

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

**ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS DE SÉRIES
CLIMATOLÓGICAS DE TEMPERATURA E
AMPLITUDE TÉRMICA EM CUIABÁ**

SILVINO MENDES GARCIA

ORIENTADOR: PROF. DR. CARLO RALPH DE MUSIS

**CUIABÁ, MT
OUTUBRO DE 2018**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

**ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS DE SÉRIES
CLIMATOLÓGICAS DE TEMPERATURA E
AMPLITUDE TÉRMICA EM CUIABÁ**

SILVINO MENDES GARCIA

*Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Física
Ambiental da Universidade Federal de
Mato Grosso, como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Mestre em Física Ambiental*

ORIENTADOR: PROF. DR. CARLO RALPH DE MUSIS

**CUIABÁ, MT
OUTUBRO DE 2018**

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

M538a Mendes Garcia, Silvino.

ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS DE SÉRIES CLIMATOLÓGICAS DE
TEMPERATURA E AMPLITUDE TÉRMICA EM CUIABÁ / Silvino Mendes
Garcia. -- 2018

71 f. ; 30 cm.

Orientador: Carlo Ralph De Musis.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de
Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2018.

Inclui bibliografia.

1. Mudança climática. 2. Série histórica. 3. Temperatura média mensal. 4.
Temperatura do ar. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

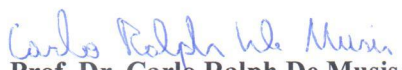
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental

FOLHA DE APROVAÇÃO

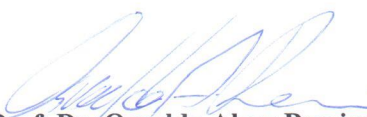
TÍTULO: ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS DE SÉRIES CLIMATOLÓGICAS
DE TEMPERATURA E AMPLITUDE TÉRMICA EM CUIABÁ

AUTOR: SILVINO MENDES GARCIA

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em 01 de outubro de 2018, pela
comissão julgadora:


Prof. Dr. Carlo Ralph De Musis
Orientador
Universidade de Cuiabá/UNIC


Prof. Dr. Osvaldo Borges Pinto Junior
Examinador Interno
Universidade de Cuiabá/UNIC


Prof. Dr. Osvaldo Alves Pereira
Examinador Externo
Universidade de Cuiabá/UNIC

DEDICATÓRIA

A minha esposa Bruna e ao meu filho Bruno, por todo amor, dedicação, carinho e confiança.

Aos meus colegas de turma, pelo companheirismo e amizade que perdurará por toda a vida.

AGRADECIMENTOS

- Primeiramente, agradeço aos meus pais por me colocarem no mundo e por ter saúde e sabedoria;
- A minha família pelo incentivo em seguir o caminho da honestidade e dedicação;
- Ao Prof. Dr. Carlo Ralph De Musis, pela orientação, apoio, confiança, companheirismo e amizade, que possibilitaram o desenvolvimento desta dissertação;
- Ao Prof. Dr. José de Souza Nogueira, Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Física Ambiental, pelo empenho na criação e andamento do curso, bem como, pelos conselhos e incentivo para persistir e concluir esta etapa;
- Aos amigos e colegas da Pós-Graduação em Física Ambiental, pelos momentos de descontração, alegria e companheirismo.
- A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso por compartilharem seus conhecimentos, contribuindo para escrita desta pesquisa;
- Ao Cesário, Soilce e Juliana pela colaboração nos serviços da secretaria que auxiliam o desenvolvimento do Programa;

*"Educar a mente sem educar o
coração não é educação."*

Aristóteles

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	12
LISTA DE ABREVIATURAS E SIMBOLOS	13
RESUMO	14
ABSTRACT	15
1. INTRODUÇÃO	16
1.1 PROBLEMÁTICA	16
1.2 JUSTIFICATIVA	19
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1 A VARIAÇÃO DA TEMPERATURA NO AR	21
2.1.1 RADIAÇÃO SOLAR	21
2.1.2 VENTOS.....	23
2.1.3 TEMPERATURA.....	26
2.1.4 UMIDADE ATMOSFÉRICA	30
2.2 CONFORTO TÉRMICO	31
2.2.1. CONCEITO	31
2.2.2 CONDIÇÕES PARA O CONFORTO TÉRMICO	32
2.2.3. TERMO-REGULAÇÃO DO CORPO HUMANO	32
2.2.4. TROCAS TÉRMICAS: SECAS E UMIDAS.....	33
2.2.5. VARIÁVEIS DE CONFORTO TÉRMICO	33
2.2.5.1. TEMPERATURA DO AR.....	34
2.2.5.2 TEMPERATURA RADIANTE MÉDIA.....	34
2.2.5.3. VELOCIDADE DO AR	35
2.2.5.4. UMIDADE RELATIVA DO AR.....	35
2.2.5.5. METABOLISMO	36
2.2.5.6. VESTIMENTA	37
2.3 ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS	37
2.3.1 AVALIAÇÃO DE TENDÊNCIAS EM SERIES CLIMATOLÓGICAS	41
3. METODOLOGIA	43
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	43
3.1.1 A GRANDE CUIABA	43
3.1.2 ASPECTOS CLIMATICOS.....	44
3.1.3 VEGETAÇÃO	46

3.1.4 EXPANSÃO URBANA	47
3.2 SÉRIES CLIMATOLÓGICAS	49
3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA	51
3.3.1 AVALIAÇÃO DE TENDÊNCIA.....	51
3.3.2 ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS	53
4. RESULTADOS.....	56
5. CONCLUSÃO	61
6. BIBLIOGRAFIAS	62
ANEXO 1 – CÓDIGO DOS SCRIPTS DESENVOLVIDOS EM R	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Modelo do balanço de energia radioativo terrestre.	22
Figura 2- Variação de temperatura (°C) em solo não vegetado.....	23
Figura 3- Modelo conceitual de circulação global atmosférica.	24
Figura 4- Perfil vertical da velocidade do vento	25
Figura 5- Relação entre temperatura média do ar e a altitude no perfil topo climático do Parque Estadual de Intervalos – PEI	27
Figura 6- Temperatura de superfície devido ao sombreamento das árvores.....	28
Figura 7- Evolução urbana da Grande Cuiabá	29
Figura 8- Anomalias de temperatura do ar global analisadas em longos períodos.	39
Figura 9- Localização da área de estudo.	43
Figura 10- Gráfico da temperatura média mensal máxima para Cuiabá, a serie 1 representa o período de 1931 a 1960 e a serie 2 o período de 1961 a 1990.....	45
Figura 11- Gráfico da temperatura média mensal mínima para Cuiabá, a serie 1 representa o período de 1931 a 1960 e a serie 2 o período de 1961 a 1990.....	45
Figura 12- Evolução da população de Cuiabá, 1940-2017.	48
Figura 13- Evolução da população de Várzea Grande, 1950-2017.	48
Figura 14- Temperatura Média e Amplitude Térmica diárias.....	50
Figura 15- Exemplo de execução do algoritmo de K-Means.....	54
Figura 16- Exemplo do efeito de uma má inicialização do algoritmo K-Means .	54
Figura 17- Representação gráfica das séries de temperatura média mensal de Cuiabá	56
Figura 18- Função de auto-correlação serial da temperatura média mensal.....	57
Figura 19- Função de auto-correlação parcial da temperatura média mensal.....	57

Figura 20- Função de auto-correlação serial da amplitude térmica média mensal

..... 58

Figura 21- Função de auto-correlação parcial da amplitude térmica média mensal

..... 58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Índice de temperatura e umidade.	31
Tabela 2- Evolução do Limite do Perímetro Urbano de Cuiabá.	47
Tabela 3- Percentual de falhas considerando as variáveis temperaturas média, máxima e mínima diárias (1961 a 2017).	49
Tabela 4- Níveis de significância para os testes não-paramétricos de Mann-Kendall e Kolmogorov-Smirnov.	59
Tabela 5- Intervalos de confiança das séries climatológicas das temperaturas médias mensais.	59
Tabela 6- Intervalos de confiança das séries climatológicas das amplitudes térmicas médias mensais.	60
Tabela 7- Grupos homogêneos estimado por k-means.	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIMBOLOS

MKSB - Mann-Kendall Sazonal com Bootstrap

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

S - variável estatística para o teste de Mann-Kendall

SGN - somatória dos sinais

$Var(S)$ – Variância de S

ZMK - índice da distribuição normal

TSA - Theil Sen Approach

RESUMO

GARCIA, S. M. **Avaliação de tendências e classificação de estações do ano com base na temperatura mensal média em Cuiabá.** Cuiabá-MT. 2018. 71f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2017.

