

**Universidade Federal de Minas Gerais**

**Departamento de Geografia**

**Rafael Rodrigues da Franca**

**ANTICICLONES E UMIDADE RELATIVA DO AR: UM  
ESTUDO SOBRE O CLIMA DE BELO HORIZONTE**

**Minas Gerais – Brasil**

**Junho – 2009**

**Rafael Rodrigues da Franca**

**ANTICICLONES E UMIDADE RELATIVA DO AR: UM  
ESTUDO SOBRE O CLIMA DE BELO HORIZONTE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de Concentração: Análise Ambiental.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Magda Luzimar de Abreu

**Belo Horizonte**

**Departamento de Geografia da UFMG**

**2009**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço à Deus por permitir a realização deste trabalho.

Aos familiares e amigos próximos pela permanente compreensão e palavras de conforto nos momentos de angústia e ansiedade. Em especial, agradeço à amiga Adriana Mariano, pela importante ajuda no momento da impressão dos exemplares finais da Dissertação.

À professora Magda Luzimar de Abreu pela paciência, rigor e orientação ao longo da pesquisa.

Aos professores Fulvio Cupolillo e Ricardo Alexandrino Garcia, membros da banca, pela participação e contribuições a esta Dissertação.

À Universidade Federal de Minas Gerais e ao Instituto de Geociências por toda estrutura oferecida para desenvolvimento do Mestrado.

Ao 5º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia pela disponibilização, por meio do convênio D05/081/2008 de 06/11/2008, dos dados meteorológicos empregados nesse estudo.

Aos demais centros de pesquisa e órgãos governamentais pela disponibilização de imagens de satélite, cartas sinóticas e mapas.

Ao Governo Federal, por meio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa concedida como mérito de meu desempenho no Exame Nacional de Desempenho dos Estudantes (ENADE 2005), o que estimulou a realização do Mestrado.

## SUMÁRIO

<b>I. INTRODUÇÃO</b> .....	15
1.1 Justificativa.....	16
1.2 Objetivos .....	18
<b>II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	19
2.1 Circulação geral da atmosfera.....	19
2.1.1 Circulação meridional.....	20
2.1.2 Circulação zonal - Walker .....	22
2.2 Sistemas atmosféricos .....	23
2.2.1 Massas de ar.....	23
2.2.2 Anticiclones .....	24
2.2.2.1 Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul.....	25
2.2.2.2 Anticiclones Polares Migratórios.....	32
2.2.3 Frentes frias .....	34
2.3 Umidade atmosférica.....	38
2.4 Caracterização climática da área de estudo.....	43
<b>III. METODOLOGIA</b> .....	48
3.1 Definição de estações para análises sazonais.....	49
3.2 Análises de variabilidade interanual – sazonal e mensal .....	50
3.3 Análises de estiagens.....	51
3.4 Análises rítmicas .....	53
3.4.1 Ventos: direção predominante e velocidade .....	54
<b>IV. RESULTADOS</b> .....	55
4.1 Climatologia e variabilidade anual.....	55
4.2 Variabilidade interanual. ....	57
4.2.1 Testes de correlação.....	60
4.3 Análises sazonais.....	64
4.3.1 Testes de correlação.....	70
4.4 Análises mensais.....	72

	5
4.5 Análises de estiagens.....	82
4.6 Análises Rítmicas.....	89
4.6.1 Caso I: julho de 2008 .....	89
4.6.2 Caso II: setembro de 2008.....	97
<b>V. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>101</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>104</b>

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- FIGURA 1** – Células de circulação geral, ventos globais predominantes e centros de alta (A) e baixa (B) pressão atmosférica..... 21
- MAPA 1 (A-F)** – Climatologia do ASAS em janeiro (a), fevereiro (b), março (c), abril (d), maio (e) e junho (f). Período 1968-1996 ..... 30
- MAPA 1 (G-L)** – Climatologia do ASAS em julho (g), agosto (h), setembro (i), outubro (j), novembro (k) e dezembro (l). Período 1968-1996 .. 31
- 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. .... 35
- FIGURA 3** – Imagem de satélite da América do Sul, destacando uma frente fria, o APM (azul) e o ASAS (vermelho). ..... 36
- GRÁFICO 1** – Climatologia mensal da umidade relativa do ar e pressão atmosférica em Belo Horizonte (a), Montes Claros (b) e Uberaba (c). .... 39
- 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 . 41
- QUADRO 1** – Procedimentos recomendados pela Defesa Civil e OMS durante a ocorrência de baixa umidade relativa do ar. .... 42
- 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) ..... 45
- GRÁFICO 2** – Climatologia mensal da umidade relativa e da precipitação em Belo Horizonte – Período 1961-1990 ..... 46
- QUADRO 2** – Atuação de anticiclones em Minas Gerais ..... 47
- MAPA 3** – Localização das estações do INMET em Belo Horizonte..... 48
- GRÁFICO 3** – Climatologia da Umidade Relativa do Ar (%) e da Precipitação (mm) – Belo Horizonte – Período 1986-2005 ..... 55
- GRÁFICO 4** – Climatologia da Umidade Relativa do Ar (%) e da Pressão Atmosférica (hPa) – Belo Horizonte – Período 1986-2005..... 56
- GRÁFICO 5** – Climatologia da Temperatura Média Compensada (°C) – Belo Horizonte – Período 1986-2005 ..... 56

