

Análise da tendência das amplitudes térmicas diárias e sua relação com a urbanização para Juiz de Fora (MG) no período 1974-2019

Pedro Cosme de Araújo

Resumo: O objetivo deste trabalho foi analisar a tendência das amplitudes térmicas diárias na cidade de Juiz de Fora no período de 1974-2019 em conjunto com a urbanização do município. A metodologia deste estudo se deu pela utilização de dados censitários de Juiz de Fora, obtenção dos dados de temperatura do ar, aplicação dos métodos estatísticos da regressão linear simples e do teste não paramétrico de Mann-Kendall para análise das tendências. Os resultados mostraram tendência de aumento para as amplitudes térmicas diárias para a maioria dos meses do ano pelo teste Mann-Kendall, mas não identificaram tendências significativas pela regressão linear.

Palavras-chave: Mudanças climáticas, clima urbano, tendência climática.

Abstract: The objective of this work was to analyze the trend of daily thermal amplitudes in the city of Juiz de Fora in the period of 1974 to 2019 in conjunction with the urbanization of the municipality. The methodology of this study was based on the use of census data from Juiz de Fora, obtaining air temperature data, applying the statistical methods of simple linear regression and Mann-Kendall's nonparametric test for trend analysis. The results showed an increase trend for daily thermal amplitudes for most months of the year by the Mann-Kendall test but did not identify significant trends by linear regression.

Keywords: Climate change, urban climate, climate trend.

1. INTRODUÇÃO

Temperaturas do ar muito altas, temperaturas do ar muito baixas e amplitudes térmicas diárias elevadas apresentam um efeito negativo direto sobre a saúde das pessoas (SILVA *et al.*, 2014). Estes aspectos térmicos podem sofrer influências de atividades humanas por meio da alteração das dinâmicas de circulação dos ventos e da geração de calor nas cidades, por exemplo.

Monteiro (1975, p. 116) define o Clima Urbano como “um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização”. Ainda segundo Monteiro (1990), a análise introdutória para o estudo de um clima urbano necessita de uma observação da tipologia do sítio, dos modelos de morfologia

urbana e das combinações que podem se configurar. Jesus (2008) complementa afirmando que o estudo do clima sob uma visão geográfica é singular, pois procura estabelecer uma relação sociedade-natureza e evidencia que há uma relação entre clima e organização do espaço que depende do grau de desenvolvimento econômico e tecnológico de cada sociedade.

Landsberg (2006) afirma que urbanização pode causar alterações climáticas por meio da alteração da superfície, da produção de calor pela cidade e da alteração da composição da atmosfera, e que, nas zonas urbanas, as temperaturas mínimas tendem a ser mais elevadas do que nas rurais. Isso se deve, dentre outros fatores à irradiação do calor acumulado pelas construções e pavimentos durante o período diurno, que é vagarosamente dissipado e pode causar efeitos adversos negativos. Estes efeitos podem ser minimizados se aspectos climáticos forem considerados no planejamento de novas ocupações.

As formas urbanas podem causar diferenças na dinâmica atmosférica local e no campo térmico para essas áreas em relação às áreas mais distantes e rurais, por exemplo criando corredores de vento e intensificando efeitos de ilhas de calor. Essas diferenças devem ser estudadas, seus efeitos analisados e levados em consideração nas políticas públicas de planejamento e gestão, que é algo necessário e obrigatório segundo a legislação.

Consta na Constituição Federal de 1988 (art. 182), a obrigatoriedade da existência de um plano diretor, categorizado como instrumento básico da política de desenvolvimento e de expansão urbana, para todas as cidades com população maior do que 20 mil habitantes. Apesar disso, o PDDU 2000 – Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Juiz de Fora instituído pela Lei nº 9.811 de 27 de junho de 2000 - não tratou em momento algum sobre conforto térmico ou qualquer outra questão relacionada com o campo térmico, ou mesmo com o clima. Porém o atual Plano Diretor, instituído pela Lei Complementar nº 82 de 3 de julho de 2018, destacou questões sobre mudanças climáticas associadas ao crescimento da cidade.

A urbanização da cidade de Juiz de Fora se deu de maneira rápida e não vem priorizando as questões ambientais. Esta situação pode ser detectada no estudo sobre ilhas de calor realizado por Ribeiro *et al.* (2018) que mostram

que as temperaturas do ar na área central de Juiz de Fora são maiores durante o dia devido a fatores urbanos e ecológicos, que correlacionam verticalização, densidade habitacional, densidade demográfica, circulação de veículos, morfologia do terreno e cobertura vegetal com variações espaciais da temperatura e da umidade relativa do ar.

Estudos como o de Blain (2010) e o de Ferreira *et. al* (2015) trataram das tendências das temperaturas máximas e mínimas e da ocorrência de ilhas calor em áreas urbanas, mas o estudo das tendências das amplitudes térmicas diárias, especificamente, não é algo muito frequente na literatura geográfica da climatologia urbana no Brasil, porém as amplitudes térmicas são um fator de importância no clima urbano, no conforto térmico e na saúde da população.

Fialho e Souza (2007) demonstraram que há muita dificuldade na aplicação de metodologias climáticas no meio urbano especificamente devido a vários fatores. Um destes fatores seria a escala de análise, que pode excluir dos resultados a contabilização da energia que deixa o sistema, pode aglutinar dados de uma área muito grande e não conseguir demonstrar eventos em níveis mais locais, ou pode se ater apenas ao nível local e nada representar a gestão de recursos naturais, por exemplo. Portanto é preciso ter os objetivos da análise muito claros para se utilizar os dados mais corretos possíveis.

Segundo Ribeiro *et al.* (2018), o conforto térmico tem relação com diversos aspectos da vida humana, especialmente relacionados à saúde. Portanto, a amplitude térmica é um tema que deve ser mais incluído, estudado e discutido dentro do conforto térmico e do planejamento urbano. Deste modo essa discussão se torna mais completa, mais efetiva em ações para melhorar a qualidade de vida nas cidades e tem cada vez melhor capacidade de apresentar conclusões mais precisas, devido à maior variedade de análises, exemplos de estudos e metodologias aplicáveis.

O crescimento urbano sem um planejamento adequado pode gerar impactos negativos diretos sobre a população. A influência do campo térmico sobre as pessoas vai além das temperaturas máximas, mínimas e médias por si só, a amplitude térmica diária também pode afetar as atividades urbanas e a saúde dos habitantes. Deste modo, este estudo tem o objetivo de analisar a

tendência das amplitudes térmicas diárias e sua relação com o processo de urbanização na cidade de Juiz de Fora no período de 1974 a 2019.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste estudo, a metodologia seguiu as seguintes etapas e utilizou os seguintes materiais:

2.1- Levantamento de dados

Foram utilizados dados diários de temperaturas do ar máximas e mínimas da estação Meteorológica Principal de Juiz de Fora, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET nº 83692, que se localiza no campus da Universidade Federal de Juiz de Fora, na zona oeste da cidade, desde o início da década de 1970. Os dados são do período de 1974 a 2019, respeitando o período mínimo de 30 anos que a OMM adota para a definição de climas e eventos extremos.

Para a análise do crescimento urbano foram utilizados dados censitários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (1970, 1980, 1991, 1996, 2000, 2010 e 2020), dados do Departamento Nacional de Trânsito – DENATRAN para a quantidade de veículos automotivos registrados em Juiz de Fora a partir de 2001, quando estes começaram a ser disponibilizados, e o mapa da evolução da mancha urbana do município de Juiz de Fora no período de 1963-2010 (OLIVEIRA, 2021).

2.2- Análise estatística dos dados

2.2.1- Preenchimento de falhas

As falhas presentes na série histórica foram preenchidas com a utilização de dados da estação Meteorológica Automática de Juiz de Fora, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET sob o código A518, também localizada no campus da Universidade Federal de Juiz de Fora. Optou-se por não utilizar dados de outras estações nas falhas que ocorreram antes da instalação da estação automática ou nas falhas que ocorrem simultaneamente nas duas estações, pelo fato dessas e outras estações se localizarem em outros

contextos e localidades, podendo causar possíveis erros nos resultados finais, deste modo, então, excluindo estas falhas das análises estatísticas.

Algumas falhas ocorreram por períodos extensos, desse modo deixando meses inteiros sem dados. É importante demonstrar quando estão localizadas essas principais falhas, para uma análise mais correta dos resultados. Não há registro de dados para os meses de março, nos anos 1991, 1992 e 2006; de abril nos anos de 1991 e 1992; de maio no ano de 1992; de junho no ano de 1992; e de julho no ano de 1992. Além destes, houve meses com número bastante reduzido de coletas e dados disponíveis, sendo o mês de março no ano 2000, com 11 dias de dados (dias 1 a 8, 29, 30 e 31); de maio no ano 2002, com 11 dias de dados (dias 3, 7 e 23 a 31); e o mês de julho em 1975, com 15 dias de dados (dias 1 a 15). Estas falhas representam aproximadamente 1,5% dos dados.

2.2.2- Estatística descritiva

Os dados foram trabalhados de duas formas: primeiramente separando-os por mês e analisando-os juntos dia a dia, constando para cada mês todos os dados diários de temperaturas máximas do ar, temperaturas mínimas do ar e o cálculo da amplitude térmica, referindo a estes dados como amplitudes diárias diretas; posteriormente foram calculadas médias para as temperaturas máximas diárias, temperaturas mínimas diárias e amplitudes térmicas diárias para cada mês de cada ano.

Para cada série de dados foram definidos a mediana, os quartis e a faixa interquartil para a definição dos pontos que eram fora do padrão da distribuição, que foram, então, excluídos da análise estatística. A faixa interquartil (FIQ) é calculada por meio da subtração do valor do primeiro quartil (Q_1) do valor do terceiro quartil (Q_3):

$$FIQ = Q_3 - Q_1$$

Equação 1

Para o cálculo dos *outliers* foram calculados, primeiramente, os limites superior e inferior, sendo assim considerados pontos fora da distribuição todos aqueles que são de valor maior que o limite superior (equação 2) e todos aqueles de valor menor que o limite inferior (equação 3).

$$Q_3 + 1,5 \cdot FIQ \quad \text{Equação 2}$$

$$Q_1 - 1,5 \cdot FIQ \quad \text{Equação 3}$$

2.2.3- Tendências lineares e coeficientes de determinação

Tanto para os dados de amplitudes diárias diretas quanto para as médias das amplitudes diárias para cada mês, foram calculados as tendências lineares e o coeficiente de determinação (R^2) pelo método de regressão simples por meio do software Microsoft Excel.