O objetivo deste trabalho foi usar ferramentas de análise estatística para avaliar possíveis tendências anuais das séries de temperatura média diária e amplitude térmica média diária, assim como classificar os meses do ano conforme as distribuições dessas variáveis. Foi usada a série histórica de 12/1986 a 12/2016 de temperatura média do ar à superfície, da estação meteorológica do Instituto brasileiro de Meteorologia em Cuiabá, Mato Grosso. A análise de tendência foi avaliada pelo teste não paramétrico de Mann-Kendall, não detectando tendência significativa para a temperatura média mensal geral, assim como para as medianas e intervalos de confiança de mínimo e máximo mês a mês. Foi desenvolvida uma análise de agrupamentos não hierárquico do tipo K-means para os meses a partir das médias mensais e percentis das variáveis analisadas, obtendo duas estações principais e duas de amplitudes menores, correspondentes às transições.

Palavras-chave: Mudança climática, Série histórica, Temperatura média mensal, Temperatura do ar.

ABSTRACT

GARCIA, S. M. **Evaluation of trends and classification of seasons based on the average monthly temperature in Cuiabá.** Cuiabá-MT. 2018. 71f. Dissertation (Master's Degree in Environmental Physics) – Institute of Physics, Federal University of Mato Grosso, Cuiabá, 2017.

The objective of this work was to use statistical analysis tools to evaluate possible annual trends of the series of average daily temperature and mean daily thermal amplitude, as well as to classify the months of the year according to the distributions of these variables. The historical series of 12/1986 to 12/2016 average surface air temperature was used from the meteorological station of the Brazilian Institute of Meteorology in Cuiabá, Mato Grosso. The trend analysis was evaluated by the non-parametric Mann-Kendall test, not detecting a significant tendency for the average monthly average temperature, as well as for the medians and minimum and maximum month-to-month confidence intervals. A non-hierarchical K-means cluster analysis was developed for the months from the monthly averages and percentiles of the analyzed variables, obtaining two main stations and two of smaller amplitudes, corresponding to the transitions.

Keywords: Climate change, Historical series, Average monthly temperature, Air temperature.

1. INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMÁTICA

Nas últimas décadas o que se observa no meio científico é uma preocupação com os resultados provenientes das mudanças climáticas sejam elas por variações na temperatura média global ocasionada por ações antrópicas, tais como intensa urbanização e industrialização das cidades, ou por mudanças em outras variáveis climáticas, como, por exemplo, a umidade relativa do ar. Mudanças climáticas essas que podem provocar desde pequenos períodos de estiagem a grandes devastações por fenômenos climáticos.

O Brasil é um país de dimensões continentais, e por esta característica apresenta variações do clima em toda a sua extensão, o que se justifica também pela diversidade do relevo que acaba por influenciar no direcionamento de ventos e massas de ar tornando assim uma região mais suscetível que outras a grandes variações climáticas.

Ainda segundo Back (2001), uma das grandes preocupações da comunidade científica na última década diz respeito às alterações climáticas e suas consequências para a humanidade. Constatou-se que a temperatura média global aumentou entre 0,3 e 0,6 °C desde o final do século passado (Houghton et al., 1996). Nos últimos anos, tem sido muito discutida a possibilidade de mudança climática como resultado da emissão de gases de efeito-estufa pelas atividades humanas (Bruce, 1990; Berlato, et. al., 1995).

O entendimento do comportamento das variáveis climáticas é de fundamental importância para que a sociedade mantenha seu desenvolvimento e sobrevivência, a temperatura é uma delas uma vez que tem influência direta sobre a vida terrestre.

Sistemas climáticos complexos têm propriedades que não podem ser completamente identificadas pelo entendimento das partes do sistema. As propriedades do sistema são distintas das propriedades das partes, e elas dependem da integridade do conjunto; as propriedades sistêmicas desaparecem quando o sistema é analisado em partes, ao passo que as propriedades das partes são mantidas (GALLAGHER; APPENZELLER, 1999 em DE PAULO, 2015).

Segundo Richman & Moorman (2000):

...a estimativa da complexidade é de grande interesse na previsão de mudanças climáticas. Por exemplo, as técnicas para calcular a complexidade de séries temporais climáticas envolvem frequentemente o cálculo do expoente de Lyapunov, dimensão de correlação e da complexidade de Kolmogorov, etc. Esses métodos dinâmicos não lineares são poderosas abordagens para a compreensão dos sistemas climáticos complexos. Os cálculos, no entanto, geralmente necessitam de conjuntos de dados longos que podem ser difíceis ou impossíveis de se obter.

Na mesma linha de pensamento, Pereira, et al., (2002), cita que a variação da temperatura do ar depende de alguns fatores, tais como: altitude, latitude, longitude e distância dos oceanos. Considerando as variações da temperatura do ar como um importante fator no estudo de alteração climática global e modelagem de ecossistemas, faz-se necessário uma investigação e caracterização da mesma com a utilização de técnicas estatísticas de análise de séries temporais para compreensão dos processos e fenômenos físicos envolvidos. Assim, por meio apenas da variável temperatura seria possível investigar e caracterizar a dinâmica climática do sistema, a evolução temporal dos parâmetros de dinâmica não linear da temperatura e a influência do fenômeno El Niño sobre os padrões da dinâmica climática da variável.

De acordo com Marengo (2006), uma preocupação recorrente nos últimos anos é o aumento da temperatura em quase toda a extensão territorial brasileira em determinados períodos do ano, evento esse que tem influência direta no surgimento de focos de incêndio, gasto excessivo de energia elétrica, aparecimento de doenças tropicais associadas a vetores biológicos, desequilíbrio na produção de alimentos e plantações controladas.

Ao longo dos anos o Estado de Mato Grosso apresentou estações bem definidas de estiagem (estação seca) e de aumento na precipitação (estação chuvosa), porém, devido ao intenso processo de expansão urbana tem-se observado alterações (aumento ou diminuição no período dessas estações) nesse comportamento com o passar do tempo, podendo influenciar diretamente nas condições de vida das comunidades locais e também na periodicidade das plantações de grãos e atividade pecuária do Estado como um todo.

O município de Cuiabá e seu entorno, por ter uma característica de urbanização destacada em relação as demais cidades do Estado de Mato Grosso, é mais sensível às mudanças climáticas, favorecendo a ocorrência de problemas

associados às mesmas, principalmente ao aumento de temperatura, que é um catalisador de problemas que vão de alterações nos biomas e ecossistemas da região a efeitos na saúde humana das comunidades locais. O fator urbanização é responsável por mudanças nas variáveis microclimáticas locais, causadas principalmente pela alteração no relevo, dentre os quais a retirada da vegetação e a inserção de edificações, estão associadas diretamente as referidas mudança.

Dentro desse contexto e por ser um parâmetro avaliativo de base, o estudo de séries climatológicas justifica-se.

Contudo, faz-se necessário da avaliação quanto aos pressupostos de estacionariedade e ergodicidade¹ das séries em estudo, uma vez que, ao longo dos anos, ocorrerem mudanças no uso e na ocupação e do solo, na cobertura vegetal, que podem resultar na quebra desses pressupostos, as quais também podem ser consequência de lentas variações climáticas.

O relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) de 1995 definiu a mudança climática como:

[...] uma variação a longo prazo estatisticamente significativa em um parâmetro climático (como temperatura, precipitação ou ventos) médio ou na sua variabilidade, durante um período extenso (que pode durar de décadas a milhões de anos). (HOUGHTON et al, 1996, p. 5)

Uma série temporal somente pode ter sua estacionariedade e a ergodicidade assumidas tendo sua complexidade compreendida e sua extensão representativa, ou seja, um conjunto de dados consideráveis ao ponto de se observar que não ocorrem mudanças nas suas características estatísticas. Contudo, nos processos climáticos é razoável supor que os efeitos dessas mudanças são lentos e não afetam as previsões de curto e médio prazo.

Nos últimos anos, com as crescentes preocupações sobre os impactos das mudanças climáticas (IPCC, 2007), os pesquisadores têm utilizado vários métodos estatísticos e estocásticos para identificar tendências nas séries temporais em diferentes escalas de agregação.

¹ “Uma série temporal é estacionária quando suas características estatísticas (média, variância, autocorrelação, ...) são constantes ao longo do tempo. É uma série que se desenvolve aleatoriamente no tempo, em torno de uma média constante, refletindo alguma forma de equilíbrio estatístico estável (i.e. as leis de probabilidade que atuam no processo não mudam com o tempo). Ergodicidade implica que uma única realização se comporta, no espaço, com a mesma função densidade de probabilidade que o conjunto de possíveis realizações. Assim, com a observação da variação no espaço de uma propriedade, é possível determinar a função densidade de probabilidade para todas as realizações. Isto é chamado de inferência estatística da função densidade de probabilidade da função regionalizada. Um fenômeno que é estacionário e ergódico é considerado homogêneo, ou uniforme.” (Costa, et. al, 2004)

Articulando entre a importância da caracterização de séries climatológicas, em destaque às associadas a temperatura, incluso a avaliação dos pressupostos de estacionariedade e ergodicidade e a classificação de períodos homogêneos dentro do ciclo anual para dados coletados na estação climatológica do INMET em Cuiabá, Mato Grosso.

