba (GRAF. 1.c).

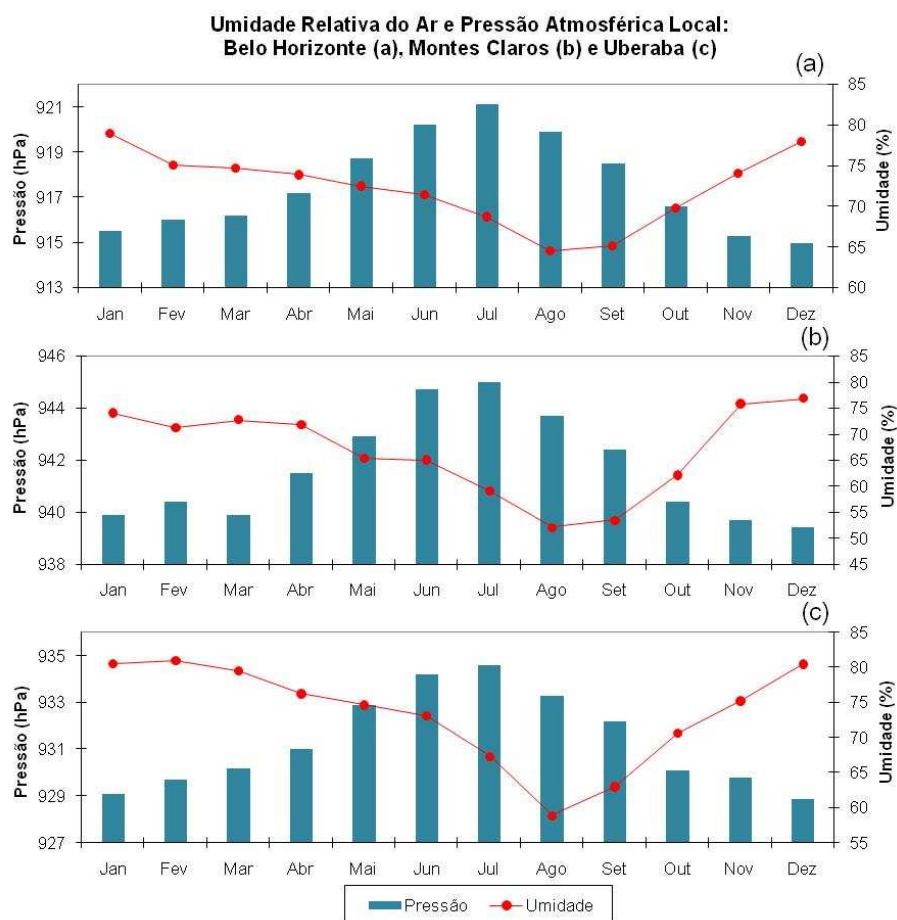


GRÁFICO 1 – Climatologia mensal da umidade relativa do ar e pressão atmosférica em Belo Horizonte (a), Montes Claros (b) e Uberaba (c).

Fonte dos dados: Normais Climatológicas 1961-1990 (INMET, 1992)

Por outro lado, embora haja uma estreita relação entre umidade atmosférica e chuva, nem sempre elevados valores de umidade relativa se resultarão em precipitação. Segundo Galvani e Azevedo (2003), a presença de vapor d'água na baixa troposfera não pode ser entendida como certeza de chuva. Nas camadas inferiores da troposfera sobre o interior do Nordeste brasileiro, por exemplo, não há falta de umidade, contudo essa região é conhecida por seus prolongados períodos de estiagem. Essa característica encontra origem na ausência de mecanismos dinâmicos capazes de criar nuvens espessas que poderiam resultar em chuva. Isto é, para a ocorrência de chuva mais que umidade superficial é necessária predominância de sistemas de baixa pressão que permitam contínua convecção de vapor na atmosfera (CAVALCANTI *et al.*, 1986).

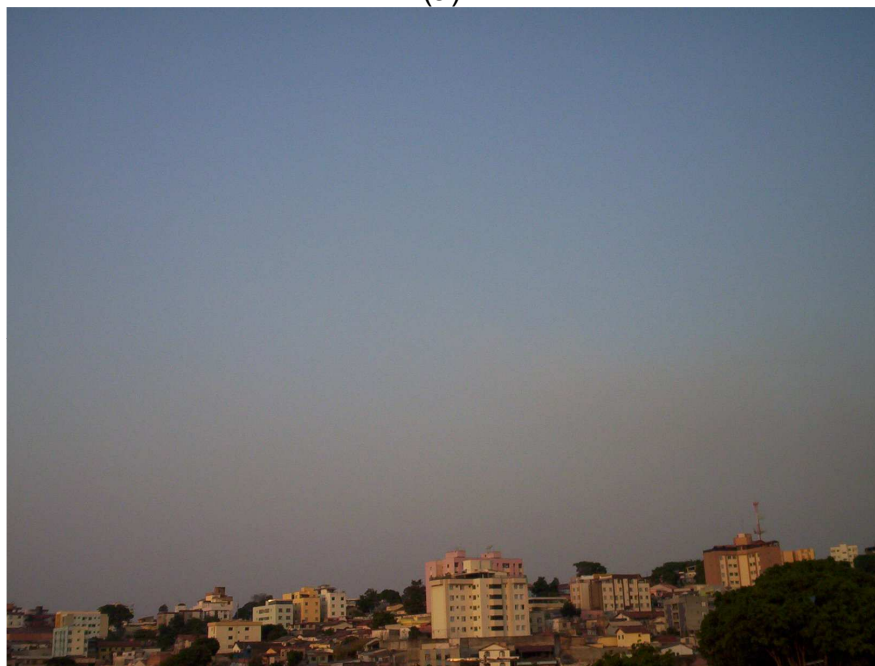
A umidade é um importante indicador sobre a qualidade do ar e o conforto térmico. Entre a primavera e o verão, níveis elevados de umidade acentuam ainda mais a sensação de calor, já que comprometem o alívio refrescante proporcionado pela evaporação do suor na pele. Durante o inverno, a estabilidade atmosférica, o resfriamento do solo e os baixos valores de umidade relativa podem favorecer o acúmulo de poluentes nas camadas mais superficiais da atmosfera, fato que reduz a qualidade do ar, afeta a visibilidade e prejudica a saúde humana.

A estabilidade do ar nessa estação contribui para a formação do fenômeno denominado inversão térmica. A inversão ocorre quando uma camada de ar quente se sobrepõe a outra mais fria. Nessas condições, o ar superficial frio e poluído é impossibilitado de elevar-se e dar lugar ao ar superior mais limpo. Devido à forte subsidência, mesmo com o aquecimento diurno a atmosfera não consegue expandir-se e promover movimentos ascendentes que dispersem os poluentes. Os efeitos dessa persistente estabilidade na atmosfera são mais visíveis durante o início da manhã e o fim da tarde (FOTO 1.a-b). A inversão térmica é um fenômeno natural e pode ocorrer em meios urbanos ou rurais, porém suas piores conseqüências são sentidas nas grandes cidades.

No meio rural, os maiores problemas advêm de queimadas naturais ou induzidas pelo homem que se propagam com mais facilidade durante o período seco. Esses fenômenos produzem muita fumaça e matéria particulada capaz de reduzir a visibilidade nas superfícies próximas e circunvizinhas a sua origem. Cidades como Cuiabá, no Mato Grosso; Porto Velho, em Rondônia; e Rio Branco, no Acre, são constantemente assoladas por esse tipo de poluição nos meses de estiagem.

Zanato (2008) associa a permanência prolongada de poluentes na baixa atmosfera a períodos extensos sem chuva e de baixa umidade, situações de calmaria e estagnação do ar, elevada incidência de luz solar, baixas temperaturas e sobretudo à estabilidade atmosférica. Nessas condições, um maior período de insolação pode induzir a formação de oxidantes atmosféricos como o ozônio. Segundo a autora, o acúmulo de poluentes favorece a ocorrência de complicações respiratórias em virtude do ressecamento da mucosa nasal. Também são freqüentes casos de sangramento do nariz, ressecamento da pele e irritação dos olhos.

(a)



(b)



FOTO 1 – (a) Efeitos de uma inversão térmica em Belo Horizonte – final da tarde do dia 19/08/2007. (b) Aspecto do céu na manhã do dia anterior sem efeitos visíveis de inversão térmica - 18/08/2007

A condição de acúmulo de poluentes é facilmente revertida com a ocorrência de precipitação e o conseqüente aumento da umidade relativa do ar. A chuva é um mecanismo eficiente para remoção de partículas de poluição da atmosfera, conforme lembrado por Pretor-Pinney (2006, p. 168): “*bastam apenas 2,5 centímetros de água de chuva para remover cerca de 99% das partículas existentes no ar e quase todos os gases solúveis, como o dióxido de enxofre.*” Após chuvas intensas ou persistentes é possível notar a limpeza da atmosfera (ZANATO, 2008).

A Organização Mundial de Saúde (OMS) considera confortáveis valores de umidade relativa entre 30% e 60%, entretanto destaca que esse intervalo é passível de modificação quando considerados outros elementos meteorológicos. No Brasil, a Defesa Civil definiu recomendações e procedimentos a serem tomados pela população durante a ocorrência de baixos valores de umidade (QUADRO 1). O órgão considera estado de atenção umidade relativa igual e inferior a 30 % e recomenda a não exposição ao Sol, umidificação artificial de ambientes e uso de soro fisiológico nos olhos e narinas.

**QUADRO 1 – Procedimentos recomendados pela Defesa Civil e OMS durante a ocorrência de baixa umidade relativa do ar.**

<b>Umidade</b>	<b>Situação</b>	<b>Procedimentos recomendados</b>
Entre 30% e 20%	Estado de Atenção	Evitar exercícios físicos ao ar livre entre 11 e 15 horas; umidificar o ambiente através de vaporizadores, toalhas molhadas e recipientes com água. Sempre que possível permanecer em locais protegidos do sol ou próximo a áreas vegetadas.
Entre 20% e 12%	Estado de Alerta	Observar as recomendações do estado de atenção; suprimir exercícios físicos e trabalhos ao ar livre entre 10 e 16 horas; evitar aglomerações em ambientes fechados; usar soro fisiológico para olhos e narinas.
abaixo de 12%	Estado de Emergência	Observar as recomendações para os estados de atenção e de alerta; determinar a interrupção de qualquer atividade ao ar livre entre 10 e 16 horas; determinar a suspensão de atividades que exijam aglomerações de pessoas em recintos fechados entre 10 e 16 horas.

Fonte: Cepagri/Unicamp (1991) Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/artigos-especiais/umidade-do-ar-saude-no-inverno.html>> Acesso em: 06 mar. 2008.

## 2.4 Caracterização climática da área de estudo

Minas Gerais apresenta um amplo território que se caracteriza como área de transição entre climas megatérmicos tropicais e mesotérmicos temperados (NIMER, 1979). É transição também entre climas tropicais, quase permanentemente úmidos, das áreas litorâneas e tropicais típicos do interior do país. Do ponto de vista topográfico, o território mineiro se destaca por suas terras relativamente altas e relevo montanhoso. A combinação desses fatores por si só resultaria em uma ampla diversidade climática na região, mas os efeitos da dinâmica atmosférica regional acentuam ainda mais essa condição. O estado está suscetível a influência de sistemas meteorológicos típicos de baixas e médias latitudes (ABREU, 1998).

O município de Belo Horizonte (19,5° S / 44° W / 850 m), a exemplo da região central de Minas Gerais, apresenta características climáticas próprias da dinâmica tropical: amplitude térmica anual relativamente baixa e notável sazonalidade no que diz respeito às chuvas. Com duas estações bem definidas – seca (abril a setembro) e chuvosa (outubro a março) – mais de 80% dos casos de precipitação anual são registrados na estação chuvosa (LUCAS; ABREU, 2004).

A cidade tem média térmica anual de 21,3° C, sendo julho o mês mais ameno (18,5° C) e fevereiro o mais quente (23,2° C). Julho se destaca pela média relativamente baixa de temperatura mínima: 13,1° C. Quanto à precipitação, o volume médio anual é da ordem de 1491,3 mm. Dezembro se apresenta como mês mais chuvoso (acumulado médio de 319,4 mm) e agosto como mais seco (volume médio de 13,7 mm) (INMET, 1992).

A influência de um sistema de alta pressão – ASAS – sobre o país inibe a formação de nuvens de chuva em Belo Horizonte e na maior parte de Minas Gerais entre abril e setembro. Segundo Vianello e Maia (1986) a forte subsidência desse sistema é responsável pela ocorrência de dias claros, sem chuva e com agravamento da poluição atmosférica. A quantidade de frentes frias que consegue atingir a região nesse período é reduzida, o que compromete as condições para convergência de umidade.

No restante do ano (outubro a março), o progressivo deslocamento do ASAS para o oceano, o aquecimento do continente sul-americano, a elevada disponibilidade de umidade oriunda da Amazônia e a atuação freqüente da FPA

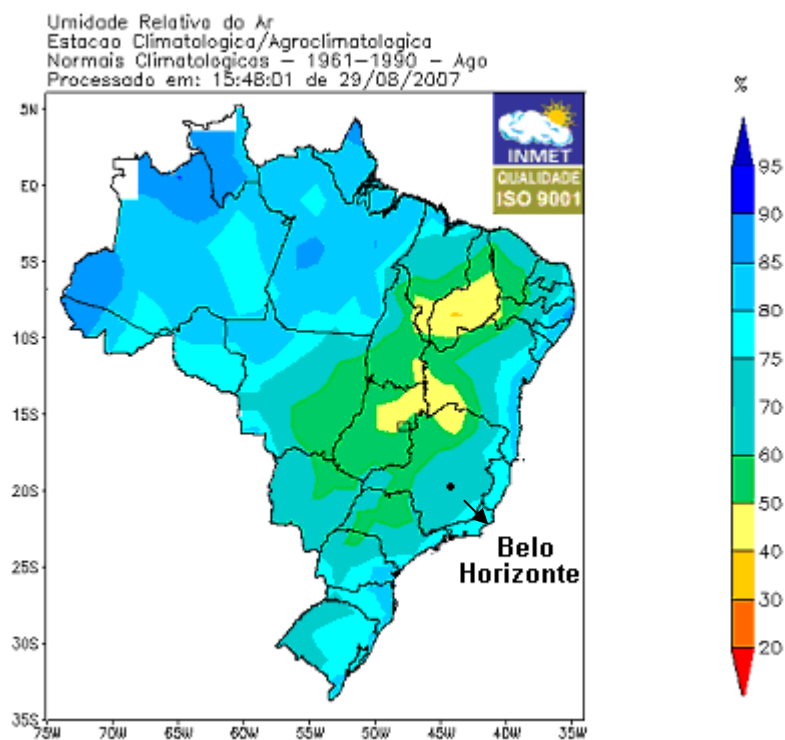
na região, respondem por um aumento expressivo das chuvas e da umidade relativa do ar. Contudo, mesmo durante a estação chuvosa, o avanço da mTa (ASAS) sobre o estado inibe a convecção e reduz a pluviosidade, o que pode caracterizar veranicos. Em algumas regiões de Minas Gerais, como o Vale do Rio Doce, Cupolillo (2008) observou ocorrência de veranicos com duração superior a vinte dias. Segundo o autor, nessa região o fenômeno ocorre com maior frequência no mês de fevereiro. Esses períodos costumam registrar as mais elevadas temperaturas da estação chuvosa.

A participação do ASAS na dinâmica atmosférica de Minas Gerais é observada por meio dos valores médios mensais de pressão atmosférica em Belo Horizonte. Em julho, a pressão atinge 921,1 hPa, enquanto em dezembro é de apenas 915,0 hPa. A média anual é 917,5 hPa (INMET, 1992).

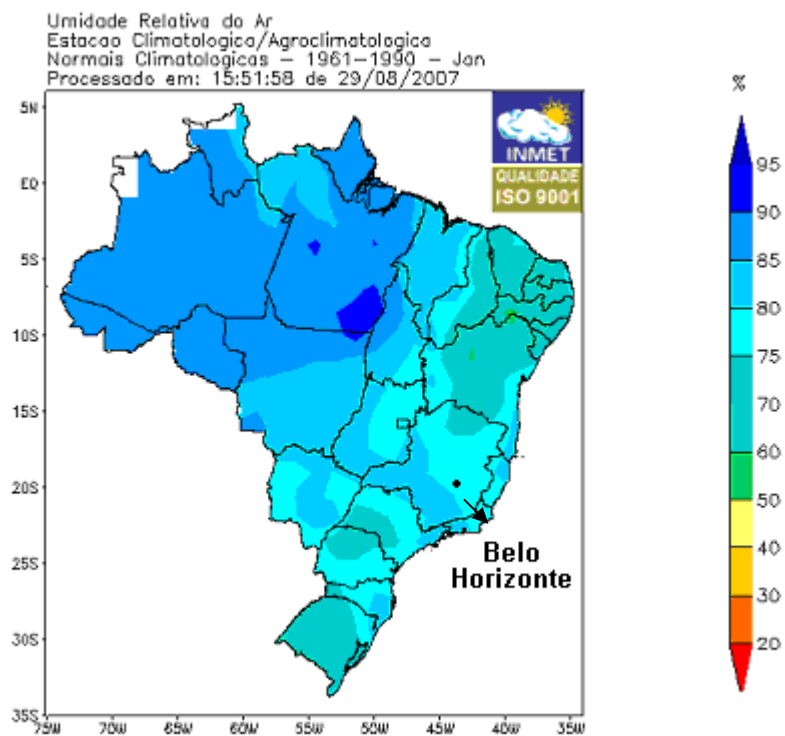
Apesar da sazonalidade pluviométrica marcante, a amplitude anual da umidade relativa do ar média na região é relativamente pequena. Conforme dados das Normais Climatológicas 1961-1990 (INMET, 1992), o mês mais úmido em Belo Horizonte é janeiro, quando o índice é de 79 % (MAPA 2.a). Em agosto, mês mais seco, o índice é de 64,5 % (MAPA 2.b), isto é, 14,5 pontos percentuais menor que o primeiro. A média anual é de 72%. Segundo Moreira (1999), que realizou um estudo sobre umidade relativa do ar em Belo Horizonte para o período 1960-1989, pode-se afirmar que seu comportamento é de baixa variabilidade. Nesse estudo o maior valor médio mensal da variável foi obtido em dezembro (76,9 %) e o menor em agosto (62,9 %).

A resposta da umidade à falta de chuvas ocorre de forma lenta e gradual, tornando-se mais evidente apenas três ou quatro meses após o início da estiagem (GRAF. 2). Isso se deve a grande capacidade de armazenamento de água e umidade pelos solos bem drenados da região (IBGE, 1997). Essa estocagem serve às plantas durante o período seco e estas, por sua vez, realizam evapotranspiração, transmitindo parte dessa umidade ao ar. Além disso, o início da estação seca corresponde a meses em que as médias térmicas sofrem ligeira redução, o que poderia explicar a sustentação de valores de umidade próximos aos da estação chuvosa. Somente a partir de agosto a combinação entre ausência prolongada de grandes volumes de chuvas e elevação das temperaturas resulta em uma queda mais visível da umidade relativa média.

(a)



(b)



MAPA 2 – (a) Umidade relativa do ar em agosto no Brasil e (b) Umidade relativa do ar em janeiro no Brasil. – Normais Climatológicas (1961-1990)

Fonte: Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>> Acesso em: 29 ago. 2007.

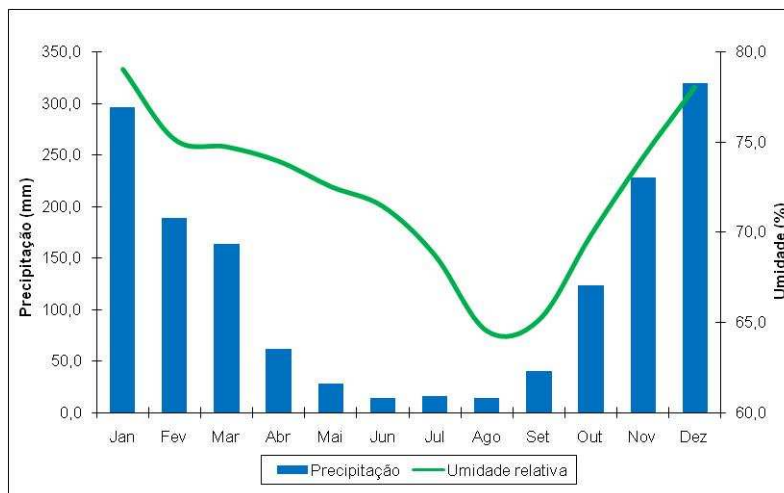


GRÁFICO 2 – Climatologia mensal da umidade relativa e da precipitação em Belo Horizonte – Período 1961-1990

Fonte dos dados: Normais Climatológicas 1961-1990 (INMET, 1992)

A baixa amplitude anual da umidade relativa média não se estende à umidade relativa mínima. Nos dias mais quentes do final do inverno e início da primavera, o índice pode reduzir drasticamente durante a tarde, atingindo patamares críticos, em torno de 15 %. Como ao longo do dia a umidade relativa tem comportamento inversamente proporcional à temperatura e o inverno e o início da primavera são estações de tempo estável, a eventual ocorrência desses valores pode ser considerada normal.

Além do ASAS, outro sistema de alta pressão influencia as condições de tempo em Minas Gerais: trata-se do Anticiclone Polar Migratório. As conseqüências do avanço do APM sobre o estado são sentidas sobretudo no inverno. Quando esse sistema adquire trajetória continental, sua atuação na região pode resultar em tempo bastante seco e baixas temperaturas mínimas. O resfriamento radiativo associado à advecção de ar frio e seco costuma causar geadas na porção centro-sul do estado<sup>7</sup> (VIANELLO; MAIA, 1986). Já seu ramo oceânico, por efeito da circulação marítima, é capaz de manter a umidade elevada e reduzir principalmente as temperaturas máximas. Essa atuação é mais visível nas regiões mineiras próximas ao oceano, como o Sul, Zona da Mata e vales dos rios Doce, Mucuri e Jequitinhonha.

No verão, os APM costumam atingir a latitude de Belo Horizonte totalmente descaracterizados, interferindo pouco ou nada nas condições térmicas da região (ASSIS, 2001). Nessa época, o avanço de frentes frias – resultantes do

<sup>7</sup> Destaca-se que essa condição é agravada pelo relevo montanhoso e elevado da região.

deslocamento do APM em direção ao equador – organiza a convecção tropical e provoca expressivos volumes de chuva em Minas Gerais (LUCAS, 2007).

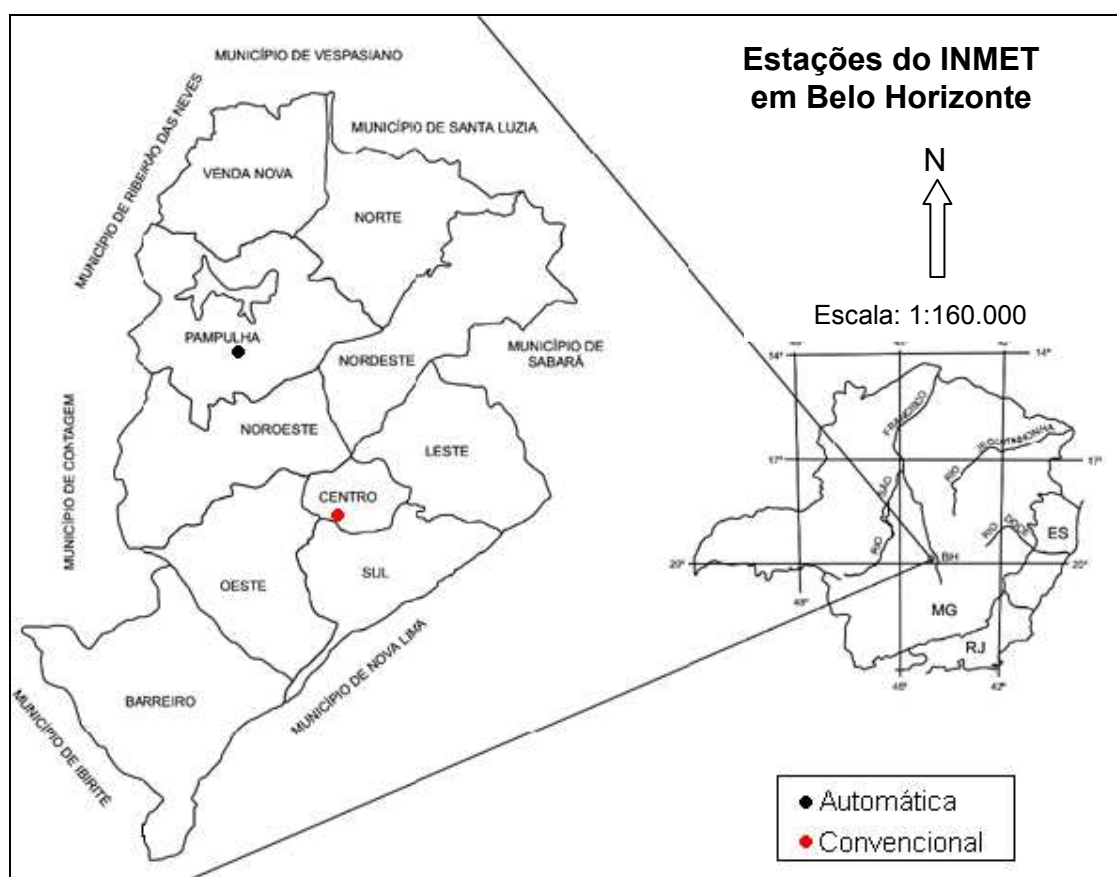
O QUADRO 2 sintetiza algumas características sobre a atuação de anticiclones em Minas Gerais.

