

VI-029 - AVALIAÇÃO DA VARIAÇÃO DO CLIMA DE BELO HORIZONTE/MG POR MEIO DA ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DE SÉRIES TEMPORAIS DE PARÂMETROS CLIMÁTICOS

Cicero Antonio Antunes Catapreta⁽¹⁾

Eng. Civil (PUCMG), Mestre e Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (UFMG), Engenheiro Sanitarista da Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte, MG, Brasil..

Eduarda Bastos Velloso Corrêa

Graduanda em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e estagiária da Fundação Cristiano Ottoni/Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte, MG, Brasil.

Lorena Soares⁽³⁾

Graduanda em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e estagiária da Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte, MG, Brasil..

Luana Cristal Moreira Vieira de Castro⁽⁴⁾

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) e estagiária da Fundação Cristiano Ottoni/Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte, MG, Brasil.

Natália Izabel Macedo de Almeida Nunes⁽⁵⁾

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) e estagiária da Fundação Cristiano Ottoni/Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte, MG, Brasil.

Endereço⁽¹⁾: Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte – SLU/BH. Departamento de Tratamento e Disposição Final de Resíduos. Rodovia BR 040 – Km 531 – Jardim Filadélfia - Belo Horizonte – MG. Brasil - Tel: (31) 3277-9808 – e-mail: catapret@pbh.gov.br.

RESUMO

Os recentes estudos em relação ao aquecimento global vêm desenvolvendo conhecimentos no assunto e aumentando nossa concepção dos impactos deste fenômeno. Ainda assim, as emissões antropogênicas de gases de efeito estufa estão cada vez mais altas que tem causado impactos irreversíveis. Diversas situações ligadas ao aquecimento global vêm sendo notadas como: o aumento do nível e acidificação dos oceanos, alterações de precipitação, ocorrência de eventos extremos, diminuição da faixa costeira. Nos últimos anos ocorreram no Brasil alguns fenômenos meteorológicos nunca registrados tais quais furacões, tornados, além do aumento da intensidade de secas e enchentes. O efeito da elevação das temperaturas já é facilmente observado em várias cidades, como é o caso de Belo Horizonte. Anos atrás a cidade era considerada referência de clima por suas temperaturas amenas e agradáveis, porém no último ano apresentou as temperaturas mais altas desde 1961. Para o desenvolvimento do presente trabalho foram utilizados dados climatológicos dos anos de 1961 a 2015 registrados pela estação meteorológica localizada na região centro sul de Belo Horizonte. Em relação aos índices pluviométricos, notou-se uma oscilação em níveis mais elevados. Verificou-se também um aumento da temperatura mínima média em aproximadamente 2 °C ao longo dos 54 anos analisado. A temperatura máxima média também apresenta uma tendência de elevação de aproximadamente, 1,0 °C. Foram avaliados também os dados por estações do ano. A estação que apresentou uma variação mais significativa foi o outono, onde verificou-se uma elevação de cerca de 2,5 °C, nas temperaturas médias mínimas. De maneira geral, verifica-se que as temperaturas vêm se elevando gradualmente em Belo Horizonte nos últimos anos.

PALAVRAS-CHAVE: Mudanças Climáticas, parâmetros climatológicos, clima e análise estatística.

INTRODUÇÃO

A atuação do *Intergovernmental Panel on Climate Change*¹- IPCC, o grupo de trabalho criado no âmbito das Nações Unidas responsável pela evolução técnica e científica das questões relacionadas às alterações climáticas, inquestionavelmente, acelerou o desenvolvimento do conhecimento relativo ao tema. Ao mesmo tempo, identificou a dimensão de impactos prováveis sobre o planeta por meio de cenários projetados para um futuro próximo. Induziu dessa forma, a abertura de amplo espaço nas várias disciplinas ocupadas com o bem-estar das populações para as questões relacionadas à imprescindível adaptação dos agrupamentos humanos às novas condições ambientais esperadas (Nacaratti, 2008).

Nesse sentido, a influência humana no sistema climático é clara, além disso, as recentes emissões antropogênicas de gases de efeito estufa na atmosfera são as mais altas da história. Estas mudanças climáticas recentes estão resultando em sérios impactos no meio ambiente (IPCC, 2014).

