

Variações ou tendências climáticas: um estudo com as séries de temperatura do ar para a cidade de Juiz de Fora-MG

Variations or climate trends: a study with air temperature series for the city of Juiz de Fora-MG

*Cássia de Castro Martins Ferreira¹
Gabriel Martins Ferreira Batista²
Yan Carlos Gomes Vianna³*

RESUMO: O objetivo do trabalho foi usar a análise estatística para identificar tendências anuais da temperatura média máxima e mínima do ar, para a cidade de Juiz de Fora, usando a série histórica de 1972 a 2014 de temperatura máxima e mínima do ar, da estação meteorológica da cidade. Foram aplicados a análise de regressão simples e o teste não paramétrico de Mann-Kendall. Os resultados indicam tendência significativa no aumento da temperatura máxima anual e nos meses de abril, setembro e dezembro, mas não houve tendência a aumento linear da temperatura mínima anual ou mensal.

ABSTRACT: This paper aimed to use statistical analysis to identify annual trends of average maximum and minimum air temperature for the city of Juiz de Fora, Minas Gerais, Brazil. The historical series from 1972 to 2014 for maximum and minimum air temperature, from the weather station of the city were used. Simple regression analysis and non-parametric Mann-Kendall were used. The results indicated a significant trend in increasing annual temperature Maximum in April, September and December, but there was no tendency to linear increase in annual or monthly Minimum temperature.

PALAVRAS-CHAVE: Variabilidade temporal. Tendência climática. Clima urbano.
KEYWORDS: Temporal variability. Climate trend. Urban climate.

I. INTRODUÇÃO

Na segunda metade do século XX, o Brasil vivenciou uma rápida transfor-

1 Professora da Universidade Federal de Juiz de Fora. E-mail: cassia.castro@ufjf.edu.br

2 Discente na Universidade Federal de Juiz de Fora. E-mail: gabriel.martins@ice.ufjf.br

3 Geógrafo da Universidade Federal de Juiz de Fora. E-mail: yan.vianna@uff.edu.br

mação, tendo passado de um país predominantemente rural e agrícola para urbano e metropolitano, marcado, desta forma, pela maior concentração da população nas cidades, assim distribuída: 21,1% da população total mora em municípios acima de um milhão de habitantes; 45,2%, em municípios entre 100.000 e 1.000.000 mil habitantes; e 33,7%, em municípios com até 100 mil habitantes. E a população que hoje vive nas cidades compreende 84% do total (IBGE, 2010).

A velocidade como ocorreu este processo não foi harmoniosa, pois são inúmeros os desafios e problemas sociais, econômicos e ambientais que as cidades brasileiras enfrentam. Cabe ressaltar que, principalmente a população mais pobre, mesmo sendo predominante no crescimento urbano, não foi e continua não sendo contemplada na expansão urbana, contribuindo para os inúmeros problemas sociais e ambientais presentes nas cidades brasileiras. As questões urbanas, portanto, estão relacionadas à desigualdade social presente na sociedade brasileira e à “incapacidade de prever, aceitar e planejar de forma antecipada o crescimento urbano maciço e inevitável” (MARTINE e MCGRANAHAN, 2010. p.12).

O processo de urbanização brasileiro culminou em problemas sociais e ambientais, que estão interligados e se devem à carência de uma atitude proativa e realista no que tange ao crescimento urbano e à omissão do poder público em relação aos problemas que afligem a população de baixa renda, mesmo sendo ela a grande maioria nas cidades brasileiras. O crescimento urbano acelerado, a ausência de uma orientação espacial e de um manejo ambiental adequado aumentam a degradação dos recursos naturais de terra. A ausência de serviços básicos nas áreas urbanas contribui para problemas de saúde ambiental, particularmente aqueles ligados à água, ao ar e ao saneamento (MARTINE e MCGRANAHAN, 2010. p.19).

Destaca-se que o quadro verificado nas cidades brasileiras hoje é derivado da falta de previsão e orientação da expansão espacial da cidade, o que leva a uma crescente depredação do capital ambiental, acentuando os desastres naturais, resvalando na qualidade de vida da população urbana.

A qualidade das cidades é um elemento fundamental para melhorar as condições de vida da população como um todo e principalmente aquela parcela da população que tem menores condições sociais, econômicas e ambientais. Este crescimento desordenado se reflete nas condições precárias de habitação, com moradias em áreas de risco, falta de saneamento, altos índices de impermeabilização do solo, representando baixo índice de áreas verdes, água escassa ou contaminada, disposição inadequada do lixo e resíduos tóxicos, problemas de mobilidade, gerando grandes congestionamentos de veículos automotores e, conseqüentemen-

te, maior poluição do ar. Estes problemas não são apenas característicos de cidades grandes, mas cada vez mais frequentes em cidades médias e começam a ser enfrentados também pelas cidades pequenas.

As relações homem/meio andam extremamente predatórias e degradadoras e, neste campo, o ar atmosférico vem sendo uma vítima constante desta relação, trazendo de imediato, influências no comportamento do tempo atmosférico, tais como os já bastante estudados e salientados pelos cientistas e divulgados pela própria mídia: efeito estufa, ilhas de calor, chuva ácida, aumento ou diminuição das chuvas etc.

Segundo Monteiro (1976, p.10), o homem, por suas decisões, é um agente modificador do ambiente, que, em termos climatológicos, reagindo e inventando, cria novas unidades taxonômicas menores, transforma as médias e influencia as superiores.

O clima nos sistemas urbanos, ou o clima urbano, vem sendo modificado e transformado, devido a uma maior e mais representativa ação humana sobre a atmosfera como um todo. Como as transformações no ambiente urbano são mais aceleradas, o clima, nestes ambientes, também vem sofrendo intensas mudanças, que, por vezes, ultrapassam a esfera microclimática, atingindo um nível mesoclimático. Logo, paralelamente ao crescimento urbano, vemos, como consequência, desvio dos ventos, aumento da umidade, aumento da temperatura, maior sombreamento em cidades muito verticalizadas etc.