**QUADRO 2 – Atuação de anticiclones em Minas Gerais**

	<b>ASAS</b>	<b>APM</b>
<b>Origem / localização</b>	Oceano Atlântico Sul, entre América do Sul e África. A posição de seu centro é variável ao longo do ano.	Altas latitudes, no interior das regiões polares. No Hemisfério Sul: Antártida ou extremo sul da Patagônia.
<b>Mobilidade</b>	Semi-fixo	Transientes
<b>Pressão na superfície</b>	Alta	Alta
<b>Temperatura</b>	Alta	Baixa em sua origem, mas pode aumentar.
<b>Umidade</b>	No oceano: alta próxima a superfície, mas insuficiente para provocar chuva. No continente: baixa.	Baixa em sua origem, mas pode aumentar.
<b>Atuação em Minas</b>	Ao longo de todo o ano, com maior influência durante a estação seca e veranicos.	Periodicamente o ano todo.
<b>Conseqüências para Minas</b>	<b>Estação seca:</b> avança sobre o continente e dificulta a passagem de frentes e instabilidades tropicais e equatoriais. Reduz a umidade do ar. <b>Estação chuvosa:</b> afasta-se para o oceano permitindo a convergência de umidade. Quando atua sobre o continente nessa estação, reduz as chuvas e eleva as temperaturas.	<b>Estação seca:</b> varia conforme sua intensidade e trajetória, mas geralmente provoca queda de temperatura e umidade. <b>Estação chuvosa:</b> interfere pouco na temperatura, mas participa da gênese de frentes frias no Pacífico Sul. Estas últimas organizam a convecção tropical em áreas de convergência de umidade e provocam expressivos volumes de chuva em Minas Gerais.

### III. Metodologia

As análises propostas nos dois primeiros objetivos específicos deste trabalho foram realizadas a partir de dados coletados pelo 5º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (5º DISME/INMET) em sua estação convencional na região Centro-Sul de Belo Horizonte (19° 56' S / 43° 56' W / 915 m). Nas Análises Rítmicas foram empregados dados de uma estação automática do mesmo órgão, localizada na região da Pampulha, também na capital mineira (19° 53' S / 43° 58' W / 854 m) (MAPA 3).



MAPA 3 – Localização das estações do INMET em Belo Horizonte

A série histórica proveniente da estação convencional apresenta dados horários – 00h, 12h e 18h TMG – de temperatura (°C), umidade relativa do ar (%), pressão atmosférica (hPa), precipitação (mm) e direção e velocidade dos ventos (m/s). Para temperatura, além das três medições horárias, foi disponibilizado seu valor máximo e mínimo diário. Os dados aqui utilizados compreendem um período de vinte anos, entre 1986 e 2005.

Foram calculadas médias climatológicas, diárias, mensais, sazonais e anuais de umidade relativa, pressão atmosférica e temperatura. Para tal, os dados foram organizados em planilhas do *software* Excel de modo que ficassem agrupados por ano, mês e estação. Posteriormente, esse procedimento facilitou a realização das análises interanuais.

As médias diárias de temperatura e umidade foram obtidas segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM) e o INMET (1992). Trata-se da média compensada:

$$T_{md} = (T_{12} + 2T_{00} + T_{MAX} + T_{MIN})/5$$

onde,  $T_{md}$ : temperatura média diária;  $T_{12}$ : temperatura das 12h TMG;  $T_{00}$ : temperatura das 00h TMG;  $T_{MAX}$ : a temperatura máxima diária; e  $T_{MIN}$ : temperatura mínima diária.

$$U_{rmd} = (U_{12} + U_{18} + 2U_{00})/4$$

onde,  $U_{rmd}$ : umidade relativa do ar média diária;  $U_{12}$ : umidade relativa do ar das 12h TMG;  $U_{18}$ : umidade relativa do ar das 18h TMG e  $U_{00}$ : umidade relativa do ar das 00h TMG.

As demais médias são simples.

Para precipitação, inicialmente foram determinados os somatórios de acumulados mensais, sazonais e anuais e, em seguida, calculadas as médias climatológicas desses valores.

Segundo Triola (1999), a média aritmética é a mais importante mensuração numérica descritiva. Como medida de tendência central, trata-se do valor mais representativo de um conjunto de dados, isto é, seu ponto de equilíbrio. Geralmente, é apresentada junto ao desvio-padrão. Este último consiste na medida da variação de um conjunto de valores amostrais em relação à media. Quanto maior a dispersão dos dados, maior o desvio-padrão.

### **3.1 Definição de estações para análises sazonais**

As análises sazonais, em especial, constituíram instrumentos de grande relevância para este trabalho. Além de destacarem algumas tendências e

relações, elucidaram comportamentos ainda pouco compreensíveis nas análises anuais.

Em virtude da baixa amplitude térmica anual da região, a definição de estações para essa análise baseou-se no critério precipitação. A escolha dos seis meses que compreenderiam as estações seca e chuvosa foi feita de acordo com as médias climatológicas mensais de chuva em Belo Horizonte, encontradas a partir das análises anteriores. O resultado foi o seguinte (TAB. 1):

**TABELA 1 – Climatologia da precipitação em Belo Horizonte  
Período 1986-2005**

<i>Estação</i>	<i>Mês</i>	<i>Acumulado médio (mm)</i>
SECA	Abril	73,2
	Maio	29,8
	Junho	11,1
	Julho	8,5
	Agosto	15,6
	Setembro	54,2
CHUVOSA	Outubro	86,8
	Novembro	227,6
	Dezembro	357,3
	Janeiro	328,7
	Fevereiro	199,6
	Março	181,6
-	Total anual	1574,2

Fonte dos dados: 5° DISME/INMET

Assim, enquanto o período de abril a setembro foi denominado estação seca, os meses de outubro a dezembro, de um ano, e janeiro a março, do ano imediatamente seguinte, constituíram a estação chuvosa.

### **3.2 Análises de variabilidade interanual – sazonal e mensal**

As análises interanuais possibilitaram a identificação de meses, estações e anos anômalos. Nesse sentido, valores médios mensais, sazonais e anuais foram dispostos em torno da média climatológica em gráficos interanuais. Além disso, para cada conjunto de dados foi calculado o desvio-padrão, o que permitiu afirmar estatisticamente sobre a ocorrência de anomalias. Testes de regressão linear

foram aplicados e, como forma de observar possíveis tendências no comportamento das variáveis, cada gráfico recebeu uma linha de tendência linear.

A regressão é uma conhecida ferramenta estatística utilizada para descrever a relação entre duas ou mais variáveis e explicá-la por meio de um modelo matemático. Na regressão linear, a relação entre duas variáveis é descrita por uma reta (de melhor ajuste) e sua equação. A intensidade dessa relação pode ser medida por um coeficiente de correlação linear “r”, também chamado coeficiente de correlação momento-produto de Pearson. (TRIOLA, 1999)

O valor “r” varia entre -1 e +1, inclusive. Quanto mais próximo de zero, menor é a correlação linear. O “r” negativo representa correlação inversa e o positivo, direta. É importante ressaltar que a existência de correlação não implica em causalidade.

Para verificar o grau de relacionamento entre o comportamento interanual das variáveis entre si, foram realizados testes de correlação linear. Os coeficientes de correlação encontrados nesses testes são apresentados junto a gráficos interanuais com a dupla de variáveis envolvidas.

Todos esses procedimentos foram realizados no *software* Excel.

### 3.3 Análises de estiagens

A duração em dias da maior estiagem anual é uma informação que está diretamente envolvida com os objetivos deste trabalho. A ocorrência de um período muito longo sem qualquer registro de chuva está quase sempre relacionada à persistência de um sistema de alta pressão. Nesses casos a umidade relativa do ar costuma assumir uma trajetória de declínio que somente é interrompida com a mudança do padrão atmosférico. Para avaliar o impacto das estiagens no comportamento interanual da umidade relativa do ar e sua relação com as demais variáveis foi aplicada a metodologia descrita abaixo.

Na literatura existem várias definições para dia seco. Minuzzi *et al* (2006, p. 267) destaca algumas:

Chatfield (1966 *apud* Minuzzi *et al.*, 2006) recomenda o valor de 1,0 mm de chuva diária, abaixo deste valor ele considera dia seco. Castro Neto & Vilella (1986) consideram dia seco aquele em que a precipitação pluvial é inferior a 3 mm; outros consideram dia seco um dia com precipitação inferior a 1 mm (Assad & Sano, 1988), ou havendo precipitação inferior a 5 mm num período de sete dias (Sansigolo, 1989).

De modo a evitar a ocorrência de qualquer tipo de precipitação, condição associada à elevação da umidade, este trabalho optou pelo valor de 0 mm de chuva diária como critério para definir dia seco. Essa escolha assegura que as estiagens identificadas representem, de fato, períodos muito secos, inclusive do ponto de vista da umidade relativa.

Dessa forma, considerou-se estiagem qualquer período em dias consecutivos cujo acumulado total de precipitação foi igual a 0 mm. Para tanto, inicialmente foram somados os acumulados horários (00h, 12h e 18h TMG), a fim de obter o acumulado de cada dia da série.

A duração em dias contínuos dos períodos sem chuva foi denominada variável Est1, Est2, Est3... Est n. Sendo Est1 a maior estiagem do ano e Est n a menor. A identificação desses períodos foi realizada no *software* SPSS por meio de uma expressão na janela *Syntax*.

O comando identificou todos os períodos em que o acumulado de precipitação foi igual a zero e informou o somatório de dias sem chuva. O autor selecionou visualmente os quatro maiores períodos de estiagem em cada ano. Tal corte deve-se ao somatório inexpressivo de dias a partir da quinta estiagem anual – muitas vezes inferior a dez, valor irrelevante para os fins deste trabalho.

O mesmo tratamento estatístico realizado nas análises interanuais anteriores foi aplicado para as variáveis Est1 e Est4 (maior estiagem e quarta maior estiagem, respectivamente). Considerando que a Est1 ocorre durante a estação seca e a Est 4 durante a chuvosa, foram realizados testes de correlação linear entre o comportamento interanual dessas variáveis e o da umidade relativa, pressão atmosférica, precipitação e temperatura em suas respectivas estações. Os resultados foram dispostos em gráficos. O *software* utilizado foi o Excel.

### 3.4 Análises Rítmicas

A Análise Rítmica (MONTEIRO, 1969, 1971) permite observar o comportamento diário de elementos meteorológicos em função da atuação de sistemas atmosféricos. Neste trabalho, o método é empregado para ilustrar particularidades da influência do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul e do Anticiclone Polar Migratório em Belo Horizonte. Em virtude dos objetivos propostos, as Análises Rítmicas aqui desenvolvidas incluem imagens de satélite e cartas sinóticas de superfície, o que caracteriza uma Análise Rítmica Progressiva (LUCAS, 2007).

Os dados utilizados nessas análises foram registrados por uma estação automática. Foram disponibilizados registros de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), umidade relativa (%), ponto de orvalho ( $^{\circ}\text{C}$ ), pressão atmosférica (hPa), velocidade (m/s) e direção (ângulo em graus) dos ventos, radiação ( $\text{kJ/m}^2$ ) e precipitação (mm), para cada uma das 24 horas do dia. Como a estação teve seu funcionamento iniciado em outubro de 2006, os casos selecionados são recentes: julho e setembro de 2008. A escolha dessa estação e dos meses supracitados se justifica pelas seguintes razões:

- 1) Disponibilidade de dados meteorológicos horários (24 horas);
- 2) Farta disponibilidade de cartas sinóticas e imagens de satélite;
- 3) Julho de 2008 foi escolhido por apresentar uma situação clássica em que o APM se incorporou ao Anticiclone Subtropical;
- 4) Setembro de 2008 apresentou ampla diversidade de situações meteorológicas: atuação do ASAS e do APM, grande variação de temperatura, umidade relativa e precipitação de granizo.

As médias diárias de temperatura, umidade, pressão e velocidade do vento se baseiam nas 24 observações do dia, sendo assim, simples. Para temperatura e umidade os valores médios foram dispostos em gráficos com os extremos do dia (mínima e máxima). Os demais gráficos – pressão e velocidade do vento – representam apenas o comportamento médio diário. Os acumulados diários de precipitação foram encontrados a partir do somatório das 24 horas e também são mostrados em um gráfico.

As cartas sinóticas e imagens de satélite (GOES 10 / canal infravermelho) utilizadas nessas análises foram obtidas no *site* do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

### 3.4.1 Ventos: direção predominante e velocidade

Para determinar a direção predominante dos ventos em um dia considerou-se as normas da OMM que definem direções cardeais (Norte, Sul, Leste, Oeste) e colaterais (Nordeste, Sudeste, Sudoeste, Noroeste) à valores de ângulos em graus. Nesse trabalho, o procedimento foi realizado a partir da aplicação de um filtro na coluna Direção do Vento na planilha de dados, de modo que o *software* Excel atribuisse a cada ângulo horário a direção definida pela OMM.

Os 360° da circunferência da rosa dos ventos foram divididos entre os 8 pontos. Assim, um único ponto passou a abranger 45°, sendo 22,5° para cada sentido (horário e anti-horário) a partir de si mesmo, conforme a TAB. 2 abaixo:

**TABELA 2 – Direção do vento por intervalo de ângulo**

<i>Direção definida pela OMM</i>	<i>Intervalo definido pelo autor</i>
Norte (0°)	337,5° a 360° e 0 a 22,5°
Nordeste (45°)	22,5° a 67,5°
Leste (90°)	67,5° a 112,5°
Sudeste (135°)	112,5° a 157,5°
Sul (180°)	157,5° a 202,5°
Sudoeste (225°)	202,5° a 247,5°
Oeste (270°)	247,5° a 292,5°
Noroeste (315°)	292,5° a 337,5°

Para ser considerada predominante, o autor definiu que a direção deveria ter sido registrada mais vezes e em no mínimo 9 (37,5%) das 24 observações diárias, havendo empate entre duas direções cardeais ela se tornaria colateral e assim por diante. Os dias em que essas condições não foram alcançadas, isto é, quando não foi possível determinar uma direção predominante, receberam um sinal de “X” no espaço destinado à direção no gráfico de ventos.

As médias diárias da velocidade do vento foram dadas em km/h, para tal multiplicou-se por 3,6 os valores em m/s gerados pela estação.

## IV. Resultados

### 4.1 Climatologia e variabilidade anual

O comportamento climatológico da umidade relativa do ar no período analisado acompanha o regime pluviométrico da região. Nos meses mais quentes e chuvosos, a umidade atinge índices elevados (dezembro: 74,1 %), ao passo que durante a estação seca ela reduz gradativamente (agosto: 58,4 %). A média climatológica anual da variável é igual a 66,7 %. Quanto à precipitação, foi encontrado um acumulado médio anual de 1574,2 mm. Dezembro se destaca como mês mais chuvoso (357,3 mm), enquanto julho apresenta o menor acumulado mensal (8,5 mm) (GRAF. 3).

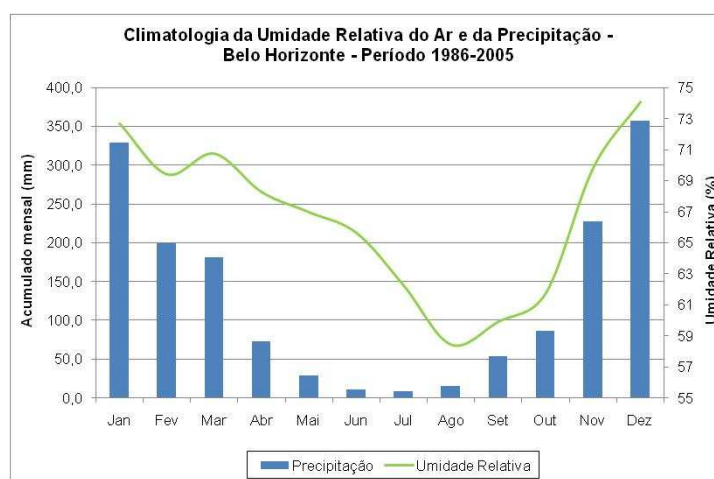


GRÁFICO 3 – Climatologia da Umidade Relativa do Ar (%) e da Precipitação (mm) – Belo Horizonte – Período 1986-2005  
Fonte dos dados: 5º DISME/INMET

A pressão atmosférica local é máxima em julho – 917,2 hPa – e mínima em dezembro – 911,1 hPa. Sua média climatológica anual é igual a 913,7 hPa. O comportamento inverso da pressão em relação à umidade remete à influência do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul na região (GRAF. 4). Os baixos valores de umidade e precipitação encontrados na estação seca estão associados à estabilidade atmosférica proporcionada pela permanência do ASAS sobre o Brasil Central nessa época.

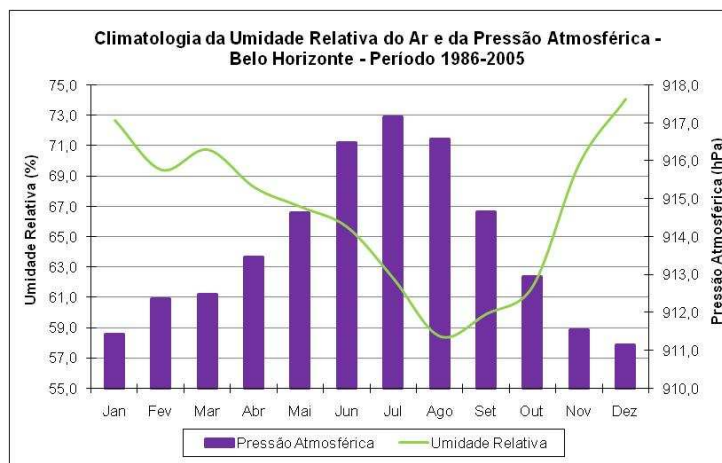


GRÁFICO 4 – Climatologia da Umidade Relativa do Ar (%) e da Pressão Atmosférica (hPa) – Belo Horizonte – Período 1986-2005  
Fonte dos dados: 5º DISME/INMET

Em relação à temperatura, as maiores médias mensais foram observadas durante o verão austral, período que coincide com a estação chuvosa na região. A média climatológica anual é de 21,9° C. Fevereiro é o mês mais quente, com 23,9° C de média (GRAF. 5), fato que provavelmente resulta da ocorrência de veranicos. A estação seca, por sua vez, apresenta temperaturas mais amenas. Julho e junho exibem os menores valores mensais: 19° C e 19,2° C, respectivamente. Desse modo, a amplitude térmica anual (4,9° C) pode ser considerada baixa. Esse comportamento condiz com o esperado para latitudes baixas.

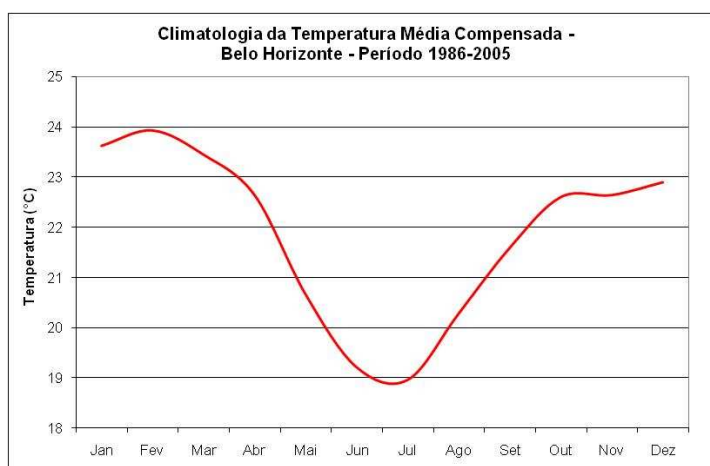


GRÁFICO 5 – Climatologia da Temperatura Média Compensada (°C) – Belo Horizonte – Período 1986-2005  
Fonte dos dados: 5º DISME/INMET

## 4.2 Variabilidade interanual

Considerando a umidade relativa do ar, o ano de 1989 apresenta-se como mais úmido – 76,4 % – e 2003 como mais seco – 62 %. O desvio padrão para o período é de 3,2 %. A linha de tendência linear permite observar nítida redução da umidade em Belo Horizonte. Os anos da década de 80 foram superiormente mais úmidos que os demais (GRAF. 6).

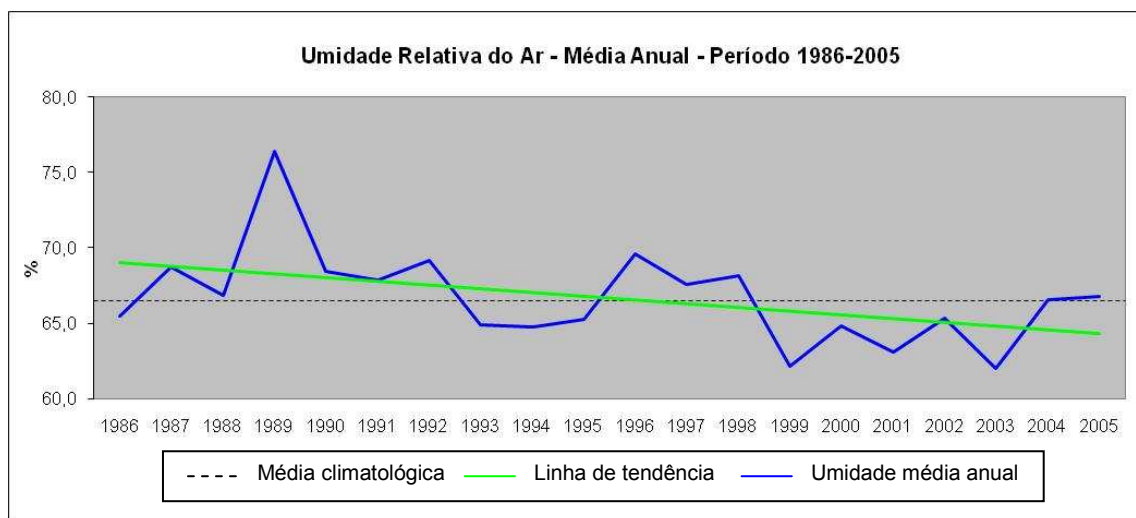


GRÁFICO 6 – Variabilidade interanual da Umidade Relativa do Ar – Belo Horizonte – Período 1986-2005  
Fonte dos dados: 5º DISME/INMET

Ao contrário da umidade relativa, a precipitação apresentou ligeira tendência de elevação no período. Enquanto o ano de 2004 revela-se mais chuvoso (1936,8 mm), 1990 tem o menor acumulado anual da série (1096,9 mm) (GRAF. 7). O desvio padrão é de 195,3 mm. Dado que a umidade tem se reduzido, a análise da precipitação sugere que os episódios de chuva têm ocorrido de forma mais concentrada, hipótese que poderá ser verificada pelos testes subsequentes.

O estudo da variabilidade interanual para a pressão atmosférica mostra 1998 como o ano em que o valor médio foi mais elevado – 914,6 hPa. Em situação oposta, 1989 apresenta a pressão mais baixa do período – 913,1 hPa (GRAF. 8). O desvio-padrão é de 0,4 hPa. O resultado do teste de regressão linear apontou tendência de aumento para a variável entre 1986-2005, o que indica fortalecimento ou maior persistência de sistemas de alta pressão sobre a região.

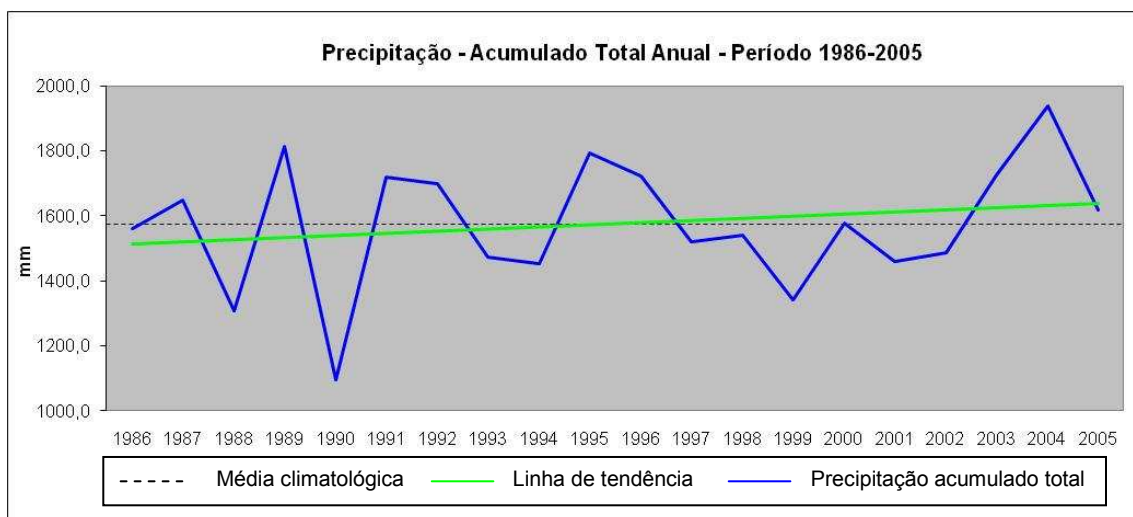


GRÁFICO 7 – Variabilidade interanual da Precipitação –  
Belo Horizonte – Período 1986-2005  
Fonte dos dados: 5° DISME/INMET

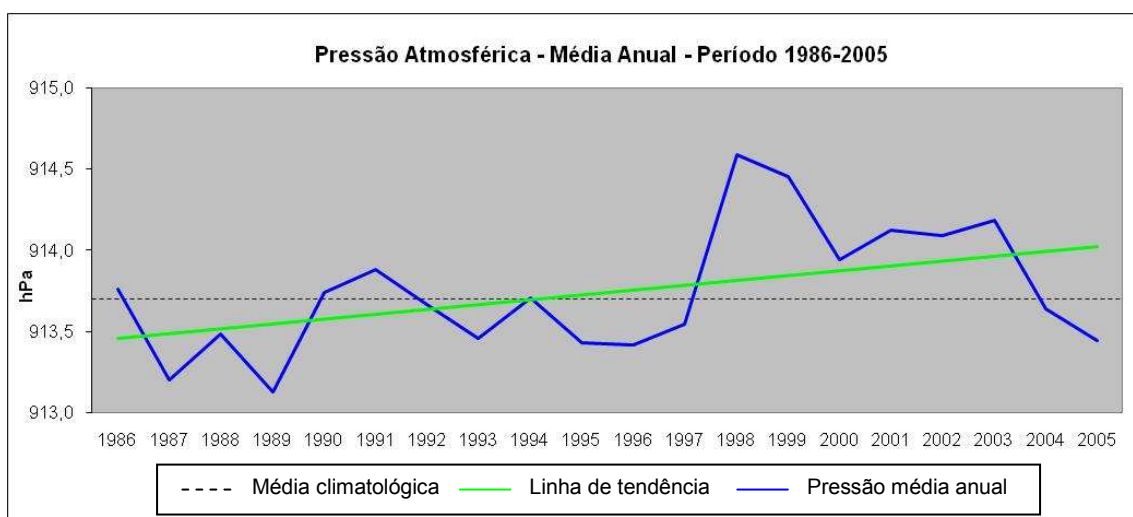


GRÁFICO 8 – Variabilidade interanual da Pressão Atmosférica –  
Belo Horizonte – Período 1986-2005  
Fonte dos dados: 5° DISME/INMET

Na análise da temperatura destacam-se os anos de 1998 e 2002, como os de maior média térmica – respectivamente 22,5° C e 22,4° C, e 1992 e 2000, como os de menores – 21,4° C. O desvio padrão calculado para o período é de 0,3° C. A linha de tendência linear aponta um ligeiro incremento da temperatura ao longo da série (GRAF. 9). É possível que esse pequeno aumento esteja associado à intensificação do fenômeno da “ilha de calor” urbana na região onde se encontra a estação convencional do 5° DISME em Belo Horizonte. Estudos adicionais poderiam verificar essa hipótese.