Ainda segundo o IPCC, o aumento das emissões está fortemente ligado à necessidade de desenvolvimento e aumento populacional e vem ocorrendo desde a era industrial. Os efeitos do aumento das emissões juntamente a outros fatores vêm sendo detectados em todo o sistema climático e podem ser a causa dominante do aquecimento global desde meados do século 20.

Mudanças vêm sendo observadas há muitos anos em todo o mundo. De 1900 a 2005 a precipitação aumentou significativamente em partes orientais do Norte e Sul, Europa do Norte, norte e centro da Ásia, mas diminuiu no Mediterrâneo, sul da África e partes do sul da Ásia (IPCC, 2014). Além disso, também se nota que, as calotas polares vêm diminuindo sua massa, implicando no aumento do nível dos oceanos.

O aumento do CO₂ atmosférico, além de contribuir diretamente para o aumento das temperaturas (efeito estufa), implica ainda em sua absorção pelo oceano, cuja incorporação altera o pH no ambiente marinho, provocando a acidificação dos oceanos (Sabine *et al* 2004).

O Brasil também é vulnerável às mudanças climáticas atuais, e mais ainda, às que se projetam para o futuro, especialmente quanto aos extremos climáticos. Nesse sentido, segundo Nacaratti (2008), no Brasil, tem-se observado o registro de fenômenos meteorológicos em áreas onde não haviam sido observadas ocorrências anteriores. Episódios como o furacão Catarina no Estado de Santa Catarina em 2004, um tornado em Indaiatuba, interior de São Paulo em 2005, assim como, o aumento da intensidade das secas na Região Sul e na Amazônia e das enchentes no Sudeste, sem dúvida despertam a atenção de todos pela possibilidade intrínseca de prejuízos materiais e riscos à vida trazidos por tais fenômenos.

Segundo Marengo *et al* (2007), a temperatura média do Brasil aumentou aproximadamente 0,75 °C até o final do Século XX (considerando a média anual 1961-90 de 24,9 °C, e sendo o ano mais quente no Brasil o ano de 1998 (aumento de até 0,95 °C em relação à normal climatológica de 24,9 °C).

Em diversas cidades brasileiras, o efeito da elevação das temperaturas já pôde ser observado, como o caso de Belo Horizonte/MG, que sempre foi considerada uma cidade referência de clima, por este se apresentar ameno em quase todas as épocas do ano. Contudo, em 2015, Belo Horizonte registrou as mais altas temperaturas desde o ano de 1961.

OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo analisar a evolução temporal e variabilidade dos parâmetros climatológicos (precipitação e temperatura) para o período de 1961 a 2015, no município de Belo Horizonte/MG, buscando proporcionar uma visão de possíveis causadores das mudanças climáticas sobre o ambiente urbano desse município, assim como contribuir para ampliação do entendimento da questão.

¹ Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima.

METODOLOGIA

ÁREA DE ESTUDO

Localizada na Região Sudeste do Brasil, Belo Horizonte, capital do Estado de Minas Gerais, é a sexta cidade mais populosa do país, possuindo uma população estimada de aproximadamente 2,45 milhões de habitantes. Está inserida em uma Região Metropolitana, formada por 34 municípios, cuja população é estimada em 5,4 milhões, sendo a terceira maior aglomeração populacional brasileira, sétima da América Latina e 62º do mundo.

O aumento populacional observado nas últimas décadas resultou no processo de expansão urbana que levou à conurbação de Belo Horizonte com os municípios de Contagem, Betim e Sabará, e outros, formando a RMBH – Região Metropolitana de Belo Horizonte.

O município é delimitado pelas latitudes 19° 46' 35'' e 20° 03' 34'' Sul e pelas longitudes 43° 51' 47'' e 44° 03' 47'' Oeste, e possui altitudes variando de 750 a 1.390 metros, assim como possui uma área de aproximadamente 330 km². Na Figura 1, pode ser observada a localização geográfica do município de Belo Horizonte e suas regionais administrativas.



Figura 1 - Localização do Município de Belo Horizonte e Regionais Administrativas.

DADOS CLIMATOLÓGICOS

Para o presente trabalho foram utilizadas séries históricas climáticas diárias de temperaturas, precipitação e umidade relativa do ar, uma vez que essas variáveis climatológicas são comumente utilizadas para análise de mudanças climáticas locais (Henn *et al*, 2008). O período avaliado foi o compreendido entre os anos 1961 e 2015 (54 anos), registrados na estação meteorológica do 5º Distrito de Meteorologia (Estação 83587), que se localiza na região centro sul de Belo Horizonte e é operada pelo INMET - Instituto Nacional de Meteorologia.