A urbanização promove alterações no meio, provocando alterações na atmosfera urbana. Oke (1978) destaca mudanças no comportamento dos elementos do clima, em um estudo realizado numa cidade localizada em latitude média, com um milhão de habitantes, mas mesmo com essas variações, é possível identificar as modificações produzidas pelas cidades, como aumento na turbulência do ar e diminuição da velocidade do vento, menor recepção direta da radiação ultra-violeta e maior da radiação infravermelha, maior fluxo de calor convectivo, menor evaporação, grande quantidade de calor estocado, conseqüente aumento da temperatura do ar, menor albedo e maior emissividade.

As modificações dos elementos climáticos estão associadas ao quadro de “derivações” do sistema natural. A materialidade física da cidade – sua forma e estruturação no espaço, as características do uso do solo e dos materiais construtivos – e as atividades dela decorrentes promovem um novo balanço energético, térmico e hídrico, e, por consequência, condições propícias para o surgimento de um clima eminentemente urbano. Este fenômeno se concretiza pelo fato de as cidades (médias e grandes) se comportarem como um centro produtor de calor.

Quando a cidade mostra ocorrência de um clima urbano, a esta ocorrência estão associados fenômenos como ilha de calor, inversão térmica e efeito estufa. Estes fenômenos serão mais ou menos pronunciados

ou potencializados em função da capacidade de o ambiente urbano gerar calor, dispersar poluentes, que estão associados à configuração de seu sítio urbano e dos sistemas de ocupação mais verticalizados e/ou horizontais e à maior concentração de equipamentos urbanos.

Poderíamos destacar ilha de calor como uma consequência direta da cidade como fonte de calor, pois esta ilha resulta de contrastes térmicos desenvolvidos entre bairros com maior ou menor densidade de construção ou entre a cidade e o campo. São várias as causas que afetam o balanço de energia em áreas urbanas, entre elas evidenciaremos aquelas que são mais expressivas na unidade de estudo, como a produção de energia antrópica, por meio da emissão de variadas atividades humanas (na circulação de veículos, no uso de ar-condicionado e nos processos industriais); a redução da evapotranspiração, pela remoção de boa parte da cobertura vegetal e consequente impermeabilização das superfícies urbanas, propiciando que o uso do fluxo de calor latente, que seria utilizado no processo de evapotranspiração, seja utilizado como calor sensível para aquecer o ar intraurbano; a criação de uma rugosidade artificial com a presença da verticalização, provocando alterações na circulação de ventos, sombreamento e umidade; as propriedades térmicas dos materiais de construção utilizados, que retardam a reemissão da radiação em ondas longas, ocasionando uma atmosfera intraurbana aquecida por um tempo maior no período noturno, provocando alteração no balanço de energia; o efeito da poluição do ar; o adensamento populacional; os fatores geoecológicos (sítio, posição e morfologia); as condições sinóticas da atmosfera; e a geometria das superfícies urbanas.

A ilha de calor na cidade de Juiz de Fora já foi estudada e constatada por Martins (1996), já em 1996, quando fez o levantamento dos dados de temperatura do ar em diferentes regiões da cidade, destacando a ocorrência de ilhas de calor de forte intensidade na cidade, com uma variação térmica entre o centro e a periferia no período noturno de 4 0C. As ilhas de frescor também foram verificadas no período da tarde, destacando-se a região centro, que está associada a um maior sombreamento provocado pela densa concentração de construções verticalizadas, gerando corredores de vento em algumas ruas e em outras, uma total ausência deles, associados a um total sombreamento, no qual atua apenas a radiação difusa.

A constatação da existência de ilhas de calor na cidade nos remete à hipótese de que o processo de urbanização levou a uma mudança, ao longo do tempo, da temperatura do ar registrada na cidade, tendo este trabalho sido desenvolvido em função desta hipótese.

Com o intuito de verificar as possíveis alterações na temperatura do ar na cidade de Juiz de Fora – MG, o presente trabalho analisou a linha de tendência da temperatura mínima, máxima e média do ar, ao longo de uma série histórica, compreendida entre 1972 a 2014.

2. O PROCESSO DE URBANIZAÇÃO NA CIDADE: ALGUMAS EVIDÊNCIAS

A urbanização na cidade de Juiz de Fora não fugiu à regra do processo de urbanização no Brasil, isto é, foi bastante rápida e sem planejamento. A cidade foi fundada em 1856 e teve um rápido crescimento em função da industrialização, favorecendo a vinda de vários migrantes para a cidade, o que ocorreu até 1912. Posteriormente, a cidade presenciou uma diminuição no seu crescimento, tanto na industrialização quanto no crescimento demográfico, e entre 1912 e 1950, Juiz de Fora cresceu apenas 40%, enquanto a taxa de urbanização no Brasil alcançou 110%. A intensa urbanização brasileira ocorreu principalmente a partir de 1960. Segundo Cymbalista (s. d., citado por CARVALHO, 2005), “a imensa e rápida urbanização pela qual passou a sociedade brasileira foi certamente uma das principais questões sociais do país no século XX – enquanto em 1960 a população urbana representava 44,7% da população total, dez anos depois, essa relação se invertera, com números quase idênticos”. O Gráfico 1 mostra o crescimento da população urbana entre 1853 a 2015 na cidade de Juiz de Fora-MG.