Objetivo Geral:

Classificar, com base nas distribuições de probabilidade, séries de médias mensais temperatura média e amplitude térmica registradas na estação climática INMET localizada em Cuiabá, Mato Grosso.

Objetivos específicos

- Compilar série de dados do INMET.
- Avaliar a estacionariedade e ergodicidade, assim como a presença de pontos de mudanças de tendência, usando procedimento baseado no teste de Mann-Kendall.
- Computar os intervalos de confiança para séries mensais utilizando *bootstrap*.
- Classificar as estações climáticas a partir das temperaturas médias utilizando o procedimento não hierárquico *k-means*.

1.2 JUSTIFICATIVA

De acordo com (PEREIRA, et al., 2002), a variação da temperatura do ar depende de alguns fatores, tais como: altitude, latitude, longitude e distância dos oceanos; assim como é influenciada por processos climatológicos: condições do tempo e clima na superfície terrestre, aquecimento do solo e da água (radiação, convecção e condução), direção e intensidade dos ventos e comportamento das chuvas.

Posto a sua importância no estudo de alteração climática global e modelagem de ecossistemas, faz-se necessário, enquanto ciência de base, a investigação e caracterização das séries temporais derivadas da temperatura do ar para compreensão dos processos e fenômenos físicos envolvidos.

A população do Estado de Mato Grosso, representada pelos seus Gestores, são os principais interessados dos resultados produzidos, em destaque, possivelmente, as implicações das variações climáticas da temperatura do ar: o

desconforto térmico, alterações nos ciclos de precipitação e aumento do número de ilhas de calor urbanas.

Logo, uma questão a ser respondida é a existência, ou não, de tendências nas séries de temperatura de Cuiabá e entorno, uma vez que este tem sido a pedra de toque de muitas ilações, destacando-se: o surgimento de queimadas que ocorrem em determinados meses do ano (MACHADO, 2014); aumento da temperatura média na cidade de Cuiabá e entornos, aumento ou diminuição nos períodos de estações chuvosa e seca (MARCUIZZO, 2011).

A partir de revisão no repositório Science Direct (<https://www.sciencedirect.com/>) e Scielo (<http://www.scielo.org>) para os últimos 15 anos, observa-se que estudos que comprovariam estatisticamente a existência ou não de tendências nas series climatológicas, de modo geral, tem pouca prevalência.

Constatou-se assim uma lacuna, na qual a caracterização das séries climáticas, em destaque as associadas a temperatura do ar nos centros urbanos, é de fundamental importância, uma vez que a par desse conhecimento é possível criar estratégias e estudos que minimizariam os efeitos resultantes da variação da temperatura.

O estudo aqui disposto propõe um procedimento de análise da tendência, assim como a classificação de grupos pesquisa de estações do ano e intervalos de confiança, da série de temperaturas médias mensais coletadas na estação climatológica mantida pelo Instituto Nacional de Meteorologia em Cuiabá, Mato Grosso; com vistas a subsidiar outros estudos relacionados ao tema uma vez que fornecera uma estratégia metodológica e resultados prestantes ao planejamento urbano e desenvolvimento de políticas públicas no centro urbano estudado e entornos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A VARIAÇÃO DA TEMPERATURA NO AR

Esta seção foi dedicada a descrição das variáveis climáticas que tem relação direta com a variação de temperatura no ar, também foram pinçados conceitos utilizados de forma indireta, como condução e convecção nos fluxos de energia biosfera atmosfera, ventos e outros elementos que tem influencia na variação de temperatura no ar.

2.1.1 RADIAÇÃO SOLAR

A maioria das variáveis climáticas tem relação direta com a variação de temperatura, porém, a radiação solar é a mais significativa pelo fato de fornecer a energia necessária para o ganho de calor nas superfícies do solo e também para o seu interior.

Chiletto (2005, p. 7) assim define:

...o regime térmico de solo é determinado pelo aquecimento de sua superfície pela radiação e transporte de calor sensível a seu interior.

De acordo com Ometto (1981, p. 129):

O aquecimento da atmosfera ocorre a partir da superfície do solo pelo processo denominado pseudo-condução e caracterizado pela difusão turbulenta. Em virtude disso, o gradiente térmico atmosférico é, em condições normais decrescentes com a altitude. Isso mostra que as maiores temperaturas, ou melhor, os meios mais altamente energéticos se situam juntos a proximidades do solo, e conseqüentemente onde se localizam plantas e animais. A distribuição e utilização dessa energia pelos seres vivos, são o que os condiciona nos diferentes locais do globo.

A variação da temperatura do ar é causada por fenômenos de transportes que estão associados aos fluxos de energia na interação biosfera-atmosfera.

Segundo Neto (2012, p. 13):

Todos os seres vivos que habitam a Terra juntamente com os seus habitats formam a Biosfera. Esses ecossistemas interagem com a Atmosfera (camada de gases que envolvem o planeta), enviando e recebendo energia e matéria. Esses fluxos, ou fenômenos de transporte, tem especial destaque na Física Ambiental.

A figura abaixo exemplifica a dinâmica da interação biosfera atmosfera, no fluxo de energia.

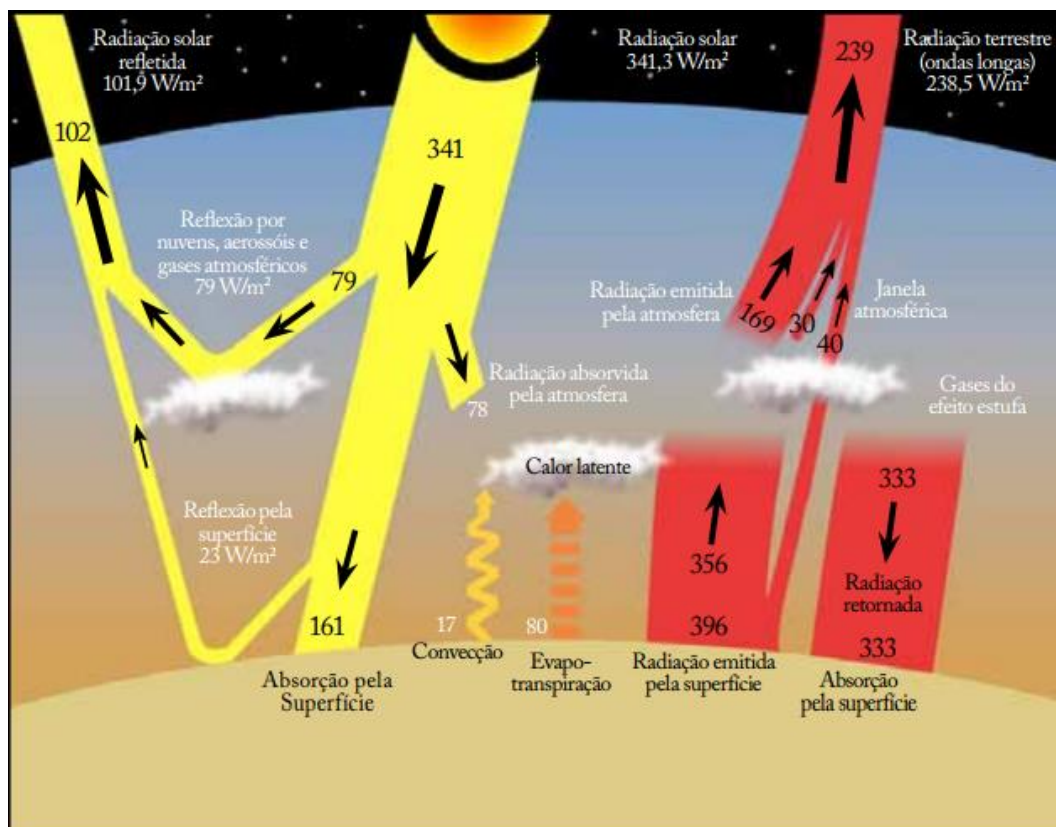


FIGURA 1- Modelo do balanço de energia radioativo terrestre.

FONTE: Neto (2012).

É necessário lembrar que a temperatura média da atmosfera é de fundamental importância para a conservação da vida e dos processos físicos e químicos hoje vigentes na biosfera. Partindo desse pressuposto percebe-se como é importante acompanhar e entender os fluxos de calor no solo e a partir da superfície, bem como as trocas de massa entre esta e a atmosfera.

A Figura 2 ilustra o comportamento das linhas de temperatura no solo, no período de 07:00 horas da manhã às 07:00 horas do dia seguinte. Ao se traçar as isolinhas da distribuição vertical da temperatura no interior do solo, ao longo do tempo fica claro a direção do fluxo de calor. As camadas mais próximas à superfície encontram-se geralmente mais aquecidas durante o dia e o fluxo de calor se dá para baixo. Já durante a noite, quase sempre, ocorre o inverso (VAREJÃO 2006).