<b>GRÁFICO 6</b> – Variabilidade interanual da Umidade Relativa do Ar – Belo Horizonte – Período 1986-2005 .....	57
<b>GRÁFICO 7</b> – Variabilidade interanual da Precipitação – Belo Horizonte – Período 1986-2005.....	58
<b>GRÁFICO 8</b> – Variabilidade interanual da Pressão Atmosférica – Belo Horizonte – Período 1986-2005 .....	58
<b>GRÁFICO 9</b> – Variabilidade interanual da Temperatura Compensada – Média Anual – Período 1986-2005.....	59
<b>GRÁFICO 10</b> – Umidade Relativa do Ar e Pressão Atmosférica – Belo Horizonte – Período 1986-2005 .....	60
<b>GRÁFICO 11</b> – Precipitação e Pressão Atmosférica – Belo Horizonte – Período 1986-2005 .....	61
<b>GRÁFICO 12</b> – Umidade Relativa do Ar e Precipitação – Belo Horizonte – Período 1986-2005.....	61
<b>GRÁFICO 13</b> – Precipitação e Temperatura – Belo Horizonte – Período 1986-2005 .....	62
<b>GRÁFICO 14</b> – Umidade Relativa do Ar e Temperatura – Belo Horizonte – Período 1986-2005.....	63
<b>GRÁFICO 15</b> – Pressão Atmosférica e Temperatura – Belo Horizonte – Período 1986-2005.....	63
<b>GRÁFICO 16</b> – Anomalia de pressão na estação seca – Belo Horizonte - Período 1986-2005.....	65
<b>GRÁFICO 17</b> – Anomalia de pressão na estação chuvosa – Belo Horizonte - Período 1986-2005.....	65
<b>GRÁFICO 18</b> – Anomalia de umidade relativa na estação seca – Belo Horizonte - Período 1986-2005 .....	66
<b>GRÁFICO 19</b> – Anomalia de umidade relativa na estação chuvosa – Belo Horizonte - Período 1986-2005 .....	67
<b>GRÁFICO 20</b> – Anomalia de precipitação na estação seca – Belo Horizonte - Período 1986-2005.....	67
<b>GRÁFICO 21</b> – Anomalia de precipitação na estação chuvosa – Belo Horizonte - Período 1986-2005.....	68
<b>GRÁFICO 22</b> – Anomalia de temperatura compensada na estação seca – Belo Horizonte - Período 1986-2005 .....	69