Essa desaceleração econômica e demográfica pela qual a cidade passou, entre os anos 1960 e 1970, segundo Carvalho (2005, p.98), levou a um espaço urbano bastante diferenciado, quando comparado às demais cidades médias brasileiras. Algumas características singulares a Juiz de Fora são expostas por Carvalho (2005, p. 98-99), ao destacar que:

Dentre as cidades com aproximadamente meio milhão de habitantes, é a única que nos dias de hoje ainda não tem shopping center. E, atualmente, seu centro urbano não para de se verticalizar e de se adensar. Soma-se a isso a predileção dos seus habitantes por morar no centro da cidade. Ali os imóveis ainda são os mais valorizados e seus moradores provêm de diversos segmentos socioeconômicos. Outro fator relevante que reforça esse processo de adensamento é a quantidade de galerias comerciais que, vigorosamente, proliferaram a partir da década de 1950. Hoje em dia, são mais de cinquenta exemplares que, se metricamente somados, têm linearmente dimensão equivalente às vias públicas do centro (ABDALLA, 2000). Ou seja, há um outro espaço que permeia a malha central e serve de passagem entre ruas. Os usos são os mais diversos: nelas há comércio, pequenas indústrias, supermercados, escritórios e também residências (CARVALHO, 2005, p.98-99).

Destacando que estas características foram apontadas em 2005, hoje a cidade conta com um shopping center e outro em construção, e começa a presenciar um movimento de descentralização, a população se deslocando do centro da cidade para bairros mais periféricos.

Destaca-se ainda que ao final dos anos 70 a cidade é incluída no projeto CPM (Centro de Porte Médio), financiado pelo Banco Interamericano (BIRD). Este projeto visava aos centros urbanos de porte médio, em função da posição geográfica, importância socioeconômica, população, função regional, objetivando criar uma rede urbana mais equilibrada (MENEZES, 2003).

A cidade recebeu verbas para investir em infraestrutura e serviços urbanos, geração de emprego e renda e na administração pública. "Até o final do projeto, em torno de 1984, a cidade efetivamente promoveu uma reurbanização da sua área central, redirecionou novas vias de acesso e reestruturou o sistema de transportes" (MENEZES, 2003, p. 6).

Gráfico 1- Evolução da população de Juiz de Fora

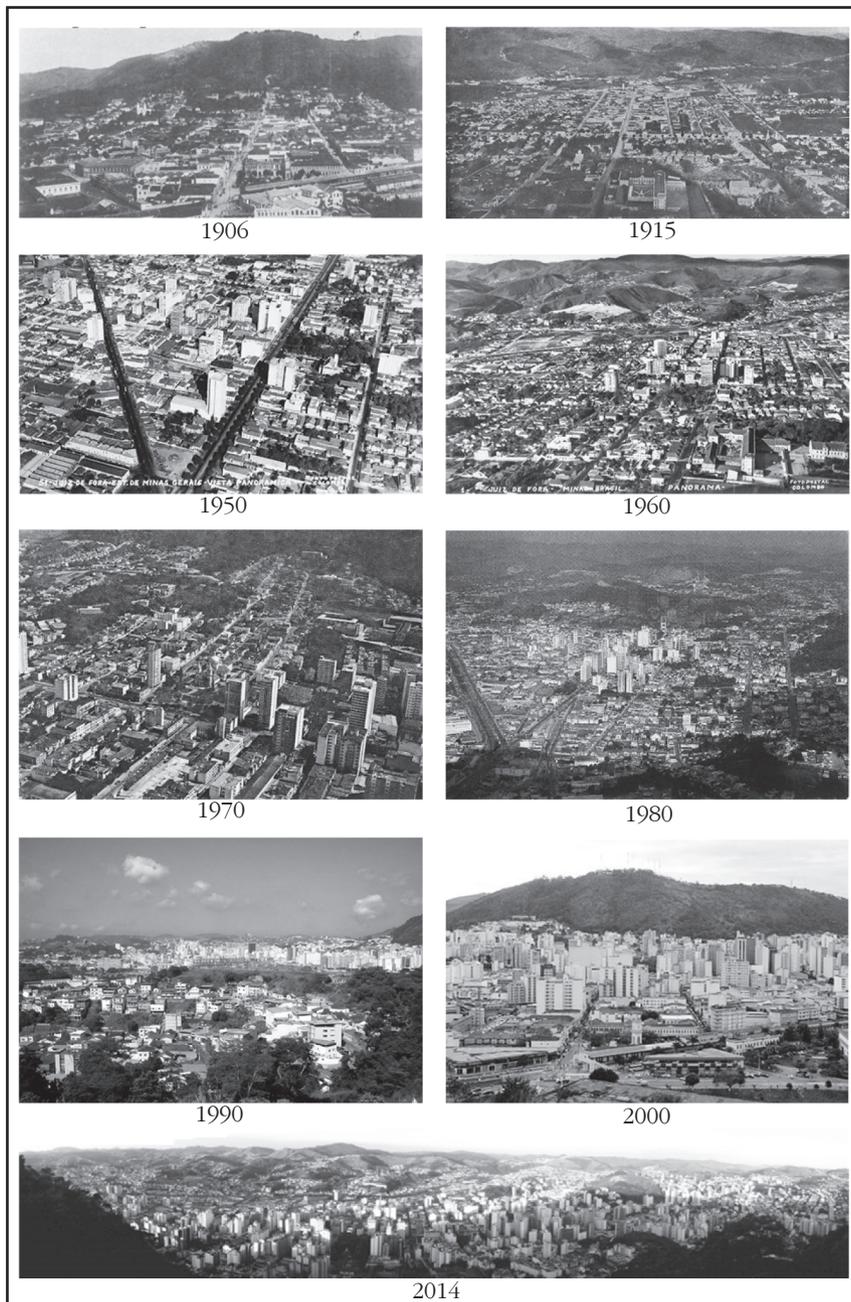


Fonte: IBGE, 2000; IBGE, 2010; BRAGA, 1894; CARVALHO, 2005 (População estimada, anos 1853, 1872, 1890, 1912,1996, 2002, 2005,2012 e 2015).

Neste aspecto, destacamos um extensivo asfaltamento das vias públicas, principalmente aquelas de maior fluxo de automóveis e da região central da cidade. Estas alterações na paisagem urbana podem ser observadas na sequência de fotos panorâmicas, retratando a área central da cidade entre a década de 1970 e 2010 (Figura 1).