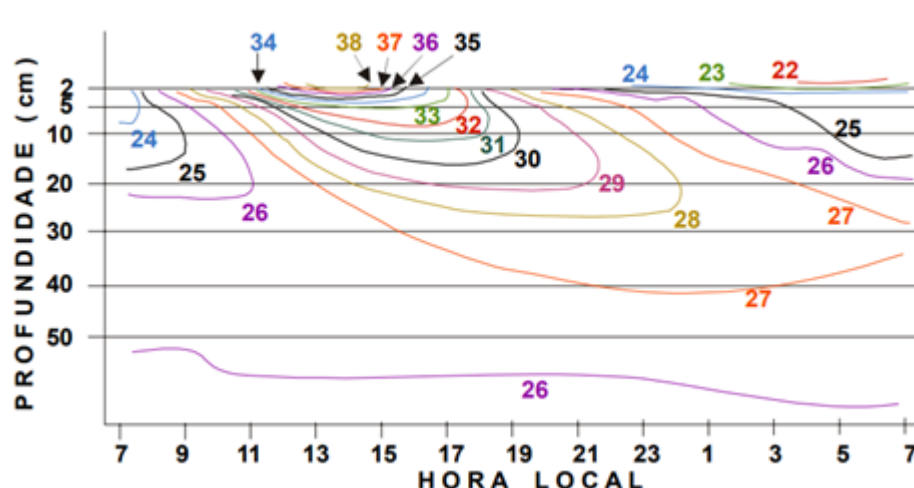


FIGURA 2- Variação de temperatura (°C) em solo não vegetado.

FONTE: Varejão (2006).

Por ser um processo interligado as variáveis climáticas, o fluxo de calor do solo para a atmosfera pode ocorrer de outras formas, logo, precisamos retomar alguns conceitos no que se refere à propagação do calor.

Segundo Reichardt & Timm (2004, p. 232) temos as definições de calor, radiação, convecção e condução:

Calor: é a energia em trânsito entre um corpo (ou sistema) e outro devido a uma diferença de temperatura entre os dois.

Radiação: processo de transferência de energia por radiações eletromagnéticas, sobre tudo na região visível e infravermelho.

Convecção: processo de transferência por fluxo de massa.

Condução ou difusão térmica: processo de transferência por difusão de energia de regiões mais quentes para regiões mais frias.

Ainda segundo Reichardt & Timm (2004, p. 232):

No solo, o processo de transferência por condução é, sem dúvida, o principal processo que ocorre.

Já na atmosfera, os movimentos convectivos são de grande importância. Os processos convectivos têm relação direta com a variação de temperatura do ar, uma vez que a matéria aquecida se desloca e, com isso, torna-se “responsável” pelo calor (energia térmica em trânsito).

Com o deslocamento de fluidos (gases e líquidos) a matéria é transportada, com isso, pode-se perceber como o transporte de energia pode estar associado ao de matéria.

2.1.2 VENTOS

Os ventos são elementos importantes no que tange a troca de calor da superfície terrestre e a atmosfera.

Frota & Schiffer (2003, p. 63), mencionam que a variação da temperatura do ar no planeta terra como um todo, tem como consequência o deslocamento de massas de ar, uma vez que, se não existisse o movimento de rotação do planeta terra, o movimento do ar seria constante e ascendente dos polos para o Equador. O movimento de rotação da terra provoca uma força desviadora dessas direções (denominada Força de Coriolis).

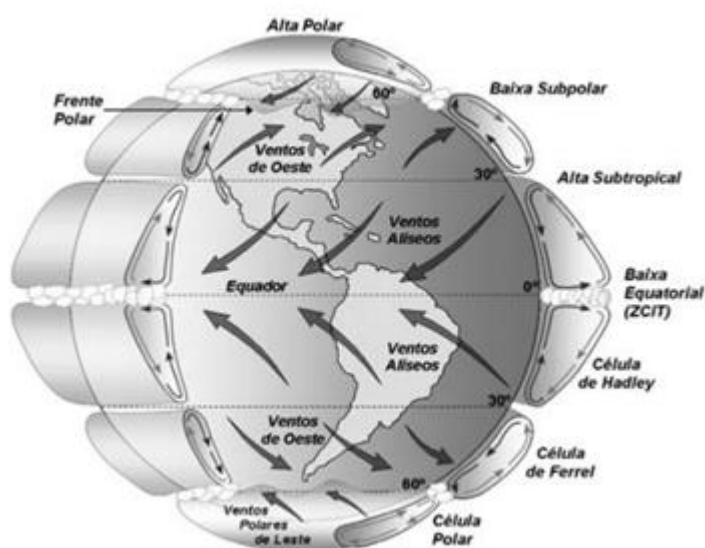


FIGURA 3- Modelo conceitual de circulação global atmosférica.

FONTE: Martins (2008).

Uma característica singular dos ventos é que eles possuem a propriedade de modificar as condições microclimáticas locais. Como consequência dos ventos, ocorre uma estratificação do ar fazendo com que os movimentos turbulentos próximos à superfície modifiquem sua configuração. Ao nível local as correntes de ar são influenciadas pela topografia e pelas diferenças de temperatura causadas pelas diferentes coberturas do solo e da vegetação.

Para Mascaró (1996) as cidades apresentam formas complexas de respostas aos ventos. Os ventos podem mudar a configuração do domo climático de uma cidade. Com a ocorrência de ventos regionais o domo climático pode mudar sua conformação, alongá-la em forma de pluma, atingindo a região a sotavento da estrutura urbana.

Ainda segundo o autor, a ação do vento é sentida pelas pessoas como força e velocidade na medida em que aumenta a taxa de troca de calor com o exterior. O conforto térmico para o pedestre também pode ser verificado. Tomando como

base a velocidade média em 10 minutos a 2 m do chão, determinou-se que em uma velocidade de 5m/s inicia-se o desconforto para o pedestre e chegando a 20 m/s considera-se perigoso para pessoas frágeis. O deslocamento do ar regula a sensação térmica, pois estimula a evapotranspiração e as perdas de calor por convecção.

A conformação arquitetônica das cidades formada pela composição de edificações das mais variadas finalidades, cria uma espécie de rugosidade que acaba por influenciar na ação dos ventos, como consequência ocorre uma interferência nos fluxos dos mesmos, diferenciando as variadas formas de ocupação do solo urbano.

Outro ponto a ser considerado é o fato de que o vento exerce uma função de veículo de matéria em suspensão na atmosfera, servindo assim com transporte da poluição do ar afetando diretamente cidades com grande número de indústrias e também cidades vizinhas.

Do ponto de vista do transporte de matéria, a rugosidade existente nos ambientes urbanos proporciona o surgimento de um comportamento turbulento nos fluxos dos ventos ali atuantes.

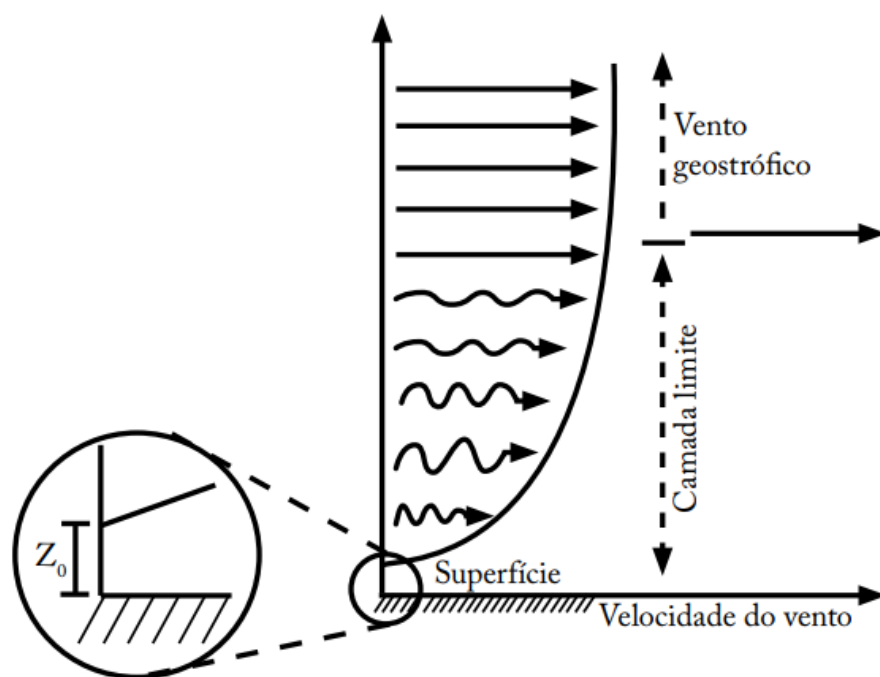


FIGURA 4- Perfil vertical da velocidade do vento

FONTE: Martins (2008).

A Figura 4 ilustra um comportamento teórico dos ventos, mostrando claramente as regiões de regime turbulento e laminar.

Segundo NETO (2012, p. 16):

Fluxo (ou escoamento) laminar: as partículas do fluido percorrem trajetórias paralelas, como se tivéssemos várias camadas superpostas dentro do fluido, que não se misturam e têm um mesmo vetor velocidade (imagine essas camadas em movimento ao longo de linhas paralelas e no mesmo sentido).