ANÁLISE DOS DADOS

Para as temperaturas foi possível obter as médias mensais (máxima e mínima) e máximas e mínimas absolutas diárias, o que permitiu uma análise simples do banco de dados considerado nesse estudo. De forma análoga, para a precipitação, foram calculados os totais mensais e anuais, o que permitiu avaliar a variação desse parâmetro ao longo do período de estudo. Os dados também foram agregados por estações do ano: Verão (21/12 - 20/3), Outono (21/3 - 20/6), Inverno (21/6 - 22/9) e Primavera (23/9 - 20/12), buscando avaliar as variações climáticas ao longo desses períodos.

Com base no banco de dados, foram feitas as análises estatísticas para as temperaturas, foram obtidos os desvios padrão e o coeficiente angular da equação de regressão linear. Foi avaliada a evolução temporal das temperaturas média e mínima média por meio de gráfico Box Plot.

RESULTADOS

Em relação às precipitações pluviométricas, como pode ser observado na Figura 2, de maneira geral, há uma tendência de elevação ao longo do período analisado. Porém, numericamente, em termos absolutos, nos últimos anos verificou-se uma redução significativa dessas precipitações.

A média anual de precipitação em Belo Horizonte é igual a 1.510 mm, sendo que a maior quantidade de precipitações que o município recebeu foi de 2.307 mm em 1993 e o maior desvio negativo de pluviosidade foi de 497 mm e 944 mm, em 1963 e 2014, respectivamente. Em números absolutos, considerando todo o período avaliado, a maior precipitação diária observada foi de 164,2 mm, em fevereiro de 1978. Nesse período de estudo, a quantidade anual mínima e máxima de dias úmidos foi de 54 (1963) e 148 (1983). Em relação à quantidade mínima, essa coincidiu com o menor índice anual pluviométrico observado que foi em 1963. Já à máxima, não foi coincidente com o ano de maiores precipitações, demonstrando que as precipitações, no ano de 1993, provavelmente, foram mais concentradas em menos dias.

Conforme pode ser observado os índices pluviométricos situaram-se em patamares inferiores à média descrita anteriormente, até o fim da década de 80, passando a oscilar em níveis mais elevados desde então. A partir desse período, nota-se uma maior ocorrência de precipitações acima da média histórica (1510 mm). No que se refere à variação da precipitação ao longo do ano, de acordo com os dados mensais analisados, constata-se que o pico mais alto das médias mensais ocorre em Janeiro e Fevereiro, e os menores índices em junho e julho.

Para análise da variação das temperaturas, foram considerados dados diários e valores médios mensais. Como pode ser observado na Figura 3, nota-se um aumento da temperatura média mínima em aproximadamente 2 °C no período de 54 anos. Esse aumento ocorreu de maneira mais significativa ao longo dos anos 80, sendo que no início desta década os registros indicam uma temperatura média mínima de 15,9 °C, em 1981 e, já no ano de 1989 a temperatura média mínima registrada foi de 17,6 °C. Ou seja, nota-se uma variação significativa, quando comparados os períodos de 1961-1990 e 1991-2015. Em números absolutos, considerando todo o período avaliado, para a temperatura média mínima observada, o maior valor foi de 25 °C em outubro de 1997, e o menor foi de 3,1 °C, em junho de 1979.

Em comparação com a temperatura mínima média, a temperatura máxima média também apresenta uma tendência de elevação, porém de maneira mais discreta, tendo sido observada uma elevação de, aproximadamente, 1,0 °C ao longo dos últimos 54 anos. O maior valor diário observado foi de 37,1 °C em dezembro de 1986.