Estes elementos destacados mostram questões atreladas à geração e ao fluxo de calor na cidade, que pode ter sido influenciado pelo aumento, concentração das edificações e crescente impermeabilização do solo, principalmente pela substituição do calçamento de paralelepípedos por asfalto, além dos materiais de construção utilizados, que podem gerar maior inércia térmica e com alto albedo e baixa emissividade, como, por

Figura 1 – Vista parcial da área central de Juiz de Fora, entre 1906 a 2014



Fonte: Arquivo da PFJ; Arquivo pessoal; Resguardo, 2015.

pois, inicialmente, eram consideradas obstáculos, em função das altas declividades, alcançando 50%. Segundo Martins (1996, p.43), “a presença de grande número de encostas íngremes, que, em algumas áreas, tomam aspecto de formações de “mar de morro”, condicionou o surgimento ilhado da ocupação, não permitindo, ao observador, uma percepção de conjunto do sítio urbano, exceto na direção dos vales com terraços mais amplos, ou dos pontos estratégicos de algumas elevações”.

O sítio urbano da cidade de Juiz de Fora, seja pela diferença altimétrica, que em alguns pontos chega a 300m, ou pela forma e estrutura urbana, apresenta uma influência topoclimática significativa.

4. ANÁLISE DE TENDÊNCIA DA TEMPERATURA DO AR

Back (2001) analisou uma série de 74 anos de temperatura média do ar de Urussanga(S.C.), no intuito de identificar tendências anuais de temperatura, concluindo que houve tendência significativa de aumento da temperatura média anual e da temperatura do mês de janeiro. Alexander *et al.* (2006) analisaram dados globais de temperaturas extremas diariamente e identificaram que, em 70% das estações, ocorreu aumento da temperatura noturna. Vincent *et al.*(2005) também chegaram a estes resultados quando analisaram uma série de 40 anos (1960/2000). Sansigolo (2008) não detectou tendência climática significativa quando analisou uma série de dados de temperatura máxima e mínima do ar, precipitação e velocidade do vento para Piracicaba. Dufek e Ambrizzi (2006), após analisarem uma série de temperaturas máximas do ar, verificaram que o estado de São Paulo apresenta certa tendência para uma atmosfera mais quente, que pode estar ligada à diminuição no número de dias mais frios, principalmente na porção norte e central do estado. Enfatizam ainda que o crescimento urbano e as mudanças no uso do solo podem estar influenciando estes dados, merecendo uma análise mais detalhada. Blain *et al.* (2009), utilizando técnicas estatísticas, indicam aumento da temperatura mínima no estado de São Paulo. Blain (2010) trabalhou com a temperatura máxima, tendo verificado que não houve concomitância/significância na variabilidade temporal nas localidades analisadas. Rodrigues *et al.* (2010) avaliaram os efeitos locais e de larga escala na dinâmica climática do município de Viçosa-MG, concluindo que o processo de expansão e urbanização não têm potencial suficiente para alterar os padrões climáticos, mesmo tendo apresentado uma leve tendência quando analisada a temperatura mínima do ar. Sousa *et al.* (2011) analisaram a influência da urbanização no clima da cidade de Campina Grande-PB, no período de 1963 a 2004, tendo concluído que a temperatura média do ar apresentou tendência crescente.

Para avaliar e verificar possíveis mudanças na distribuição e frequência da temperatura do ar, temperatura mínima do ar e temperatura máxima do ar, foi feito um levantamento dos dados do Laboratório de

Climatologia e Análise ambiental da UFJF, que organiza e sistematiza os dados provenientes da estação Meteorológica Principal de Juiz de Fora, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET n083692, localizada no Campus da UFJF, entre 1972 e 2014.

O tratamento estatístico dado à série meteorológica foram o teste não paramétrico de Mann-Kendall (MK) e a análise de tendência simples. O teste MK também foi utilizado por Rodrigues *et al.* (2010), Back (2001), Blain (2010) e Blain *et al.* (2009) para análise de tendência de séries meteorológicas. O MK também é recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) para estudos de tendências em séries temporais de dados meteorológicos (SOUSA *et al.*, 2011). Este teste possibilita identificar tendências em séries meteorológicas. Segundo Goossens e Berger (1986), ele é adequado para identificar mudanças de ordem climática em séries meteorológicas, possibilitando identificar a localização aproximada do ponto inicial da mudança. Segundo Blain *et al.* (2009, p. 810), o teste MK foi proposto por Sneyers (1975), que “considera que, na hipótese de estabilidade de uma série temporal, a sucessão de valores ocorre de forma independente, e a distribuição de probabilidade deve permanecer sempre a mesma, caracterizando uma série aleatória simples”.

O teste de Mann-Kendall pode ser aplicado para uma tendência somente se a série for serialmente independente. Assim queremos testar se as observações da série são independentes e identicamente distribuídas, isto é, queremos testar as hipóteses:

H_0 : As observações da série são independentes e identicamente distribuídas (Não existe tendência);

H_1 : As observações da série têm tendência monotônica no tempo (Existe tendência)

Sendo assim, sob H_0 , a estatística do teste é dada por:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x_j - x_k) \quad \text{Equação 1}$$

Em que,

$$\text{sign}(x) = \begin{cases} 1, & \text{se } x > 0 \\ 0, & \text{se } x = 0 \\ -1, & \text{se } x < 0 \end{cases}$$

É possível mostrar que S é normalmente distribuída, ou seja, $S \sim N(\mu, \sigma^2)$ com

$$\mu = 0$$

$$\sigma^2 = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{j=1}^P t_j(t_j-1)(2t_j+5)}{18}$$

Equação 2

em que n é o número de observações e, considerando a situação em que a série pode ter grupos com observações iguais, P é o número de grupos com observações iguais e t_j é o número de observações iguais no grupo j .

No caso em que o número de observações seja superior a 30, a estatística do teste é calculada por

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sigma}, & \text{se } S > 0 \\ 0, & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sigma}, & \text{se } S < 0 \end{cases}$$

Equação 3

Em um teste bilateral, rejeitamos a hipótese nula H_0 para certo nível de significância $Z_{\alpha/2}$, se dado o valor do quantil de uma distribuição normal padrão, temos $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$.