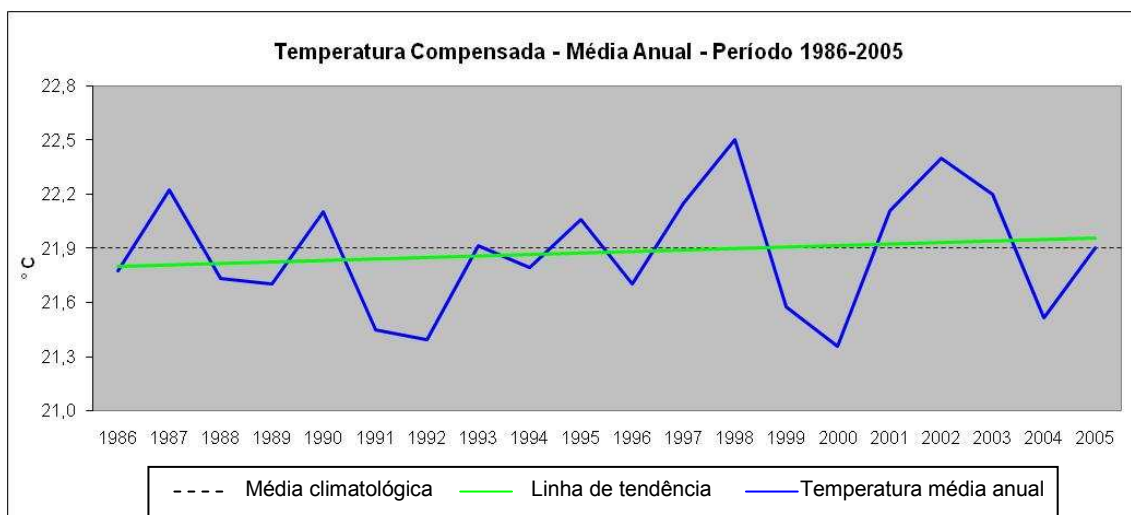


GRÁFICO 9 – Variabilidade interanual da Temperatura Compensada – Período 1986-2005

Fonte dos dados: 5º DISME/INMET

A TAB. 3 abaixo reúne as maiores anomalias – positivas e negativas – manifestadas por cada variável. Os anos incluídos na tabela apresentam valores que extrapolam o desvio padrão calculado para a amostra a que pertencem. A maior parte dos casos anômalos está no segundo decênio da série. Alguns anos aparecem recorrentemente como 1989 (4 vezes), 1999 (4) e 2003 (3). Os anos de 1987, 1998, 2001, 2002 e 2004 aparecem 2 vezes cada.

TABELA 3 – Anos com maiores desvios em relação à média

<i>Positivos</i>				<i>Negativos</i>			
<i>UR</i>	<i>Prec.</i>	<i>Pss.</i>	<i>T</i>	<i>UR</i>	<i>Prec.</i>	<i>Pss.</i>	<i>T</i>
<i>(%)</i>	<i>(mm)</i>	<i>(hPa)</i>	<i>(°C)</i>	<i>(%)</i>	<i>(mm)</i>	<i>(hPa)</i>	<i>(°C)</i>
1989	1989	1998	1987	1999	1988	1987	1989
-	1995	1999	1997	2001	1990	1989	1991
-	2004	2001	1998	2003	1999	-	1992
-	-	2002	2002	-	-	-	1999
-	-	2003	2003	-	-	-	2000
-	-	-	-	-	-	-	2004

Legenda: UR – Umidade Relativa; Prec. – Precipitação;  
Pss. – Pressão; T – Temperatura.

As análises de tendências destacam as variáveis umidade relativa e pressão atmosférica, nessa ordem, como as mais bem explicadas pelo modelo linear. Enquanto a primeira esboçou visível queda, a outra demonstrou notável

elevação no período. A relação entre as duas variáveis será investigada a partir de testes de correlação linear.

#### 4.2.1 Testes de correlação

Quando confrontadas em um mesmo gráfico, umidade relativa e pressão atmosférica parecem estar inversamente relacionadas entre si (GRAF. 10).

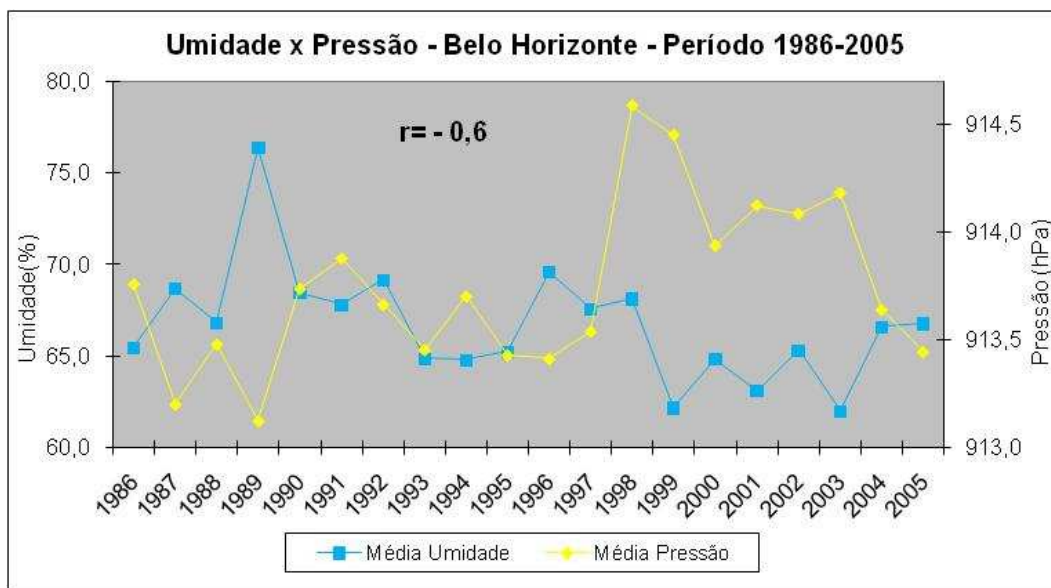


GRÁFICO 10 – Umidade Relativa do Ar e Pressão Atmosférica – Belo Horizonte – Período 1986-2005  
Fonte dos dados: 5º DISME/INMET

Enquanto períodos mais úmidos apresentam menor pressão, anos de baixa umidade se destacam por valores expressivos de pressão. O ano de 1989 é um bom exemplo: além de ser o mais úmido da série é também aquele em que a pressão é mais baixa. Entre 1999 e 2005 a relação também é notável. O teste de correlação linear confirma essas observações por meio de um valor ( $r$ ) igual a  $-0,6$ . Essa relação inversa se fundamenta, como já mencionado anteriormente, nos aspectos dinâmicos da circulação anticiclônica. A subsidência característica desses sistemas inibe a atividade convectiva, o transporte vertical de umidade e a formação de nuvens de chuva.

Por essa mesma razão constatou-se uma expressiva correlação inversa entre pressão e precipitação ( $r = -0,3$ ). Em quase todo o período da série, anos de maior pressão se relacionam a períodos de menor precipitação (GRAF. 11).

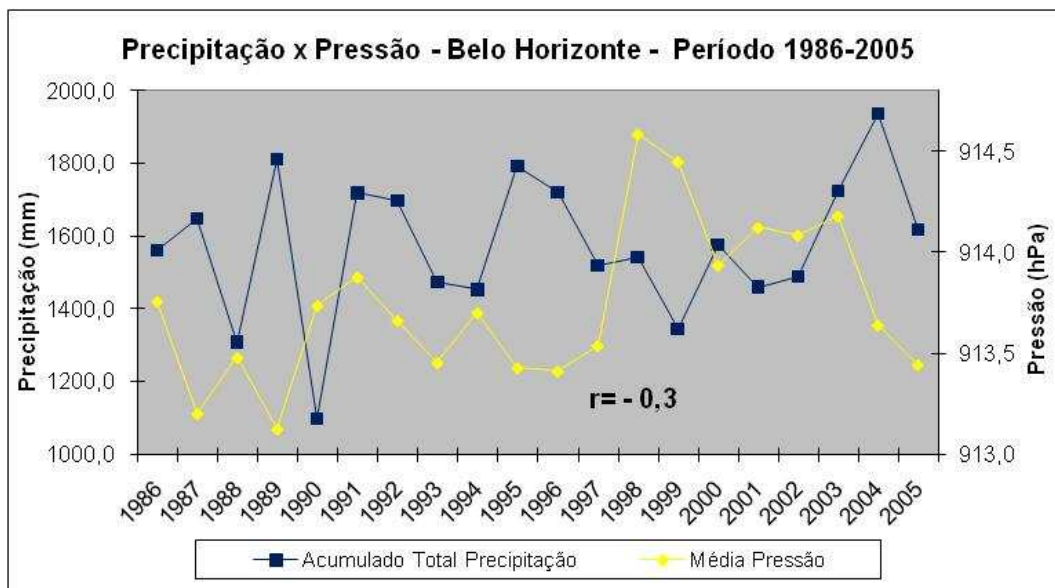


GRÁFICO 11 – Precipitação e Pressão Atmosférica –  
Belo Horizonte – Período 1986-2005  
Fonte dos dados: 5° DISME/INMET

O fato da correlação entre precipitação e pressão não apresentar a mesma intensidade daquela encontrada entre umidade e pressão lança dúvida a respeito da força do relacionamento entre umidade e precipitação.

O GRAF. 12 abaixo representa o comportamento interanual das duas variáveis e sugere que elas estão diretamente relacionadas ao longo da série. O valor ( $r$ ) do teste de correlação linear é igual a  $+ 0,3$ .

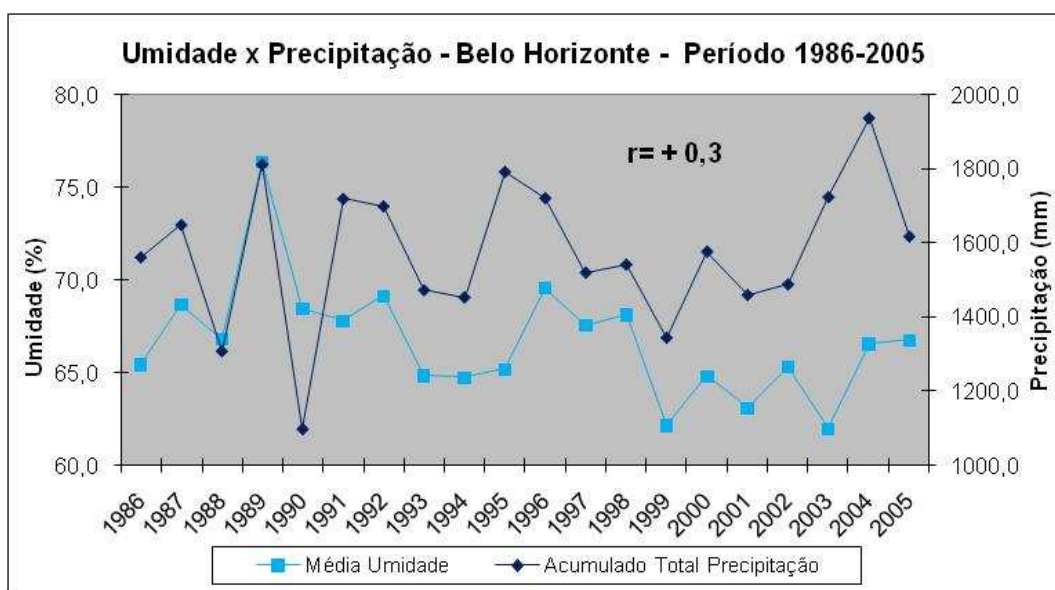


GRÁFICO 12 – Umidade Relativa do Ar e Precipitação –  
Belo Horizonte – Período 1986-2005  
Fonte dos dados: 5° DISME/INMET

Essa relação se deve à elevação imediata da umidade quando da ocorrência de chuvas. Dessa forma é natural esperar que anos mais chuvosos registrem umidade mais elevada. O contrário, entretanto, não é verdadeiro: nem sempre anos mais úmidos terão mais chuva. Como afirmado na seção 2.3 do capítulo II não bastam valores de umidade elevados para a ocorrência de chuva, também é necessário que haja condições dinâmicas para formação de nuvens espessas capazes de causar precipitação.

Entre as variáveis precipitação e temperatura o teste de correlação revelou comportamento inverso ( $r = -0,3$ ). (GRAF. 13)

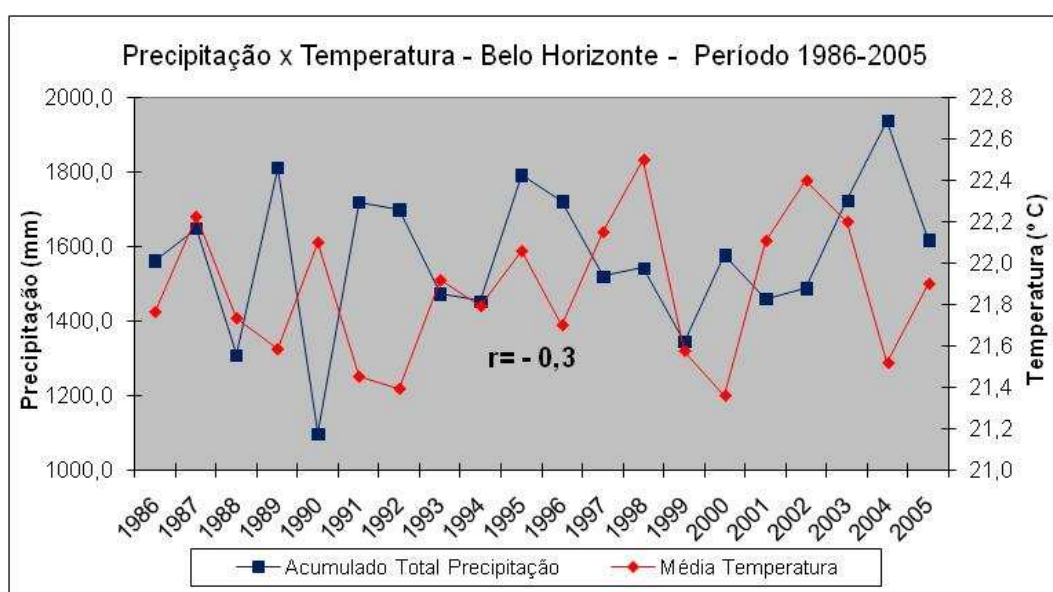


GRÁFICO 13 – Precipitação e Temperatura –  
Belo Horizonte – Período 1986-2005  
Fonte dos dados: 5° DISME/INMET

A compreensão dessa relação é mais complexa e exige estudos específicos sobre ela. No entanto, é provável que o comportamento observado acima se deva à maior presença de nebulosidade, responsável pela redução das temperaturas máximas, e à rápida queda de temperatura após uma precipitação.

Entre umidade e temperatura a relação também é complexa. O teste de correlação linear para o período completo da série indicou um coeficiente ( $r$ ) igual a  $-0,2$ . De 1989 a 1997 as variáveis relacionam inversamente entre si. Tal comportamento condiz àquele observado ao longo de um dia normal, isto é, à medida que a temperatura aumenta menor é a umidade relativa. Nos outros períodos, porém, as variáveis parecem se relacionar diretamente (GRAF. 14).

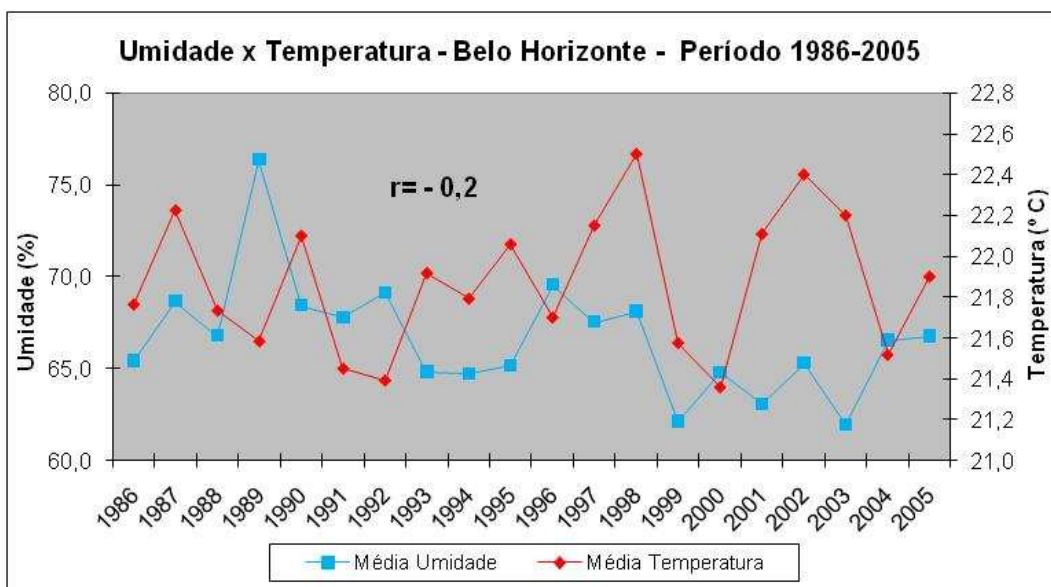


GRÁFICO 14 – Umidade Relativa do Ar e Temperatura –  
Belo Horizonte – Período 1986-2005  
Fonte dos dados: 5º DISME/INMET

Ao longo do ano espera-se que, sobretudo sob a influência de anticiclones, altas temperaturas resultem em baixa umidade. Entretanto, justamente de 1998 a 2003, quando a pressão se mostrou mais elevada, a relação não foi encontrada. Esse comportamento diferenciado sugere a interferência de outros fatores como, por exemplo, aumento no transporte de umidade para a região durante os curtos intervalos em que não sofre influência de anticiclones.

Finalmente, entre pressão e temperatura é notada leve correlação direta. O valor ( $r$ ) é de + 0,2. (GRAF. 15)

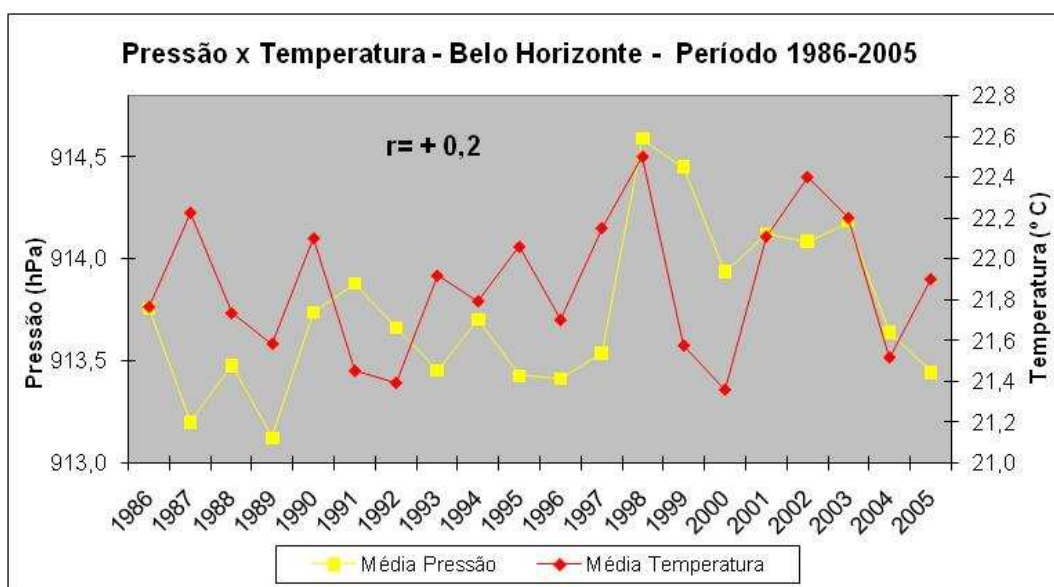


GRÁFICO 15 – Pressão Atmosférica e Temperatura –  
Belo Horizonte – Período 1986-2005  
Fonte dos dados: 5º DISME/INMET

Tal relação se origina no fato de que sob atuação de sistemas de alta pressão, dias de céu limpo são mais frequentes, o que pode causar a elevação das temperaturas máximas. Esse comportamento é ainda mais notável quando o anticiclone considerado é subtropical, como o ASAS. Novamente afirma-se que estudos mais detalhados poderiam elucidar melhor a relação.

Dentre as correlações verificadas, as mais intensas são entre umidade e pressão, precipitação e pressão, umidade e precipitação e precipitação e temperatura, nesta ordem. É importante enfatizar, entretanto, que a existência de correlação não necessariamente se traduz em relações de causa-consequência. Outros fatores, não analisados, podem estar interferindo no comportamento das variáveis.

Na próxima seção serão apresentados os resultados dos testes de correlação realizados entre as médias sazonais das variáveis, o que poderá contribuir para a compreensão de algumas das relações aqui verificadas.

### **4.3 Análises sazonais**

As análises sazonais indicam tendências e relações ainda mais nítidas quanto ao comportamento da umidade relativa do ar, precipitação, pressão atmosférica e temperatura. Para as quatro variáveis as maiores tendências de mudança são observadas na estação seca e no segundo decênio da série. De modo geral, elas indicam que a estação seca em Belo Horizonte tem se revelado cada vez mais seca (em termos de umidade relativa e chuva), quente e sob o domínio de sistemas de alta pressão cada vez mais persistentes.

A média da pressão atmosférica na estação seca é igual a 915,5 hPa. Nas estações seca de 1991 e de 1998 a 2005 foram observadas anomalias positivas de pressão. Em 1999 a pressão ficou 1 hPa acima da média do período, sendo o maior destaque positivo. No restante do período foram observadas anomalias negativas (como em 1987, 1993 e 1997) ou valores próximos a média (GRAF. 16). A análise de regressão indicou tendência de aumento da pressão nessa estação. Esse comportamento reforça a hipótese de fortalecimento de sistemas de alta pressão sobre a região, sobretudo na estação seca.

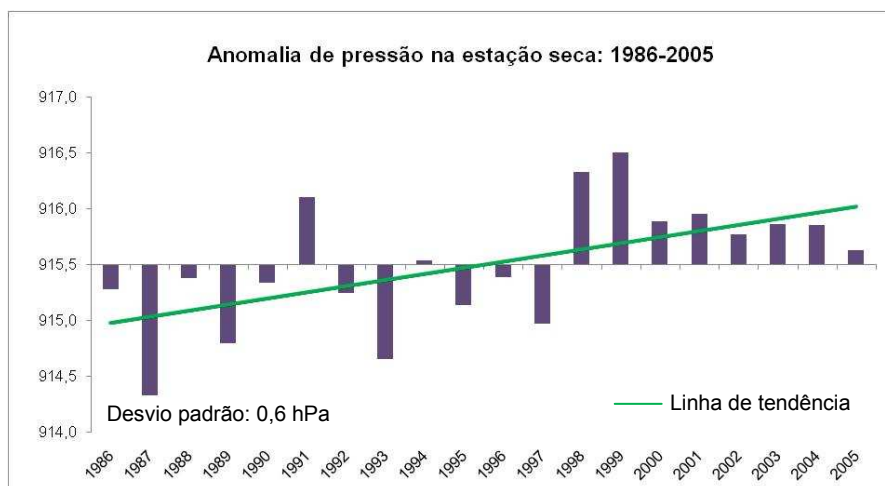


GRÁFICO 16 – Anomalia de pressão na estação seca –  
Belo Horizonte - Período 1986-2005  
Fonte dos dados: 5º DISME/INMET

Na estação chuvosa a média da pressão é de 912 hPa. Foram observadas anomalias positivas em 1986/87, 1992/93, 1994/95 e entre 1997 e 2003. Valores de pressão acima da média nessa estação estão relacionados à ocorrência de veranicos durante os meses chuvosos. Nos demais anos foram observados valores próximos a média ou anomalias negativas como a que ocorreu na estação chuvosa de 2004/05 (GRAF. 17). A tendência linear apresentou elevação.

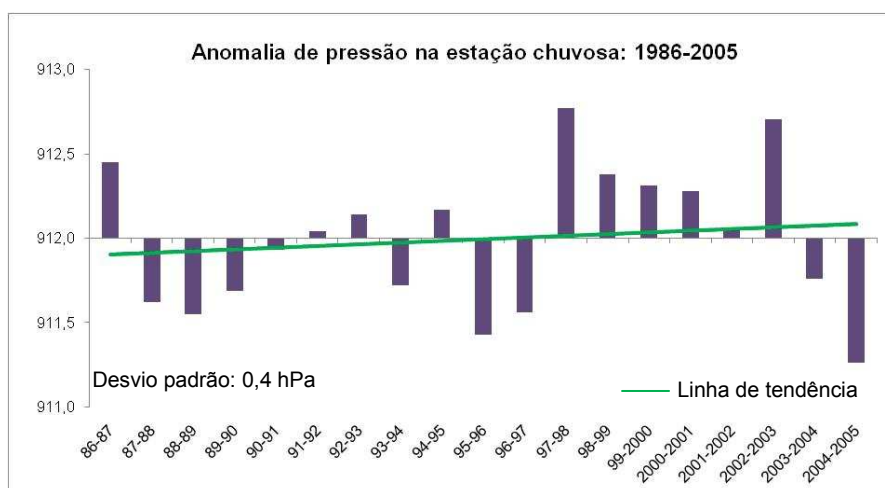


GRÁFICO 17 – Anomalia de pressão na estação chuvosa –  
Belo Horizonte - Período 1986-2005  
Fonte dos dados: 5º DISME/INMET

Para a umidade relativa do ar as médias na estação seca e chuvosa foram respectivamente de 63,6 % e 69,8 %. Na estação seca foram registradas anomalias negativas importantes entre 1999 a 2004. Em 1999 e em 2003 os

valores ficaram mais de 5 pontos percentuais abaixo da média. O contrário pôde ser observado entre os anos de 1987 e 1992, quando a umidade relativa média ficou próxima ao normal ou acima da média (GRAF. 18).