Este método se dá pela seguinte equação:

$$Y = a \cdot (x) + b \quad \text{Equação 4}$$

Em que “a” representa o coeficiente angular, “b” representa o coeficiente linear e “x” representa o tempo (PENEREIRO e ORLANDO, 2013). O resultado desta equação é a reta de tendência e a partir dela é apresentado o coeficiente de determinação. O coeficiente de determinação mostra a quantidade dos dados que são representados pelo modelo apresentado e a linha de tendência mostra o comportamento que os dados tendem a ter ao longo da série.

Foram considerados como tendências inexistentes ou desprezíveis todas as séries com coeficiente de determinação menor do que 30%.

2.2.4- Mann-Kendall

Posteriormente foi aplicado o teste não paramétrico de Mann-Kendall para identificar se haveria ou não tendência significativa nas séries. Aplicado pelo software Past4.03, devido à sua complexidade e o alto número de amostras,

com grau de confiabilidade de 95%, foi testada a hipótese inicial (H_0) de que não haveria tendência na série, sendo esta hipótese rejeitada caso o valor de $MK(z)$ fosse, em módulo, superior a 1,96, indicando, portanto, que há tendência. Valores negativos indicam uma tendência de diminuição, enquanto valores positivos indicam uma tendência de aumento.

Segundo Silva *et al.* (2010, p. 503) a estatística deste teste se dá da seguinte maneira:

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sign}(x_i - x_j)$$

Equação 5

em que x_i são os dados estimados da sequência de valores, n e o número de elementos da série temporal e o sinal $(x_i - x_j)$ é igual a -1 para $(x_i - x_j) < 0$, 0 para $(x_i - x_j) = 0$, e 1 para $(x_i - x_j) > 0$. Kendall (1975) mostrou que S é normalmente distribuída com média $E(S)$ e variância $\text{Var}(S)$, que para uma situação na qual pode haver valores iguais de x , são calculadas pelas equações:

$$E[S] = 0$$

Equação 6

$$\text{Var}[S] = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)}{18}$$

Equação 7

Ainda segundo Silva (2010), se o valor de S (equação 5) for positivo, ele indicia uma tendência crescente, portanto, se for negativo, indica uma tendência decrescente. O valor de $MK(z)$ é calculado pela seguinte equação:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}[S]}} & \text{para } S > 0 \\ 0 & \text{para } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}[S]}} & \text{para } S < 0 \end{cases}$$

Equação 8

2.3- Caracterização do município

O município de Juiz de Fora está localizado na Zona da Mata do estado de Minas Gerais (figura 1). Possui uma área de aproximadamente 1436 km² (IBGE, 2020) e taxa de arborização de vias públicas de 55,5% (IBGE, 2010). A cidade teve sua ocupação inicialmente seguindo o vale do Rio Paraibuna, na

direção Noroeste-Sudeste, posteriormente a urbanização alcançou regiões mais distantes, em altimetrias maiores (FERREIRA *et al.*, 2015)

O tipo climático de Juiz de Fora é uma variação do clima Tropical chamada de Tropical de Altitude, que possui temperaturas mais baixas devido às altitudes médias elevadas do relevo regional, que na cidade ficam próximas dos 1000 metros nos pontos mais elevados e variam entre 670 e 750 metros no fundo do vale do rio Paraibuna (ASSIS, 2016).

Juiz de Fora possui duas estações bem definidas, uma de outubro a abril com temperaturas do ar mais elevadas e concentrando 83,9% das precipitações, e outra de maio a setembro com temperaturas mais baixas e os outros 16,1% das precipitações (TORRES, 2006; ASSIS, 2016). Pimentel (2017) aponta o fato de que a cidade de Juiz de Fora está localizada a 200 km do Oceano Atlântico, porém apresenta níveis pluviométricos mais baixos do que o esperado para uma área localizada a esta distância do mar, pois a região da cidade está a sotavento da Serra do Mar, que atua como uma barreira orográfica, impedindo a chegada de grande parte da umidade marítima. Segundo Assis (2016), a precipitação total anual habitual para Juiz de Fora varia entre 1342,2 mm e 1646,56 mm.

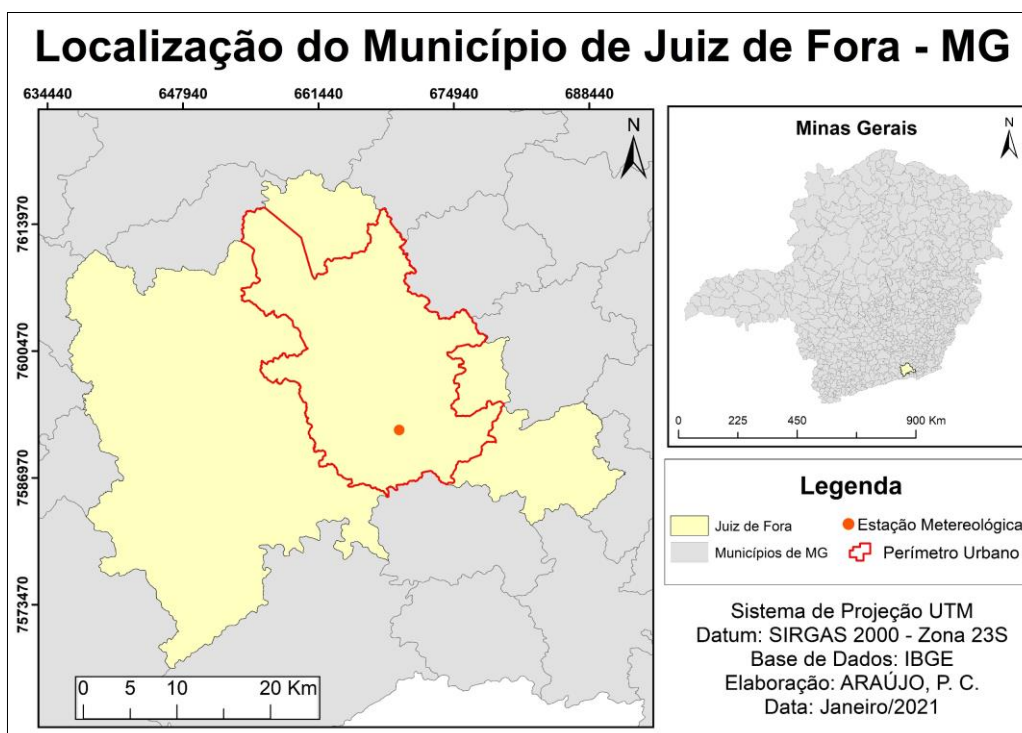
Os principais sistemas atmosféricos que atuam sobre o município de Juiz de Fora são os sistemas frontais, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), a Massa Equatorial Continental (mEc), a Massa Tropical Atlântica (mTa) e a Massa Polar Atlântica (mPa), sendo as duas últimas nas quais se registram as temperaturas mais elevadas e mais baixas, respectivamente (ASSIS, 2016; PIMENTEL, 2017). Borsato *et al.* (2019) afirmam que os estados de tempo que prevalecem durante a atuação da mPa são de baixa nebulosidade e queda acentuada de temperatura durante o período noturno, portanto é durante a atuação desta massa de ar que são esperadas as maiores amplitudes térmicas diárias.

Sobre as temperaturas médias, Pimentel (2017) afirma que para os meses de verão, a maior média encontrada foi no ano de 2014, atingindo 22 °C, enquanto a menor média foi no ano de 1979, atingindo 19,7 °C; e para os meses de inverno, a maior média foi de 17,8 °C, no ano de 1995, enquanto a menor média foi 15,8 °C, no ano de 1999.

Em relação aos dados censitários, a população estimada para o município de Juiz de Fora é de 573.285 habitantes (IBGE, 2020) e de acordo com o último Censo Demográfico (IBGE, 2010) a população de Juiz de Fora era de 516.247 habitantes, sendo 98,86% desta residente de áreas urbanas.

As elevadas taxas de população urbana associadas a uma frota de 277.434 veículos (DENATRAM, 2019) são importantes aspectos para alcançar as condições de um clima urbano e então favorecer a ocorrência de fenômenos que segundo Ferreira *et al.* (2015) estão associados a esse contexto, como ilhas de calor, inversão térmica e efeito estufa.

Figura 1: Localização de Juiz de Fora



Fonte: Elaborado pelo autor.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico são apresentados e discutidos os gráficos e tabelas gerados de maneira a compreender o que significam e suas relações entre si.

A tabela 1 e os gráficos de 1 a 12 apresentam a distribuição das amplitudes térmicas diárias diretas e suas tendências, demonstram que pela

análise da regressão linear e pelo coeficiente de determinação, nenhuma das séries de amplitudes térmicas apresenta tendência. Os dados das amplitudes diárias diretas foram os que apresentaram os valores mais baixos no coeficiente de determinação. Isso se deu provavelmente por seus dados serem muito variados, apresentando dinâmicas diferentes dentro do próprio mês e anos avaliados, mas principalmente ao serem avaliados lado a lado com dados de anos seguintes que representam outras condições atmosféricas (por exemplo dados do dia 31 de janeiro de 1974 sendo seguidos de dados de 1º de janeiro de 1975 na análise direta).