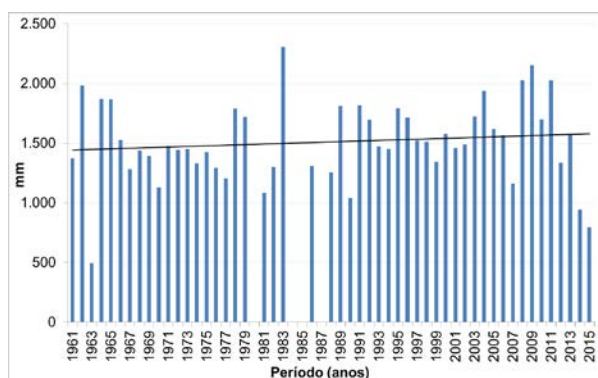


Figura 2 - Precipitação Anual Acumulada

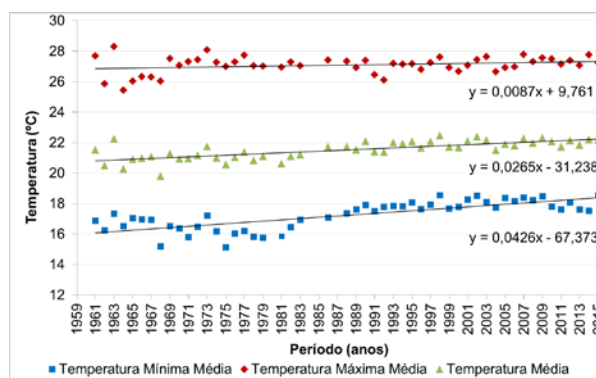


Figura 3 – Temperaturas Médias Anuais

Foram observados os seguintes desvios padrão para as temperaturas máxima média, mínima média e média respectivamente: $\sigma = 0,556$; $\sigma = 0,916$; $\sigma = 0,597$. Dessa forma é possível concluir que a temperatura mínima média apresenta maior dispersão em relação à média.

Verificou-se a tendência positiva para todas as temperaturas sendo que a maior inclinação da reta de regressão linear foi para a temperatura mínima média seguida da temperatura média, com os respectivos valores de coeficiente $a=0,038$ e $a=0,029$. Assim, foi elaborado um gráfico Box Plot de todas as temperaturas (Figura 4), bem como, dois gráficos separados das temperaturas com os maiores coeficientes “a”, referidos acima (Figuras 5 e 6). Para uma melhor análise estatística da evolução temporal, dos últimos gráficos, o período em estudo foi subdividido em décadas, totalizando seis períodos.

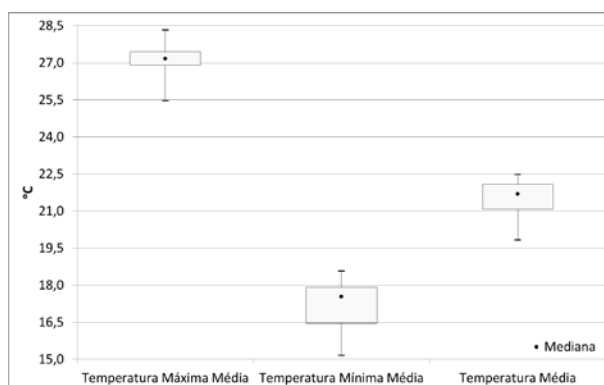


Figura 4 – Box-plots para as temperaturas Máxima Média, Média e Mínima Média

Tabela 1 – Dados estatísticos temperaturas máxima média, mínima média e média

Parâmetro	Temperatura Máxima Média	Temperatura Mínima Média	Temperatura Média
Desvio Padrão	0,556	0,916	0,597
Média	27,1	17,3	21,5
Mediana	27,2	17,5	21,7
Máximo	28,3	18,6	22,5
Mínimo	25,4	15,1	19,8
Q1	26,9	16,5	21,1
Q3	27,4	17,9	22,1

Como mencionado, anteriormente, nota-se uma maior dispersão na temperatura mínima média, de 1,5 °C, e assimetria negativa para as temperaturas média e mínima média, ou seja, a mediana se encontra mais próxima do terceiro quartil. Para estas mesmas temperaturas observa-se que 50% dos dados estão mais perto do limite superior, o que significa uma tendência de aumento da temperatura. Para a temperatura máxima média a variação dos dados é pequena, ou seja, 50% dos valores se encontram em uma faixa estreita, de 0,5 °C. Pode-se dizer também que sua distribuição é simétrica. Do limite inferior da temperatura mínima média ao limite superior da temperatura máxima média observa-se uma amplitude térmica de 13,2 °C. Devido à ausência de *outliers* conclui-se que não ocorreram eventos extremos no período em estudo.