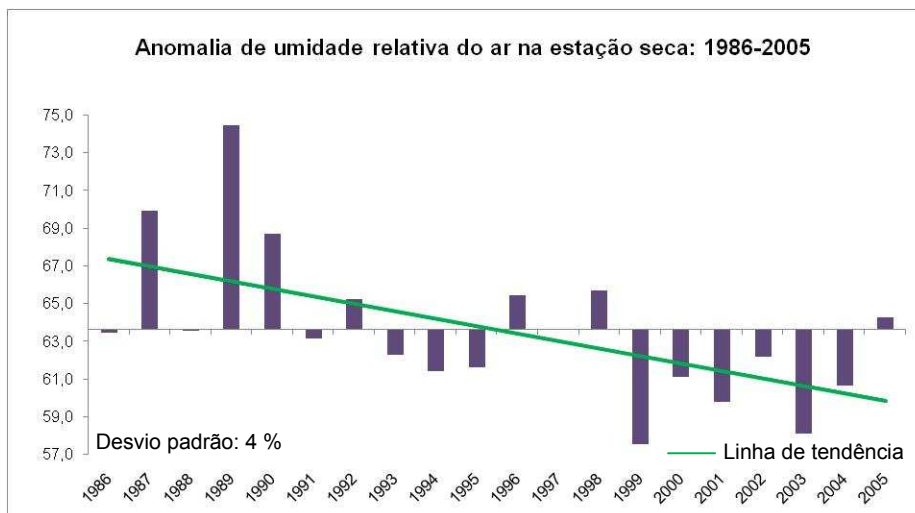


GRÁFICO 18 – Anomalia de umidade relativa na estação seca – Belo Horizonte - Período 1986-2005  
Fonte dos dados: 5º DISME/INMET

A análise de regressão mostrou tendência de redução da umidade na estação seca. Esse resultado era esperado, uma vez que a pressão apresentou tendência de elevação na mesma estação. Como verificado por meio dos testes de correlação anteriores, pressão e umidade relacionam-se inversamente.

Na estação chuvosa, as maiores anomalias positivas de umidade relativa do ar foram as de 1988/89, 1989/90 e 1996/97. Nessa última a umidade ficou 9,1 % acima da média. O restante do período ficou próximo da climatologia ou apresentou anomalias negativas como as de 1986/87, 1994/95 e 2000/01 (GRAF. 19). Os desvios negativos de umidade associam-se a um provável aumento de veranicos na estação chuvosa. A tendência linear indicou queda da umidade no período.

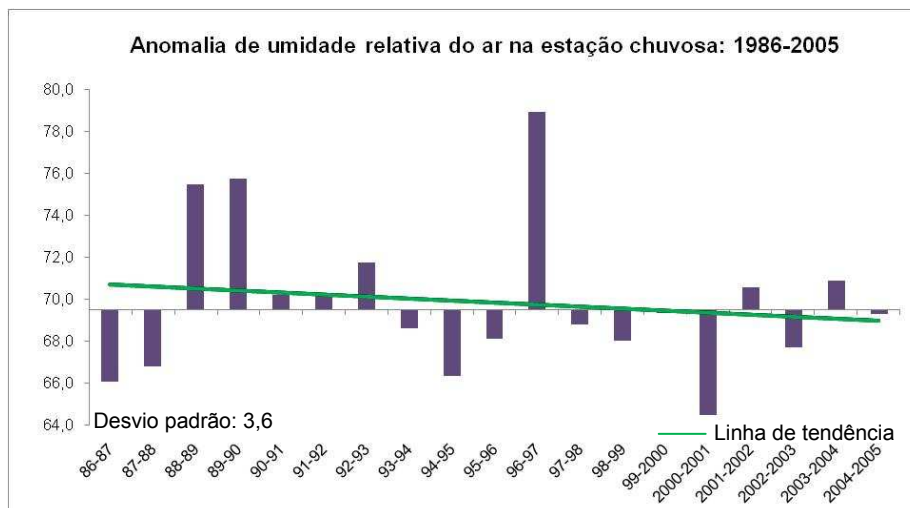


GRÁFICO 19 – Anomalia de umidade relativa na estação chuvosa – Belo Horizonte - Período 1986-2005  
Fonte dos dados: 5º DISME/INMET

No que diz respeito a precipitação, as estações seca de 1991, 1994, 1995 e de 1999 a 2003 foram marcadas por anomalias negativas. O destaque fica para 2003, ano que registrou apenas 68,9 mm ao longo dos seis meses da estação seca contra uma média de 192,4 mm. Já 1986, 1987, 1990, 1992, 1993, 1996, 1997, 2004 e 2005 registraram anomalias positivas de precipitação na estação seca. O restante do período demonstrou comportamento normal (GRAF. 20).

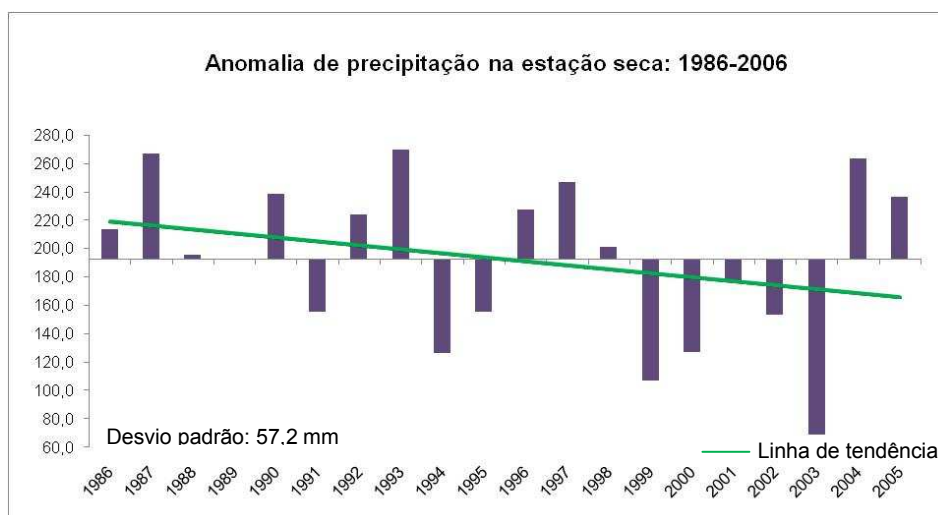


GRÁFICO 20 – Anomalia de precipitação na estação seca – Belo Horizonte - Período 1986-2005  
Fonte dos dados: 5º DISME/INMET

Na estação chuvosa (acumulado médio de 1379 mm) as anomalias de maior destaque foram: 2002/03 (1816,4 mm) e 1995/96 (1719,4 mm) como positivas; e as de 2000/01 (1023,7 mm), 1997/98 (1083,9 mm) e 1988/89 (1085,8 mm) como negativas (GRAF. 21).

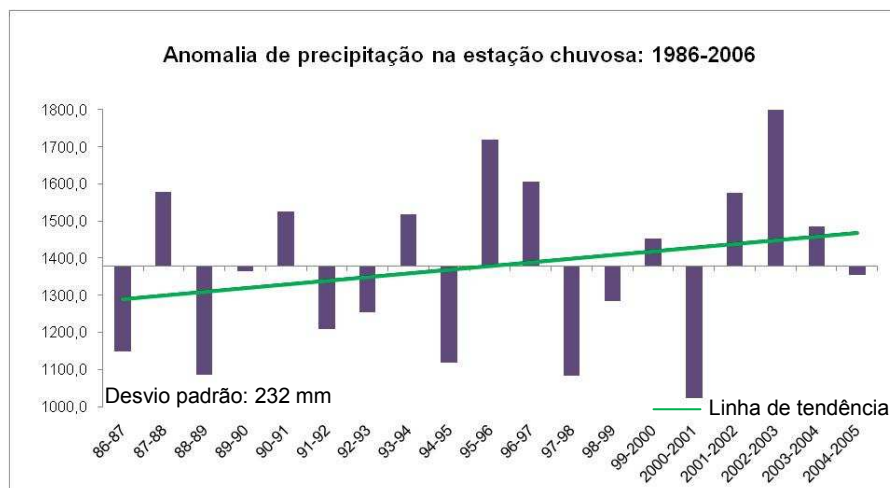


GRÁFICO 21 – Anomalia de precipitação na estação chuvosa – Belo Horizonte - Período 1986-2005  
Fonte dos dados: 5º DISME/INMET

A regressão linear indica tendência de redução do volume de precipitação na estação seca e crescimento na estação chuvosa. O comportamento da tendência encontrada na estação seca se deve, provavelmente, ao aumento da pressão. Na estação chuvosa, o crescimento da precipitação, apesar do aumento da pressão, pode ser consequência da intensificação das chuvas e de uma maior ocorrência de tempestades, que produzem maior volume de precipitação.

Para a temperatura, as médias sazonais são 20,6° C (estação seca) e 23,6° C (estação chuvosa). As tendências mais expressivas observadas na estação seca foram em: 1991, 1996 e 2000 (negativas) e 1998 e 2002 (positivas) (GRAF. 22). Nessa estação constatou-se tendência de elevação da variável. Esse resultado sugere que o aumento da pressão nessa estação decorra de uma maior atuação do ASAS e não de altas polares.

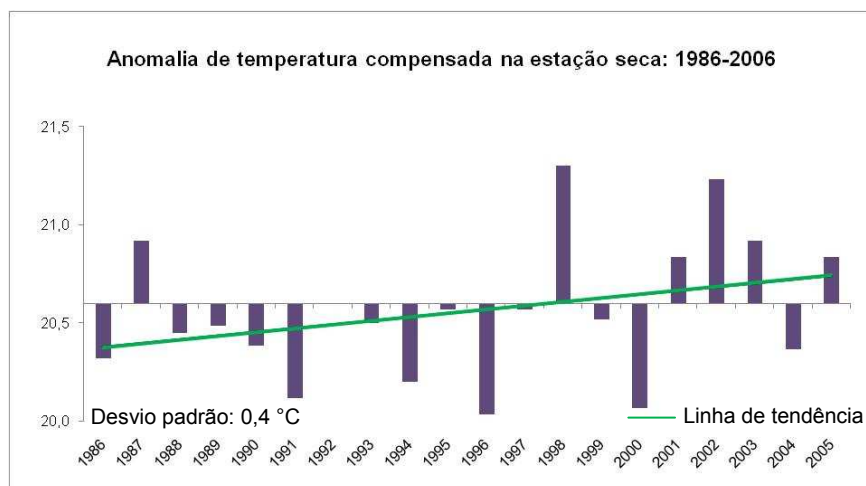


GRÁFICO 22 – Anomalia de temperatura compensada na estação seca – Belo Horizonte - Período 1986-2005  
Fonte dos dados: 5º DISME/INMET

Na estação chuvosa (GRAF. 23), os maiores desvios de temperatura em relação à média foram observados nos verões de 1994/95, 1997/98 e 2002/03 (positivos) e 1991/92, 1992/93, 1996/97 e 1999/00 (negativos). O comportamento errático da variável ao longo do período e a presença de valores extremos comprometeram o delineamento de um modelo de regressão linear para a estação chuvosa.

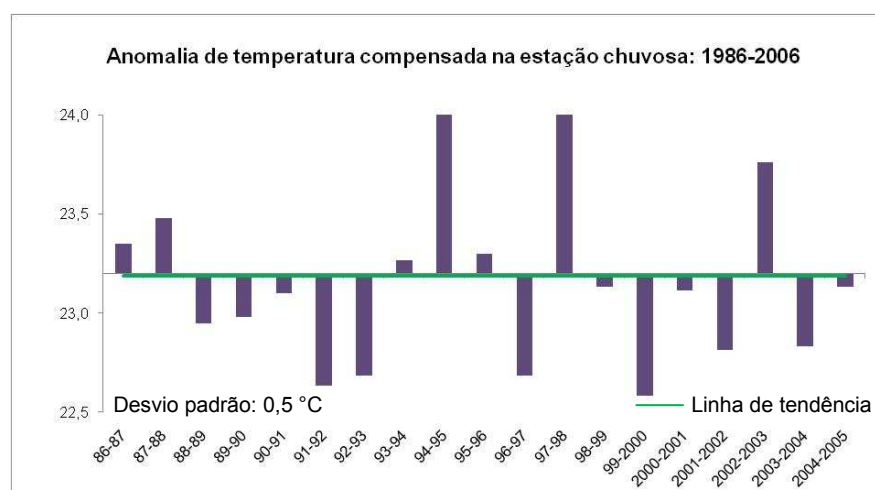


GRÁFICO 23 – Anomalia de temperatura compensada na estação chuvosa – Belo Horizonte - Período 1986-2005  
Fonte dos dados: 5º DISME/INMET

### 4.3.1 Testes de correlação

Os resultados dos testes de correlação linear aplicados entre as médias sazonais das quatro variáveis estão reunidos na TAB. 4 abaixo que também retoma os valores das correlações entre as médias anuais.

**TABELA 4 – Resultados das correlações sazonais e anual**

<i>Relação</i>	<i>Valor “r” na estação seca</i>	<i>Valor “r” na estação chuvosa</i>	<i>Valor “r” anual</i>
1 <sup>a</sup> Pss. e UR	-0,6	-0,4	-0,6
2 <sup>a</sup> Pss. e Prec.	-0,6	-0,3	-0,3
3 <sup>a</sup> Prec. e UR	+0,5	+0,1	+0,3
4 <sup>a</sup> Prec. e T	0	-0,2	-0,3
5 <sup>a</sup> UR e T	0	-0,5	-0,2
6 <sup>a</sup> Pss. e T	+0,1	+0,4	+0,2

Legenda: UR – Umidade Relativa; Prec. – Precipitação;  
Pss. – Pressão; T – Temperatura.

Os resultados apresentados contribuem para a compreensão de alguns comportamentos verificados anteriormente, a saber:

1°) Relação inversa entre pressão e umidade. Essa relação mostrou-se mais forte na estação seca ( $r=-0,6$ ). Tal fato deve-se a predominância de sistemas de alta pressão nessa estação. Na estação chuvosa ( $r=-0,4$ ), períodos de alta pressão são mais raros e ocorrem intercalados a eventos de chuvas volumosas e alta umidade, o que pode ter contaminado levemente a relação.

2°) Relação inversa entre pressão e precipitação. Os testes de correlação revelaram os seguintes valores ( $r$ ): -0,6 (estação seca) e -0,3 (estação chuvosa). Essa diferença provavelmente encontra razão no mesmo motivo apresentado no item acima.

3°) Relação direta entre precipitação e umidade relativa. Como nos casos anteriores, a relação mostrou-se mais intensa na estação seca ( $r=+0,5$ ). Nessa estação, a chuva, mesmo que pouco volumosa, tem grande influência sobre a elevação da umidade relativa. Na estação chuvosa

( $r=+0,1$ ), a umidade depende menos da precipitação e se mantém elevada sempre. Inclusive durante períodos de veranicos, embora sofra redução, a umidade cai em menor proporção que durante as longas estiagens da estação seca.

4°) Relação inversa entre precipitação e temperatura. A relação anteriormente considerada complexa permanece confusa. Na estação seca não foi notada qualquer relação entre as duas variáveis e na estação chuvosa ela mostrou-se ainda menor ( $r=-0,2$ ) que no teste anual ( $r=-0,3$ ).

5°) Relação inversa entre umidade e temperatura. Se, por um lado, na estação seca não foi encontrada relação linear entre as duas variáveis, por outro, na estação chuvosa a relação inversa revelou-se expressiva ( $r=-0,5$ ). O comportamento observado na estação chuvosa provavelmente decorre da elevação da temperatura e da queda de umidade verificada nos períodos de veranicos.

6°) Relação direta entre pressão e temperatura. Os testes sazonais destacam a estação chuvosa ( $r=+0,4$ ). Nessa estação, a elevação da pressão é praticamente sinônima da atuação da Alta Subtropical, que eleva as temperaturas. Já na estação seca ( $r=+0,1$ ), a região sofre influência de altas polares que ao invés de elevarem as temperaturas podem reduzi-las.

#### 4.4 Análises mensais

As análises climatológicas mensais permitiram refinar a pesquisa e identificar os meses que mais influenciaram no delineamento das tendências observadas nas análises sazonais. De modo a evitar um texto exaustivo, elaborou-se o quadro abaixo (QUADRO 3). Ele organiza as informações anteriores e para cada tendência constatada informa os meses que mais contribuíram para o padrão encontrado.

**QUADRO 3 – Tendências anuais, sazonais e mensais para as variáveis estudadas**

<i>Variável</i>	<i>Tendência anual</i>	<i>Tendência estação chuvosa</i>	<i>Tendência estação seca</i>
<b>Pressão atmosférica</b>	Elevação	Elevação: março e dezembro	Elevação: abril, maio e agosto
<b>Umidade relativa do ar</b>	Redução	Redução: dezembro e outubro	Redução: agosto, maio e junho
<b>Precipitação</b>	Elevação	Elevação: novembro e janeiro	Redução: junho, agosto e maio
<b>Temperatura</b>	Elevação	Sem tendência	Elevação: junho e agosto

A elevação da pressão na estação seca foi altamente influenciada pelo crescimento da variável registrado em abril. As maiores anomalias positivas desse mês foram encontradas nos anos de 1999 a 2001 e em 2003. Os meses de maio, entre 1997 e 2000 e de 2002 a 2005, e agosto, em 1999 e 2001, também contribuíram para a tendência observada (FIG. 4.a). Na estação chuvosa, o aumento da pressão se deve principalmente à interferência positiva de março, entre 2000 e 2003, e de dezembro, de 1997 a 1999 e entre 2001 e 2003 (FIG. 4.b).

Na redução da umidade verificada na estação seca, agosto em 1991, 1994, 1995, 1997 e de 1999 a 2005, e maio, sobretudo entre 1999 e 2003 tiveram grande influência em virtude das anomalias negativas registradas nesses anos. Junho também se destaca com seus desvios negativos de 1999 a 2001 e em 2003 (FIG. 5.a). Na estação chuvosa, os meses que mais contribuíram para a

redução da umidade foram dezembro, em 1990, 1998, 2000, 2003 e 2005, e outubro, nos anos de 1994, 2000 e de 2002 a 2005 (FIG. 5.b).

Novembro é o principal responsável pela tendência de elevação da precipitação na estação chuvosa. Seus maiores desvios positivos foram encontrados nos anos de 1996, entre 1998 e 2001 e em 2005. Em janeiro foram observadas amplas anomalias positivas nos anos de 1991, 1992, 1997, 2000, 2003 e 2004 (FIG. 6.b). Na estação seca, a queda da precipitação está pulverizada em vários meses e ocorreu desde os primeiros anos da série, o que pode ter prejudicado o delineamento de tendências. Nessa análise o mês de junho apresenta um pequeno destaque frente aos demais. Suas maiores anomalias negativas são as de 1988, 1990 a 1992 e de 1998 a 2003 (FIG. 6.a).

Quanto à temperatura, cuja tendência mais nítida foi encontrada na estação seca (elevação), os meses que tiveram maior participação foram junho – nos anos de 1999 a 2003 e 2005, e agosto – em 1995, 1998, 2002 e 2005 (FIG. 7.a). Na estação chuvosa não foi encontrada qualquer tendência geral no período, mas o mês de dezembro apresentou elevação de temperatura (FIG. 7.b).

É necessário destacar que a aparente ausência de tendências em alguns testes não indica que a variável apresenta estabilidade. Em muitos desses casos, o poder explicativo do modelo linear é prejudicado por valores extremos e atípicos observados em um ou outro ano. A utilização de séries mais longas e o emprego de técnicas para suavização de médias poderiam evitar essa interferência.

Por fim, é interessante notar que grande parte dos meses que mais contribuíram para as tendências sazonais observadas está no início ou final da estação a que pertencem, ou seja, são aqueles que fazem face à estação oposta a que estão incluídos (como março, abril, maio, outubro e novembro). O fato desses meses se destacarem pode indicar que esteja havendo antecipação ou prolongamento do padrão climático da estação seca para meses da estação chuvosa, bem como o contrário.

## ANOMALIAS DE PRESSÃO ATMOSFÉRICA MESES DA ESTAÇÃO SECA

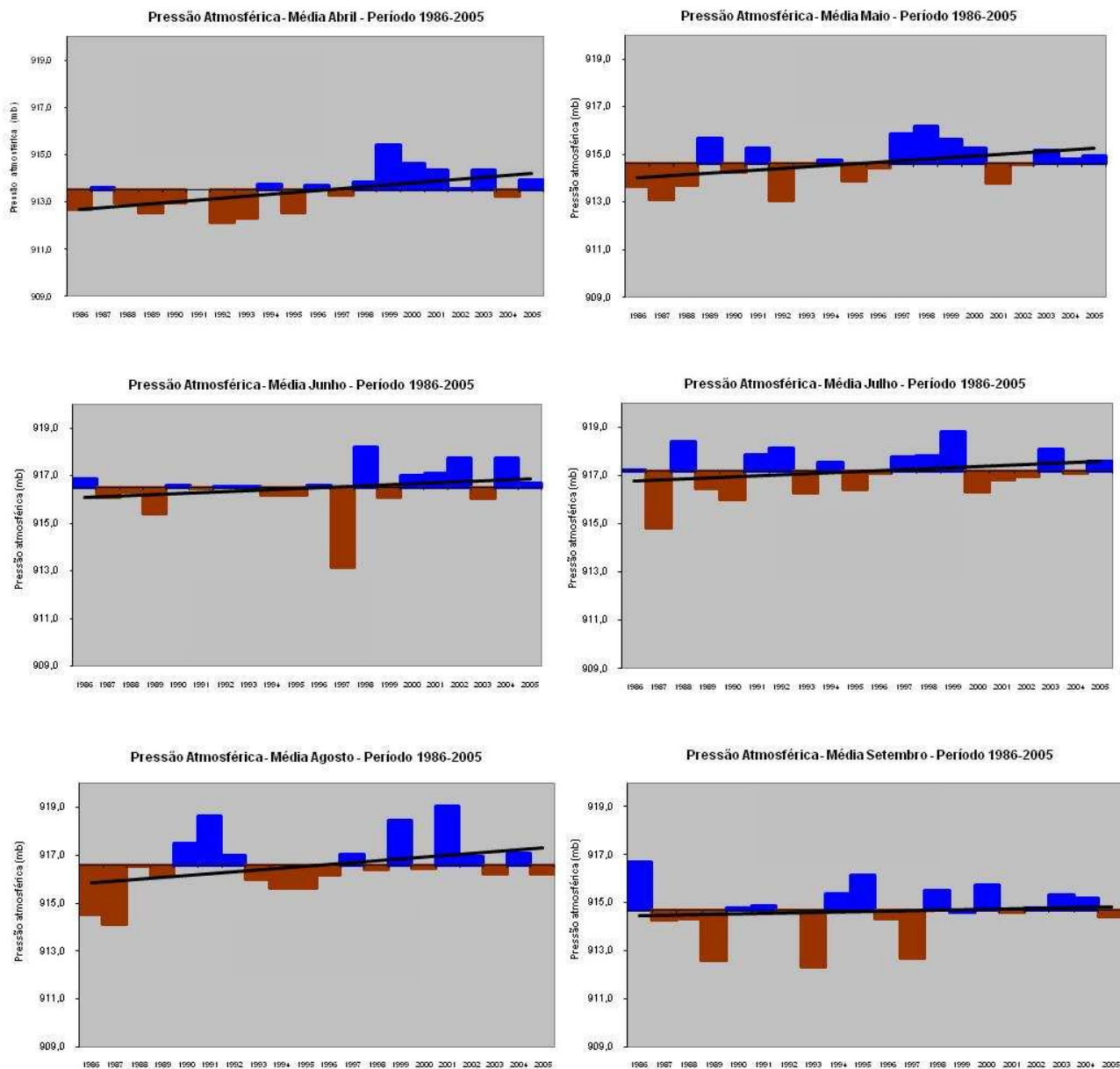


FIGURA 4 A – Anomalias de pressão atmosférica nos meses da estação seca –  
Belo Horizonte – Período 1986-2005  
Fonte dos dados: 5º DISME/INMET