Fluxo (ou escoamento) turbulento: no regime turbulento, as partes do fluido (substância) se misturam de maneira não linear. Geralmente formando pequenos redemoinhos (turbilhões) dentro do fluido. Neste caso, se fosse possível acompanhar o movimento de uma pequena parcela que compõe esse fluxo (vamos chamá-la de elemento de fluxo), a veríamos se mover ao longo de uma complexa trajetória, bem diferente do que ocorre no escoamento laminar.

A velocidade do fluido próxima à superfície é menor que a dos níveis superiores de maneira que o fluido junto à superfície pode ser aceito como aderido a ela. Isso ocorre devido ao amortecimento pelo atrito entre o fluido e a superfície, amortecimento esse que é transmitido às camadas superiores em função da viscosidade do fluido. A conformação arquitetônica das cidades apresenta uma característica rugosa devido a presença das edificações, dificultando assim o escoamento das camadas de massa de ar próximas a ela.

2.1.3 TEMPERATURA

A temperatura do ar e o local onde ele está apresentam uma interação complexa que acaba por influenciar no conforto térmico das cidades, estudos mostram que essa interação é um dos principais agentes causadores de modificações do clima local.

Conforme citado por Ayoade (1996, p. 52), a temperatura do ar em determinado local pode sofrer variação com o decorrer do tempo. Em seu trabalho, afirma ainda que a quantidade de insolação recebida, a natureza da superfície, à distância a partir dos corpos hídricos, o relevo, a natureza dos ventos predominantes e as correntes oceânicas podem influenciar na temperatura sobre a superfície da Terra ou parte dela.

O relevo pode ter um efeito minimizador sobre a temperatura, sobre tudo porque a temperatura do ar normalmente diminui com a altitude crescente. Em área de topografia e inclinação variadas, o aspecto e o grau de exposição das localidades são fatores importantes que influenciam a temperatura.

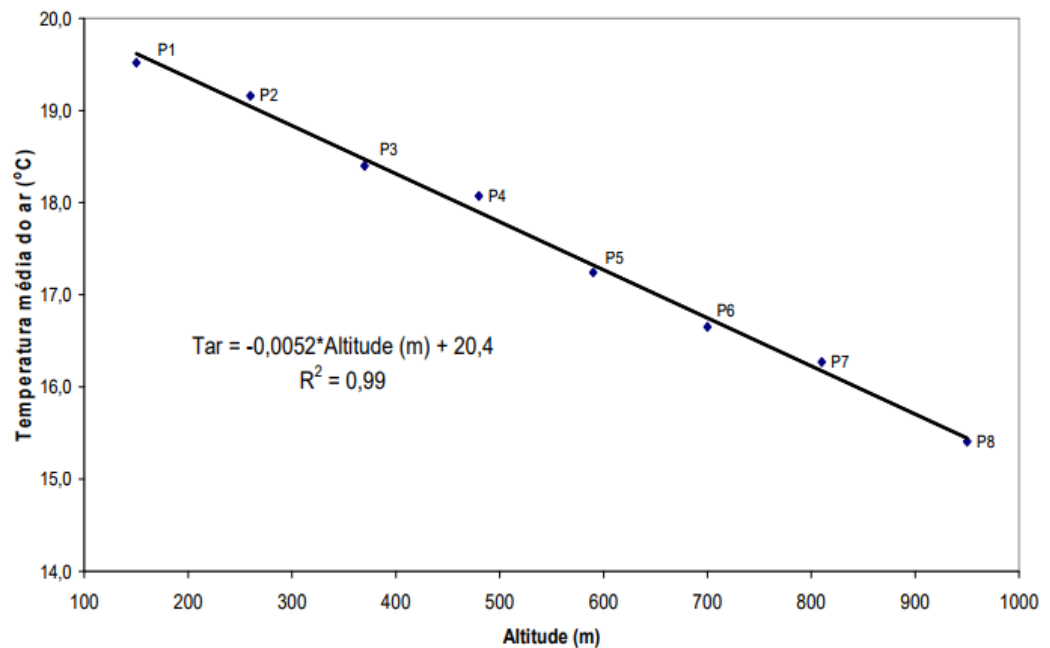


FIGURA 5- Relação entre temperatura média do ar e a altitude no perfil topo climático do Parque Estadual de Intervales – PEI

FONTE: Galvani (2006)

Autores como Vianello & Alves (2003) introduzem o conceito de calor como sendo uma forma de energia que pode ser transferida de um para outro sistema, independentemente do transporte de massa e da execução do trabalho.

Um fator a ser considerado é o estudo do calor no solo que tem uma considerável complexidade, devido principalmente a modificações na superfície.

Segundo Ometto (1981, p. 107), uma superfície do solo pode absorver maior ou menor quantidade de energia radiante. Essa absorção limita-se aos primeiros milímetros de sua superfície, tornando-se, portanto, tanto mais energética quanto maior a energia absorvida. Da radiação líquida disponível à superfície do solo, uma parcela sofre o processo de condução molecular, transferindo parte daquela energia da superfície para camadas mais profundas.

Para Mascaró (1996), a variação da temperatura máxima urbana também pode se relacionar fortemente com a população da cidade, mas existem dúvidas sobre o que acontece quando varia o seu tamanho ou a sua população.

Os ambientes urbanos apresentam um comportamento singular, pois a temperatura radiante média expressa a temperatura média dos corpos que trocam calor no ambiente. Frequentemente, seu valor é um pouco maior ou um pouco menor do que o da temperatura do ar, uma vez que expressa a presença de corpos

em diferentes temperaturas, trocando calor através da radiação. Isso é observado no verão, quando a temperatura do ar diminui após o entardecer.

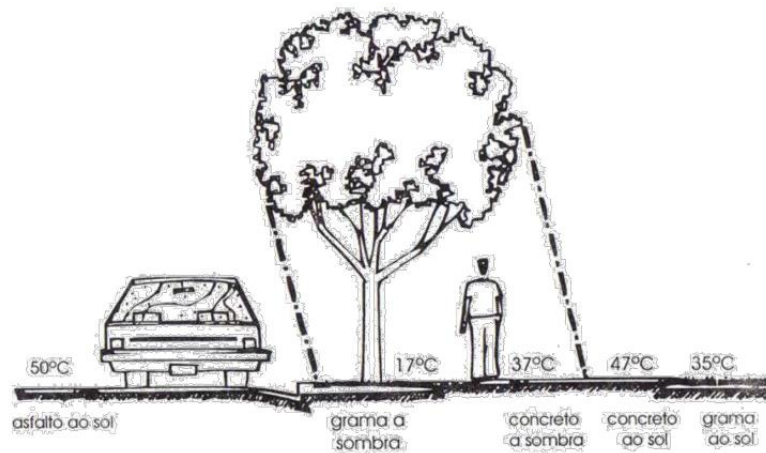


FIGURA 6- Temperatura de superfície devido ao sombreamento das árvores

FONTE: Mascaró (1996)

Atualmente as áreas urbanas são compostas de superfícies mais escuras e menos vegetação. Estas características modificam o clima, o uso de energia, e a habitabilidade das cidades. Com consequência, superfícies escuras e vegetação reduzida aquecem a camada de ar imediatamente acima das áreas urbanas, possibilitando assim o aparecimento de ilhas de calor.

Segundo o Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Urbano de Cuiabá, desde 1818 a grande Cuiabá aumentou sua área urbana, seja, pela construção de edificações de moradia e comércio ou pelo estabelecimento de infraestrutura necessária a manutenção e subsistência dos indivíduos dessa sociedade.

É possível verificar a evolução urbana da grande Cuiabá pela Figura 7.