Tabela 1 - Coeficientes de determinação (R^2) calculados por regressão linear simples para Juiz de Fora - MG, no período de 1974-2019

Mês	Coeficiente de determinação (R^2)	
	Amplitudes diárias diretas	Médias das amplitudes diárias
Janeiro	0,0457	0,19
Fevereiro	0,0685	0,242
Março	0,0178	0,0787
Abril	0,0287	0,1433
Maiο	0,0102	0,0812
Junho	0,0011	0,0117
Julho	0,0018	0,0184
Agosto	0,007	0,0459
Setembro	0,0325	0,2369
Outubro	0,0192	0,1334
Novembro	0,0016	0,0194
Dezembro	0,0404	0,2695

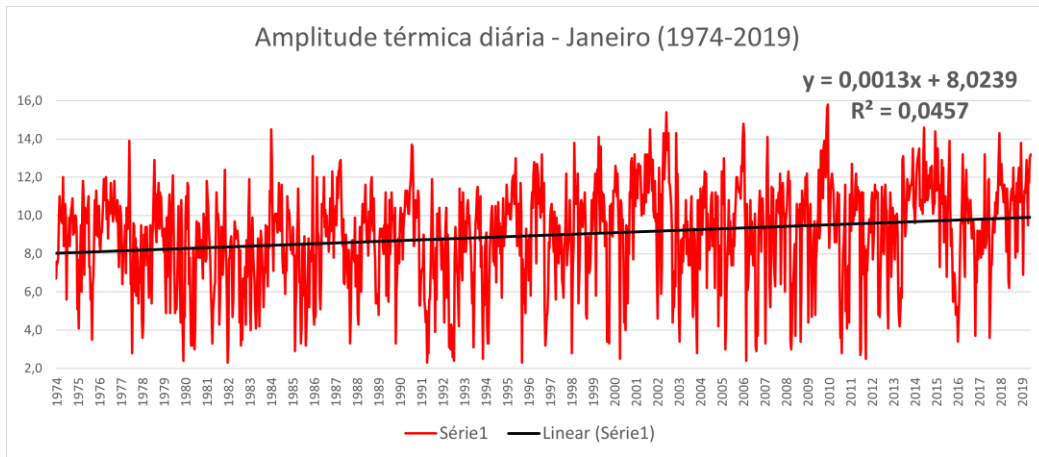


Gráfico 1: Distribuição e tendência das amplitudes térmicas diretas para o mês de janeiro

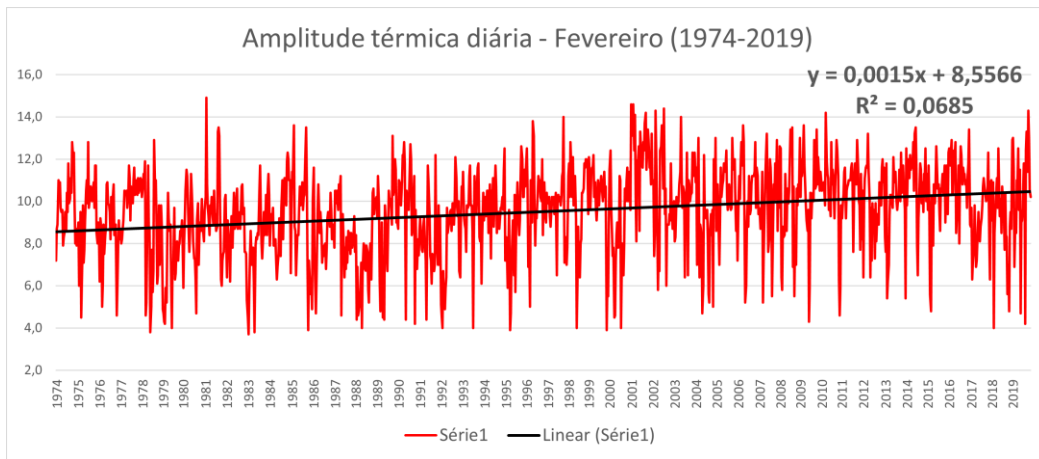


Gráfico 2: Distribuição e tendência das amplitudes térmicas diretas para o mês de fevereiro

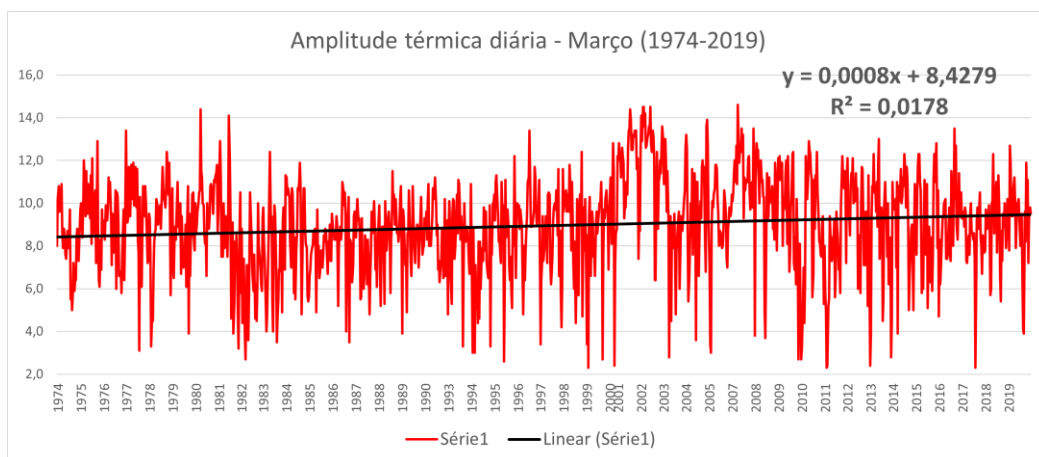


Gráfico 3: Distribuição e tendência das amplitudes térmicas diretas para o mês de março

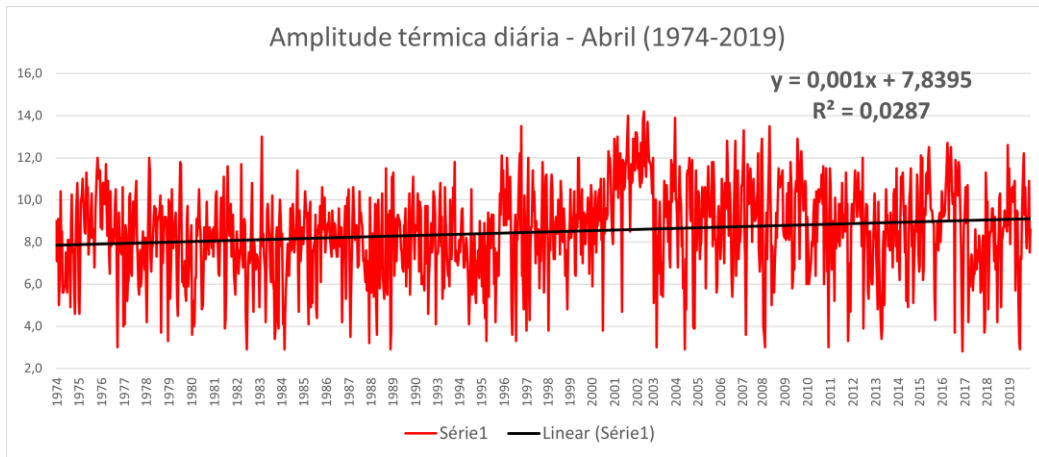


Gráfico 4: Distribuição e tendência das amplitudes térmicas diretas para o mês de abril

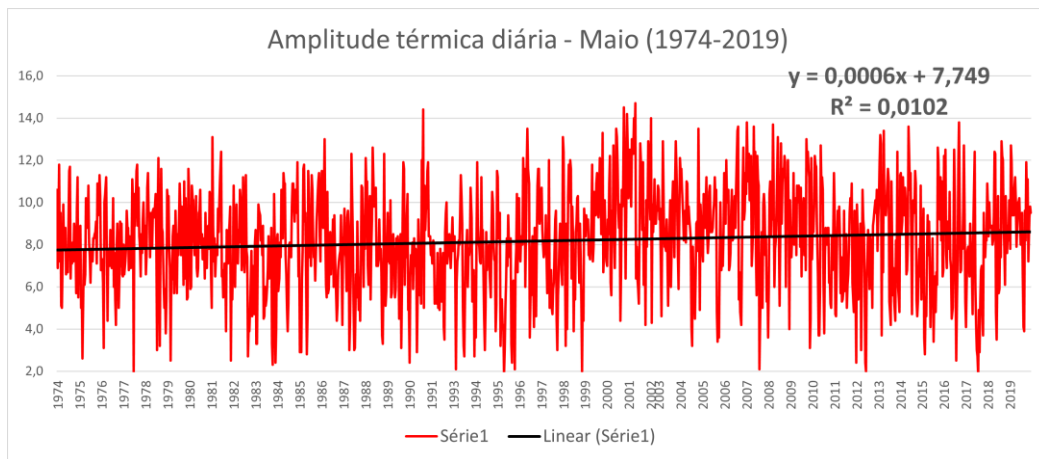


Gráfico 5: Distribuição e tendência das amplitudes térmicas diretas para o mês de maio

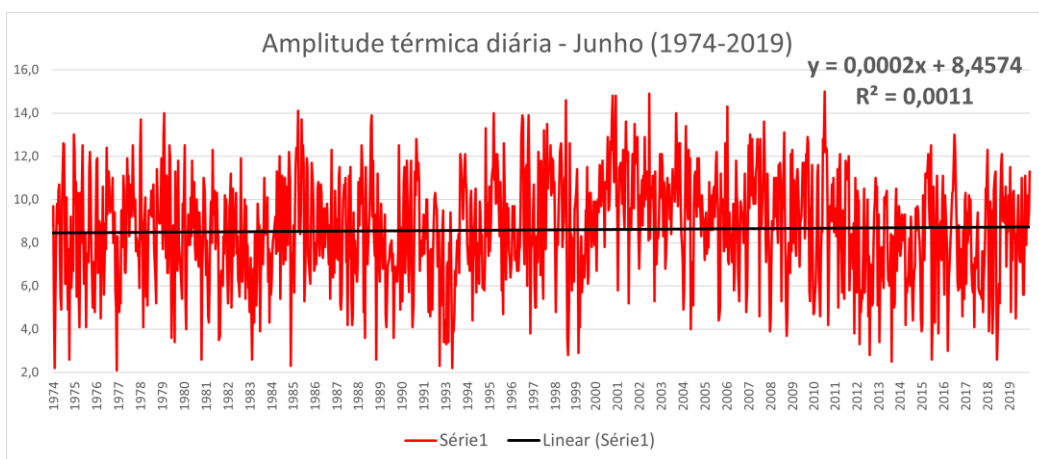


Gráfico 6: Distribuição e tendência das amplitudes térmicas diretas para o mês de junho