## ANOMALIAS DE PRESSÃO ATMOSFÉRICA MESES DA ESTAÇÃO CHUVOSA

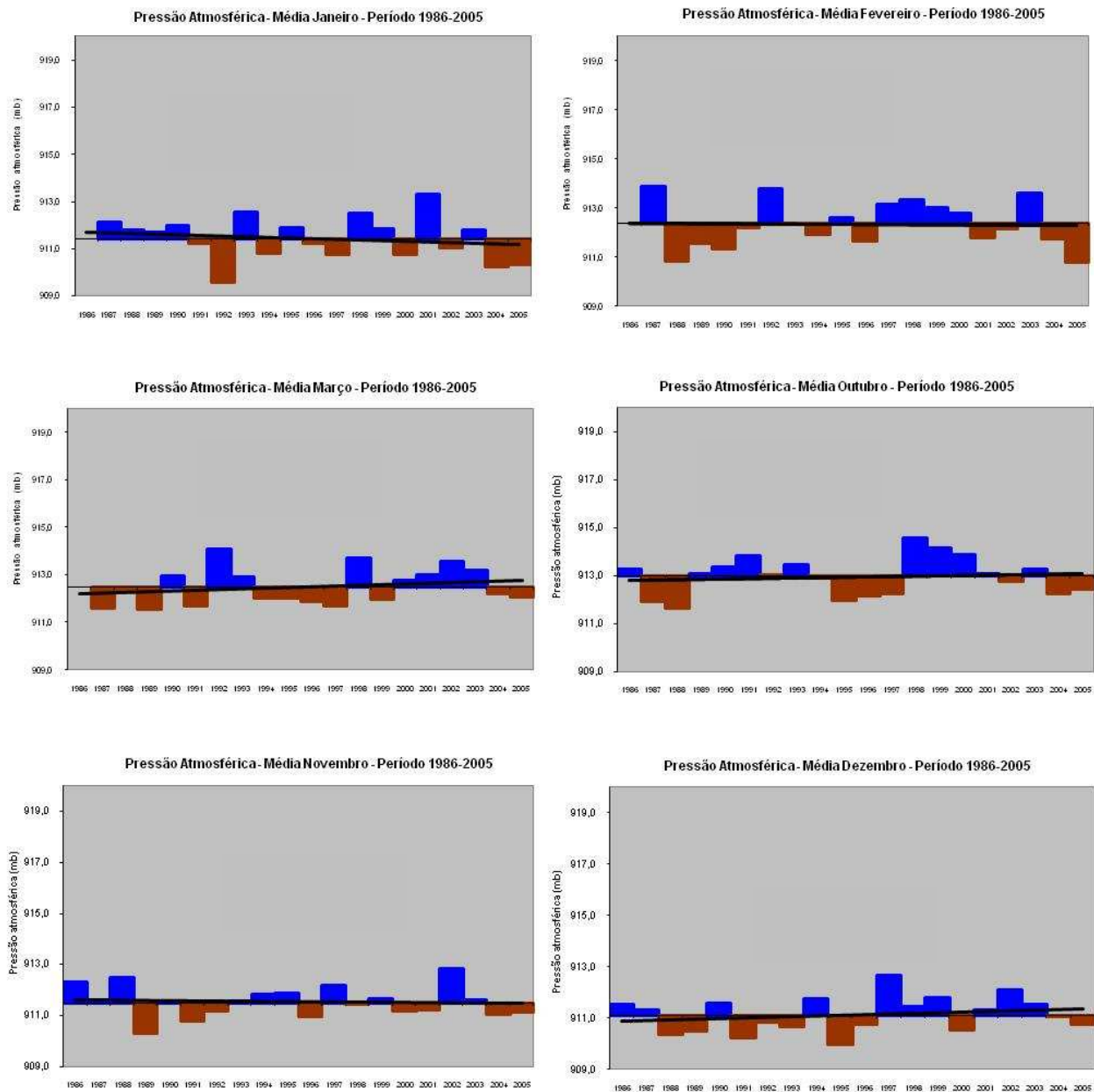


FIGURA 4 B – Anomalias de pressão atmosférica nos meses da estação chuvosa –  
Belo Horizonte – Período 1986-2005  
Fonte dos dados: 5º DISME/INMET

## ANOMALIAS DE UMIDADE RELATIVA DO AR MESES DA ESTAÇÃO SECA

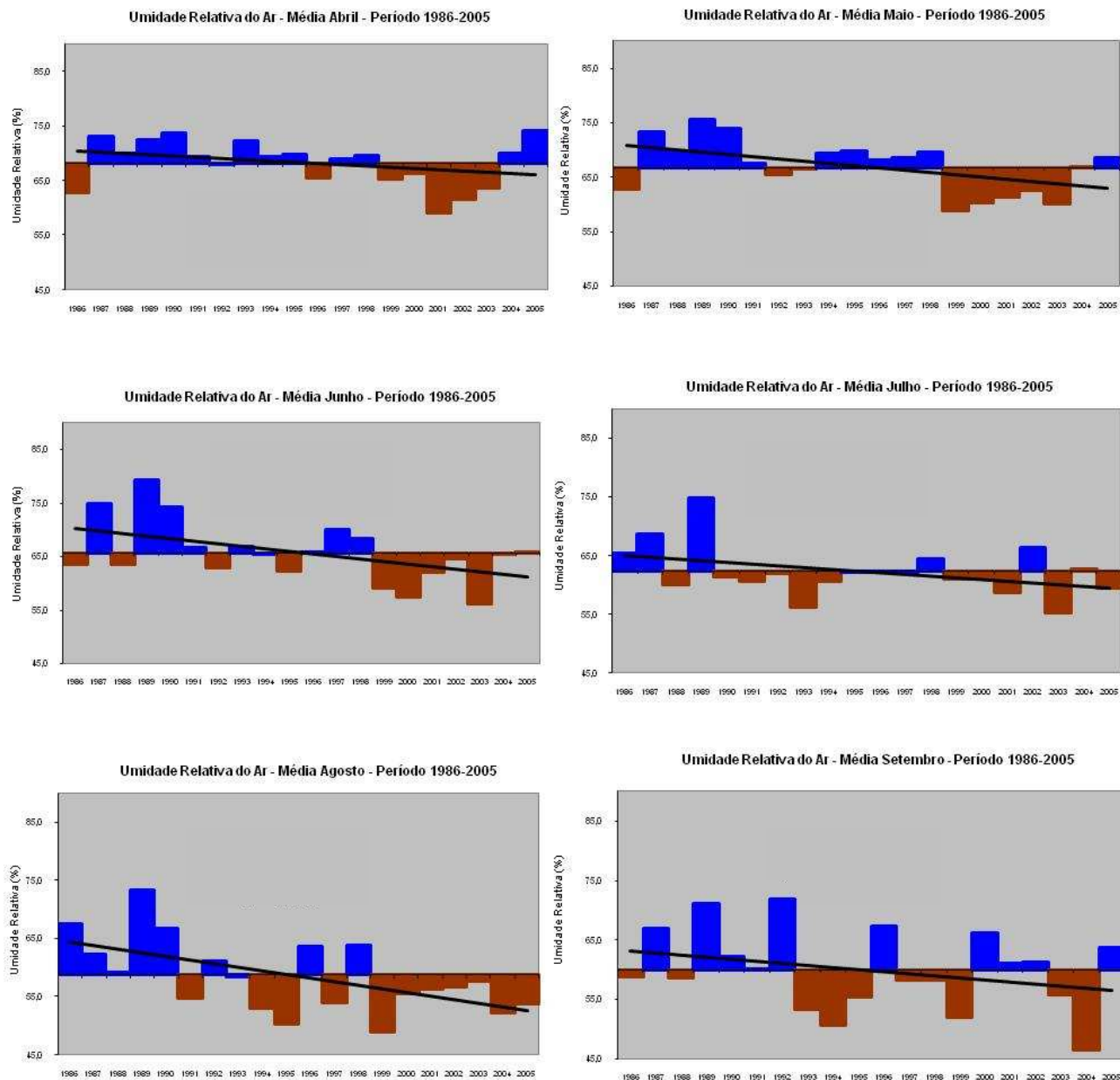


FIGURA 5 A – Anomalias de umidade relativa do ar nos meses da estação seca –  
Belo Horizonte – Período 1986-2005  
Fonte dos dados: 5º DISME/INMET

## ANOMALIAS DE UMIDADE RELATIVA DO AR MESES DA ESTAÇÃO CHUVOSA

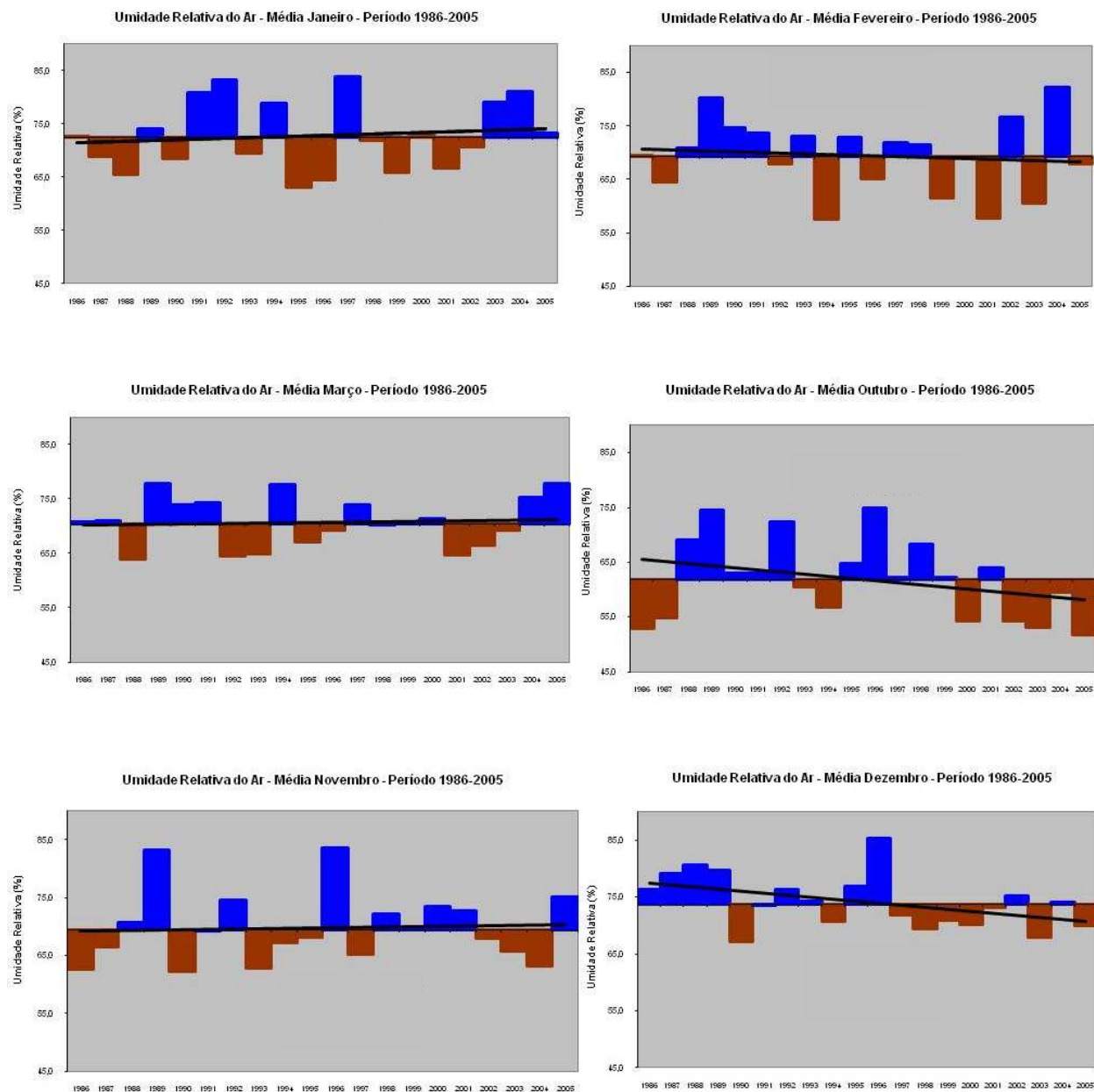


FIGURA 5 B – Anomalias de umidade relativa do ar nos meses da estação chuvosa –  
Belo Horizonte – Período 1986-2005  
Fonte dos dados: 5º DISME/INMET

## ANOMALIAS DE PRECIPITAÇÃO MESES DA ESTAÇÃO SECA

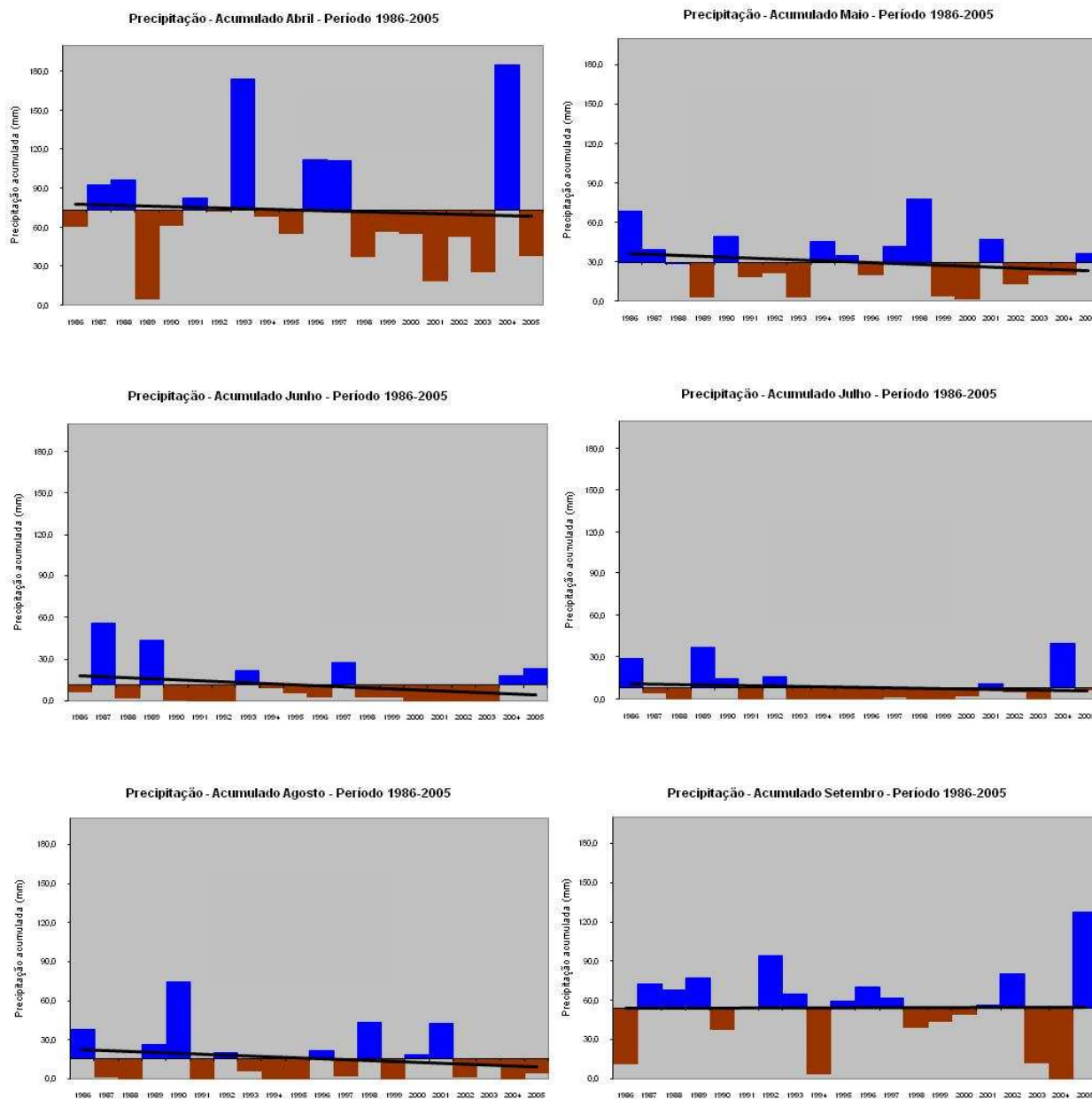


FIGURA 6 A – Anomalias de precipitação nos meses da estação seca –  
Belo Horizonte – Período 1986-2005  
Fonte dos dados: 5° DISME/INMET

## ANOMALIAS DE PRECIPITAÇÃO MESES DA ESTAÇÃO CHUVOSA

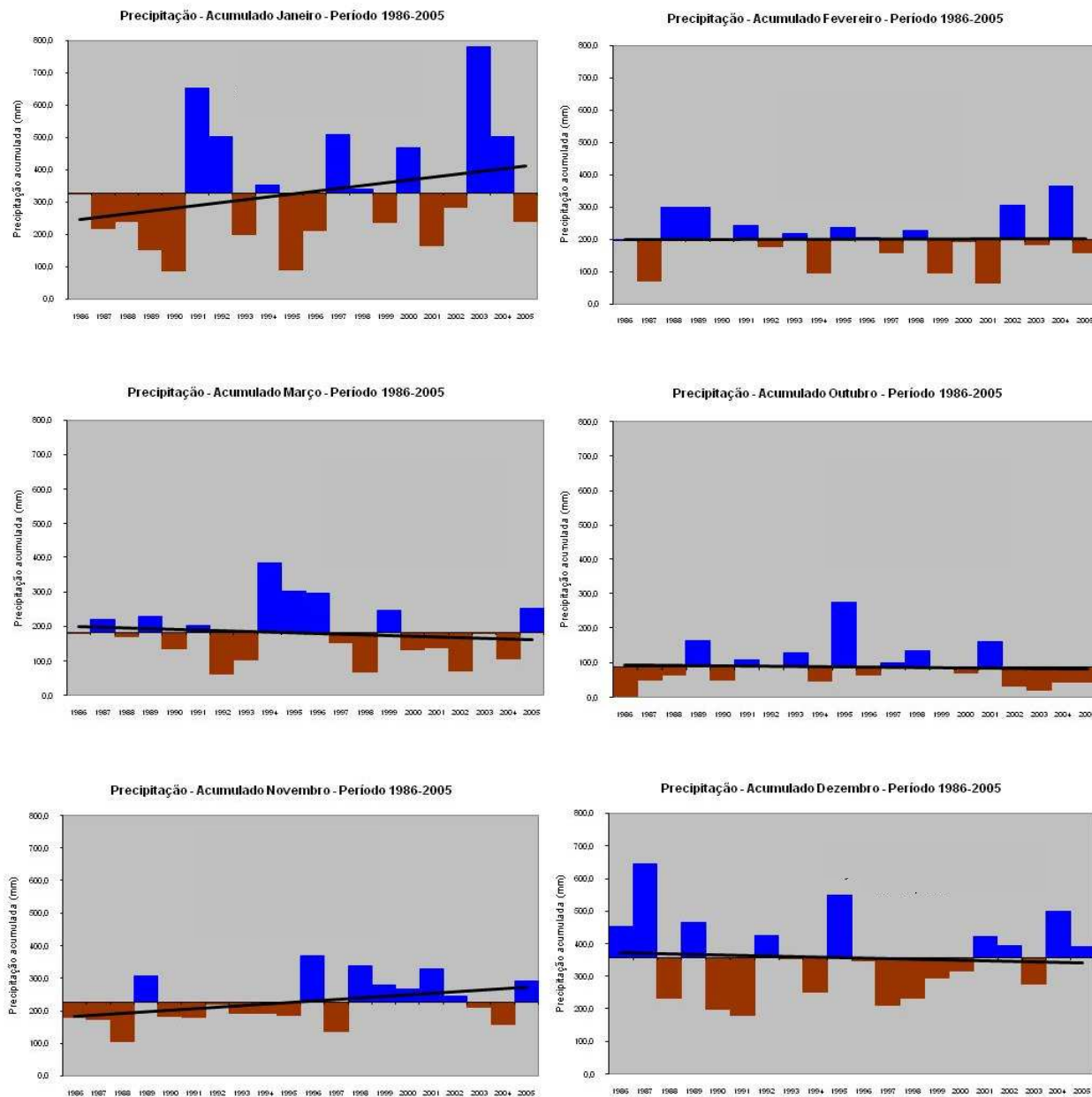


FIGURA 6 B – Anomalias de precipitação nos meses da estação chuvosa –  
Belo Horizonte – Período 1986-2005  
Fonte dos dados: 5º DISME/INMET

## ANOMALIAS DE TEMPERATURA MESES DA ESTAÇÃO SECA

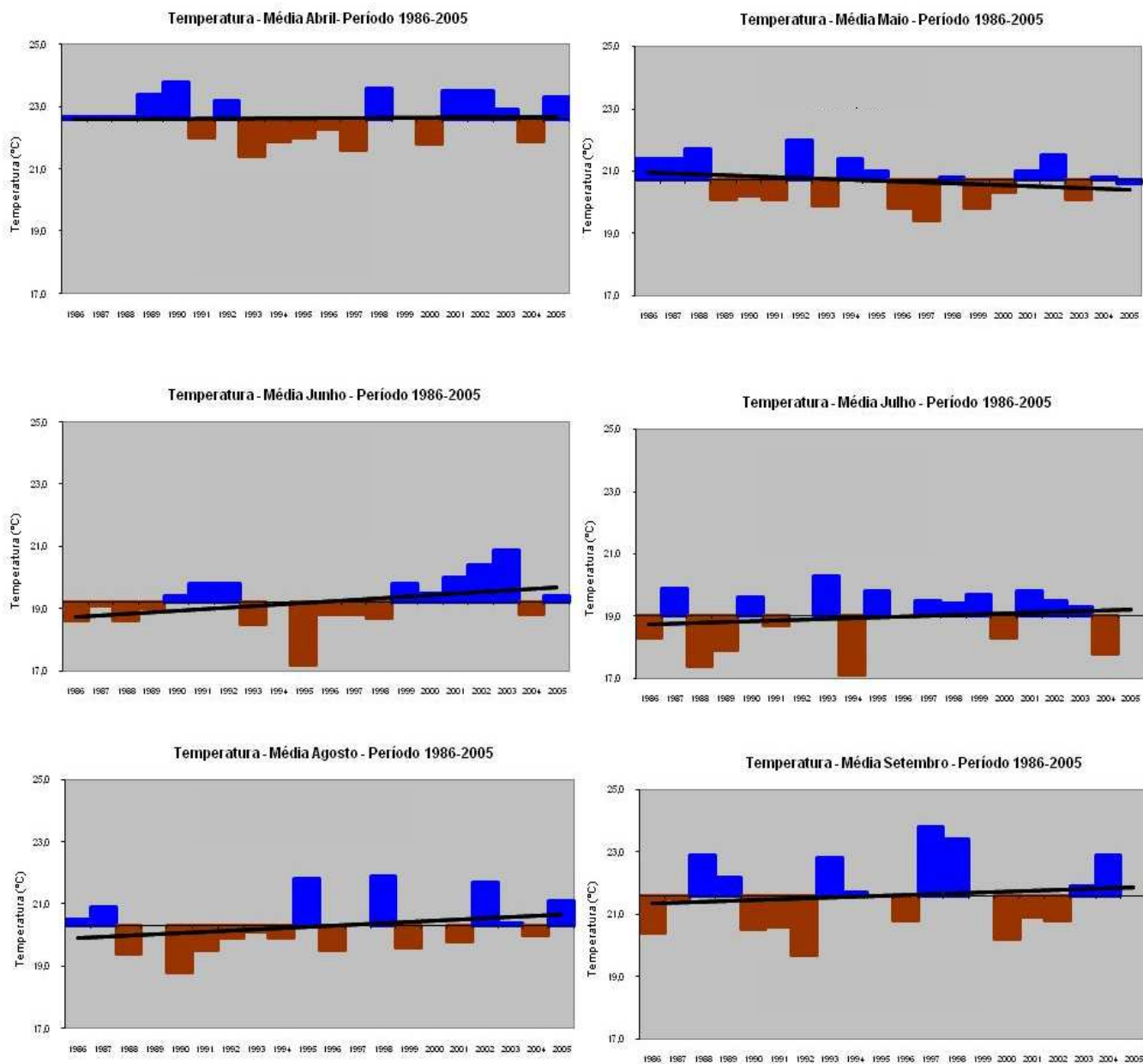


FIGURA 7 A – Anomalias de temperatura nos meses da estação seca –  
Belo Horizonte – Período 1986-2005  
Fonte dos dados: 5º DISME/INMET

## ANOMALIAS DE TEMPERATURA MESES DA ESTAÇÃO CHUVOSA

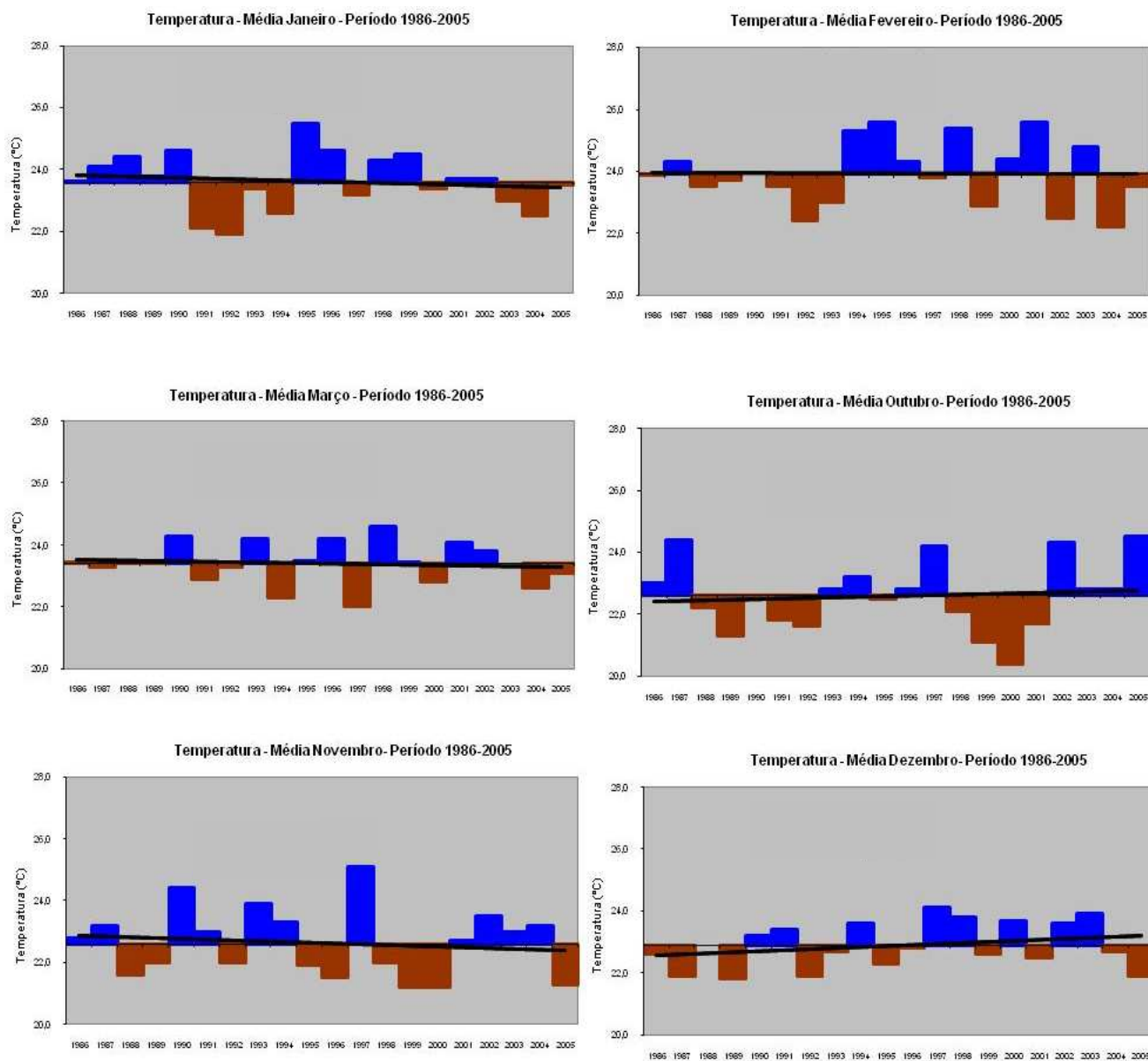


FIGURA 7 B – Anomalias de temperatura nos meses da estação chuvosa –  
Belo Horizonte – Período 1986-2005  
Fonte dos dados: 5º DISME/INMET

#### 4.5 Análises de estiagens

A duração em dias das quatro maiores estiagens de cada ano é apresentada na TAB. 5 abaixo:

**TABELA 5 – Quatro maiores estiagens do ano (duração em dias)  
Período 1986-2005 – Belo Horizonte**

<i>Ano</i>	<i>Est1</i>	<i>Est2</i>	<i>Est3</i>	<i>Est4</i>	<i>Somatório</i>
<b>1986</b>	46	35	14	13	108
<b>1987</b>	26	21	18	17	82
<b>1988</b>	112	19	11	10	152
<b>1989</b>	28	28	20	16	92
<b>1990</b>	42	17	16	14	89
<b>1991</b>	106	18	13	11	148
<b>1992</b>	47	33	21	16	117
<b>1993</b>	62	25	17	16	120
<b>1994</b>	82	24	20	16	142
<b>1995</b>	83	44	14	10	151
<b>1996</b>	42	36	19	15	112
<b>1997</b>	31	28	17	17	93
<b>1998</b>	41	38	25	21	125
<b>1999</b>	84	37	15	13	149
<b>2000</b>	49	37	23	16	125
<b>2001</b>	49	34	29	21	133
<b>2002</b>	49	26	23	19	117
<b>2003</b>	112	19	15	14	160
<b>2004</b>	74	21	15	10	120
<b>2005</b>	28	23	23	17	91
<b>Média</b>	59,65	28,15	18,4	15,1	121,3
<b>Desvio padrão</b>	28,18	8,03	4,58	3,29	23,91

No período analisado a duração média da maior estiagem do ano (Est1) ficou em 59,65 dias. Os anos com estiagem mais longa foram 1988 e 2003, com 112 dias consecutivos sem qualquer traço de precipitação. Outro destaque positivo é 1991 (106 dias). Os maiores desvios negativos da variável Est1 em relação à média foram observados em 1997 (31 dias) e 1989 e 2005 (28 dias). Em 1987 a maior estiagem durou apenas 26 dias, o menor valor do período. O desvio padrão amostral é de 28,18 dias. O teste de regressão linear revelou suave tendência de elevação da variável Est1. Como mencionado na seção anterior, valores extremos podem prejudicar a modelagem linear (GRAF. 24).