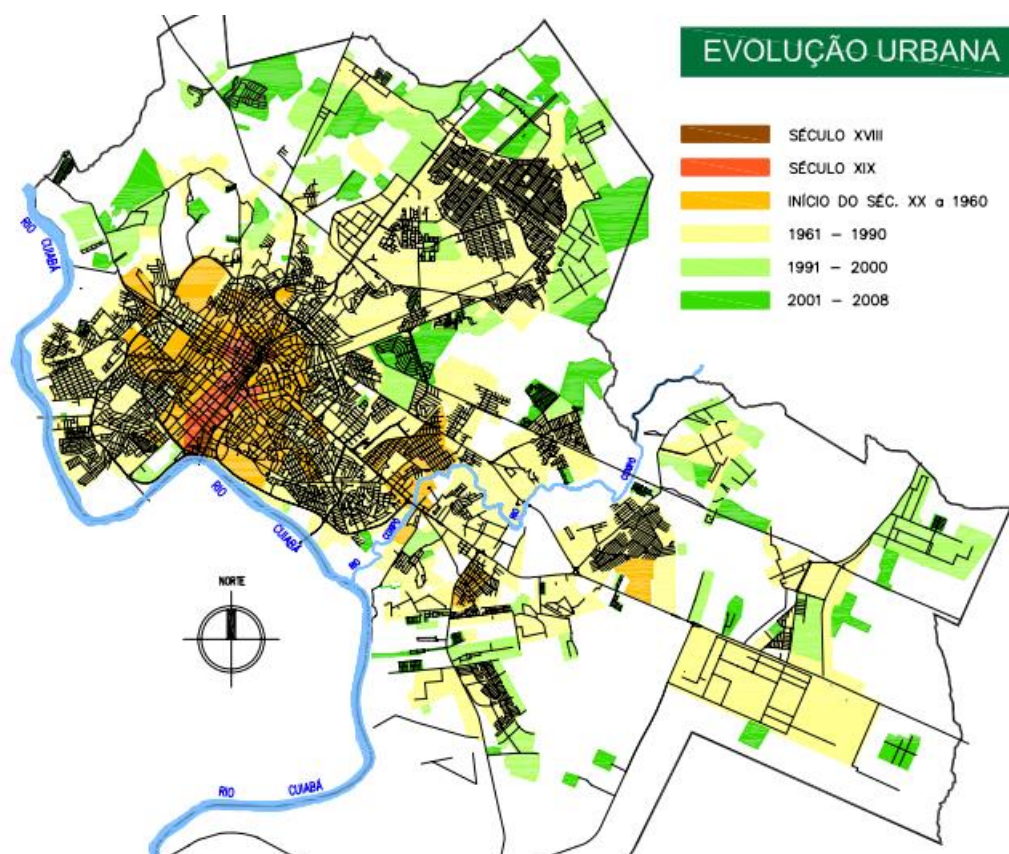


FIGURA 7- Evolução urbana da Grande Cuiabá

FONTE: Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Urbano – Departamento de Pesquisa e Informação, 2007.

Pode-se afirmar que os efeitos da urbanização no ambiente se intensificaram após a Revolução Industrial, comprometendo a qualidade ambiental e a vida humana. Este período histórico trouxe em seu bojo um grande crescimento demográfico e centralização das atividades comerciais, financeiras, institucionais, industriais, entre outras. Tudo isso proporcionou uma valorização do espaço urbano e, conseqüentemente, o crescimento urbano (VASCONCELOS 2011, p. 18).

Segundo o mesmo autor:

Neste sentido remove-se a vegetação para dar lugar às edificações e superfícies pavimentadas que prejudica o meio ambiente, pois a arborização proporciona equilíbrio ao clima, uma vez que interfere na temperatura, na velocidade dos ventos, na pluviosidade, balanço de energia, balanço de radiação, etc. Desta forma nos últimos anos tem se verificado a importância de áreas verdes, pois entre as modificações que o homem produz no meio ambiente, a mais drástica e visível é a substituição das áreas verdes. E são justamente as áreas verdes que exercem influência no clima local, regional e global. Assim nota-se que a qualidade de

vida humana está relacionada à interferência do homem no meio ambiente, por causa do processo de urbanização. Neste sentido o objetivo do artigo é comparar os dados climatológicos coletados nos bairros Duque de Caxias e dos Bandeirantes, localizados em Cuiabá – MT (VASCONCELOS 2011, p. 19).

2.1.4 UMIDADE ATMOSFÉRICA

A variação de temperatura no ar exerce influência direta na variação da umidade relativa de determinado ambiente.

Segundo Oliveira (2007): O vapor d'água é um dos constituintes variáveis do ar atmosférico. Seu volume é determinado pela temperatura do ambiente, pois a capacidade de contenção do vapor d'água na atmosfera é função da temperatura do ar.

Já Butera (1995) assim define:

A flutuação diária da umidade relativa é maior no verão do que no inverno, de forma análoga à temperatura do ar. Os valores mais elevados registram-se durante a madrugada, quando a temperatura do ar atinge seu valor mínimo, e mais baixo no início da tarde, correspondentemente ao máximo da temperatura de bulbo seco.

De acordo com Tubelis & Nascimento (1992) apud Oliveira (2008): O que define a umidade é a água, na fase de vapor, presente na atmosfera. A origem desse vapor de água são as superfícies de água, gelo e neve, a superfície do solo, as superfícies vegetais e animais. A sua concentração é pequena, chegando no máximo a 4% em volume com grande variabilidade.

De acordo com Oliveira (2008):

...numa dada pressão e temperatura, o ar consegue reter o vapor de água até certa concentração limite. Quando o vapor de água ocorre na sua concentração máxima, o ar é dito saturado. Para o mesmo valor de pressão, essa concentração máxima de vapor ou saturação cresce com o aumento de temperatura. Portanto, quanto maior a temperatura, maior é a capacidade do ar em reter vapor de água.

Segundo Ayoade (2002),

[...] apesar do vapor de água representar uma pequena parcela na atmosfera, apenas 4% de seu volume, ele é o componente mais importante na determinação do tempo e do clima. Essa importância segundo o autor deve-se aos seguintes fatos: o vapor d'água é a origem de todas as formas de condensação e de precipitação; o vapor d'água pode absorver tanto a radiação solar quanto a terrestre e, assim, desempenha o papel de regulador térmico no sistema Terra-atmosfera; exerce em particular um grande efeito sobre a temperatura do ar; o vapor d'água contém calor latente que é importante fonte de energia para a circulação atmosférica e para o desenvolvimento de perturbações atmosféricas. A energia absorvida é liberada enquanto o vapor se condensa; a quantidade de vapor d'água no ar é importante fator que influencia a taxa de evaporação e de evapotranspiração que é um importante fator que determina a temperatura sentida pelo homem e, consequentemente, o conforto térmico.

Temperatura		Humidade Relativa (%)									
OF	OC	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
70	21,1	64	64	65	66	66	67	68	68	69	70
75	23,9	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
80	26,7	69	70	71	72	73	75	76	77	78	80
85	29,4	71	73	74	76	77	79	80	82	83	85
90	32,2	74	75	77	79	81	82	84	86	88	90
95	35,0	76	78	80	82	84	86	88	90	92	95
100	37,8	79	81	83	86	88	90	93	95	97	100
105	40,6	82	84	87	89	92	95	97	100	102	105

Legenda	
	Sensação de frio
	Nenhum desconforto
	Pequeno desconforto
	Desconforto considerável
	Grande desconforto
	Máximo desconforto

Tabela 1- Índice de temperatura e umidade.

FONTE: Alves (2014).

Segundo Ometto (1981):

[...] como um dos constituintes do ar atmosférico, o vapor d'água tem como característica, ser variável em quantidade, de acordo com a disponibilidade de água no local e energia do meio. Apesar de ser um elemento variável em tempo e espaço é extremamente importante, tanto no aspecto físico associado as suas características moleculares, como no aspecto fisiológico, decorrente de sua dependência pelos seres vivos.

Para Mascaró (1996), em meios urbanos, a relação entre temperatura e umidade relativa do ar sofre interferência das características do recinto. A quantidade de vapor de água na massa de ar é afetada pela temperatura local do ar. Se as superfícies que formam o recinto urbano armazenam e irradiam muito calor, que é o caso, eleva-se a temperatura local, a umidade absoluta e decresce a umidade relativa. O teor de umidade local dependerá, então, da interação entre a temperatura do ar e a temperatura superficial do meio circundante.

2.2 CONFORTO TÉRMICO

2.2.1. CONCEITO

Segundo Silva (2002) o conforto térmico não é um conceito exato, já que não implica uma temperatura exata, dependendo de fatores quantificáveis como: temperatura do ar, velocidade do ar, umidade, etc. e de fatores não quantificáveis como: estado mental, hábitos, educação, cultura, etc. Assim, as preferências de

conforto das pessoas variam bastante conforme a sua aclimatização particular ao ambiente local.

De acordo com Santos (2008):

Para a obtenção de um ambiente termicamente confortável para os seus usuários, as normas sobre conforto térmico é uma ferramenta essencial. Inicialmente estas normas tinham como principal preocupação definir as condições de conforto térmico, sem considerar os consumos energéticos necessários para atingir o conforto do ambiente, mas devido aos problemas ambientais que são cada vez mais evidentes e à busca do desenvolvimento sustentável, estas normas de conforto térmico têm de considerar formas de atingi-lo com o menor consumo energético possível, contribuindo desta forma com a eficiência energética da edificação.

2.2.2 CONDIÇÕES PARA O CONFORTO TÉRMICO

Segundo Xavier (1999), para que uma pessoa se encontre em estado de conforto térmico, são necessários que se verifiquem três condições fisiológicas e ambientais, sem as quais este estado não é capaz de ser atingido, quais sejam: que a pessoa se encontre em neutralidade térmica; que a temperatura de sua pele e a sua taxa de secreção de suor, estejam dentro de certos limites compatíveis com sua atividade; que a pessoa não esteja sujeita a nenhum tipo de desconforto térmico localizado.