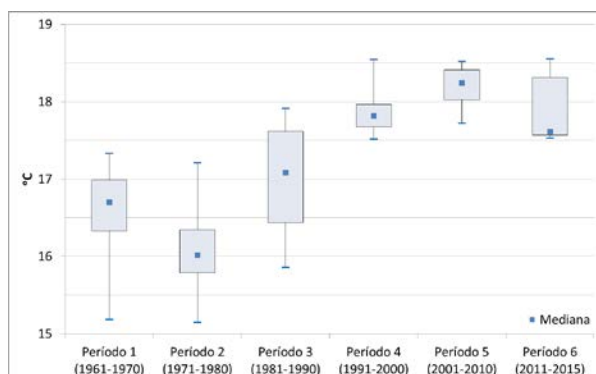


Figura 5 - Box-plots para a temperatura Mínima Média por décadas

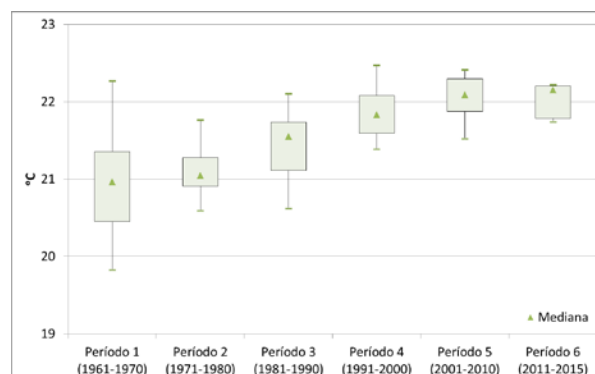


Figura 6– Box-plots para a temperatura Média por décadas

Tabela 2 – Dados estatísticos temperatura mínima média

Parâmetro	Período 1 (1961-1970)	Período 2 (1971-1980)	Período 3 (1981-1990)	Período 4 (1991-2000)	Período 5 (2001-2010)	Período 6 (2011-2015)
Desvio Padrão	0,362	0,321	0,497	0,082	0,071	0,191
Média	16,6	16,1	17,0	17,9	18,2	17,9
Mediana	16,7	16,0	17,1	17,8	18,2	17,6
Máximo	17,3	17,2	17,9	18,5	18,5	18,6
Mínimo	15,2	15,1	15,9	17,5	17,7	17,5
Q1	16,3	15,8	16,4	17,7	18,0	17,6
Q3	17,0	16,3	17,6	18,0	18,4	18,3

Tabela 3 – Dados estatísticos temperatura média

Parâmetro	Período 1 (1961-1970)	Período 2 (1971-1980)	Período 3 (1981-1990)	Período 4 (1991-2000)	Período 5 (2001-2010)	Período 6 (2011-2015)
Desvio Padrão	0,457	0,110	0,242	0,112	0,072	0,049
Média	21,0	21,1	21,4	21,8	22,1	22,0
Mediana	21,0	21,0	21,5	21,8	22,1	22,1
Máximo	22,3	21,8	22,1	22,5	22,4	22,2
Mínimo	19,8	20,6	20,6	21,4	21,5	21,7
Q1	20,4	20,9	21,1	21,6	21,9	21,8
Q3	21,4	21,3	21,7	22,1	22,3	22,2

Durante os anos em estudo observou-se uma variação positiva da temperatura mínima média, sendo que do quarto período em diante a dispersão dos dados foi consideravelmente menor. Destaca-se no sexto período uma assimetria positiva das temperaturas mínimas média, indicando a ocorrência de valores baixos com baixa frequência, enquanto nos outros períodos os dados mantêm uma distribuição praticamente simétrica. Na década de 70 (Período 2), houve uma diminuição da temperatura mínima. Isso pode ser comprovado ao analisar a distribuição das medianas, bem como, o limite inferior 50% dos valores encontra-se abaixo dos demais. O limite inferior aumentou significativamente, o que indica que ao longo dos anos a temperatura mínima está aumentando.

A variação da temperatura média no período em questão é positiva, mas em relação à mínima média é menor. Observa-se uma tendência de convergência dos dados ao longo dos períodos, ou seja, menor dispersão. Nos períodos 5 e 6, 50% dos dados estão mais próximos do limite superior, e no último período nota-se uma forte assimetria negativa, ocorrência de valores baixos com alta frequência.