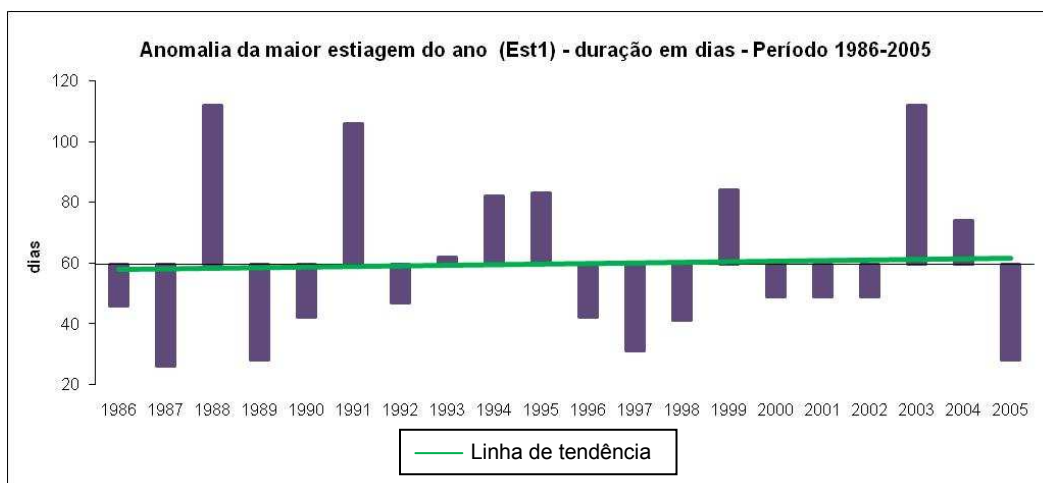


GRÁFICO 24 – Anomalia da maior estiagem do ano (Est1) – duração em dias – Belo Horizonte – Período 1986-2005  
Fonte dos dados: 5º DISME/INMET

Os maiores desvios da variável Est1 parecem ter ocorrido em anos que sofreram influência do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) (TAB. 6). Em alguns eventos de *El Niño*, a duração da maior estiagem anual foi mais prolongada, como em 1991 (*El Niño* 1991/92) e 1994 (*El Niño* 1993/94). Em outros, ficou bem abaixo da média como em 1987 (*El Niño* 1986/87), 1997 (*El Niño* 1997/98) e 2005 (*El Niño* 2004/05). Em sua fase fria (*La Niña*) notou-se desvios positivos da variável em 1988 (*La Niña* 1988/89), 1995 (*La Niña* 1995/96) e 1999 (*La Niña* 1998-2001). Anos de *La Niña* que tiveram duração da maior estiagem reduzida são: 1989 (*La Niña* 1988/89), 2000 e 2001 (*La Niña* 1998-2001).

**TABELA 6 – Eventos do fenômeno ENOS e anos em que a Est1 pode ter sido afetada**

<i>El Niño</i>	<i>La Niña</i>
1986-1987*	1984-1985
1991*-1992	1988*-1989*
1993-1994*	1995*-1996
1997*-1998	1998-2001* (1999* e 2000*)
2001-2002	-
2004-2005*	-

\*Anos que apresentaram desvios da média para Est1

Fonte dos dados: CPTEC – Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/> Acesso em: 5 abr. 2009

Independente da fase nota-se que a influência do ENOS é manifestada pela ocorrência de anomalias (ora positivas, ora negativas) da Est1. Segundo o CPTEC, por ser uma área de transição climática, o Sudeste brasileiro é considerado uma região de baixa previsibilidade quanto a efeitos do fenômeno no Pacífico. Em anos de *El Niño*, o único impacto realmente visível para a maior parte da região é o aumento da temperatura. Sobre a precipitação, o mesmo não observou nenhuma influência característica. Os impactos de um *La Niña* no Sudeste do país são ainda mais difíceis de serem caracterizados.

Já a quarta maior estiagem anual (Est4) teve duração média de 15,1 dias e desvio padrão de 3,29 dias. Destaca-se a duração da Est4 nos anos de 1998, 2001 (21 dias) e 2002 (19 dias) (GRAF. 25). Esses anos se caracterizaram pela ocorrência de veranicos expressivos na estação chuvosa em grande parte de Minas Gerais. Em 1998, as regiões do Vale do Jequitinhonha e Mucuri enfrentaram extensas estiagens durante a estação chuvosa (CUPOLILLO, 2008). Abreu (1998) e Abreu e Cupolillo (1998) associaram os eventos de 97/98 à ocorrência de um *El Niño*.

A Est4 teve duração abaixo da média climatológica nos anos de 1988, 1995, 2004 (10 dias) e 1991 (11 dias). O teste de regressão linear para a variável, menos afetado por valores extremos, indicou tendência de elevação pouco mais nítida que a verificada para a Est1.

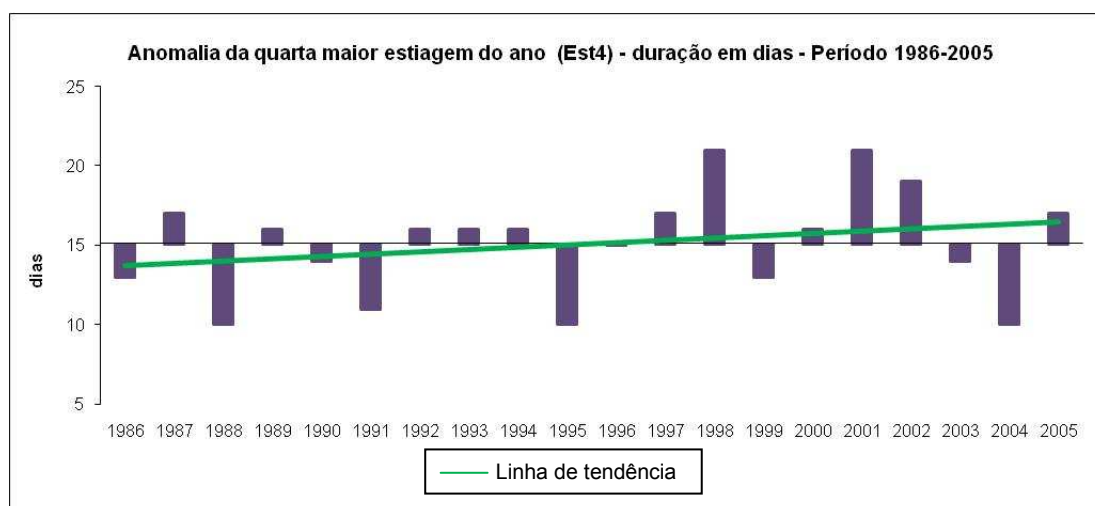


GRÁFICO 25 – Anomalia da quarta maior estiagem do ano (Est4) – duração em dias – Belo Horizonte – Período 1986-2005  
Fonte dos dados: 5º DISME/INMET

Para o somatório da duração das quatro maiores estiagens anuais, a média é de 121,3 dias e o desvio padrão de 23,9 dias. O teste de regressão também foi aplicado para esse conjunto de dados e o resultado indicou elevação (GRAF. 26).

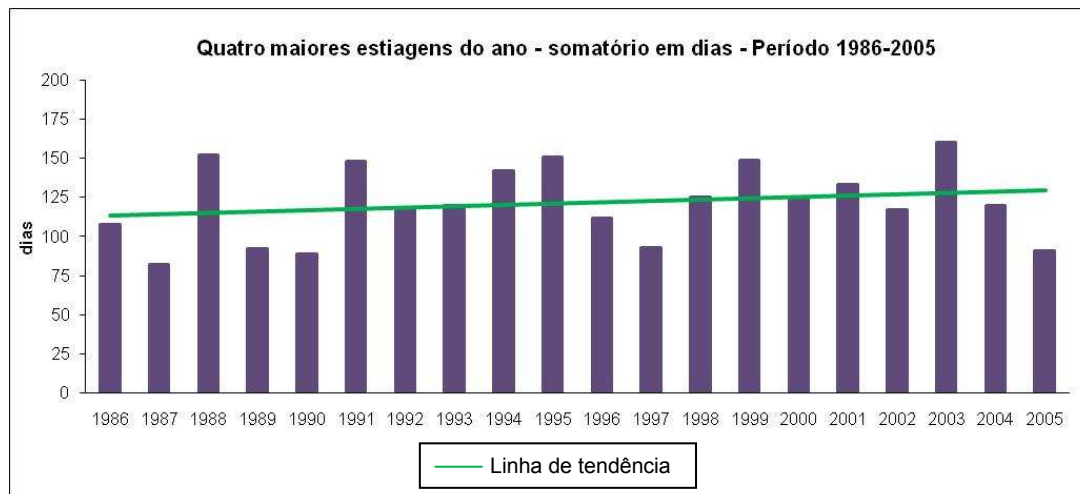


GRÁFICO 26 – Quatro maiores estiagens do ano – somatório em dias – Belo Horizonte – Período 1986-2005  
Fonte dos dados: 5º DISME/INMET

Considerando que a maior estiagem anual ocorre durante a estação seca e a quarta maior durante a chuvosa, realizou-se testes de correlação para verificar o impacto do tempo de duração das estiagens no comportamento das outras variáveis em cada uma dessas estações (TAB. 7):

**TABELA 7 – Resultados dos testes de correlação de Est1 e Est4 com as demais variáveis**

x	<b>Maior estiagem (Est1)</b>		<b>4ª maior estiagem (Est4)</b>	
	<b>Estação chuvosa</b>	<b>Estação seca</b>	<b>Estação chuvosa</b>	<b>Estação seca</b>
<b>Pressão</b>	r=-0,3	<b>r=+0,4</b>	<b>r=+0,5</b>	r=0
<b>Umidade</b>	r=+0,1	<b>r=-0,6</b>	<b>r=-0,2</b>	r=+0,2
<b>Temperatura</b>	r=-0,3	<b>r=-0,2</b>	<b>r=+0,3</b>	r=+0,6
<b>Precipitação</b>	r=-0,1	<b>r=-0,6</b>	<b>r=+0,2</b>	r=+0,1

Na estação seca, destacam-se os seguintes resultados: r=-0,6, entre as variáveis Est1 e umidade; r=-0,6, entre Est1 e precipitação; e r=+0,4, entre Est1 e pressão (GRAF. 27.a-d). Os dados confirmam as análises das seções anteriores e mostram que a persistência de altas pressões na estação seca tem relação direta à ocorrência de longos períodos de estiagem e estes, por sua vez, se

relacionam inversamente com a umidade relativa e a precipitação. Tal relação é expressa pelo fluxograma (FIG. 8) abaixo:

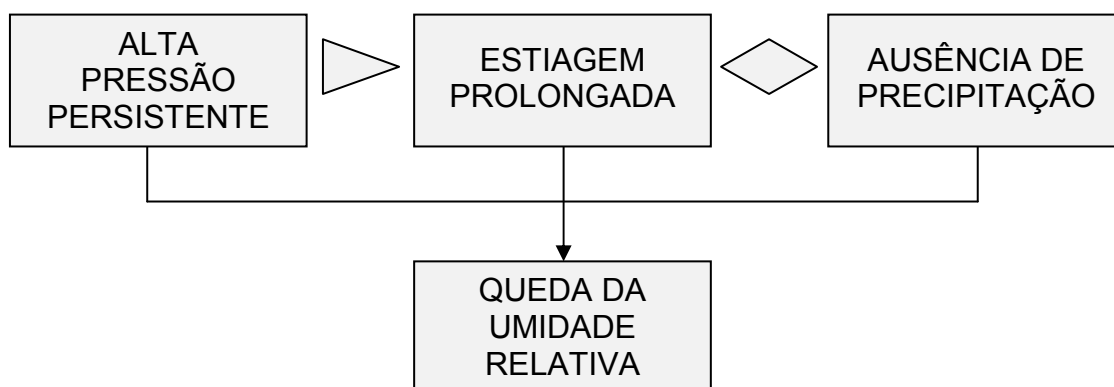
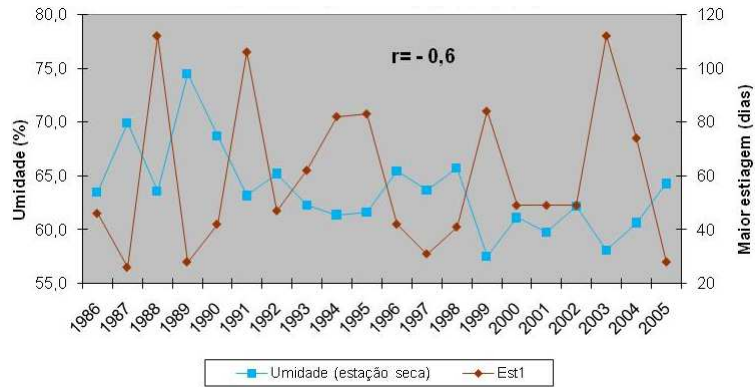


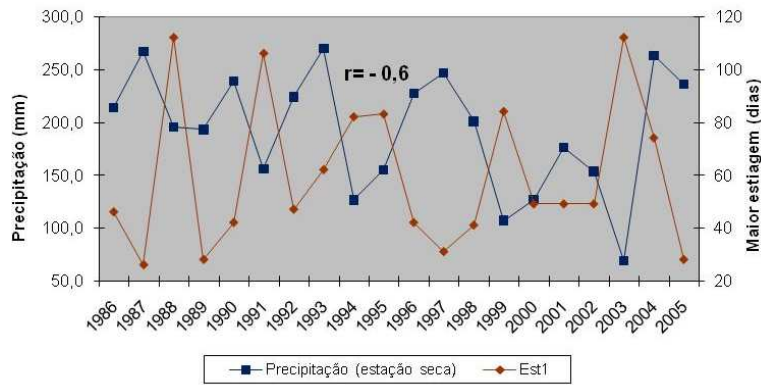
FIGURA 8: Sugestão de fluxograma para relações entre as variáveis estudadas na estação seca.

Na estação chuvosa, os maiores destaques foram entre Est4 e pressão ( $r=+0,5$ ) e Est4 e temperatura ( $r=+0,3$ ) (GRAF. 28.a-d). Os valores sustentam que as estiagens na estação chuvosa se relacionam diretamente à influência ocasional da Alta Subtropical do Atlântico Sul (elevação da pressão) e que nesses períodos é verificado aumento da temperatura.

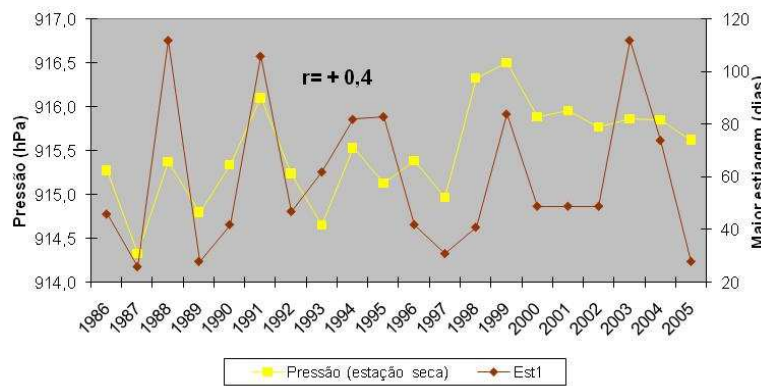
Por último, ressalva-se que o fato de determinado ano apresentar Est1 de pequena duração não garante que este seja mais chuvoso em termos de volume de precipitação. Grandes acumulados de chuva podem ocorrer concentradamente em pouco tempo. Por outro lado, tais anos certamente apresentarão valores de umidade relativa maiores que naqueles de estiagem prolongada. A umidade relativa do ar é facilmente elevada quando ocorre uma precipitação, ao passo que dias e mais dias seguidos sem chuva tendem a reduzi-la de forma notável a tal ponto que a qualidade do ar é prejudicada.



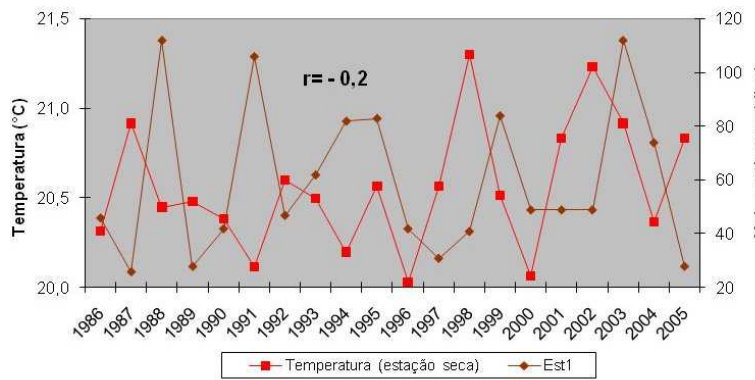
(a)



(b)

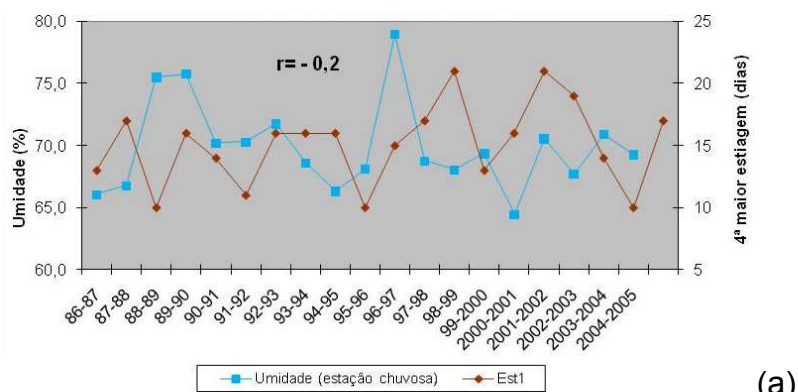


(c)

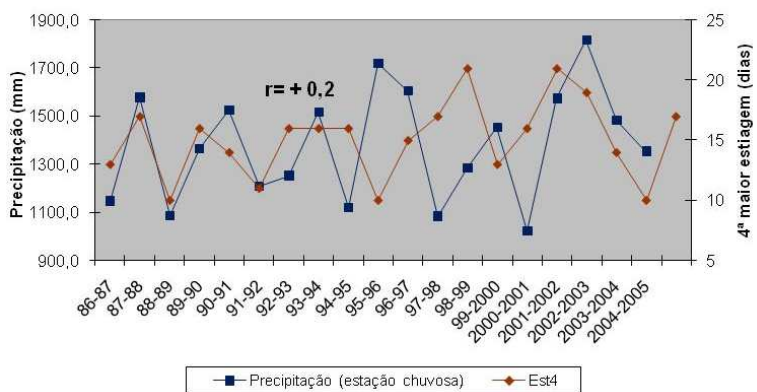


(d)

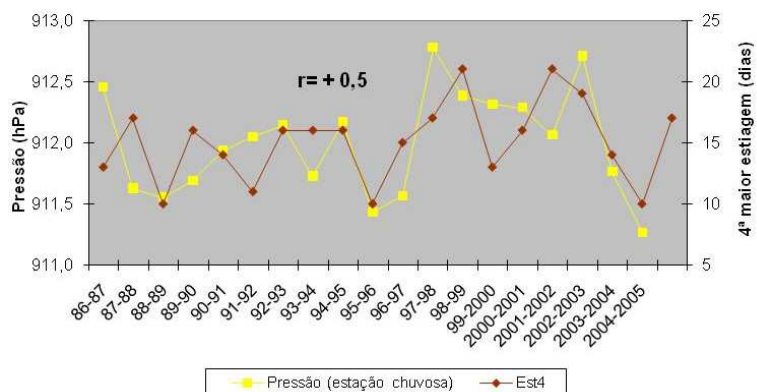
GRÁFICO 27 – Est1 e umidade (a), precipitação (b), pressão (c), e temperatura (d) na estação seca – Belo Horizonte – Período 1986-2005 - Fonte dos dados: 5º DISME/INMET



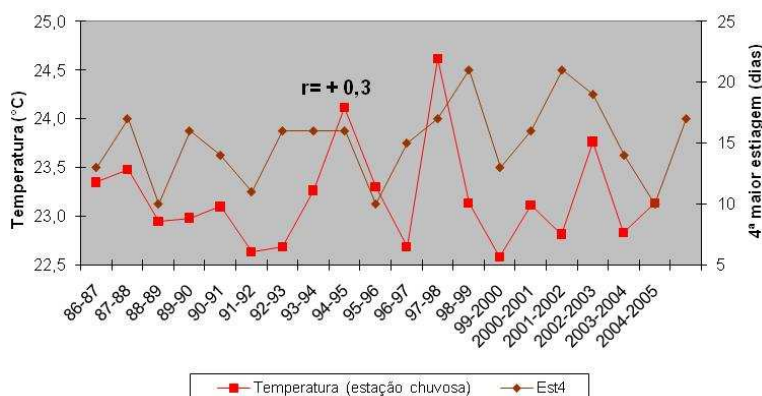
(a)



(b)



(c)



(d)

GRÁFICO 28 – Est4 e umidade (a), precipitação (b), pressão (c), e temperatura (d) na estação chuvosa – Belo Horizonte – Período 1986-2005 - Fonte dos dados: 5º DISME/INMET

## 4.6 Análises rítmicas

### 4.6.1 Caso I: julho de 2008

O estudo de caso apresentado a seguir documenta a sucessão de sistemas atmosféricos responsável pela ocorrência simultânea de baixos valores de temperatura e umidade, durante um período de julho de 2008, em Belo Horizonte. O episódio ilustra uma situação clássica de fusão entre um sistema polar descaracterizado e o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul.

Julho é normalmente o mês com menores temperaturas em Belo Horizonte. Pelas normais climatológicas (1961-1990) da estação convencional do 5° DISME/INMET as médias das temperaturas máximas e mínimas são respectivamente de 24,6° C e 13,1° C. O mês apresenta pouca precipitação (volume médio de 15,7 mm), resultado da estabilidade atmosférica proporcionada pelo ASAS.

Em julho de 2008, na estação automática da Pampulha, não houve registro de chuva e a média das temperaturas máximas e mínimas foram respectivamente: 25,1° C e 12,4° C. Contudo, uma seqüência de dias (14 a 18) chama atenção pela ocorrência de temperaturas mínimas inferiores a 10° C (FIG. 9). O dia 14 apresenta o menor valor do período (8,2° C). Estariam essas baixas temperaturas relacionadas à atuação de um APM?

As imagens de satélite precedentes ao período mostram uma faixa de nebulosidade se deslocando do interior do Rio Grande do Sul ao litoral sul de Santa Catarina entre os dias 8 e 9 (FIG. 10.a-b e 11.a-b). No dia 10, entretanto, a frente fria se desorganiza e não consegue atingir nem mesmo o estado do Paraná. Ela segue fraca pelo oceano até sofrer completa frontólise (FIG. 12.a-b). O centro-leste do país permanece sob domínio do Anticiclone Subtropical.

Apesar disso, o APM na retaguarda da frente consegue avançar pelo Oceano Atlântico até latitudes menores. Essa trajetória é responsável por sua tropicalização e incorporação ao ASAS no dia 12 (FIG. 13.a-b), processo que intensifica a Alta Subtropical e sua circulação marítima sobre Minas Gerais.