5. A TENDÊNCIA DA TEMPERATURA MÉDIA MÁXIMA E MÍNIMA DO AR PARA JUIZ DE FORA-MG

Assim como Blain (2010, p.810), destacamos que “é importante ressaltar que as análises matemáticas/estatísticas empregadas no estudo são conclusivas apenas sob o ponto de vista de detecção de possíveis tendências contínuas de elevação, bem como da sua data de início”, pois a gênese destas tendências ou não, ou mesmo a variabilidade da temperatura está relacionada a fatores locais, como a urbanização, a dinâmica da própria atmosfera, que cria naturalmente uma variabilidade climática, ou mesmo uma condição que poderia ser refletida em função das mudanças climáticas globais.

Pelos valores presentes na série histórica de temperatura mínima média para Juiz de fora, no período de 1972 a 2014, Gráfico 3, por meio de análise de regressão simples e da aplicação do Teste de Mann-Kendall, Tabela 3, não se observa tendência de aumento linear, pois os coeficientes de determinação estão variando entre 0,0067 e 0,0286 (Tabela 2). Foi constatada apenas uma variabilidade da temperatura mínima, que está relacionada às incursões de frentes frias, que, em função da própria dinâmica da atmosfera, em alguns anos, são mais atuantes, gerando maior impacto nas temperaturas mínimas do ar e, em outros anos, menos atuantes.

Quando se analisa a temperatura máxima média para Juiz de Fora, para o mesmo período, utilizando a análise de regressão simples,

observa-se leve tendência de aumento linear nos meses de abril, setembro e dezembro, apresentando coeficientes de determinação, respectivamente, de 0,4638, 0,3611 e 0,3853 (Tabela 2). Se compararmos com os coeficientes encontrados por Blain (2010) para algumas cidades de São Paulo, detectamos não haver um padrão de aquecimento/resfriamento para todo o ano, para todas as localidades. Para as cidades paulistas de Ribeirão Preto e Cordeirópolis, o coeficiente de determinação calculado foi de 0,41 e 0,52, respectivamente, o que foi denominado de “tendência mais evidente”. Se compararmos os dados encontrados por Blain (2010), detectamos que poderíamos indicar para Juiz de Fora leve tendência quando analisados os meses em separado. Quando fazemos esta análise para a média das temperaturas máximas anuais, Gráfico 1, o coeficiente de determinação se eleva, alcançando 0,5134, o que determinaria uma tendência mais evidente, utilizando a expressão de Blain (2010). Quanto aos demais meses do ano, o coeficiente de determinação ficou entre 0,0554 e 0,2272, não apresentando tendência. Quando observamos os resultados desta série para o Teste Mann-Kendall, verificamos que houve tendência significativa positiva para todos os meses, exceto para os meses de maio e novembro, que não tiveram tendência significativa (Tabela 3).

Quando analisamos o número de dias com temperaturas maiores que 28°C para a cidade de Juiz de Fora, para os meses de janeiro a maio e setembro a dezembro, o coeficiente de determinação mais representativo foi para o mês de dezembro, 0,4645, seguido do mês de fevereiro, 0,3372. Os demais meses analisados apresentaram valores entre 0,0955 e 0,2918, indicando nenhuma tendência ou o início de uma leve tendência linear de aumento. Ressalta-se ainda que, quando analisada a temperatura média nos meses que compreendem a estação de verão, chegou-se a um coeficiente de determinação de 0,3328, apresentando uma leve tendência a aumento linear. Quando analisada a temperatura média para os meses que compreendem a estação de inverno, não se observou tendência de aumento linear, com um coeficiente de determinação de 0,1409.

Foram também analisados os dias com temperaturas inferiores a 15°C para a cidade, não tendo ocorrido nenhum tipo de tendência de aumento linear, em nenhum mês do ano, e os coeficientes de determinação ficaram entre 0,0077 e 0,0378.

Na década de 1970, a transferência da estação climatológica para o campus da UFJF, afastado do intenso processo de urbanização e verticalização que a área central da cidade estava passando, pode ter provocado uma estabilização da linha de tendência, e em alguns períodos, redução acentuada, como pode ser verificado no verão de 1997 e de 1998. Este fato se deve principalmente à posição da estação climatológica, que passa a ser mais afetada pelos ventos de escala regional, sendo, portanto, mais exposta aos ventos Sul, predominantes quando a cidade está sob atuação de frentes

frias e massas polares. Porém, quando analisamos a tendência geral, principalmente nos meses de janeiro e fevereiro no período de 1972 a 2014, detecta-se tendência de aumento para as Temperatura Médias Máximas, como pode ser observado no Gráfico 02. Para as Temperaturas Mínimas, por meio da análise de regressão simples, não houve tendência significativa de aumento linear, como pode ser observado no Gráfico 03 e nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 – Coeficientes de Determinação (R^2), calculados pela análise de regressão simples, para o período de 1972 a 2014, para a cidade de Juiz de Fora – MG

Meses	R^2 Coeficiente de Determinação	
	Temperatura Média Máxima	Temperatura Média Mínima
Janeiro	0,1482	0,004
Fevereiro	0,1882	0,003
Março	0,2513	0,0099
Abril	0,4438	0,0598
Maio	0,0521	0,0604
Junho	0,1851	0,0322
Julho	0,1462	0,0197
Agosto	0,1249	0,0001
Setembro	0,3611	0,0515
Outubro	0,2186	0,0078
Novembro	0,094	0,003
Dezembro	0,3853	0,0646
Ano	0,5641	0,0833

O período em que a série é iniciada coincide com um processo maior de urbanização, acompanhado de uma intensa verticalização do seu centro, pavimentação asfáltica de suas ruas e, por consequência, maior produção de calor, proporcionado pelo adensamento populacional, por construções e por maior contingente de veículos automotores (Figura 1). Cabral (1996), Fialho (2002), Sousa *et al.* (2011) e Amorim *et al.* (2009) associam o aumento de temperatura em áreas urbanas, ao processo de urbanização e crescimento urbano. Porém, como a estação fica afastada do centro da cidade e a uma diferença altimétrica de aproximadamente 300 m, este fato pode influenciar não somente os dados de temperatura registrados, como também o questionamento se toda esta dinâmica urbana, atrelada ao centro da cidade, chega a interferir

nos dados observados/registrados na Estação.