Quando se avalia os dados por estações do ano (Figura 4), verifica-se, de maneira geral, que o verão é a estação mais quente do ano, apresentando os maiores valores médios sazonais. Fato interessante foi a ocorrência de elevadas temperaturas médias máximas mensais ao longo do inverno e temperatura relativamente baixas no outono.

Contudo, nota-se que todas as estações apresentaram tendência de elevação. A estação que apresentou uma variação mais significativa, foi o outono, como pode ser observado na Figura 4b, onde verificou-se uma elevação de cerca de 2,5 °C, nas temperaturas médias mínimas.

Observa-se também, que no outono e na primavera, as temperaturas máximas se tornaram, ligeiramente, mais amenas, observando uma variação de -0,25 °C ao longo do período estudado.

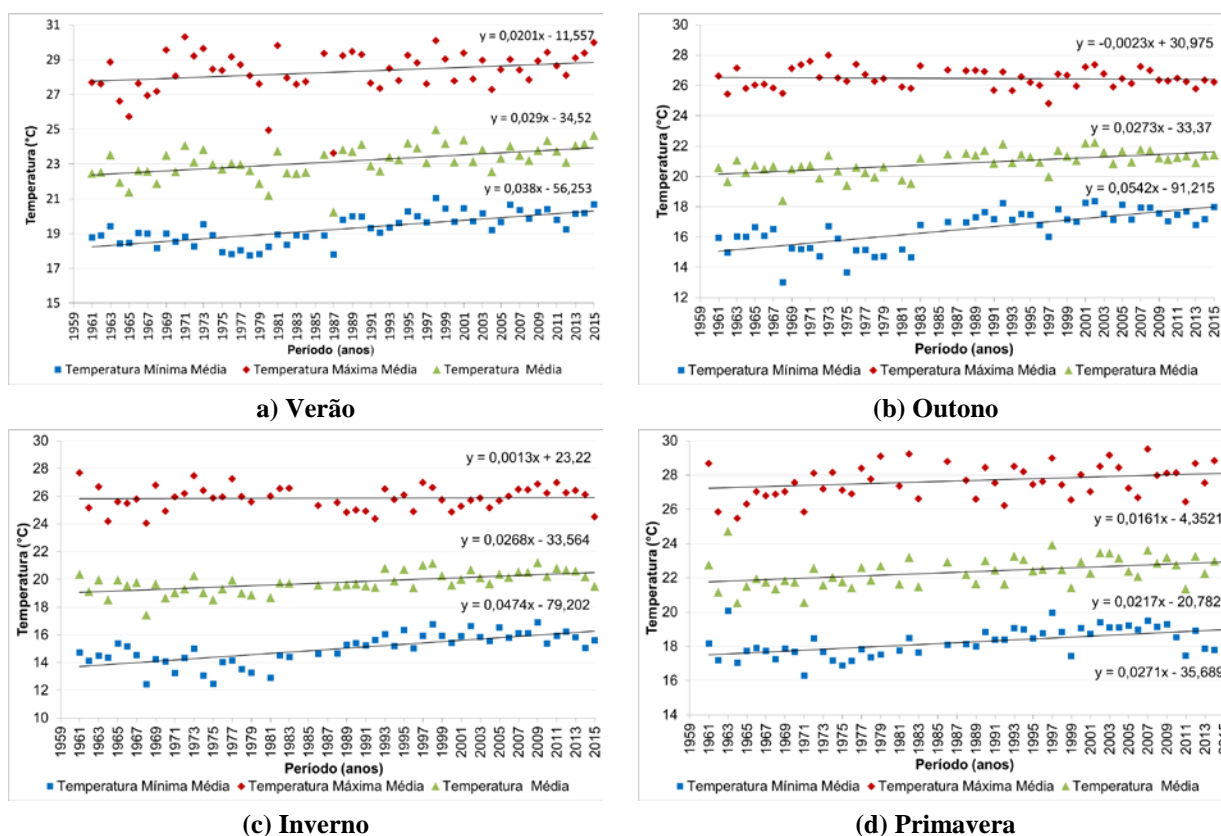


Figura 7 - Médias das Temperaturas por Estação do Ano

A umidade relativa do ar - UR do ar foi o parâmetro que apresentou a maior variação, quando se analisa a série histórica (Figura 8). Nota-se que, à exceção de alguns picos, a UR se situava em torno de 70% até fins dos anos 80. Após esse período, verifica-se uma queda significativa nos valores médios, que atualmente, estão em torno de 65%. Essa variação negativa pode estar relacionada à elevação da temperatura na área em estudo, como comentado anteriormente. O maior valor médio mensal observado ao longo da série histórica foi no ano de 1981, quando este apresentou índice de 85%, e o menor em 2014, sendo o valor médio mensal observado de 58,4%.