<b>GRÁFICO 23</b> – Anomalia de temperatura compensada na estação chuvosa – Belo Horizonte - Período 1986-2005 .....	69
<b>QUADRO 3</b> – Tendências anuais, sazonais e mensais para as variáveis estudadas.....	72
<b>FIGURA 4 A</b> – Anomalias de pressão atmosférica nos meses da estação seca – Belo Horizonte – Período 1986-2005 .....	74
<b>FIGURA 4 B</b> – Anomalias de pressão atmosférica nos meses da estação chuvosa – Belo Horizonte – Período 1986-2005.....	75
<b>FIGURA 5 A</b> – Anomalias de umidade relativa do ar nos meses da estação seca – Belo Horizonte – Período 1986-2005.....	76
<b>FIGURA 5 B</b> – Anomalias de umidade relativa do ar nos meses da estação chuvosa – Belo Horizonte – Período 1986-2005.....	77
<b>FIGURA 6 A</b> – Anomalias de precipitação nos meses da estação seca – Belo Horizonte – Período 1986-2005 .....	78
<b>FIGURA 6 B</b> – Anomalias de precipitação nos meses da estação chuvosa – Belo Horizonte – Período 1986-2005 .....	79
<b>FIGURA 7 A</b> – Anomalias de temperatura nos meses da estação seca – Belo Horizonte – Período 1986-2005 .....	80
<b>FIGURA 7 B</b> – Anomalias de temperatura nos meses da estação chuvosa – Belo Horizonte – Período 1986-2005 .....	81
<b>GRÁFICO 24</b> – Anomalias da maior estiagem do ano (Est1) – duração em dias – Belo Horizonte – Período 1986-2005 .....	83
<b>GRÁFICO 25</b> – Anomalias da quarta maior estiagem do ano – duração em dias – Belo Horizonte – Período 1986-2005 .....	84
<b>GRÁFICO 26</b> – Quatro maiores estiagens do ano – somatório em dias – Belo Horizonte – Período 1986-2005 .....	85
<b>FIGURA 8</b> – Sugestão de fluxograma para relações entre as variáveis estudadas na estação seca. ....	86
<b>GRÁFICO 27</b> – Est1 e umidade (a), precipitação (b), pressão (c) e temperatura (d) na estação seca – Belo Horizonte – Período 1986-2005.....	87
<b>GRÁFICO 28</b> – Est4 e umidade (a), precipitação (b), pressão (c) e temperatura (d) na estação chuvosa - Belo Horizonte – Período 1986-2005	88
<b>FIGURA 9</b> – Análise Rítmica – Belo Horizonte – Julho de 2008 .....	90

<b>FIGURA 10</b> – Carta sinótica (a) e imagem de satélite (b) da América do Sul em 08/07/2008 (0:00 TMG) .....	91
<b>FIGURA 11</b> – Carta sinótica (a) e imagem de satélite (b) da América do Sul em 09/07/2008 (0:00 TMG) .....	92
<b>FIGURA 12</b> – Carta sinótica (a) e imagem de satélite (b) da América do Sul em 10/07/2008 (0:00 TMG) .....	93
<b>FIGURA 13</b> – Carta sinótica (a) e imagem de satélite (b) da América do Sul em 12/07/2008 (0:00 TMG) .....	94
<b>MAPA 4</b> – Anomalia de pressão ao nível médio do mar – 1 a 20/07/2008 .....	95
<b>FIGURA 14</b> – Análise Rítmica – Belo Horizonte – Setembro de 2008 .....	98
<b>FIGURA 15</b> – Imagens de satélite do Sudeste do Brasil em 17/09/2008: (a) 18:30 TMG e (b) 19:30 TMG. ....	99

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1</b> – Climatologia da precipitação em Belo Horizonte – Período 1986-2005 .....	50
<b>TABELA 2</b> – Direção do vento por intervalo de ângulo.....	54
<b>TABELA 3</b> – Anos com maiores desvios em relação à média.....	58
<b>TABELA 4</b> – Resultados das correlações sazonais e anual .....	70
<b>TABELA 5</b> – Quatro maiores estiagens do ano (duração em dias) – Período 1986-2005 – Belo Horizonte.....	82
<b>TABELA 6</b> – Eventos do fenômeno ENOS e anos em que a Est1 pode ter sido afetada .....	83
<b>TABELA 7</b> – Resultados dos testes de correlação de Est1 e Est4 com as demais variáveis.....	85

## LISTA DE ABREVIATURAS

°C – Temperatura em graus Celsius

5°DISME/INMET – Quinto Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia

APM – Anticiclone Polar Migratório

ASAS – Anticiclone ou Alta Subtropical do Atlântico Sul

ASPS – Anticiclone ou Alta Subtropical do Pacífico Sul

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

E – Leste

Est – Estiagem

Est1 – Maior estiagem do ano (em dias)

Est4 – Quarta maior estiagem do ano (em dias)

FPA – Frente Polar Atlântica

hPa – Hecto-Pascal

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

KJ/m<sup>2</sup> – quilojoules por metro quadrado

km/h – quilômetros por hora (velocidade do vento)

LI – Linhas de Instabilidade

m/s – metros por segundo (velocidade do vento)