## CASO I: JULHO DE 2008

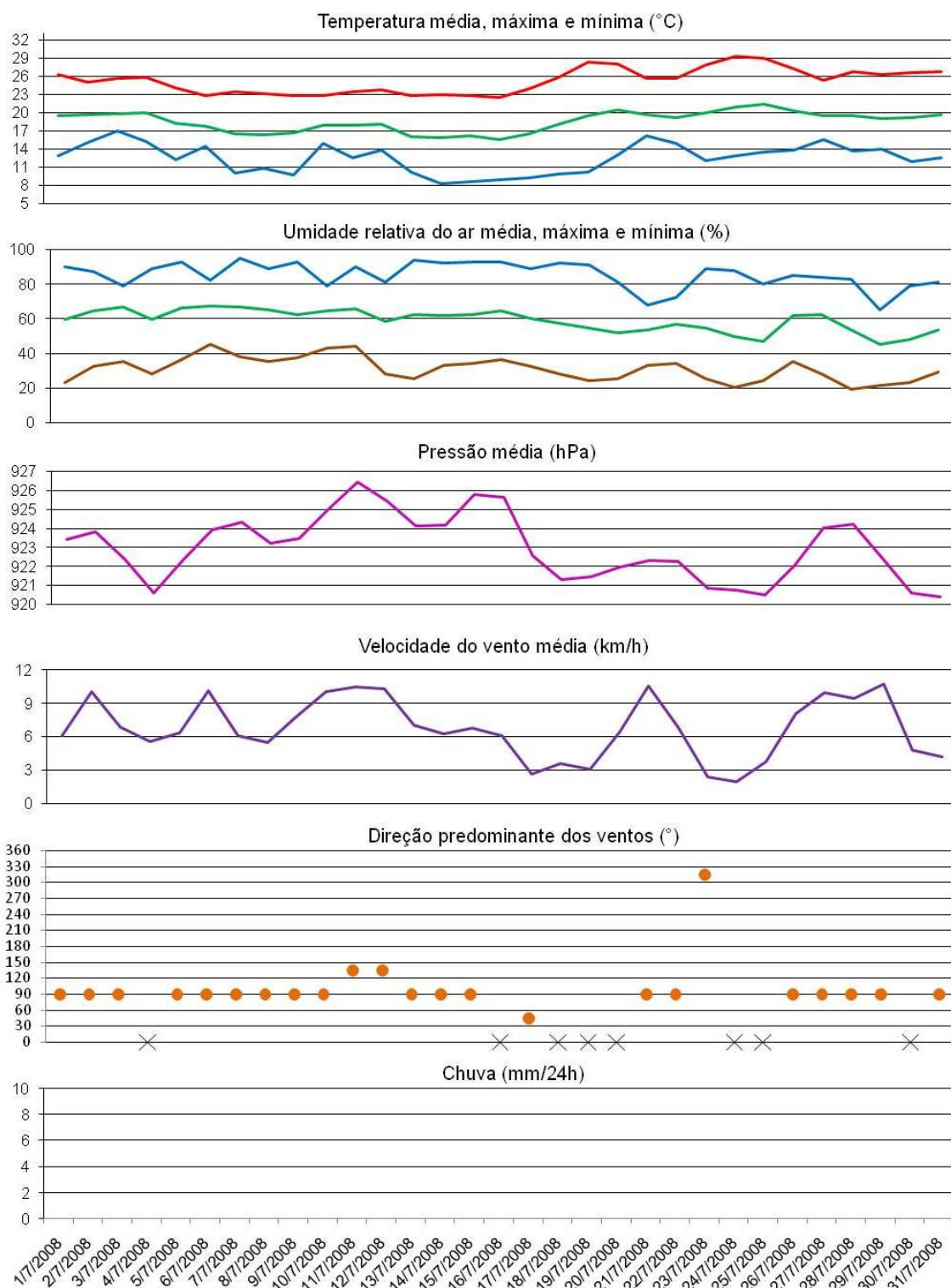


FIGURA 9 – Análise Rítmica –  
Belo Horizonte – Julho de 2008  
Fonte dos dados: 5° DISME/INMET

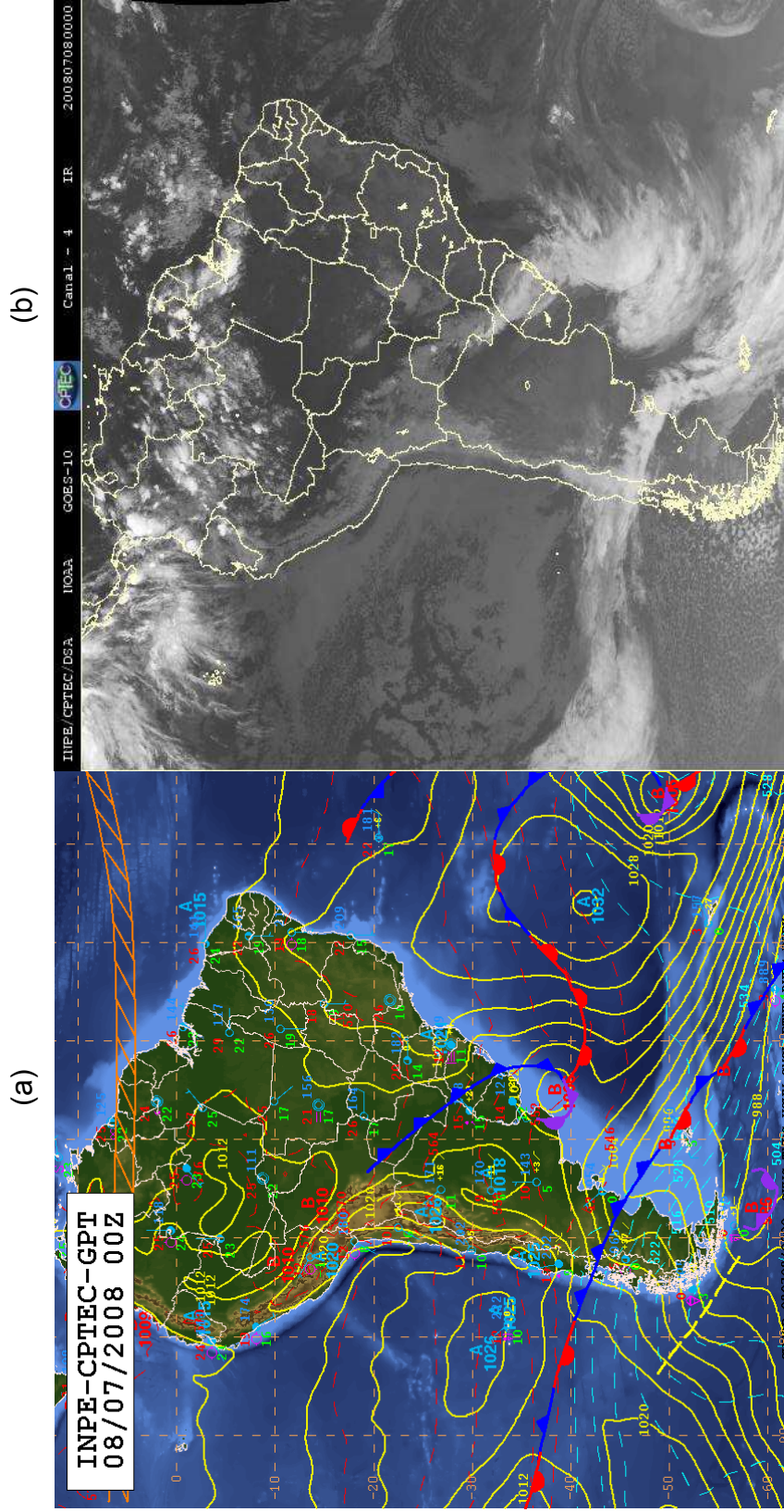


FIGURA 10 – Carta sinótica (a) e imagem de satélite (b) da América do Sul em 08/07/2008 (0:00 TMG)  
Fonte: CPTec/INPE - Disponível em: <http://satelite.cptec.inpe.br>. Acesso em: 18 out. 2008.

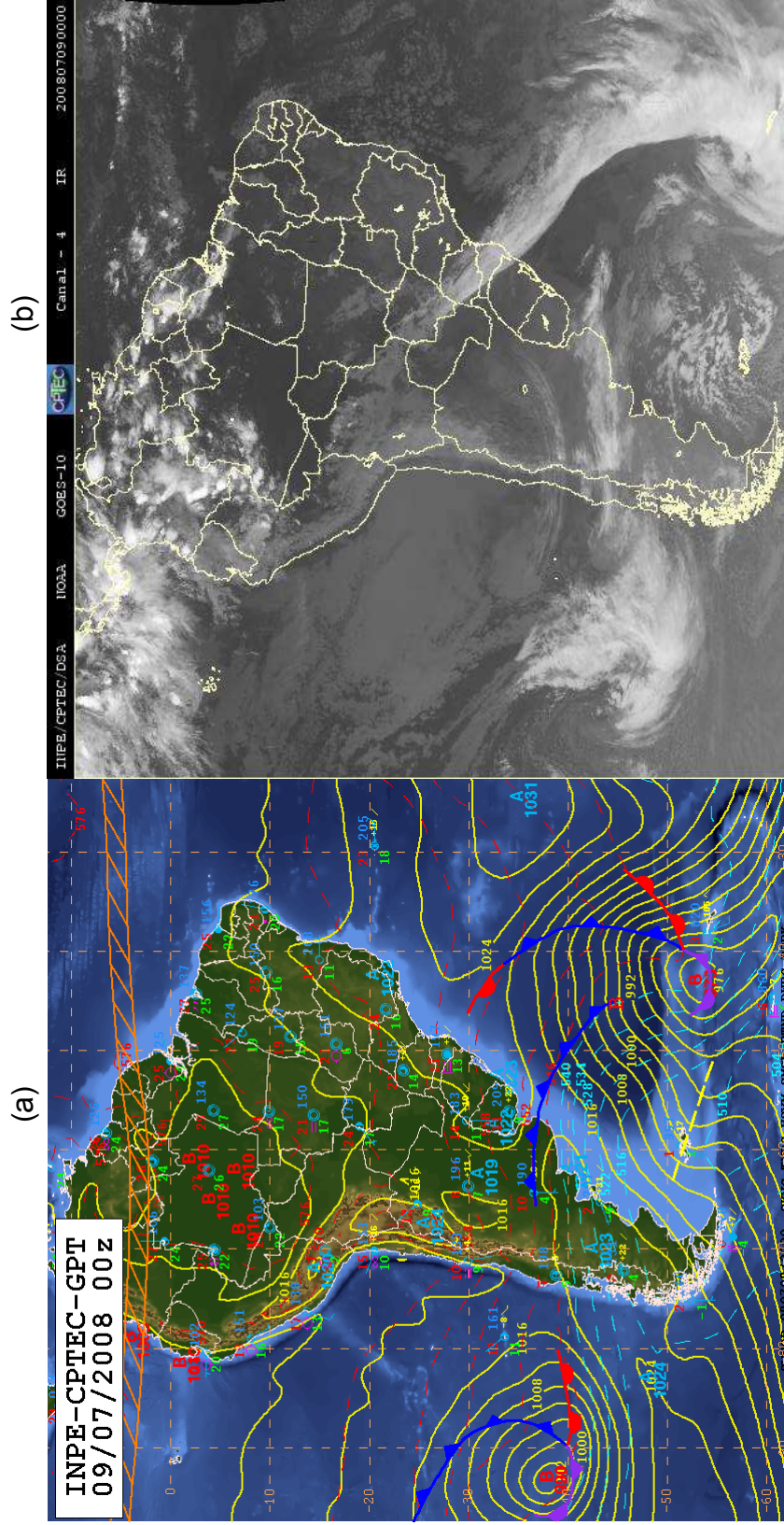


FIGURA 11 – Carta sinótica (a) e imagem de satélite (b) da América do Sul em 09/07/2008 (0:00 TMG)  
Fonte: CPTEC/INPE - Disponível em: <http://satelite.cptec.inpe.br>. Acesso em: 18 out. 2008.

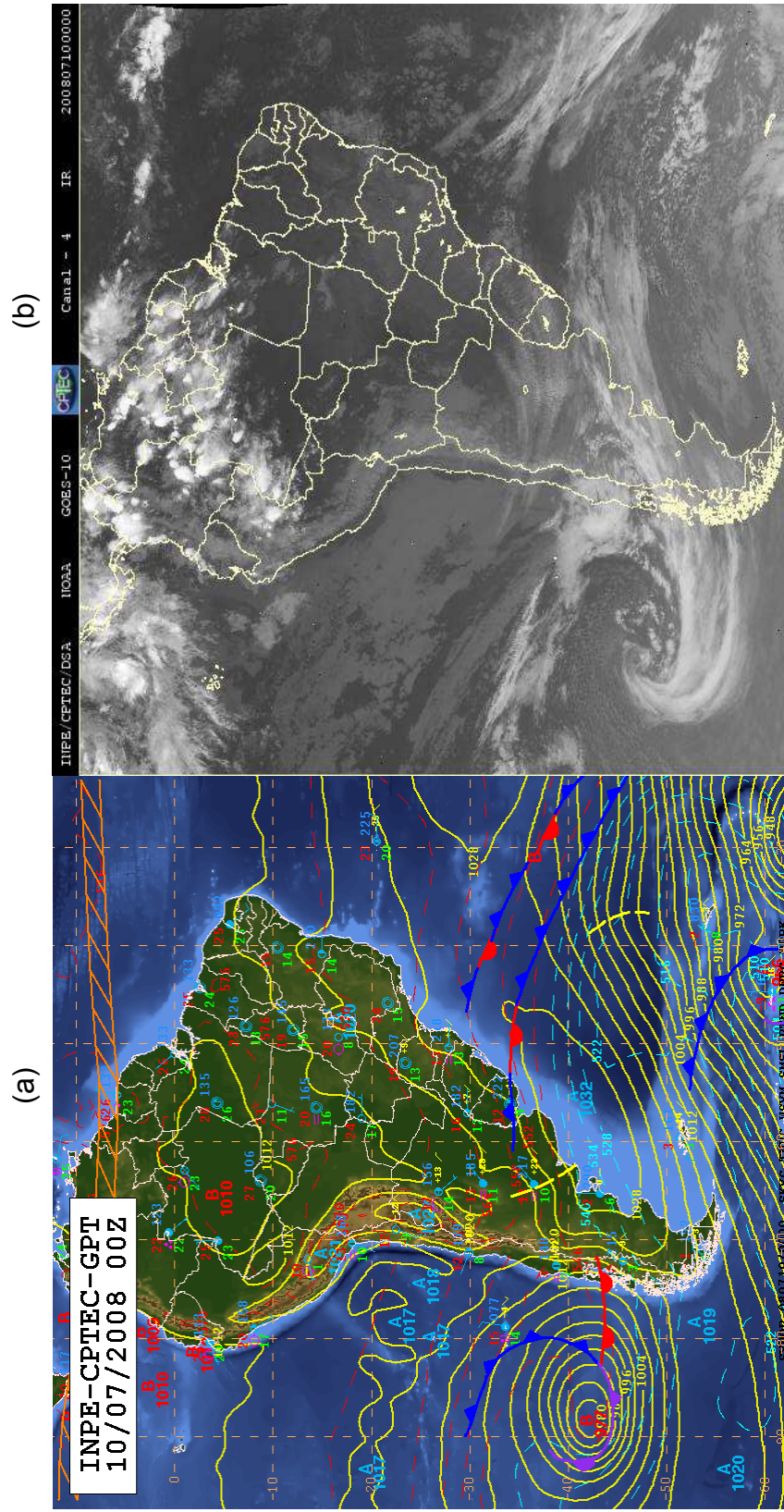


FIGURA 12 – Carta sinótica (a) e imagem de satélite (b) da América do Sul em 10/07/2008 (0:00 TMG)  
Fonte: CPTEC/INPE - Disponível em: <http://satelite.cptec.inpe.br>. Acesso em: 18 out. 2008.

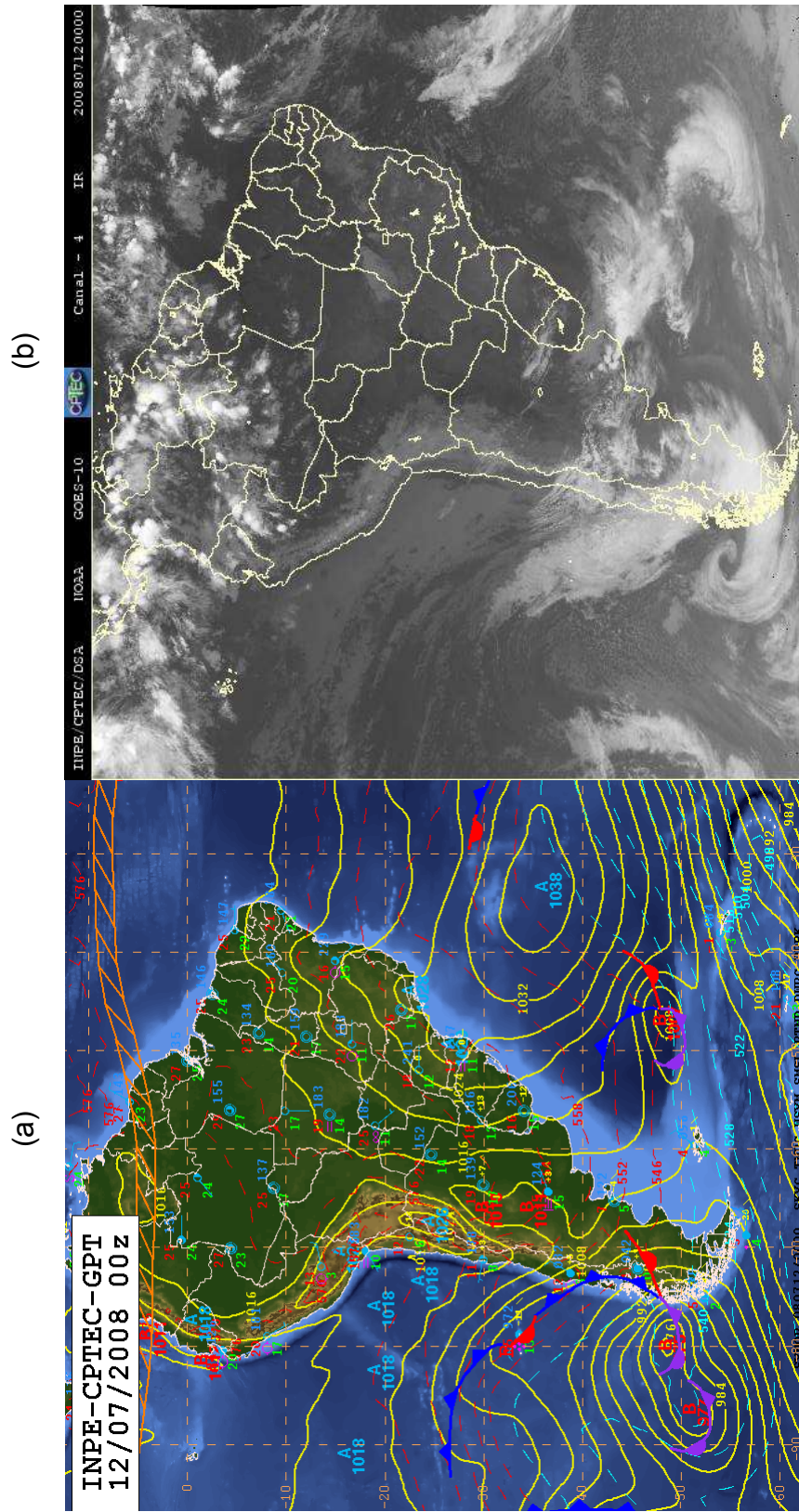
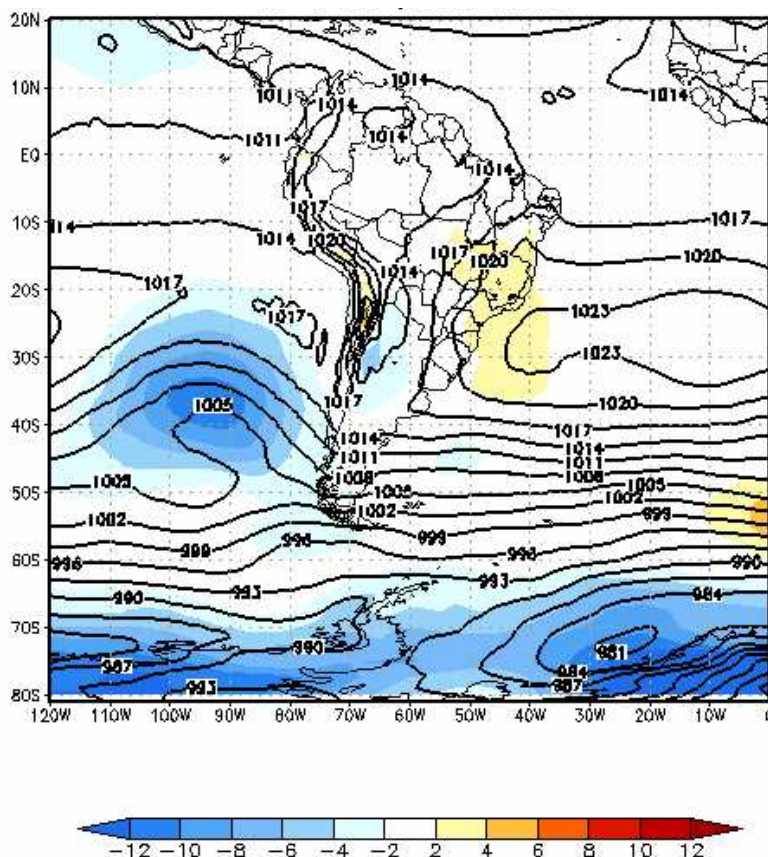


FIGURA 13 – Carta sinótica (a) e imagem de satélite (b) da América do Sul em 12/07/2008 (0:00 TMG)  
Fonte: CPTEC/INPE - Disponível em: <http://satelite.cptec.inpe.br>. Acesso em: 18 out. 2008.

O mapa de anomalia de pressão ao nível médio do mar para os primeiros vinte dias de julho de 2008 (MAPA 4), mostra desvios positivos de até 4 hPa sobre parte de São Paulo, Goiás e todo o estado de Minas Gerais. Tal comportamento coincide com o fortalecimento do ASAS na região, observado em Belo Horizonte entre os dias 12 e 17.



MAPA 4 – Anomalia de pressão ao nível médio do mar – 1 a 20/07/2008

Fonte: Síntese sinótica mensal de julho de 2008 – CPTEC. Disponível em: [http://www.cptec.inpe.br/~noticias/upload/Sintese\\_0708.pdf](http://www.cptec.inpe.br/~noticias/upload/Sintese_0708.pdf). Acesso em: 27 nov. 2008.

A intensificação da Alta Subtropical sobre o continente nesse período contribuiu para a queda da umidade relativa do ar. A síntese sinótica de julho de 2008, elaborada pelo CPTEC (2008), destaca o registro de valores de umidade relativa mínima inferiores a 30 % em várias cidades dos estados de São Paulo, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais. Em Belo Horizonte, mesmo com temperaturas máximas menores que 24° C, o índice variou entre 25 % e 36 % nos dias 12 a 17.

As condições de estabilidade atmosférica, como baixa umidade relativa e ausência de nebulosidade, proporcionaram notável perda radiativa durante as noites e madrugadas, o que explica o resfriamento noturno observado na capital

mineira nos dias 14 a 18. O CPTEC (2008) ressalta a ocorrência de baixas temperaturas mínimas em localidades de Minas Gerais (Barbacena, São Lourenço, Bambui), São Paulo (Campos do Jordão) e Paraná (Castro) entre os dias 9 e 14 e atribui a origem dos eventos à rápida perda radiativa em noites de céu claro.

A partir da tarde do dia 18, o enfraquecimento da circulação marítima associado à queda expressiva de pressão na região, favorece a elevação das temperaturas máximas e redução ainda maior da umidade relativa mínima. Os dias 18, 19 e 20, apresentaram índices entre 24 % e 28 %. Até o final do mês, o padrão atmosférico relativo à influência do ASAS se mantém, inclusive durante a passagem de uma frente fria pelo litoral do Sudeste entre os dias 25 e 26.

Esse sistema frontal foi o único, de um total de oito que atingiu o extremo sul do país, capaz de alcançar a latitude de Belo Horizonte em julho de 2008 (CPTEC, 2008). Ainda assim, sua passagem pelo paralelo 20° S se deu via oceano, interferindo pouco nas condições de tempo da capital mineira. Os dias 23 e 24 foram marcados pela ocorrência de características pré-frontais, tais como predominância de vento do quadrante norte (dia 23), forte aquecimento e redução da umidade (dia 24). Nesse último, enquanto a temperatura máxima atingiu seu maior valor mensal (29,2° C), a umidade relativa apresentou o segundo menor valor do período (20%).

#### 4.6.2 Caso II: setembro de 2008

Setembro de 2008 se presta como extraordinário estudo de caso ao encontro dos objetivos deste trabalho. O mês se distingue por apresentar ampla diversidade de situações meteorológicas, o que inclui a atuação do ASAS e do APM na capital mineira.

A primeira quinzena desse mês foi marcada pela influência da Alta Subtropical sobre a região. Temperaturas elevadas – maiores que 30° C, foram observadas ao longo de dois períodos: entre os dias 4 e 8 e de 10 a 15. No dia 7, a temperatura máxima foi de 34° C (FIG. 14). Esse valor é quase 7 graus superior à média mensal de temperatura máxima (27,2° C) da normal climatológica da estação convencional de Belo Horizonte.

Por se tratar do final da estação seca, essas temperaturas elevadas resultaram em baixos índices de umidade relativa do ar durante as tardes. Valores inferiores a 20% foram observados entre os dias 3 e 7, sendo que no dia 3 a umidade relativa mínima ficou em 13%.

A atuação do ASAS se mostra mais intensa entre os dias 8 e 11, quando o valor da pressão média diária ultrapassa os 921 hPa. O fortalecimento desse sistema a partir do dia 8 aumenta a velocidade do vento marítimo (quadrante leste), o que reduz a temperatura máxima para 28,6° C (dia 9). Por essa mesma razão, a umidade relativa mínima sofre ligeira elevação e fica próxima a 35%. No dia 10 a pressão atinge os 922,9 hPa.