Gráfico 2- Tendência da Temperatura Média Máxima Mensal para Juiz de Fora, série 1972 a 2014

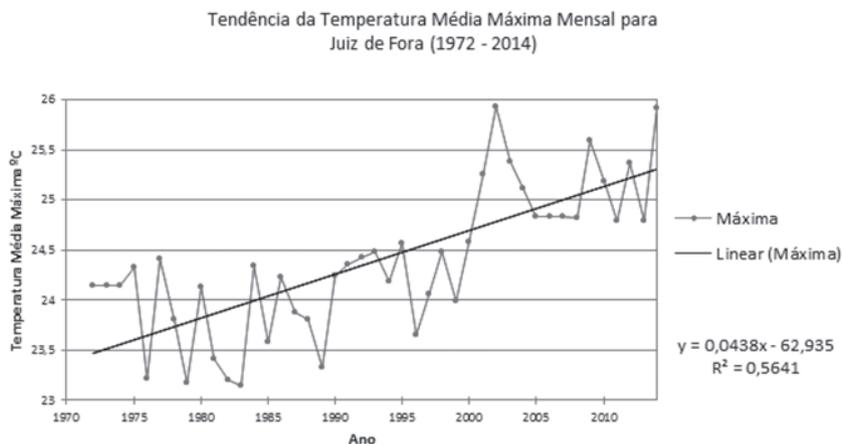
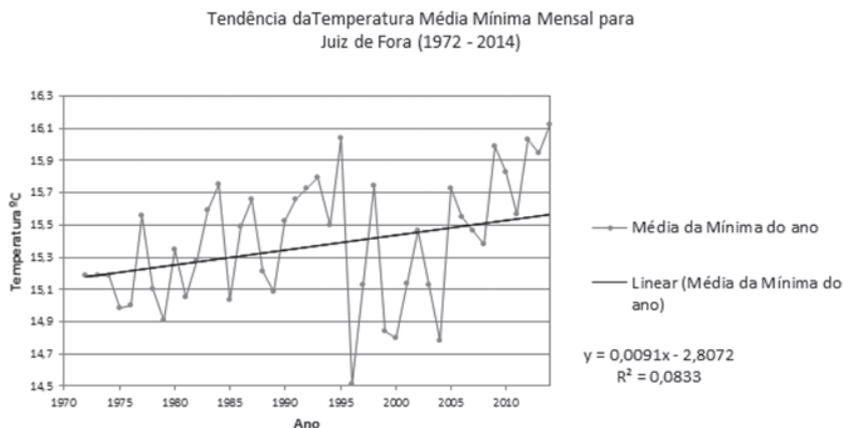


Gráfico 03- Tendência da Temperatura Média Mínima Mensal para Juiz de Fora, série 1972 a 2014



Segundo Moura (2013), a intensificação do processo de ocupação urbana da região oeste da cidade de Juiz de Fora se iniciou na década de 60 e 70, período em que começa a ocorrer um acréscimo demográfico marcado por uma série de intervenções que estimularam a ocupação dessa área no contexto da estrutura urbana da cidade. Destacam-se a construção da Avenida Independência, atual Avenida Presidente Itamar Franco, eixo de

ligação entre a região da Cidade Alta e o centro da cidade, a implantação da Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF, o aeroporto, o estádio municipal e a rodovia BR-040.

Tabela 3- Resultados das análises de tendência para temperatura média mínima e temperatura máxima mínima de cada mês, segundo Mann-Kendall

Meses	Temperatura Média Mínima		Temperatura Média Máxima	
	Z Calculado	Tendência $\alpha=0,05$	Z Calculado	Tendência $\alpha=0,05$
Janeiro	0,9806	NS	2,1343	S+
Fevereiro	0,3540	NS	2,9233	S+
Março	1,0321	NS	3,5104	S+
Abril	1,8311	NS	5,0482	S+
Maiο	-1,1233	NS	1,5571	NS
Junho	0,6929	NS	2,6203	S+
Julho	1,0114	NS	2,2310	S+
Agosto	-0,1011	NS	2,2455	S+
Setembro	1,2239	NS	4,2482	S+
Outubro	1,4161	NS	2,1912	S+
Novembro	0,2023	NS	1,2392	NS
Dezembro	1,1294	NS	3,2230	S+

NS: Tendência não significativa; S+: Tendência significativa positiva; S-: Tendência significativa negativa.

De acordo com o plano diretor da cidade, a Região Oeste apresenta-se como “área de expansão urbana” por sua posição geográfica estratégica, aliada à presença de áreas de grande beleza natural. Há décadas a região vem sendo apontada como de grande potencial para o crescimento da cidade. No final da década de 70, a Prefeitura elaborou o Plano Diretor da Cidade Alta no intuito de incentivar a expansão urbana para aquela região (MOURA, 2013, p. 7926)

Analisando o gráfico de Tendência das temperaturas médias máximas, Gráfico 2, verifica-se que o aumento mais expressivo das temperaturas ocorreu a partir de 2000, período em que a região oeste, onde está localizada estação meteorológica, sofreu aumento expressivo no contingente populacional - a população da região oeste foi duplicada no censo de 2010, sofrendo, portanto, aumento de 100% - no adensamento urbano, na materialização do espaço, na substituição das áreas verdes por

áreas construídas, no aumento do fluxo de veículos automotores, que, somados, poderiam refletir no aumento da temperatura, sendo bastante ousado determinar que esta tendência esteja sendo influenciada pela urbanização, ou mesmo por qualquer outro fator, uma vez que os coeficientes de determinação alcançados são ainda considerados leves a moderados, o que poderia ser apenas uma variabilidade climática.