Segundo Fanger (1970):

Uma primeira condição que deve existir para que uma pessoa esteja em condições ideais de conforto térmico, é que a mesma se encontre em balanço térmico, isto é, que todo o calor gerado por seu organismo seja transferido na mesma proporção ao ambiente, através de perdas por convecção, radiação, evaporação e eventualmente também por condução através das roupas. Embora essa condição seja necessária, não é suficiente, pois existem muitas combinações de variáveis ambientais e pessoais que, mesmo satisfazendo a situação de balanço térmico, não fornecem conforto à pessoa. Quando ocorre este tipo de combinação, a pessoa está sujeita a algum tipo de desconforto localizado.

2.2.3. TERMO-REGULAÇÃO DO CORPO HUMANO

Uma característica peculiar ao ser humano é a capacidade de se adaptar as condições ambientais externas, uma dessas características é a termo regulação.

O ser humano é homeotérmico, já que mantém sua temperatura corporal constante, através de um sistema orgânico denominado termo regulador que causa o equilíbrio térmico do organismo, permitindo o funcionamento dos sistemas vitais do homem, impedindo assim, grandes variações de temperatura.

Segundo Santos (2008, p. 12):

As reações da termoregulação vão variar em função do ambiente que o homem está condicionado pois em altas temperaturas do meio existem dificuldades para eliminar o calor, aumentando-se o volume de sangue e acelerando o ritmo cardíaco provocando a transpiração. Já em baixas temperaturas do meio existem as dificuldades para manter o calor, que provoca a diminuição do volume de sangue e do ritmo cardíaco. O arrepios e o trêmer provocam atividade, gerando calor.

Pode-se afirmar que a pele é o principal órgão termo-regulador do organismo humano, pois é através dela que se realizam as trocas de calor. A temperatura da pele é regulada pelo fluxo sanguíneo que a percorre, ou seja, quanto mais intenso o fluxo, mais elevada sua temperatura. Outro mecanismo de termo regulação da pele é a transpiração, que tem início quando as perdas por convecção e radiação são inferiores às perdas necessárias à termo regulação.

2.2.4. TROCAS TÉRMICAS: SECAS E UMIDAS

O corpo humano libera calor, a quantidade de calor liberado pode ser maior ou menor dependendo do tipo de atividade desenvolvida este calor será dissipado através de mecanismos de trocas térmicas entre o corpo e o ambiente que o envolve. Existem as trocas secas (condução, convecção e radiação) e trocas úmidas (evaporação).

De acordo com Silva (2003), o calor liberado para o ambiente através das trocas secas é denominado calor sensível, isso acontece porque existem diferenças de temperatura entre o corpo e o ambiente. O calor perdido através das trocas úmidas é denominado calor latente uma vez que envolve mudanças de fase – o suor (líquido) passa para o estado gasoso através da evaporação.

2.2.5. VARIÁVEIS DE CONFORTO TÉRMICO

Segundo Nince et al. (2013) o conforto térmico é definido como o estado mental que expressa a satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda. A não satisfação pode ter como causa a sensação de desconforto pelo calor ou pelo frio, quando o balanço térmico não é estável, ou seja, quando há diferenças entre o calor produzido pelo corpo e o calor perdido para o ambiente.

Segundo Santos (2008, p. 13):

As variáveis de conforto térmico estão divididas em variáveis ambientais: temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade

do ar e umidade relativa do ar; e variáveis humanas: metabolismo gerado pela atividade física e resistência térmica oferecida pela vestimenta.

Outras características podem influenciar na sensação de conforto térmico, por estarem relacionadas a condição metabólicas dos seres humanos.

Ainda segundo o mesmo autor:

Além disso, variáveis como sexo, idade, raça, hábitos alimentares, peso, altura etc. podem exercer influência nas condições de conforto de cada pessoa e devendo, portanto, ser consideradas.

2.2.5.1. TEMPERATURA DO AR

A temperatura do ar é, segundo alguns autores, a principal variável do conforto térmico, uma vez que, o ar esta em contato com a pele.

Segundo Santos (2008, p. 13):

A temperatura do ar é considerada a principal variável do conforto térmico. A sensação de conforto baseia-se na perda de calor do corpo pela diferença de temperatura entre a pele e o ar, relacionada com os outros mecanismos termo reguladores. O calor é produzido pelo corpo através do metabolismo e suas perdas são menores quando a temperatura do ar está alta ou maiores quando a temperatura está mais baixa.

Por estar a pele em contato com o ar do ambiente que a circunda, é fato que ocorre um processo convectivo natural. O conceito de convecção natural, em determinado ambiente, tem por base a movimentação do ar entre dois pontos de diferentes temperaturas, onde, a parte mais quente torna-se mais leve e sobe enquanto a mais fria, desce, proporcionando uma sensação de resfriamento do ambiente.

Segundo Macintyre (1990, p. 27):

Quando a temperatura do ar ambiente é inferior à da pele, processa-se uma perda de calor do corpo para o ar por efeito de condução e convecção. A condução se dá pelo contato do corpo com a película de ar que o envolve. Isto porque, na condução, o calor se propaga de molécula a molécula sem transporte de massa.

2.2.5.2 TEMPERATURA RADIANTE MÉDIA

Segundo Xavier (1999, p. 11):

É a temperatura uniforme de um ambiente imaginário, no qual a transferência de calor radiante do corpo humano é igual à transferência de calor radiante no ambiente real não uniforme. A temperatura radiante média pode ser medida utilizando-se um termômetro de globo negro, um radiômetro de duas esferas, um sensor esférico ou elipsoidal à temperatura do ar constante, através das temperaturas superficiais das superfícies ao redor do corpo humano, ou ainda através das temperaturas radiantes. É a temperatura uniforme de um ambiente imaginário, no qual a transferência de calor radiante

do corpo humano é igual à transferência de calor radiante no ambiente real não uniforme. A temperatura radiante média pode ser medida utilizando-se um termômetro de globo negro, um radiômetro de duas esferas, um sensor esférico ou elipsoidal à temperatura do ar constante, através das temperaturas superficiais das superfícies ao redor do corpo humano, ou ainda através das temperaturas radiantes.

Já para Pacheco (2007, p. 37)

...é a temperatura ambiente de uma circunvizinhança, calculada através dos dados obtidos com o termômetro de globo, um radiômetro de duas esferas, um sensor esférico ou elipsoidal à temperatura do ar constante, através das temperaturas superficiais das superfícies ao redor do corpo humano, ou ainda através das temperaturas radiantes planas determinadas nas seis direções ao redor do indivíduo. Essa circunvizinhança é considerada uniformemente negra para eliminar o efeito de reflexão, com a qual o corpo (globo negro) troca tanta quantidade de energia quanto à do ambiente atual considerado.

2.2.5.3. VELOCIDADE DO AR

A velocidade do ar em determinado ambiente, produz um efeito de ventilação, o que é benéfico uma vez que auxilia na higiene e no conforto térmico.

Segundo Frota & Schiffer (2001, p. 124):

A ventilação proporciona a renovação do ar do ambiente, sendo de grande importância para a higiene em geral e para o conforto térmico de verão em regiões de clima temperado e de clima quente e úmido.

De acordo com Santos (2008, p. 15):

Quando há um deslocamento de ar por meios mecânicos, como um ventilador, o coeficiente de convecção aumenta, elevando assim, a sensação de perda de calor (convecção forçada). O deslocamento do ar também aumenta os efeitos da evaporação no corpo humano, retirando a água em contato com a pele com mais eficiência e assim, reduzindo a sensação de calor.

2.2.5.4. UMIDADE RELATIVA DO AR

O que define a umidade é a quantidade de vapor d'água contido no ar. Este vapor é resultado da evaporação da água, processo que supõe a mudança do estado líquido ao gasoso, mantendo sua temperatura constante.

Grzybowski (2004, p. 34) assim define:

A umidade relativa do ar é a relação entre a quantidade de vapor d'água que o ar contém e aquela que poderia conter na mesma temperatura. A umidade do ar contribui para a perda de calor de um corpo por evaporação, como aproximadamente 25% da energia gerada pelo organismo é liberada na forma de calor latente (10% por respiração e 15% por transpiração) é importante que as condições ambientais no entorno do indivíduo estejam favorecendo a tais perdas, quando o calor for desconfortável.

Dependendo da temperatura o ar, pode conter somente certa quantidade de vapor de água, ao chegar nesse valor máximo diz-se que o ar está saturado.

Passando desse ponto, ocorre a condensação, no qual o vapor excedente muda seu estado físico para líquido, provocando assim, o aumento da temperatura da superfície onde ocorre a condensação. À medida que a temperatura do meio se eleva, dificultando as perdas por convecção e radiação, o organismo aumenta sua eliminação por evaporação. Quanto maior a UR, umidade relativa, menor a eficiência da evaporação na remoção do calor. Isto mostra a importância de uma ventilação adequada.