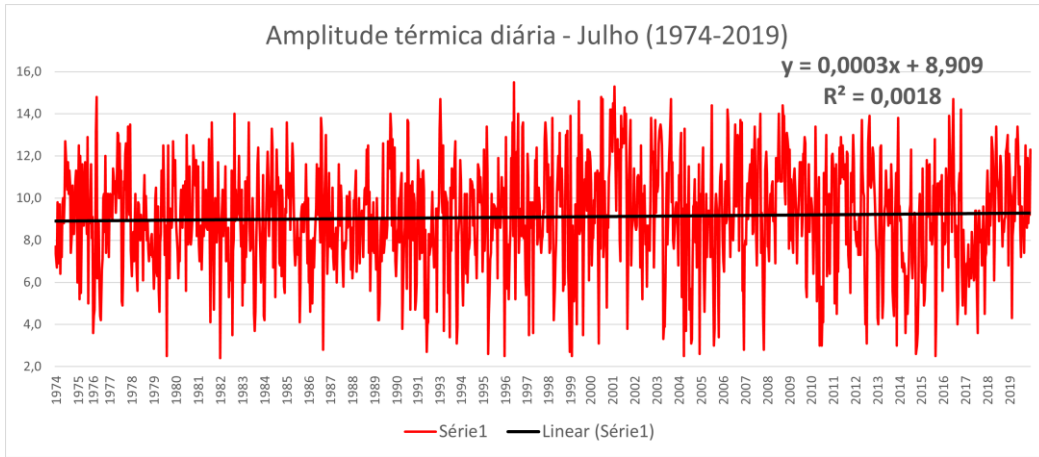


Gráfico 7: Distribuição e tendência das amplitudes térmicas diretas para o mês de julho

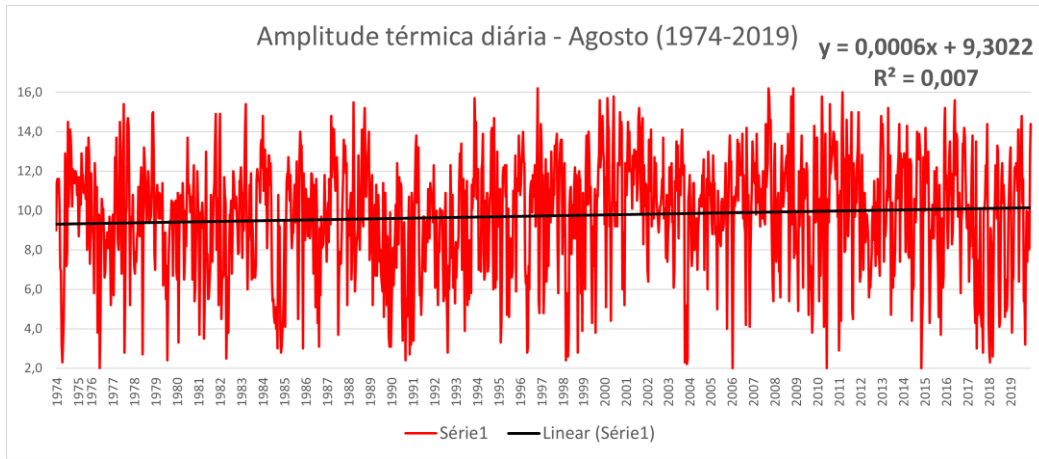


Gráfico 8: Distribuição e tendência das amplitudes térmicas diretas para o mês de agosto

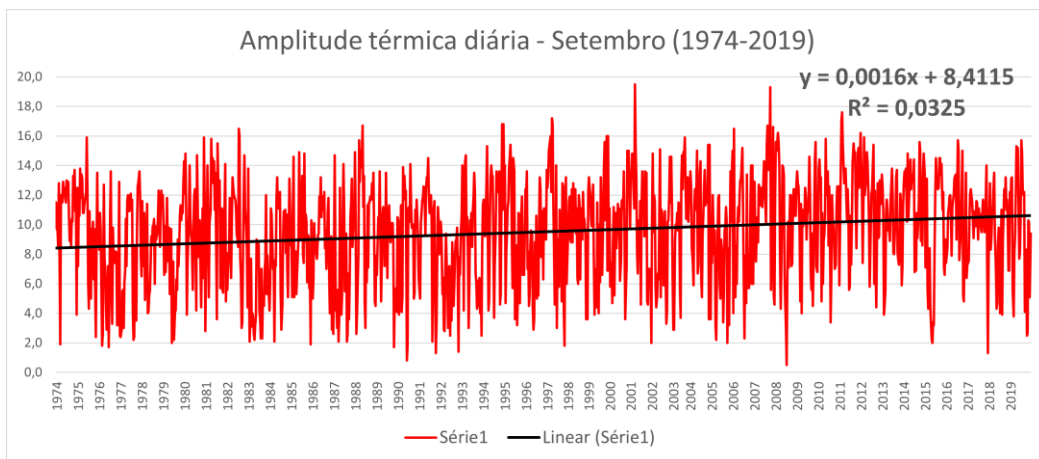


Gráfico 9: Distribuição e tendência das amplitudes térmicas diretas para o mês de setembro

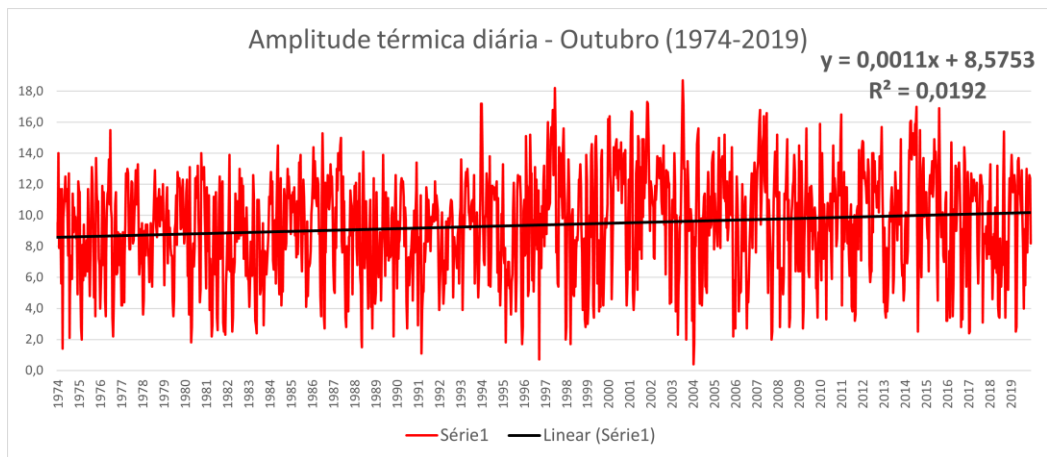


Gráfico 10: Distribuição e tendência das amplitudes térmicas diretas para o mês de outubro

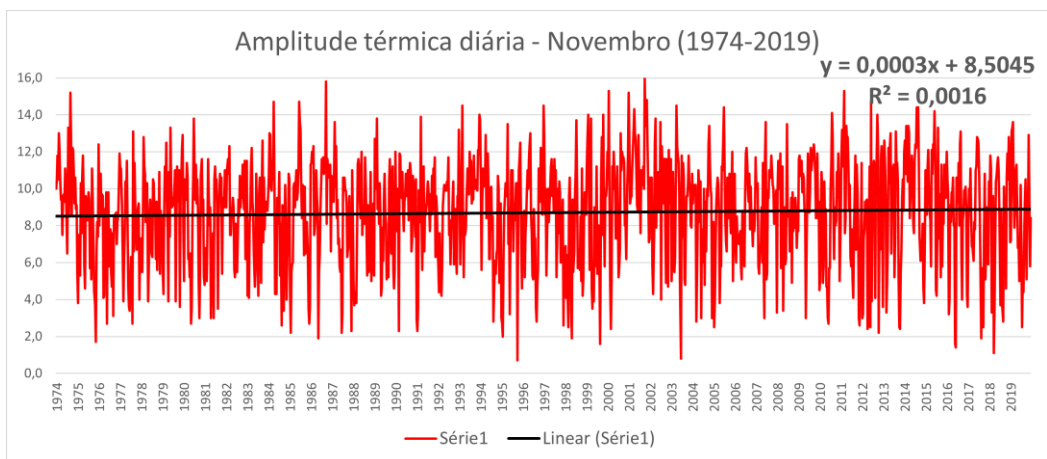


Gráfico 11: Distribuição e tendência das amplitudes térmicas diretas para o mês de novembro

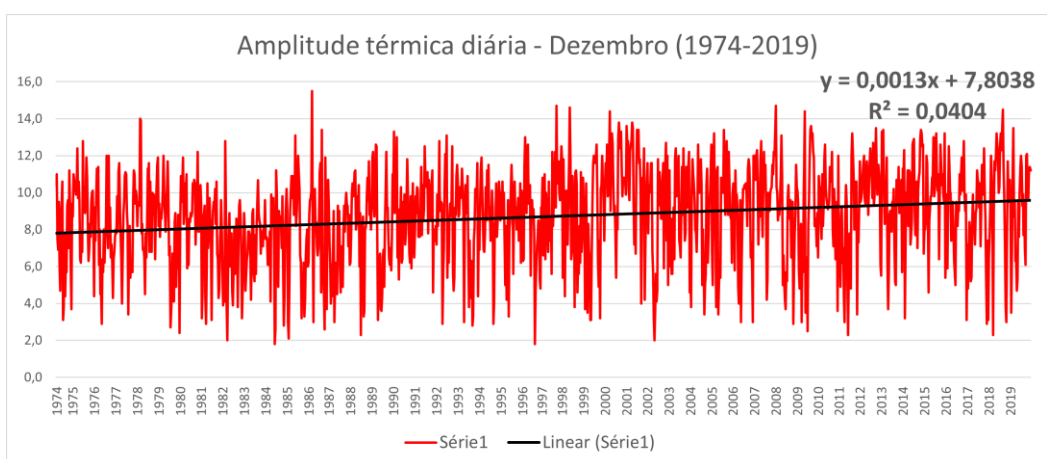


Gráfico 12: Distribuição e tendência das amplitudes térmicas diretas para o mês de dezembro

A análise dos dados de temperaturas médias diárias para cada mês ao longo dos anos demonstrou a variabilidade da temperatura do ar no período. O comportamento das temperaturas médias das máximas, das mínimas e das amplitudes é demonstrado nos gráficos 13 a 24.