mm – milímetros de chuva

mEc – Massa Equatorial Continental

mPa – Massa Polar Atlântica

mPp – Massa Polar Pacífica

mTa – Massa Tropical Atlântica

N – Norte

NCEP – National Centers for Environmental Prediction

NE – Nordeste

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration

NW – Noroeste

OMM – Organização Meteorológica Mundial

OMS – Organização Mundial de Saúde

Prec – Precipitação

Pss – Pressão atmosférica

“r” – coeficiente de correlação linear

“r<sup>2</sup>” – coeficiente de determinação

RMBH – Região Metropolitana de Belo Horizonte

S – Sul

SE – Sudeste

SPSS – Statistical Package for Social Sciences

SW – Sudoeste

T – Temperatura

TMG – Tempo Médio de Greenwich

UR – Umidade Relativa do Ar

UTM – Universal Transversa de Mercator

W – Oeste

## RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo climatológico sobre o comportamento da umidade relativa do ar, pressão atmosférica, precipitação e temperatura do ar em Belo Horizonte, para o período 1986-2005. Foram calculadas médias climatológicas, anuais, sazonais e mensais e aplicados testes de correlação para identificar relações entre as variáveis. Análises de variabilidade interanual, acompanhadas por testes de regressão linear, indicaram tendências no comportamento das variáveis ao longo do período. Os valores de pressão permitiram observar a atuação de anticiclones (sistemas de alta pressão atmosférica) sobre a região. Esses sistemas se caracterizam por apresentar forte subsidência atmosférica, condição pouco favorável a ocorrência de chuva e que reduz a umidade relativa do ar. A cidade de Belo Horizonte, a exemplo de quase todo o Brasil, está sujeita aos efeitos da atuação do Anticiclone ou Alta Subtropical do Atlântico Sul - ASAS. Esse sistema semi-permanente tem seu centro localizado sobre o oceano entre a América do Sul e o continente africano e atua com mais intensidade e persistência sobre o país durante a estação seca. Além do ASAS, o centro-sul brasileiro é periodicamente invadido por Anticiclones Polares Migratórios (APM). Esses últimos geralmente determinam queda de temperatura e umidade por onde passam, exceto quando apresentam trajetória oceânica e mantêm a umidade em patamares adequados. O trabalho documentou, por meio de Análises Rítmicas (MONTEIRO, 1969, 1971), a atuação dos dois sistemas em Belo Horizonte em eventos ocorridos no ano de 2008. Por fim, a partir dos dados de precipitação, foi calculada a duração climatológica (em dias) da maior estiagem do ano, seu comportamento interanual e sua relação com as demais variáveis estudadas. Os resultados mostraram que em Belo Horizonte há correlação inversa ( $r=-0,6$ ) entre umidade relativa e pressão e que, no período analisado, enquanto a primeira reduziu, a segunda aumentou. Essas tendências foram ainda mais nítidas considerando apenas a estação seca. A duração da maior estiagem anual, por sua vez, apresentou correlação direta com a pressão ( $r=+0,4$ ) e inversa com a precipitação ( $r=-0,6$ ) e a umidade ( $r=-0,6$ ) nessa estação. Os dados aqui utilizados provêm das estações convencional e automática do 5° Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia.

**Palavras-chave:** clima, anticiclones, umidade relativa do ar, estiagens, Belo Horizonte

## ABSTRACT

This work presents a climatological study on the behavior of relative humidity, atmospheric pressure, precipitation and air temperature in Belo Horizonte, Brazil, during for the period 1986-2005. Annual, seasonal, monthly and climatological averages were calculated and correlation tests applied in an attempt to obtain the relations among variables. Analysis of interannual variability together with linear regression tests indicates trends in the behavior of variables over time. The pressure analysis shows the performance of anticyclones (high-pressure air) on the region. These systems are characterized by strong atmospheric subsidence which inhibits rainfall and reduces the relative humidity. Belo Horizonte, as most of Brazil, is subjected to the effects of the Southern Atlantic Subtropical High. This semi-permanent high has its center located over the Southern Atlantic Ocean and acts over the country more intensively and persistently during the dry season. The central and southern Brazil is also influenced by the migratory Polar Anticyclones which causes temperature and humidity decrease, except when moving over the ocean while keeping the humidity in adequate conditions. This study documented, using rhythmic analysis (MONTEIRO, 1969, 1971), the performance of both systems in Belo Horizonte on events in the year 2008. Finally, based on the rainfall data, climatological duration (in days) of the longest drought of the year was determined, its interannual behavior as well as the relations among variables. The results shows that Belo Horizonte presents a inverse correlation ( $r=-0,6$ ) between relative humidity and pressure, and that for the period examined, while the first decreased, the second increased. These trends were even more remarkable when only the dry season was taken into consideration. The yearly longest drought has shown a direct correlation to the pressure ( $r=+0.4$ ) while inverse to the rainfall ( $r=-0,6$ ) and relative humidity ( $r=-0.6$ ) for the dry season. The data is provided by the conventional and an automatic weather station from the 5th Meteorological District of the National Institute of Meteorology.

**Keywords:** climate, anticyclones, relative humidity, droughts, Belo Horizonte