O estudo da tendência linear de aumento de temperatura mínima e máxima na cidade de Juiz de Fora não permite, portanto, confirmar a hipótese de que esta tendência linear do aumento de temperatura máxima do ar possa estar associada ao acelerado processo de urbanização, em função, por exemplo, do uso de materiais com baixo albedo, influenciando na capacidade de armazenamento de calor nas cidades.

Cabral (1996) e Tarifa (1997) destacam que o uso da temperatura mínima do ar é o parâmetro mais adequado, por ser o que melhor responde às mudanças na paisagem local, decorrentes do processo de urbanização, que, ao produzir alteração do substrato, afetam o balanço radiativo normal em virtude da presença de poluentes e das partículas em suspensão e também pelo fato de o albedo nas áreas urbanas ser normalmente menor, devido aos materiais utilizados nas cidades médias a grandes absorverem mais energia. Porém, quando analisamos os dados para Juiz de Fora, detectamos que a temperatura mínima não apresentou nenhuma tendência linear de aumento, Tabela 2, tendo esta situação também sido comprovada com a aplicação do teste Mann-Kendall, Tabela 3, notando-se que não houve boa resposta para verificar a relação entre a urbanização e um possível aumento da temperatura.

Por outro lado, a série de temperatura máxima média, quando mostrada nas análises de regressões lineares simples e na aplicação do teste Mann-Kendall, foi a que apresentou os coeficientes de determinação com maior tendência de elevação (Tabelas 2 e 3 e Gráfico 2).

A análise temporal da temperatura média máxima do ar permitiu inferir que, temporalmente, houve mudança na geometria da superfície urbanizada, na variedade das formas, estruturas, alturas e orientação dos edifícios, nas diferentes propriedades térmicas dos materiais, na impermeabilização do solo, nas atividades antrópicas, nos fluxos e calor liberados, ocasionando alterações no balanço energético e consequente resposta térmica, quando analisados numa dinâmica temporal.

Destacamos ainda que, além dos fatores já elencados, houve variação temporal não somente no contingente populacional, Gráfico 1, como também na quantidade e qualidade de materiais presentes e incorporados ao urbano, com características de absorção, reflexão e condução diversas, além do aumento no número de veículos em circulação, que implica uma importante causa de alteração da composição química da atmosfera. Todas estes fatores, atuando juntos e aumentando ao longo do tempo, poderiam

afetar a temperatura intraurbana, refletindo hoje uma leve tendência ao aquecimento.

6. CONCLUSÃO

O crescimento da mancha urbana da cidade de Juiz de Fora é notório, tanto pelo aumento significativo do contingente populacional, quanto pelo aumento da mancha urbana. Estes dados causam uma alteração na forma, estrutura, altura, dinâmica, fluxos, materiais, entre outros. Este crescimento, considerando a teoria do clima urbano, proposta por Monteiro (1976) e OKE (1997), desencadearia uma resposta termodinâmica, característica das cidades, criando um clima especificamente urbano. Diante desta prerrogativa, detectamos a ocorrência desta influência do urbano na temperatura da cidade de Juiz de Fora, destacando que:

- A influência da urbanização está mais atrelada às temperaturas máximas, em que verificamos tendência ao aquecimento.
- A influência da urbanização nas temperaturas mínimas só seria sentida se a estação estivesse localizada no centro da cidade, local em que as intervenções, fluxos, geração de calor antrópico, materialização, impermeabilização etc. são mais expressivos, mas como a estação está localizada em altitude diferente e longe desta intervenção imediata, não conseguimos perceber esta influência na temperatura.
 - Se a urbanização influencia a temperatura máxima, por que não influenciaria também na temperatura mínima?
 - A tendência a aumento da temperatura máxima poderia estar atrelada a fatores externos, como a circulação atmosférica, mudanças climáticas e não somente ao processo de urbanização.
 - Os dados de temperatura máxima são maiores, principalmente na última década.
 - A temperatura média máxima anual e a temperatura média máxima de abril, setembro e dezembro apresentaram tendência crescente, nos demais meses, não apresentaram tendência ou apresentaram tendência muito tênue.
 - Não houve nenhuma tendência de aumento quando analisados os valores de Temperatura Média Mínima Anual ou mensal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDER, L.V.; et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research*, Washington, v.111, 2006. Disponível em: <<http://www.agu.org/journals/jd/jd0605/2005jd006290/>>. Acesso em: 2 set. 2015.
- AMORIM, M.C.C.T.; et al. Estrutura térmica identificada por transectos móveis e canal termal do landsat 7 EM cidade tropical. *Revista de Geografia Norte Grande*, 43, p. 65-80, 2009.