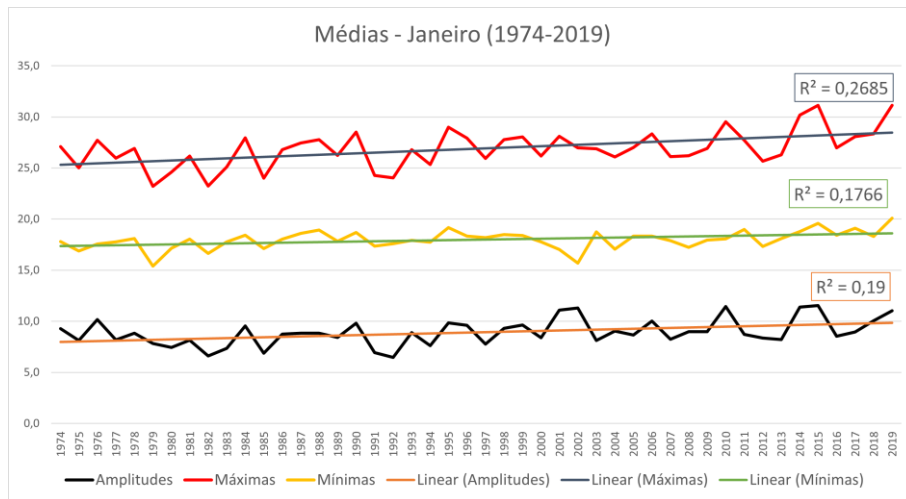


Gráfico 13: Médias diárias em °C para o mês de janeiro em Juiz de Fora – MG

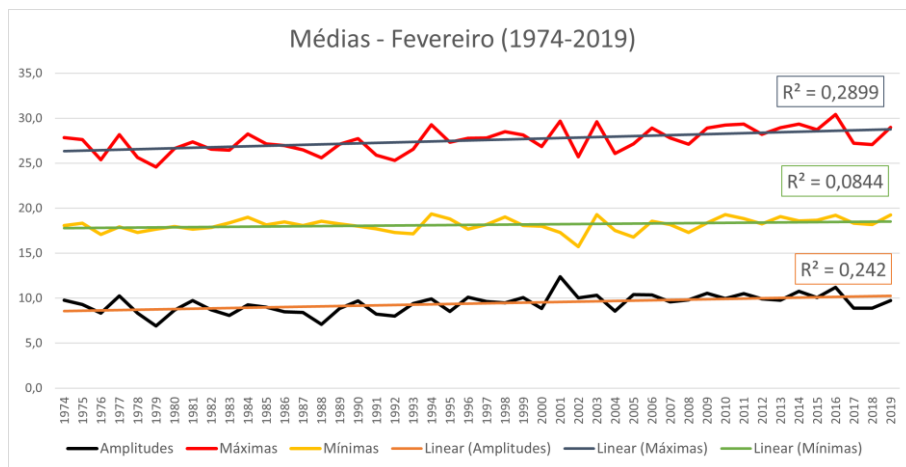


Gráfico 14: Médias diárias em °C para o mês de fevereiro em Juiz de Fora – MG

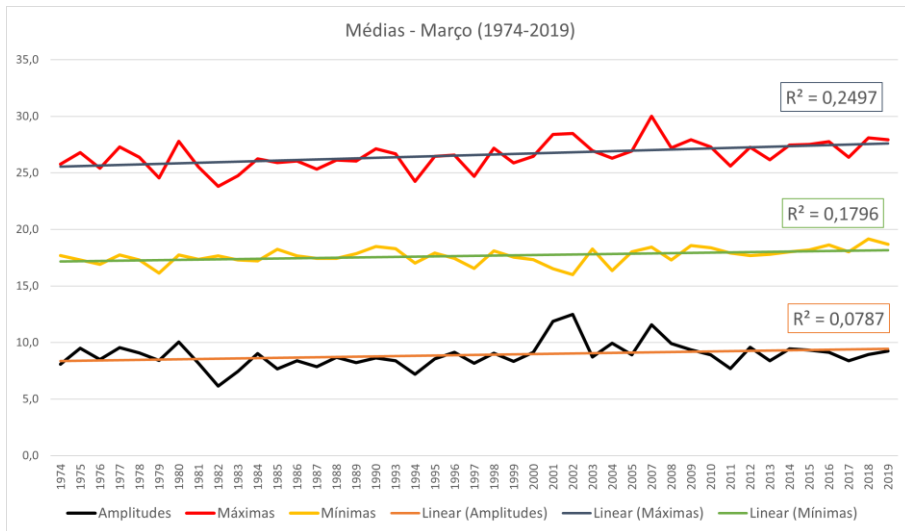


Gráfico 15: Médias diárias em °C para o mês de março em Juiz de Fora – MG

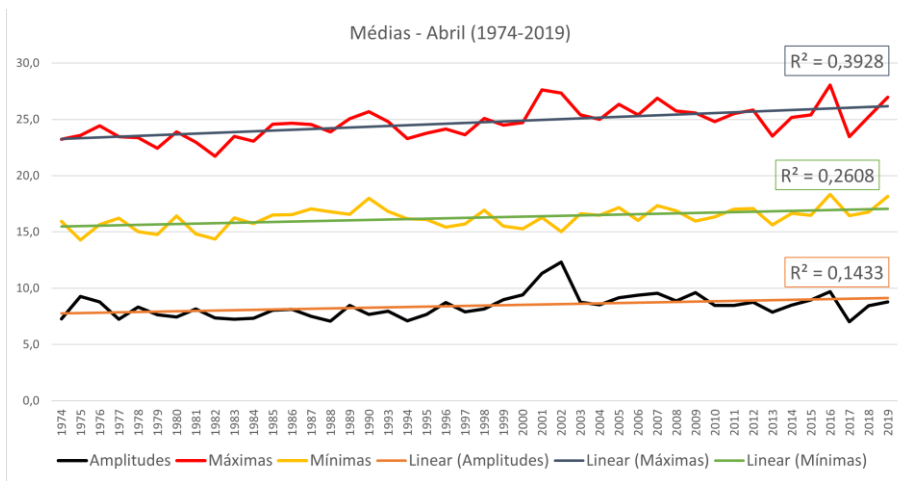


Gráfico 16: Médias diárias em °C para o mês de abril em Juiz de Fora – MG

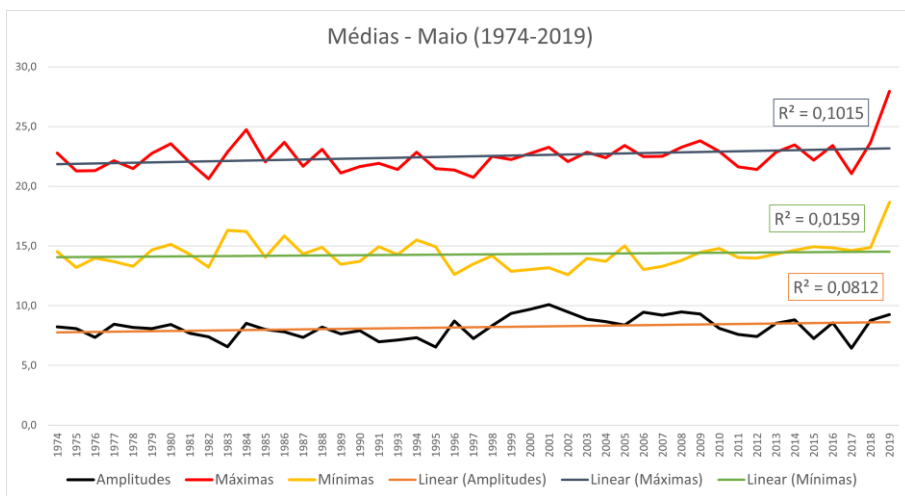


Gráfico 17: Médias diárias em °C para o mês de maio em Juiz de Fora – MG

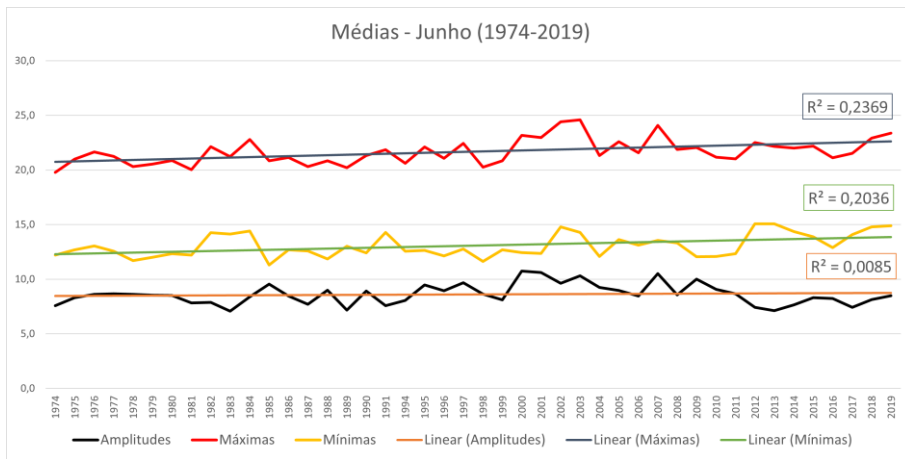


Gráfico 18: Médias diárias em °C para o mês de junho em Juiz de Fora – MG

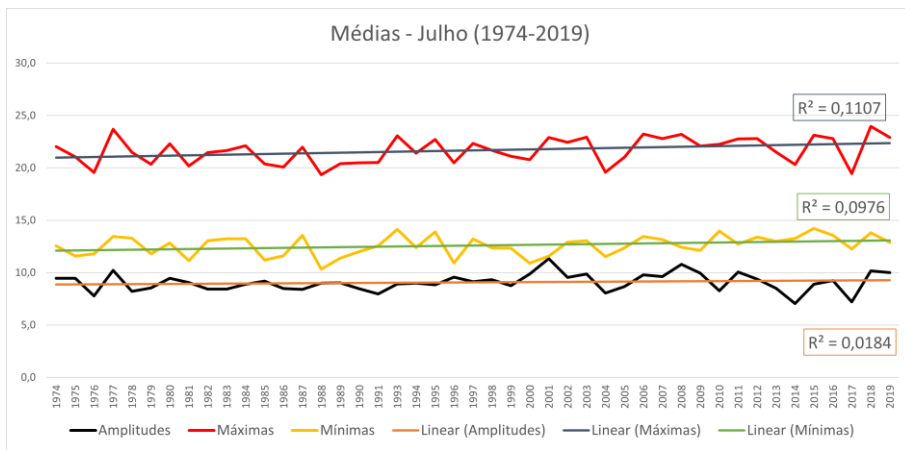


Gráfico 19: Médias diárias em °C para o mês de julho em Juiz de Fora – MG

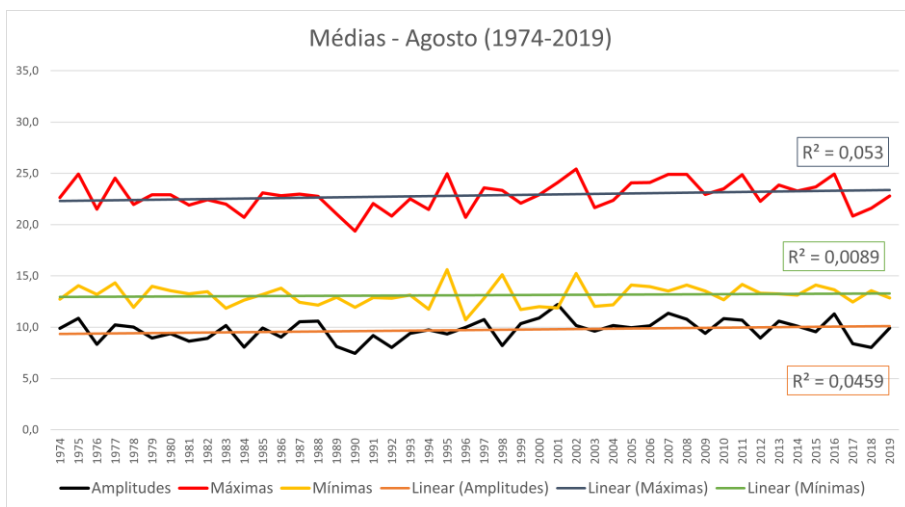


Gráfico 20: Médias diárias em °C para o mês de agosto em Juiz de Fora – MG

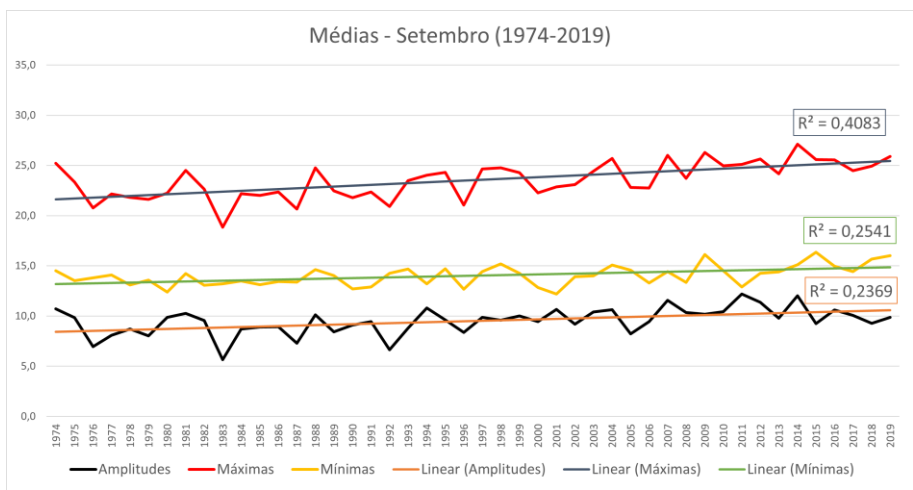


Gráfico 21: Médias diárias em °C para o mês de setembro em Juiz de Fora – MG

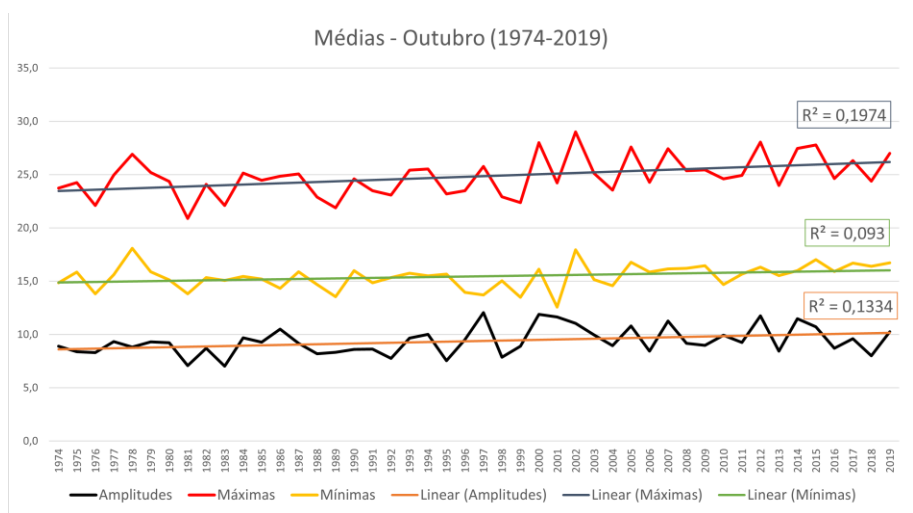


Gráfico 22: Médias diárias em °C para o mês de outubro em Juiz de Fora – MG

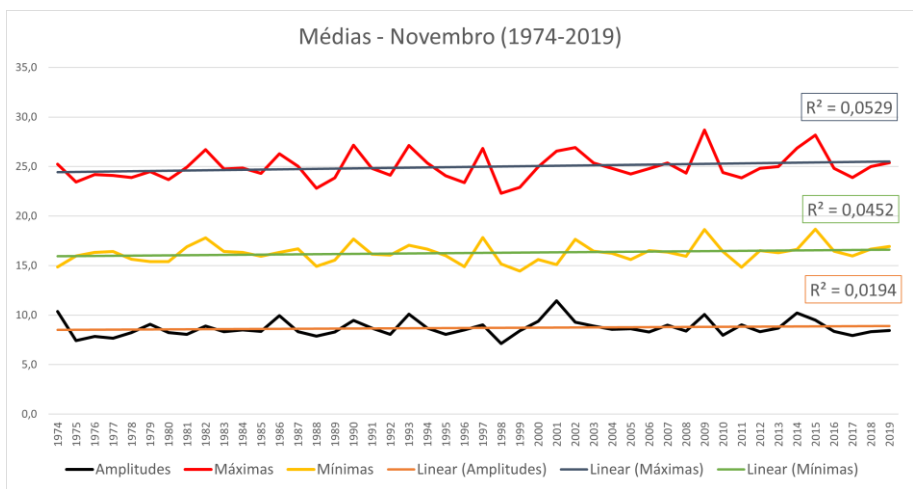


Gráfico 23: Médias diárias em °C para o mês de novembro em Juiz de Fora – MG

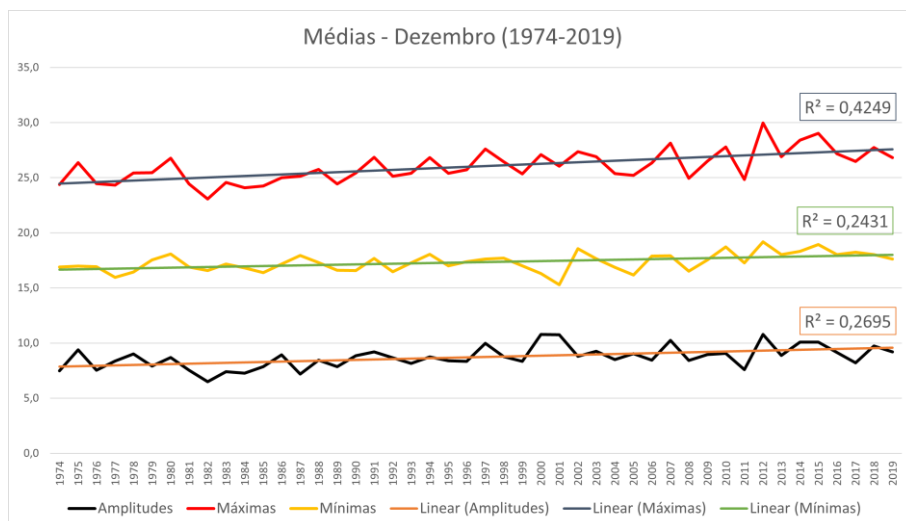


Gráfico 24: Médias diárias em °C para o mês de dezembro em Juiz de Fora – MG