A partir do dia 11, a aproximação de uma frente fria, acompanhada por um APM em sua retaguarda, é responsável por uma situação pré-frontal que atinge seu ápice no dia 13. Nesse dia, a estação automática registrou temperatura máxima de 33,3° C e umidade relativa mínima igual a 16 %. A pressão média foi reduzida ao menor valor dessa primeira quinzena (918,0 hPa) e o vento apresentou rajadas continentais (quadrantes oeste e noroeste) no período da tarde.

O dia 15 é marcado pela chegada da frente e registro de chuva entre 15 e 16 horas (acumulado de 3,2 mm). Novas precipitações são observadas ao longo de quase todo o dia 16. Neste último, o acumulado total ficou em 37,6 mm e a temperatura máxima não passou de 21,9° C. A umidade relativa variou entre 96% e 70%.

## CASO II: SETEMBRO DE 2008

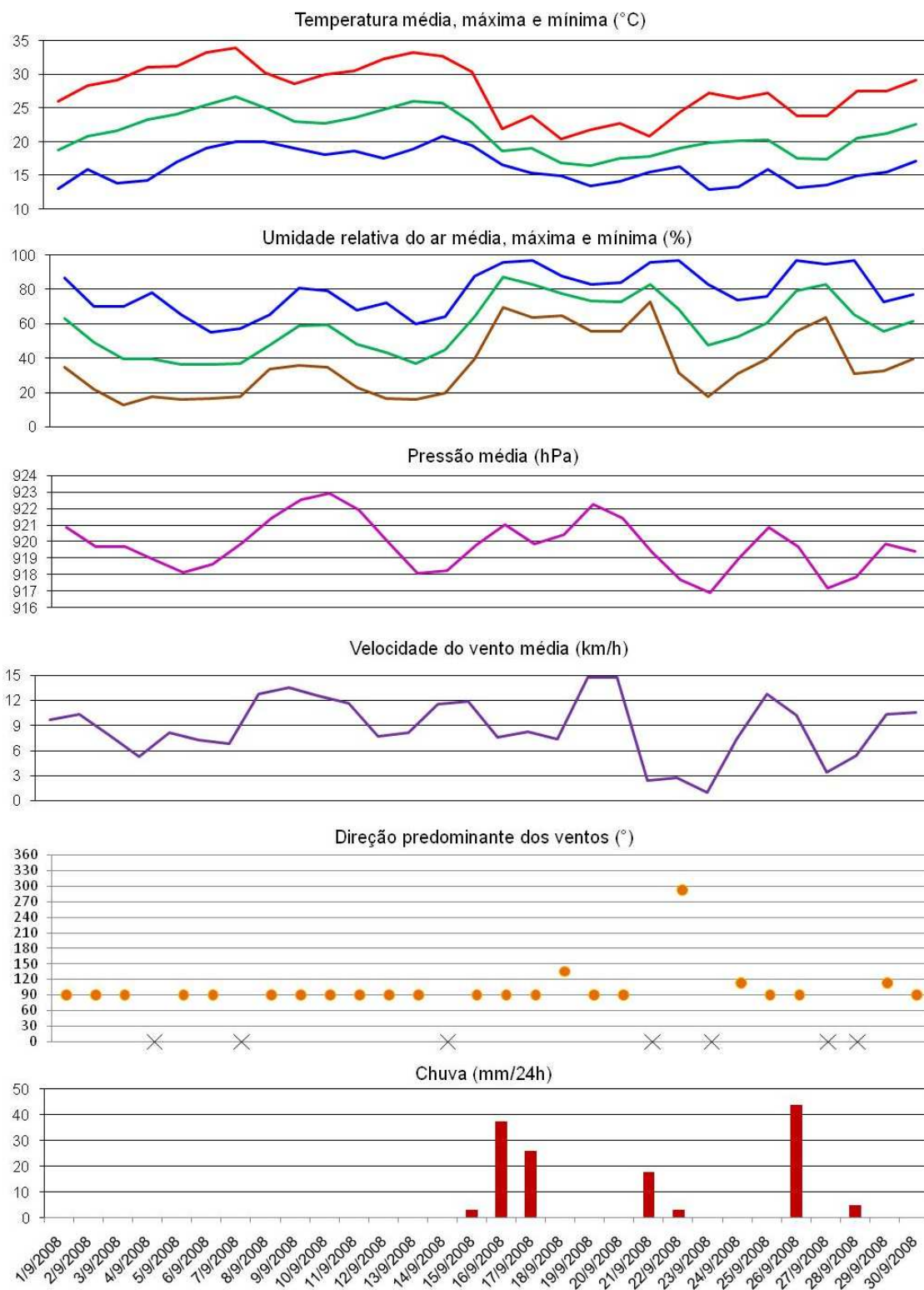


FIGURA 14 – Análise Rítmica –  
Belo Horizonte – Setembro de 2008  
Fonte dos dados: 5° DISME/INMET

No dia seguinte (17), mais chuvas atingiram a cidade, inclusive uma com ocorrência de granizo. Esse evento acumulou 24 mm entre as 15 e 17 horas e provocou muitos danos aos moradores de Belo Horizonte, Contagem e Betim. Rajadas de vento com velocidade superior a 45 km/h foram registradas pela estação automática.

As imagens de satélite do horário do fenômeno (FIG. 15.a-b) mostram nuvens convectivas de alto desenvolvimento vertical (topo com temperatura de até  $-50^{\circ}\text{C}$ ) sobre a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH). Segundo o CPTEC (2008), a convergência de umidade, estimulada pela frente fria, associada à forte condição de instabilidade e à presença de ar frio em níveis médios foram os principais fatores responsáveis pela formação e precipitação de granizo. A temperatura máxima nesse dia, registrada pouco antes do início da chuva, foi de  $23,8^{\circ}\text{C}$ , valor não muito elevado, ideal para que o gelo precipitado desde a alta troposfera não derretesse ou sublimasse até chegar à superfície.

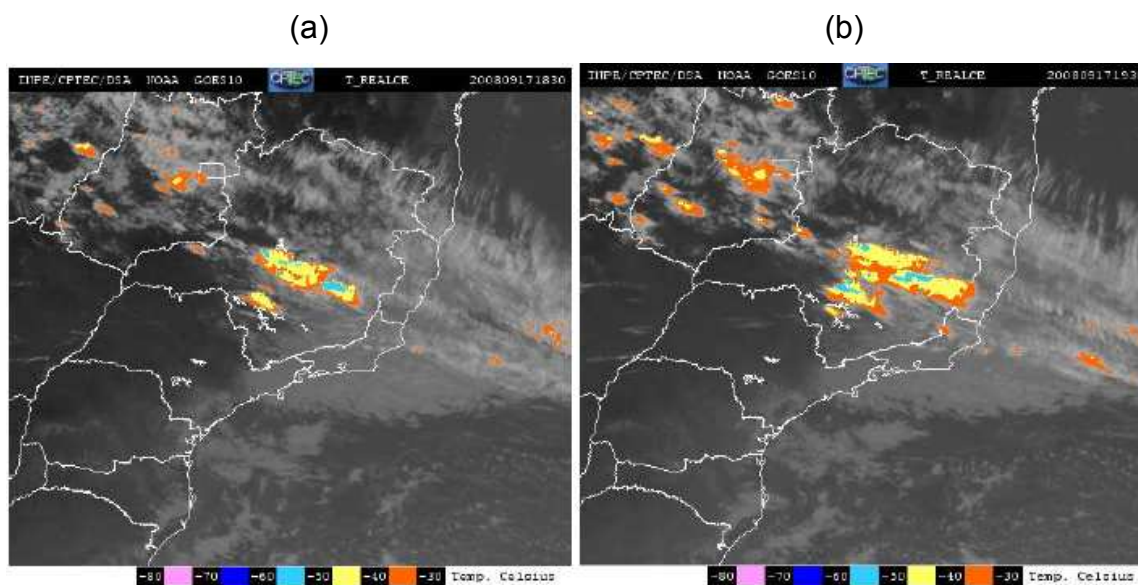


FIGURA 15 – Imagens de satélite do Sudeste do Brasil em 17/09/2008:  
(a) 18:30 TMG e (b) 19:30 TMG.

Fonte: CPTEC/INPE - Disponível em: <http://satelite.cptec.inpe.br>. Acesso em: 18 out. 2008.

Os dias 18, 19 e 20 foram marcados pela influência pós-frontal do APM sobre a cidade. No dia 18 o vento predominou de sudeste e no seguinte (19) a pressão média foi de 922,2 hPa. Devido sua trajetória marítima, o sistema foi capaz de espalhar bastante umidade e nebulosidade continente adentro. Essa influência foi observada em Belo Horizonte, visto que as temperaturas máximas ficaram baixas nesse período:  $20,4^{\circ}\text{C}$  (dia 18),  $21,8^{\circ}\text{C}$  (19) e  $22,8^{\circ}\text{C}$  (20). A

umidade relativa mínima, embora tenha reduzido em relação aos dias chuvosos anteriores, se manteve em padrões confortáveis (igual e acima de 56%). Essa situação se opõe àquelas observadas quando da atuação da Alta Subtropical.

No dia 21, o APM se afasta da região e uma nova frente fria se organiza provocando mais chuva. O acumulado registrado ficou em 20,8 mm entre os dias 21 e 22. Em virtude da grande quantidade de nuvens sobre a cidade, no dia 21 a temperatura máxima fica baixa (20,8° C) e a umidade mínima elevada (73 %).

Nos dias 23 e 24 ocorre uma nova situação pré-frontal, com predominância de ventos continentais, queda da pressão, maior aquecimento diurno e redução da umidade relativa mínima (18 % e 31 %, respectivamente). A perda radiativa noturna, propiciada pela diminuição da umidade, foi responsável por baixas temperaturas mínimas nesses dias (13° C e 13,4° C, respectivamente). A nova frente alcança a cidade no dia 25 e até o dia 28 provoca um significativo acumulado de precipitação (total de 49 mm). Nos dias 29 e 30 a Alta Subtropical volta a influenciar a capital mineira, elevando a pressão e a temperatura e reduzindo a umidade.

## V. Considerações Finais

Este trabalho se propôs a elucidar as relações entre a ação de sistemas de alta pressão atmosférica e o comportamento da umidade relativa do ar em Belo Horizonte. As condições climáticas da área estudada são amplamente influenciadas pelo Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul e eventualmente por altas migratórias de origem polar.

As análises climatológicas, anuais, interanuais, sazonais e mensais realizadas indicaram que, em Belo Horizonte, a redução da umidade relativa do ar está intimamente relacionada à elevação da pressão. O estudo de estiagens mostrou que longos períodos sem chuva e de baixa umidade estão correlacionados à permanência prolongada e persistente de sistemas de alta pressão sobre a região. Dado o caráter transiente das altas polares e sua rápida tropicalização em latitudes baixas, é altamente provável que tais episódios de seca resultem da atuação do ASAS. Para a estação chuvosa, a análise sugeriu que a eventual influência da Alta Subtropical sobre Minas Gerais nessa estação tem relação direta com a ocorrência de curtas estiagens (veranicos) e elevação da temperatura.

Os testes de regressão linear aplicados nas análises interanuais apontaram tendências quanto ao comportamento das variáveis estudadas. No período 1986-2005, enquanto a umidade relativa sofreu notável redução, a pressão atmosférica aumentou. Esses sinais se mostraram ainda mais fortes na estação seca (abril a setembro), conforme observado por meio das análises sazonais.

As variáveis precipitação e temperatura sofreram sensíveis elevações no período, mas as tendências foram diferentes entre as estações. Se, por um lado, na estação seca a precipitação reduziu e a temperatura aumentou; por outro, na chuvosa (outubro a março) a precipitação aumentou e a temperatura não sofreu alteração.

Esses resultados permitem enumerar alguns pressupostos, a saber: 1°) a distribuição já normalmente sazonal das chuvas em Belo Horizonte tem se intensificado, isto é, o volume de precipitação anual está cada vez mais concentrado na estação chuvosa; 2°) a veracidade da suposição anterior pode estar relacionada à constatada elevação da pressão, ao fortalecimento do padrão atmosférico da estação seca e mesmo à sua antecipação – para março – e/ou

manutenção – em outubro, como indicaram algumas análises mensais; 3°) em virtude da maior persistência de altas pressões na estação seca, dias ensolarados têm se tornado mais freqüentes, fato que pode ser responsável pela elevação da temperatura (sobretudo as máximas) e conseqüente redução da umidade relativa (mínimas) nessa época; 4°) na estação chuvosa, a elevação da temperatura pode ter sido anulada diante de um provável aumento da nebulosidade e pelo já apurado crescimento do volume de chuva.

Acredita-se que essas e outras hipóteses poderão ser esclarecidas em trabalhos futuros sobre a participação da Alta Subtropical na dinâmica atmosférica do Brasil Central. A escassez de estudos dessa natureza e de pesquisas que investiguem a climatologia e a variabilidade anual e interanual do ASAS e sua relação com a umidade fazem deste trabalho apenas um tímido avanço para o aprofundamento do tema. Como sugestões às pesquisas a porvir, propõem-se:

- 1ª) Utilização de séries de dados mais longas.
- 2ª) Expansão da metodologia deste estudo para outras cidades de Minas Gerais, do Sudeste e Centro-Oeste do país e para a superfície oceânica (Atlântico Sul).
- 3ª) Criação de uma metodologia capaz de distinguir nas séries de dados a influência do ASAS da dos APM.
- 4ª) Realização de análises para além do nível de superfície, isto é, média e alta troposfera, inclusive a respeito da influência do cavado do Nordeste sobre o comportamento da umidade relativa e da precipitação na região.
- 5ª) Substituição das médias simples por médias móveis como meio de suavizar as séries, diluir a influência de valores extremos e obter modelagens e tendências mais nítidas. Tal procedimento poderia ter sido adotado no estudo das estiagens, por exemplo.
- 6ª) Aprofundamento do conhecimento sobre a relação entre a duração de estiagens em Minas Gerais e a ocorrência do fenômeno ENOS no Pacífico.

Finalmente, os estudos de caso ilustraram as faces mais dramáticas da redução da umidade relativa sob a influência da Alta Subtropical em Belo Horizonte. Em ambos os casos (julho e setembro de 2008), foram registrados dias

seguidos com umidade relativa mínima em torno de 20%. No caso de setembro, em especial, a baixa umidade foi acompanhada por temperaturas máximas elevadas, acima da média mensal, situação que certamente causou desconforto a população belo-horizontina.

## Referências Bibliográficas

ABREU, M. L. Climatologia da estação chuvosa de Minas Gerais: de Nimer (1977) à Zona de Convergência do Atlântico Sul. *Revista Geonomos*, Belo Horizonte, v. 6, n. 2, p. 17-22, dez. 1998.

ABREU, M. L.; CUPOLLILO, F. O El Niño e o clima em Minas Gerais - Parte I. In: III SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 1998, Salvador. *Anais...* Salvador: Universidade Federal da Bahia, 1998.

ASSIS, W. L. *Análise do campo térmico e hídrico em Belo Horizonte*. UFMG, Belo Horizonte, 2001. 153 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Departamento de Geografia, 2001.

AYOADE, J. O. *Introdução à climatologia para os trópicos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1983. 332 p.

BARBIERI, P. R. B. *Caracterização da estação chuvosa nas regiões Sul e Sudeste do Brasil associado com a circulação atmosférica*. 2005. 116 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005.

BARBOSA, H. A. *Análise espaço temporal de índice de vegetação AVHRR/NOAA e precipitação na região nordeste do Brasil em 1982-85*. 1999. 164 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1999.

BASTOS, C.; FERREIRA, N. Análise Climatológica da Alta Subtropical do Atlântico Sul. In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2000. *Anais...* Rio de Janeiro, p. 612-619, 2000.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E REFORMA AGRÁRIA. SECRETARIA NACIONAL DE IRRIGAÇÃO. DEPARTAMENTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. *Normais climatológicas (1961-1990)*. Brasília: [s.n.], 1992. 84 p.

CASARIN, D. P. *Um estudo observacional sobre os sistemas de bloqueio no hemisfério sul*. São José dos Campos: INPE, 1983. 69 p.

CAVALCANTI, I. F. A.; NOBRE, C. A.; GAN, M. A.; NOBRE, P.; KAYANO, M. T.; RAO, V. B.; BONATTI, J. P.; SATYAMURTY, P.; UVO, C. B.; COHEN, J.; SILVA, J. F.; MARSCHAL, C.; MOURA, A. D.. Aspectos da Climatologia Dinâmica do Brasil. *Climanálise*, São José dos Campos, v. -, p. 1-125. 1986.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. *Análise de eventos extremos: chuva de granizo em Minas Gerais – setembro de 2008*. Disponível em: <[http://www.cptec.inpe.br/~noticias/upload/Granizo\\_BH.pdf](http://www.cptec.inpe.br/~noticias/upload/Granizo_BH.pdf)> Acesso em: 27 nov. 2008.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. Imagens de satélite e cartas sinóticas. Disponível em: <<http://satelite.cptec.inpe.br>> Acesso em: 18 out. 2008.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. *Síntese sinótica mensal de julho de 2008*. Disponível em: <[http://www.cptec.inpe.br/~noticias/upload/Sintese\\_0708.pdf](http://www.cptec.inpe.br/~noticias/upload/Sintese_0708.pdf)> Acesso em: 27 nov. 2008.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. *Síntese sinótica mensal de setembro de 2008*. Disponível em: <[http://www.cptec.inpe.br/~noticias/upload/Sintese\\_Setembro.pdf](http://www.cptec.inpe.br/~noticias/upload/Sintese_Setembro.pdf)>. Acesso em: 27 nov. 2008.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. *El Niño e La Niña*. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/>> Acesso em: 5 abr. 2009.

CEPAGRI/UNICAMP. Recomendações à população durante a ocorrência de baixa umidade. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/artigos-especiais/umidade-do-ar-saude-no-inverno.html>> Acesso em: 06 mar. 2008.

CRITCHFIELD, H.J. *General climatology*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1983. 447 p.

CUPOLILLO, F. *Períodos de estiagem durante a estação chuvosa no estado de Minas Gerais: espacialização e aspectos dinâmicos relacionados*. 1997. 148 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

CUPOLILLO, F. *Diagnóstico hidroclimatológico da Bacia do Rio Doce*. 2008. 153 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Departamento de Geografia, 2008.

DUCHIADE, M. P. Poluição do ar e doenças respiratórias: uma revisão. *Caderno de Saúde Pública*. Rio de Janeiro, 8 (3), p. 311-330, jul./set. 1992.

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*, São Paulo, v. 01, n. 1, p. 15-28, 2005.

FERREIRA, E. A.; MELO, M. L.; ALMEIDA, J. M. V.; BEZERRA, W. A.; REINKE, C. K.; SEABRA, M. S. Estudo de Caso: Configuração da atmosfera na ocorrência de baixo índice de umidade relativa do ar no Centro-Oeste do Brasil. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2006. *Anais...* Florianópolis: XIV CBMet, 2006.

GALVANI, E.; AZEVEDO, T. R. A frente polar atlântica e as características de tempo associadas: estudo de caso. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA

FÍSICA E APLICADA, 10-2003, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: UERJ, 2003. 8 p.

GRIMM, A. M. *Meteorologia Básica de Alice Grimm*. Notas de aula. Disponível em: <<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/>> Acesso em: 10 fev. 2008.

HASTENRATH, S. *Climate and circulation of the tropics*. New York Atmospheric Sciences Library, 1985. 455 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Mapa Brasil Climas, 1978, com adaptações*. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 17 mar. 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Recursos naturais e meio ambiente: uma visão do Brasil. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE/Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1997. 208 p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA: Mapas de Umidade Relativa do Ar, Normais Climatológicas 1961-1990. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 29 ago. 2007.

ITO, E. R. K.; AMBRIZZI, T. Climatologia da posição da alta subtropical do atlântico sul para os meses de inverno. In: XI CONGRESSO LATINOAMERICANO E IBERICO DE METEOROLOGIA, 2000, Rio de Janeiro. *A Meteorologia Brasileira além do ano 2000*. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2000. p. 860-865.

KALNAY *et al.*. *The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project*, Bull. Amer. Meteor. Soc., 77, 437-470, 1996.

LUCAS, T. P. B.; ABREU, M. L. Caracterização climática dos padrões de ventos associados a eventos extremos de precipitação em Belo Horizonte - MG. *Cadernos de Geografia*, Belo Horizonte, v. 14, n. 23, p. 135-152, 2004.

LUCAS, T. P. B. *Chuvas persistentes e ação da Zona de Convergência do Atlântico Sul na Região Metropolitana de Belo Horizonte*. 2007. 158 p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Minas Gerais, IGC, Belo Horizonte, MG. 2007.

MAIA, L. F. P. G. *Alguns aspectos dinâmico-climatológicos em Minas Gerais*. 1986. 164 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1986.

MENDES, D. *Regimes de circulação no Atlântico Sul e sua relação com a localização e intensidade de sistemas activos e com o balanço de vapor na região*. 2006. 115 p. Tese de Doutorado em Física (Meteorologia). Universidade de Lisboa, 2006.

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

MINUZZI, R. B.; SEDIYAMA, G.C.; BARBOSA, E. da M.; MELO JÚNIOR, J. C. F. de; CATALUNHA, M. J. Estudo climático do comportamento do período chuvoso no estado de Minas Gerais. *Revista Ceres*, v. 53, p. 266-275, 2006.

MOLION, L. C. B. Climatologia Dinâmica da região Amazônica: mecanismos de precipitação. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 2(1): p. 107-117, 1987.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O.; OLIVEIRA, C. P. Variabilidade da Circulação da Grande Escala Sobre o Atlântico Subtropical. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2004, Fortaleza. *Anais...* Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2004.

MONTEIRO, C. A. *A frente polar atlântica e as chuvas de inverno na fachada suloriental do Brasil: contribuição metodológica a análise rítmica dos tipos de tempo no Brasil*. São Paulo: USP, 1969. 68 p.

MONTEIRO, C. A. Análise rítmica em climatologia: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho. *Climatologia*. São Paulo, Instituto de Geografia da USP n. 1, 1971, 21 p.

MONTEIRO, M. A. *Avaliação das Condições Atmosféricas no Entorno do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda para Controle da Qualidade do Ar*. 1997. 85 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

MONTEIRO, M. A. *Dinâmica atmosférica e a caracterização dos tipos de tempo na Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá*. 2007. 227 p. Tese (Doutorado em Geografia: utilização e conservação de recursos naturais) - Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

MOREIRA, A. A. M. *A influência da circulação de marco-escala sobre o clima de Belo Horizonte – Estudo sobre as possíveis influências do Fenômeno El Niño sobre o clima local*. 1999. 189 p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Minas Gerais, IGC, Belo Horizonte, MG. 1999.

MOREIRA, J. L. B. *Estudo da distribuição espacial das chuvas em Belo Horizonte e em seu entorno*. 2002. 109 p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Minas Gerais, IGC, Belo Horizonte, MG. 2002.

MUSK, L. *Weather Systems*. Cambridge University Press, 1988.

NIMER, E. *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 1979.

OLIVEIRA, L.L.; VIANELLO, R.L.; FERREIRA, N.J. *Meteorologia fundamental*. Erechim: EdiFAPES, 2001. 432 p.

PACHECO, N. A.; BASTOS, T. X. Umidade relativa do ar no município de Capitão Poço, Estado do Pará. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2004. 21 p.

(Documentos [do] Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Oriental; n. 189).

PADILHA REINKE, C. K.; SATYAMURTY, P. Um Caso de Estagnação de Ar Quente e Seco sobre a Região Central do Brasil. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2004, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza, 2004.

PEREIRA, S. G. Relatório dos estudos feitos em Belo Horizonte pelo engenheiro civil Samuel Gomes Pereira. In: REIS, Aarão (Org.). *Comissão d'Estudo das Localidades indicadas para a nova Capital: Relatório apresentado a S. Ex. o Sr. Dr. Affonso Penna; janeiro a maio de 1893*. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, 1893. 33 p.

PRETOR-PINNEY, G. *Guia do observador de nuvens*. Rio de Janeiro: Intrínseca. 2008. 320 p.

QUADRO, M. F. L.; MACHADO, L. H. R.; CALBETE, S.; BATISTA, N. N. M.; OLIVEIRA, G. S. Climatologia de Precipitação e Temperatura no período de 1986 a 1996. In: CLIMANÁLISE ESPECIAL. *Edição Comemorativa de 10 anos - MCT/INPE/CPTEC*, 1996, Cachoeira Paulista, v. 1. Disponível em: <[www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/index1.shtml](http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/index1.shtml)>. Acesso em: 13 mar. 2008.

RODRIGUES, M. L. G.; FRANCO, D.; SUGAHARA, S. Climatologia de Frentes Frias no Litoral de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Geofísica*, Brasil, v. 22, n. 2, p. 135-151, 2004.

SALDANHA, C. T.; BOTELHO, C.. Associações entre variáveis ambientais e asma em crianças menores de cinco anos atendidas em hospital público. *Revista Brasileira de Alergia e Imunopatologia*, v. 31, p. 50-55, 2008.

SANT'ANNA NETO, J. L. *Ritmo Climático e a Gênese das Chuvas na Zona Costeira Paulista*. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

SETTE, D. M. Os climas do cerrado do Centro-Oeste. *Revista Brasileira de Climatologia*, São Paulo, v. 01, n. 1, p. 29-42, 2005.

TARIFA, J. R. *Fluxos polares e as chuvas de primavera: verão no Estado de São Paulo*. 1975. 93 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências Humanas e Filosofia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1975.

TELLES FILHO, P. d'A. Asma Brônquica/Epidemiologia. Disponível em: <<http://www.asma-bronquica.com.br/medical/epidemiologia.html>> Acesso em: 2 dez. 2008.

TRIOLA, Mario F. *Introdução a estatística*. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1999.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. *Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras*. São Paulo: Nobel, 1992. 374 p.

VAREJÃO-SILVA, M. A. *Meteorologia e Climatologia*. Recife: Versão Digital 2, 2006. 449 p.

VIANELLO, R. L.; MAIA, L. F. P. G, Estudo Preliminar da Climatologia Dinâmica do Estado de Minas Gerais. In: I CONGRESSO INTERAMERICANO DE METEOROLOGIA, 1986. Brasília. *Anais I*. p. 185-194.

ZANATO, V. T. A. *Biomonitoramento no município de São José dos Campos, utilizando tradescantia pallida - campanha 2007*. 50 p. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2008.