Em números absolutos, o menor valor diário observado foi de 22,25%, em 1994, e o maior de 99,75%, em setembro de 2005. Em relação à normal média do período avaliado (Figura 9), esta apresenta o mesmo comportamento da precipitação, com o inverno (junho, julho e agosto) mais seco, em relação aos demais períodos do ano, onde também se observa um maior volume de precipitações pluviométricas.

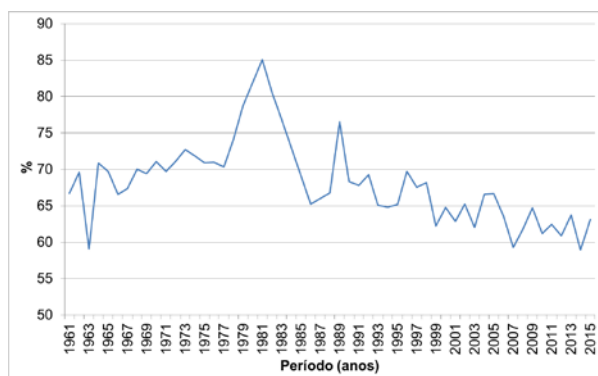


Figura 8 - Variação da Umidade Relativa do Ar – 1961-2015

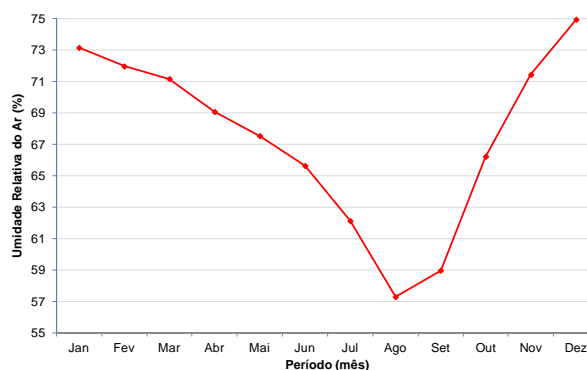


Figura 9 – Variação normal média da Umidade Relativa do Ar

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

De maneira geral, verifica-se que as temperaturas estão elevando gradualmente em Belo Horizonte nos últimos anos. A partir das análises dos dados verificou-se que esta aumentou ao longo da série temporal analisada, de 1961 a 2015, em cerca de 2 °C, nas temperaturas médias mínimas. Quando se analisa os dados por estações do ano, verificou-se uma elevação de cerca de 2,5 °C, nas temperaturas médias mínimas no outono. Tal aumento poderia ser explicado por diversos fatores, dentre eles, a urbanização e crescimento populacional e aumento da industrialização e da frota de veículos automotores. Recomenda-se um aprofundamento do presente estudo a partir de uma análise histórica da urbanização em Belo Horizonte, assim como, a emissão de GEE por veículos automotores e indústria.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Nacaratti, M. A. Os cenários de mudanças climáticas como novo condicionante para a gestão urbana: as perspectivas para a população da Cidade do Rio de Janeiro. In: Encontro Nacional de Estudos Populacionais, 16, 2008, Caxambu, MG. *Anais...*Belo Horizonte:ABEP, 2008;
2. Marengo, J. A. *et al.* Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais. Relatório 5, Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria de Biodiversidade e Florestas (SBF), Diretoria de Conservação da Biodiversidade (DCBio). Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade - Subprojeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília, 2007;
3. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp
4. Sabine, Christopher S. *et al.* The Oceanic Sink for Anthropogenic CO₂. Science, 305(5682), 2004, pp. 365-71.
5. Henn, A, Oliveira, J. L. R., Back, A. J. Avaliação de tendências de mudanças climáticas na região do médio Vale do Itajaí - SC. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 26, 2011, Porto Alegre, RS. *Anais...* Rio de Janeiro: ABES, 2011.