- BACK, A.J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. *Pesq. Agropec. Bras.* Brasília, v.36, n.5, p. 717-726, maio 2001.
- BLAIN, G.C. Séries anuais de temperatura máxima média do ar no estado de São Paulo: variações e tendências climáticas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, v.25, n.1, p.114-124, 2010.
- BLAIN, G.C.; PICOLI, M.C.A.; LULU, J., Análises estatísticas das tendências de elevação nas séries anuais de temperatura mínima do ar no estado de São Paulo, *Bragantia*, v.68, n.3, 2009.
- BRAGA, A.V. *O clima de Juiz de Fora*. Juiz de Fora: Typ. Do Pharol, 1894.
- CABRAL, E. *Análise das alterações climáticas da cidade de São Paulo (1887-1995) no contexto da expansão de sua mancha urbana*. Dissertação (Mestrado em geografia Física), FFLCH, Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, USP, 1996.
- CARVALHO, G.O.M. O centro de Juiz de Fora (MG) e os “novos centros”: paradoxos da urbanidade. In: *Oculum Ensaios: revista de arquitetura e Urbanismo*. N.03, 2005 p. 96-109. Disponível em: <<http://periodicos.puccampinas.edu.br/seer/index.php/oculum/article/view/804/784>>. Acesso em: 29 set. 2015.
- DUFEK, A.S.; AMBRIZZI, T. Variabilidade climática da temperatura no estado de São Paulo. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia 14., 2006, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2006.
- FERREIRA, C.C.M. Modelo para análise das variáveis de cobertura da terra e a identificação de microclimas, em centros urbanos. *Revista Brasileira de Climatologia*. ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica) Ano 10 – Vol. 14 – JAN/JUL 2014. p. 50-75.
- FIALHO, E.S. *Análise temporoespacial do campo térmico na Ilha do Governador-RJ em situações sazonais de verão e inverno*. Dissertação (Mestrado em Geografia), Centro de Ciências matemáticas e da natureza-Instituto de Geociências da UFRJ, Rio de Janeiro, 2002.
- GOOSSENS, C.; BERGER, A. A. Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. *Annales Geophysicae*, Berlin, v.4, n.B4, p.385-400, 1986.
- IBGE - Censos Demográficos 1970/80/91/2000/2010, Contagem da População 1996, e Estatísticas históricas do Brasil (Séries Econômicas, Demográficas e Sociais de 1550 a 1980, 2ª ed. Ver. E atual); Centro de Pesquisas Sociais/*Anuário Estatístico da UFJF*. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=313670&idtema=130&search=minas-gerais|juiz-de-fora|estimativa-da-populacao-2015->>> Acesso em: 21 set. 2015..

- IBGE, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/imprensa/ppts/0000000402.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2015.
- Juiz de Fora através dos tempos. Disponível em: <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1185013&page=2>. Acesso em: 01 out. 2015.
- MARTINE, G. e MAC GRANAHAN, G. A transição urbana brasileira: trajetórias, dificuldades e lições aprendidas. In: BOENINGER, R. (Org.) *População e cidades: subsídios para o planejamento e para as políticas sociais*. Campinas: UNICAMP, 2010. Disponível em: <http://www.unfpa.org.br/Arquivos/populacao_cidade.pdf>. Acesso em: 10 set. 2015.
- MARTINS, L.A. *A temperatura do ar em Juiz de Fora-MG: Influências do sítio e da estrutura urbana*. Dissertação de Mestrado. Rio Claro-SP, 1996.
- MENEZES, M.L.P. Juiz de Fora e a moradia popular: o Alto Santo Antônio. *Scripta Nova revista electrónica de Geografía y Ciencias Sociales* Universidad de Barcelona. ISSN: 1138-9788. Depósito Legal: B. 21.741-98 Vol. VII, núm. 146(133), 1 de agosto de 2003.
- MONTEIRO, C. A. de F. *Teoria e Clima Urbano*. São Paulo: Universidade de São Paulo/ Instituto de Geografia, 1976. 181 p.(Série Teses e Monografias n.º 25).
- MOURA, A. B. A. P; Junior, W. M; FARIA, R. L.; ZAIDAN, R. T. Processamento Digital de Imagens LANDSAT como Auxílio à Classificação e Análise da Evolução da Mancha Urbana de Juiz de Fora – MG entre os Anos 1990 e 2011. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), XVI, 2013, Foz do Iguaçu, PR, Brasil. *Anais*. São José dos Campos: INPE, 2013. Artigos, p. 7920-7927.
- OKE, T. R. *Boundary Layer Climates*. London: Methuem & Ltd. A. Halsted Press Book, John Wiley&Sons, New York, 1978, 372p.
- Plano diretor de Juiz de Fora. Mapa da Evolução da Mancha Urbana. Disponível em: <http://www.pjf.mg.gov.br/planodiretor/mapas/uso_do_solo/mapa_de_evolucao_de_mancha_urbana.pdf>. Acesso em: 22 set. 2015.
- Prefeitura de Juiz de Fora. Disponível em: <<http://www.pjf.mg.gov.br/cidade/>> - Acesso em: 15 jan. 2015
- Prefeitura de Juiz de Fora. *Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Juiz de Fora*. Disponível em: <<http://www.pjf.mg.gov.br/pddu/index.htm>>- Acesso em: 10 jan. 2015.
- RESGUARDO, M. *Fotos antigas de Juiz de Fora*. Disponível em: <<http://www.mariadoresguardo.com.br/>>. Acesso em: 01 out. 2015.
- RODRIGUES, J.M.; et al. Efeitos locais e de larga escala na dinâmica climática do município de Viçosa-Minas Gerais. *Sociedade &*

- Natureza*, Uberlândia, 22(3): p. 593-610, 2010.
- SANSIGOLO, C.A. Distribuições de extremos de precipitação diária, temperatura máxima e mínima e velocidade do vento em Piracicaba-SP (1917-2006). *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, v.23, n.3, p.341-346, 2008.
- SNEYERS, R. *Sur l'analyse statistique des séries d'observations*. Genève: Organisation Météorologique Mondiale, 1975, 192p. (OMM Note Technique, 143).
- SOUSA, F.A.S. et al. Influência da Urbanização no clima da cidade de Campina Grande-PB. *Revista Brasileira de Geografia Física*. 01, p.134-145, 2011.
- STAMM, C.; WADI, Y.M.; STADUTO, J.A.R. São as cidades médias responsáveis pelo espraiamento espacial da riqueza nacional? *REDES*, Santa Cruz do Sul, v. 15, n. 2, p. 66 - 91, maio/ago. 2010.
- TARIFA, J.R. Análise comparativa da temperatura e umidade na área urbana e rural de São José dos Campos – SP, Brasil. *Geografia*. Rio Claro, v.2, nº 4, p. 59-80, 1977.
- VINCENT, L.A. et al. Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000. *Journal of Climate*, Boston, v.18, p.5011-23, 2005.

Recebido em: 20/10/2015

Aceito em: 23/11/2015