Os picos de aumento nos gráficos das médias das amplitudes são referentes tanto a aumentos nas médias das máximas e aumentos menores simultâneos nas médias das mínimas, quanto a aumentos nas médias das máximas e estabilizações ou diminuições nas médias das mínimas. Há também casos menos frequentes de reduções nas médias das máximas com reduções mais intensas nas médias das mínimas.

Apesar dos resultados da análise por regressão linear, o teste não paramétrico de Mann-Kendall apresentou diferentes resultados. Segundo o Teste MK, para a série histórica das médias das amplitudes térmicas diárias (tabela 2) há tendência de aumento nos meses de janeiro, fevereiro, março, abril, setembro, outubro e dezembro; já para a série histórica das amplitudes diárias diretas (tabela 3), o teste identificou tendência de aumento para todos os meses, **exceto** junho e julho.

Tabela 2 – Resultados de teste Mann-Kendall para os dados das médias das amplitudes

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
MK(z)	2,70	3,58	1,96	2,90	1,74	0,41	1,52	1,45	3,22	2,12	1,27	3,57

Tabela 3 - Resultados do teste Mann-Kendall para os dados das amplitudes diretas

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
MK(z)	11,42	8,62	3,80	9,57	4,90	0,12	0,75	4,46	11,11	10,26	4,83	17,06

Alguns resultados do teste Mann-Kendall para os dados das amplitudes diretas apresentaram valores muito elevados. Cabe lembrar que esta análise é composta por dados diários de cada mês ao longo da série histórica, portanto há uma diferença de tempo muito grande entre o último dado de um mês em um ano para o primeiro dado do mesmo mês no ano seguinte. Essa diferença de tempo, associada à variabilidade e à quantidade dos dados, é o que provavelmente explica os valores obtidos no teste.

Estudos sobre as tendências de temperatura do ar nas cidades (BLAIN, 2010; FERREIRA *et al.*, 2015) apresentaram uma tendência de aumento para as temperaturas máximas em diversas áreas urbanas, mas não necessariamente uma tendência de aumento para as temperaturas mínimas, portanto é de se esperar de que neste contexto sejam encontradas, também, tendências de aumento para as amplitudes térmicas. Isso corrobora com os resultados obtidos, pois todos os resultados dos coeficientes de determinação e do teste de Mann-Kendall, mesmo aqueles considerados não significativos, possuem valores maiores que zero.

Entretanto, Sanches *et al.* (2017) ao analisarem a série histórica de temperatura do ar para a cidade de Viçosa, encontram tendências de aumento para as médias das temperaturas máximas e das mínimas, porém com resultados mais significativos nas médias das mínimas. Resultados semelhantes foram encontrados por Ávila *et al.* (2014), que identificam tendências de aumento das temperaturas mínimas do ar mais expressivas do que as tendências das temperaturas máximas do ar para municípios de Minas Gerais. Estes resultados provavelmente não indicariam uma tendência de aumento para as amplitudes térmicas, caso houvesse essa análise.

Convém afirmar que uma falta de tendência nas amplitudes térmicas não, necessariamente, significa que não há alterações na série analisada. Se as

máximas e as mínimas variam de maneira semelhante, a tendência da amplitude é se manter estável. Um exemplo dessa afirmação são os dados de 2018 e 2019 para o mês de maio (gráfico 17). Neste período a média das máximas aumentou em 4,2 °C (17,7%), a média das mínimas aumentou em 3,8 °C (25,5%), enquanto a média das amplitudes teve um aumento de apenas 0,5 °C (5,7%). Por serem dados de apenas dois anos seguidos, eles não representam sozinhos mudanças climáticas, porém seu comportamento indica como podem se comportar as amplitudes térmicas em séries longas, demonstrando que as amplitudes devem, preferencialmente, ser analisadas em conjunto com os dados de máximas e de mínimas.

Ao analisar as médias das temperaturas máximas, das mínimas e das amplitudes térmicas para Juiz de Fora (gráfico 25) fica notável que as temperaturas máximas e mínimas variam de maneiras muito semelhantes ao longo do ano, o que causa uma estabilidade das amplitudes, que tem uma variação de 1,5 °C entre sua maior média, de 9,7 °C no mês de agosto, e sua menor média, de 8,2 °C no mês de maio.

É importante ressaltar que Ferreira *et al.* (2015) relacionam a estabilidade das linhas de tendência para as temperaturas médias máximas e mínimas com a transferência da estação climatológica na década de 1970, que a afastou do processo de urbanização da área central da cidade.

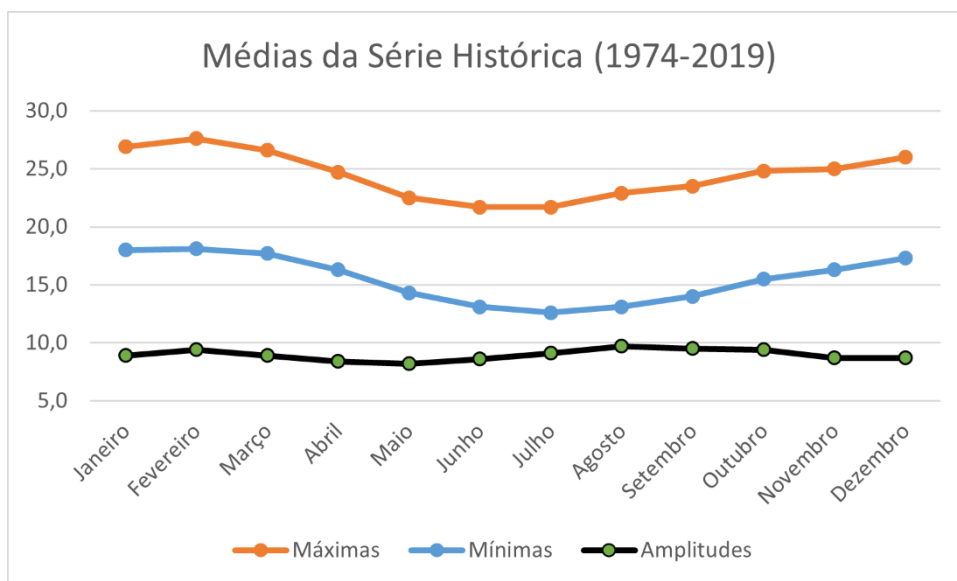


Gráfico 25: Médias na série histórica em °C para Juiz de Fora - MG

A urbanização pode causar mudanças climáticas por meio da drenagem de áreas úmidas, transformando-as em áreas impermeabilizadas; por meio da geração de calor na cidade por veículos, equipamentos nas residências e fábricas e o metabolismo dos seres humanos e outros animais; além de também poder ter a capacidade de alterar a composição da atmosfera (LANDSBERG, 2006). Quanto maior uma cidade e sua população, mais intensos tendem a ser esses processos e efeitos.

Desde o Censo Demográfico de 1970 (IBGE), a população da cidade de Juiz de Fora teve um aumento de 140%, passando de 238.510 habitantes para 573.285 em 2020, segundo a estimativa. A taxa do crescimento populacional foi bastante variável nesse período (tabela 4), porém isso não repercutiu da mesma maneira nos dados de temperatura do ar, que continuaram com variações semelhantes.

Tabela 4 - População de Juiz de Fora - MG

Ano	População	Varição absoluta	Varição percentual
1970	238.510	-	-
1980	307.525	69.015	28,94%
1991	385.996	78.471	25,52%
1996	424.479	38.483	9,97%
2000	456.796	32.317	7,61%
2010	516.247	59.451	13,01%
2020*	573.285	57.038	11,05%

*Estimativa

Fontes: IBGE - Censos Demográficos 1970/80/91/2000/2010, Contagem da População 1996 e Estimativa da População 2020.

Outro dado importante para demonstrar o crescimento urbano é a quantidade de veículos registrados no município (gráfico 26). Estes dados apresentam um aumento de 168% na quantidade de veículos registrados entre 2001 e 2019.

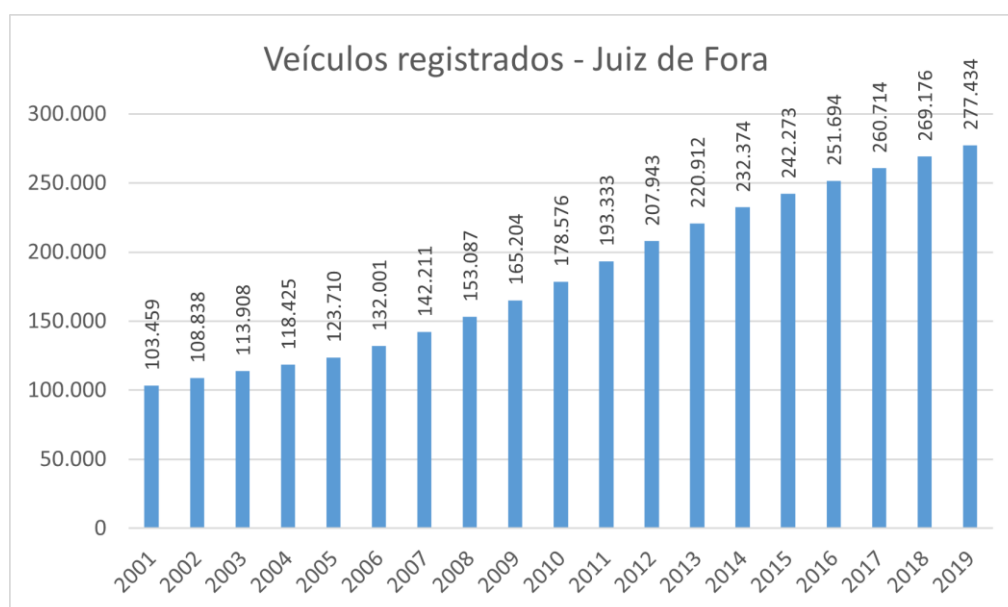
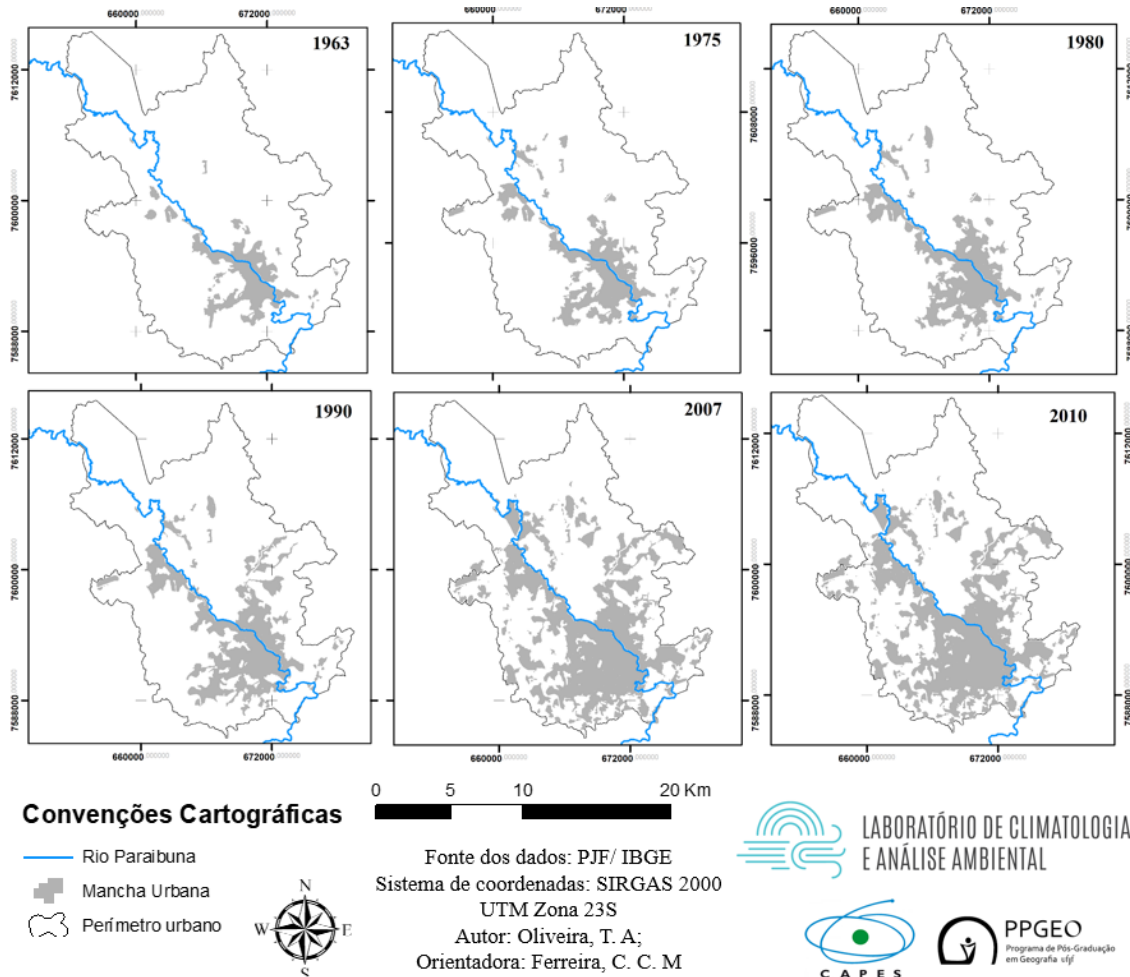


Gráfico 26: Quantidade de veículos registrados em Juiz de Fora

Fonte: DENATRAN

Segundo Ferreira *et al.* (2015) o crescimento urbano para a zona oeste da cidade se deu principalmente a partir dos anos 2000, como também é possível perceber a partir do mapa de evolução da mancha urbana (figura 2), que se deu para várias áreas da cidade de maneira bastante intensa. Porém não há padrão perceptível diferente para os dados de amplitude térmica a partir deste período.

Figura 2: Evolução da mancha urbana de Juiz de Fora



Fonte: Elaborado por Oliveira, 2021

Outro importante ponto demonstrado pelo mapa é a presença de áreas urbanizadas a distâncias cada vez maiores do centro da cidade, demonstrando a direção preferencial do crescimento urbano de Juiz de Fora nos anos futuros, o que com certeza afetará os fluxos ambientais e sociais e possivelmente causará mudanças ainda mais expressivas nos dados de temperatura do ar, de qualidade do ar, hidrológicos e de serviços da cidade.

A urbanização aumenta a área impermeabilizada da cidade, favorece a maior geração de calor em área urbana e pode causar impactos no ciclo

hidrológico e nas temperaturas do ar mínimas, médias e máximas. Os resultados aqui apresentados demonstram uma tendência de aumento para as amplitudes térmicas que está provavelmente relacionada às elevadas taxas de crescimento urbano nos diferentes aspectos analisados.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o município de Juiz de Fora foi identificada uma alta variabilidade das amplitudes térmicas diárias no período estudado. Pelo método da regressão linear não foram identificadas tendências relevantes das amplitudes térmicas diárias para nenhum mês, porém pelo teste não paramétrico de Mann-Kendall foram identificadas tendências significativas de aumento das amplitudes diárias para quase todos os meses tanto nos dados das médias quanto nos dados diretos. As taxas de urbanização, crescimento populacional e do número de veículos registrados neste período foram muito elevadas e é esperado que tenham efeitos sobre as temperaturas do ar, por meio da amplificação das características do clima urbano, impactando também, portanto, as amplitudes térmicas.

A estação Meteorológica Principal de Juiz de Fora está localizada bem afastada do centro da cidade, além de estar cerca de 300 metros mais elevada do que o vale onde a cidade é mais verticalizada e impermeabilizada. Devido a esses fatos, Ferreira *et al.* (2015) levantaram dúvidas se estes dados podem representar toda a dinâmica urbana atrelada ao centro da cidade. É preciso gerar mais dados para, especificamente, a área mais central da cidade para uma análise mais definitiva e precisa sobre esta questão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha professora e orientadora Cássia de Castro Martins Ferreira, por todo o suporte, todos os conselhos e todas as explicações dadas durante a realização deste trabalho e durante todo o período da graduação.

Agradeço aos membros do Laboratório de Climatologia e Análise Ambiental, em especial ao Yan, por ajudar com a disponibilização de dados, e ao Thiago, por ajudar com a análise de dados estatísticos.

Agradeço também aos amigos e familiares, demais para nomeá-los, que me ajudaram nos momentos que mais precisei e sempre estiveram ao meu lado.

Por último, porém não menos importante, agradeço à UFJF como um todo, em todos seus diferentes setores e departamentos e me direcionando a todos os seus funcionários, nas mais diferentes funções, que realizam seus trabalhos com extrema dedicação e fazem da Universidade a instituição grandiosa e honrada que ela é.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, H. O clima urbano – natureza, escalas de análise e aplicabilidade. **Finisterra – Revista Portuguesa de Geografia**, Lisboa, v. 40, n. 80, 2005, p. 67-91

ASSIS, D. C. **O conforto térmico associado às variáveis de cobertura da terra na região central de Juiz de Fora – MG**. Tese (Mestrado em Geografia) – Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, p. 196, 2016.

ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R.; YANAGI, S. N. M.; NETO, O. B. S. Tendências de temperaturas mínimas e máximas do ar no Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 4, p. 247-256, 2014.

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.

BORSATO, V. A.; MASSOQUIM, N. G.; OLIVEIRA, J. R.; SILVA, R. V.; RADI, L. S. A dinâmica da Massa Polar Atlântica, os sistemas frontais e o estado do tempo em Campo Mourão. *In: XI ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA*. 2019, Maringá. **Anais eletrônicos ...** Maringá: Universidade CESUMAR. Disponível em: <http://rdu.unicesumar.edu.br/handle/123456789/3552>. Acesso em: 02 dez. 2020.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito. Ministério da Infraestrutura. **Estatísticas – Frota de Veículos**. Brasília: DENATRAN, 2001-2019. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-denatran/estatisticas-frota-de-veiculos-denatran>. Acesso em: 26 nov. 2020.

FERREIRA, C. de C. M.; BATISTA, G. M. F.; VIANNA, Y. C. G. Variações ou tendências climáticas: um estudo com as séries de temperatura do ar para a cidade de Juiz de Fora-MG. **Revista de Ciências Humanas**, Viçosa, v. 15, n. 2, p. 414-433, 2015.

FIALHO, E. S.; SOUZA J. J. L. L. Utilização do clima no planejamento como reflexo das condições ambientais nos centros urbanos. **Revista ACTA Geográfica**, v. 1, n. 2, p. 29-41, 2007.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1970, 1980, 1991, 2000, 2010.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Contagem da População**. Rio de Janeiro: IBGE, 1996.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estimativas da População**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020.

JESUS, E. F. R. Algumas Reflexões teórico conceituais na climatologia geográfica em mesoescala: uma proposta de investigação. **GeoTextos**, v.4, n.1, p. 165-187, 2008.

JUIZ DE FORA. Lei Complementar nº 82 de 3 de julho de 2018. Dispõe sobre a Política de Desenvolvimento Urbano e Territorial, o Sistema Municipal de Planejamento do Território e a revisão do PDP/JF de Juiz de Fora conforme o disposto na Constituição Federal e no Estatuto da Cidade e dá outras providências. 2018. Disponível em: <https://jfl legis.pjf.mg.gov.br/norma.php?chave=0000042423>. Acesso em 03 nov. 2020.

JUIZ DE FORA. Lei nº 9.811 de 27 de junho de 2000. Institui o plano diretor de desenvolvimento urbano de Juiz de Fora. 2000. Disponível em: <https://jfl legis.pjf.mg.gov.br/norma.php?chave=0000023630>. Acesso em: 02 nov. 2020.

LANDSBERG, H. E. O Clima das cidades. Tradução: Prof. Dr. Tarik Rezende de Azevedo, DG, FFLCH, USP. Revisão Profa. Dra. Maria Elisa Siqueira Silva, DG, FFLCH, USP. **Revista do Departamento de Geografia**, 2006 n. 18, p. 95-111.

MONTEIRO, C. A. de F. Por um suporte teórico e prático para estimular estudos geográficos do clima urbano no Brasil. **Geosul**, Florianópolis, v.5, n.9, p.7-19, 1990.

MONTEIRO, C. A. de F. **Teoria e Clima Urbano**. Edição provisória do autor. São Paulo: USP, 1975.

OLIVEIRA, T. A. **O clima urbano como risco climático: os impactos das chuvas em Juiz de Fora – no período de 1980-2018**. Tese (Mestrado em Geografia) – Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, p. 312. 2021.

PENEREIRO, J. C.; ORLANDO, D. V. Análises de tendências em séries temporais anuais de dados climáticos e hidrológicos na bacia do rio Parnaíba entre os estados do Maranhão e Piauí/Brasil. **Revista Geográfica Acadêmica**, Goiânia, v. 7, n. 2, p.5-21, 2013.

PIMENTEL, F. O. **Clima urbano: o uso de modelos geoespaciais na investigação do comportamento térmico em Juiz de Fora – MG**. Tese (Mestrado em Geografia) – Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, p. 146, 2017.

RIBEIRO, C. R.; GONÇALVES, A. P.; BASTOS, F. P. Ilhas de calor urbanas e conforto térmico humano em cidades de porte médio: estudo aplicado em Juiz de Fora (MG). **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, [S.l.], v. 45, n. 1, p. 281-300, jan. 2019. ISSN 2177-2738. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/51262>>. Acesso em: 26 nov. 2020.

SANCHES, F. O.; FIALHO, E. S.; QUINA, R. R. Evidências de Mudanças Climáticas em Viçosa (MG). **Revista do Departamento de Geografia Universidade de São Paulo**, v. 34, p. 122-136, 2017.

SILVA, E. N.; RIBEIRO, H.; SANTANA, P. Clima e saúde em contextos urbanos: uma revisão da literatura. **Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales**, Barcelona, v. 19, n. 1092, p. 1-24, 2014.

SILVA, R. A.; SILVA, V. P. R.; CAVALCANTI, E. P.; SANTOS, D. N. Estudo da variabilidade da radiação solar no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 5, p. 501-509, 2010.

TORRES, F. T. P. Relações entre fatores climáticos e ocorrências de incêndios florestais na cidade de Juiz de Fora (MG). **Revista Caminhos de Geografia**, v. 7, n. 18, p. 162-171, 2006.