Por outro lado, sendo a temperatura do ar é superior a da pele, ganha-se calor por convecção. Ao mesmo tempo ocorre um fenômeno de efeito contrário, já que a circulação do ar acelera as perdas por evaporação. A partir do ponto que o equilíbrio começa a ser desfavorável, ou seja, quando apenas ganharíamos calor, a umidade do ar torna-se importante. Estando o ar saturado, a evaporação não é possível, fazendo o indivíduo começar a ganhar mais calor assim que a temperatura do ar seja superior a da pele.

2.2.5.5. METABOLISMO

Segundo Santos (2008, p. 26)

É o processo de produção de energia interna a partir de elementos combustíveis orgânicos, ou seja, através do metabolismo, o organismo adquire energia. Porém, de toda energia produzida pelo organismo humano, apenas 20% são transformadas em potencialidade de trabalho. Os 80% restantes são transformados em calor que deve ser dissipado para que a temperatura interna do organismo seja mantida em equilíbrio.

Isto acontece porque a temperatura interna do organismo humano deve ser mantida praticamente constante em 37°C (variando entre 36,1 e 37,2°C). Os limites para sobrevivência estão entre 32 e 42 °C.

O organismo humano tende a manter constante sua temperatura interna, quando o meio apresenta condições térmicas inadequadas, o sistema termoregulador é ativado, reduzindo ou aumentando as perdas de calor pelo organismo através dos mecanismos de controle, como reação ao frio e ao calor. Quando o organismo, sem recorrer a nenhum mecanismo de termo regulação, perde para o ambiente o calor produzido pelo metabolismo compatível com a atividade realizada, experimenta-se a sensação de conforto térmico.

Segundo Xavier (1999, p. 14):

É a taxa de produção de energia do corpo. O metabolismo, que varia de acordo com a atividade desempenhada é expresso em unidade "met". 1 met, que corresponde a 58,2 W/m², é igual a energia produzida por unidade de área superficial do corpo para uma pessoa sentada em repouso. A área superficial aproximada de uma pessoa média é de 1,8 m². Os valores dessa variável podem ser extraídas da tabela A.1 da ISO 7730 (1994). Além dessa tabela, a taxa metabólica também pode ser determinada pelas tabelas constantes na ASHRAE

(1997), ou através do consumo de oxigênio e da taxa de batimento cardíaco, conforme ISO 8996 (1990).

2.2.5.6. VESTIMENTA

Considerada como uma barreira para as trocas de calor por convecção, a vestimenta funciona como isolamento térmico, pois mantém junto ao corpo uma camada de ar mais aquecido ou menos aquecido, conforme seja mais ou menos isolante, conforme seu ajuste ao corpo e a porção do corpo que cobre.

Para Xavier (1999, p. 15):

A roupa utilizada pela pessoa é responsável pela resistência oferecida às trocas de calor sensível entre o corpo e o ambiente, através de seu isolamento térmico. É descrito como o isolamento intrínseco da pele para a superfície externa das roupas, não incluindo a resistência fornecida pela camada de ar ao redor do corpo. A representação convencional dessa variável é "Icl", expresso em $m^2.K/W$ ou em "clo", sendo que 1 clo equivale a $0,155 m^2.K/W$. Os valores do isolamento térmico das roupas, ou das peças que compõem o traje utilizado pela pessoa, é função do material de confecção dos mesmos, bem como da espessura dos tecidos e materiais das roupas. A determinação desses valores foi feita utilizando-se manequins aquecidos, (Fanger, 1970), sendo que os resultados dessas determinações encontram-se devidamente tabelados nas normas e manuais ISO 7730 (1994), ISO 9920 (1995) e ASHRAE (1997).

Em climas secos (desertos), onde se atinge elevadas temperaturas, poder-se-ia pensar que a ausência de roupas poderia garantir condições mais confortáveis para os habitantes destas regiões. No entanto, em climas secos, vestimentas adequadas podem manter a umidade advinda do organismo pela transpiração e evitar a desidratação.

Segundo (LAMBERTS et al., 2006) a vestimenta reduz o ganho de calor relativo à radiação solar direta, as perdas em condições de baixo teor de umidade e o efeito refrigerador do suor. A vestimenta reduz também a sensibilidade do corpo às variações de temperatura e de velocidade do ar.

2.3 ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

A comunidade científica mundial tem voltado sua atenção para uma questão que afeta diretamente a sobrevivência da humanidade e a própria vida como um todo no planeta terra: as alterações climáticas, suas causas e consequências. Muito se falou sobre as consequências das mudanças climáticas e sobre o aumento da temperatura terrestre.

Segundo Marengo (2006, p. 19):

O IPCC (2001a) conclui, no seu Terceiro Relatório de Avaliação, que a temperatura média da atmosfera tem aumentado a

uma taxa de variação de $0.6^{\circ}\text{C} \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ durante o século XX. Os modelos globais do IPCC reportam que entre 1900 e 2100 a temperatura global poderia elevar entre 1.4 e 5.8°C , o que representaria um aquecimento mais rápido do que o detectado no século XX e que, aparentemente, não possuiu, conforme o autor, precedentes durante, pelo menos, os últimos 10.000 anos.

Segundo Back (2001) Uma das grandes preocupações da comunidade científica na última década diz respeito às alterações climáticas e suas consequências para a humanidade. Foi constatado que a temperatura média global aumentou entre $0,3$ e $0,6^{\circ}\text{C}$ desde o final do século passado

Marengo (2006), cita que:

[...] as consequências recentes do aquecimento global tiveram impactos ambientais intensos (como o derretimento das geleiras e calotas polares), assim como em processos biológicos (como os períodos de floração); os climas mais quentes podem aumentar a incidência de casos de peste bubônica (a epidemia que matou milhões de pessoas ao longo da história e exterminou um terço da população da Europa no século XIV), assim como o número de doenças tropicais, como a malária, a dengue e a desinteira.

Um documento divulgado em outubro de 2006 por um economista do governo britânico (Stern, 2006), uma elevação de temperatura no centro dessa faixa – por volta de 3°C – poderá acarretar secas na Europa, falta de água para até quatro bilhões de pessoas e milhões de novos casos de desnutrição.

Segundo (Stern, 2006), seguem algumas das consequências previstas para os diferentes níveis de aumento da temperatura da Terra:

Elevação de 10°C na temperatura global – Encolhimento das geleiras ameaça o suprimento de água para 50 milhões de pessoas; pequeno aumento na produção de cereais nas regiões temperadas; ao menos 300 mil pessoas morrem a cada ano por causa de malária, desnutrição e outras doenças relacionadas com as alterações climáticas; queda da taxa de mortalidade durante o inverno, nas regiões de maior latitude; morte de 80% dos recifes de coral, em especial a Grande Barreira de Corais.

Elevação de 20°C na temperatura global – Queda de 5% a 10% na produção de cereais na África tropical; 40 milhões a 60 milhões de pessoas a mais expostas à malária na África; até 10 milhões de pessoas a mais expostas a enchentes nas regiões costeiras; entre 15% e 40% das espécies de seres vivos veem-se ameaçadas de extinção; grande risco de extinção das espécies presentes no Ártico, em especial dos ursos polares; possibilidade de que a camada de gelo da Groenlândia comece a derreter de forma irreversível, o que faria que o nível dos oceanos se elevasse em sete metros.

Elevação de 30°C na temperatura global – No sul da Europa, períodos de seca pronunciada a cada dez anos; entre 1 bilhão e 4 bilhões de pessoas a mais enfrentando períodos de falta de água; entre 150 milhões a 550 milhões de pessoas a mais expostas à ameaça da fome; entre 1 milhão e 3 milhões de pessoas a mais morrem de desnutrição; possível início do colapso da floresta Amazônica; elevação do risco de colapso da Camada de Gelo da Antártida Ocidental; elevação do risco de colapso do sistema de circulação de águas quentes pelo Atlântico; elevação do risco de mudanças abruptas no mecanismo das monções.

Elevação de 40°C na temperatura global – Safras de produtos agrícolas diminuem entre 15% e 35% na África; até 80 milhões de pessoas a mais expostas à malária na África; desaparecimento de cerca

de metade da vegetação de tundra no Ártico. 86 estudos avançados 22 (63), 2008.

Elevação de 50C na temperatura global – Provável desaparecimento de grandes geleiras no Himalaia, prejudicando um quarto da população da China e uma grande parte dos moradores da Índia; crescente intensificação da atividade oceânica, prejudicando seriamente os ecossistemas marinhos e, provavelmente, as populações de peixes; elevação do nível dos oceanos ameaça as pequenas ilhas, as áreas costeiras como o Estado da Flórida e grandes cidades como Nova York, Londres e Tóquio.

A compreensão do comportamento climático possibilita um melhor gerenciamento da agricultura, recursos hídricos e atividade pesqueira, além da possibilidade de contribuição relevante nos campos dos transportes, abastecimento, turismo e lazer. Pela incorporação das previsões climáticas nas decisões gerenciais a humanidade potencializa sua sustentabilidade.

A hipótese de alterações climáticas em geral, em especial a do aquecimento global provocado pelo homem têm sido motivo de grandes preocupações da comunidade científica. Diversos estudos apresentam contrapontos nos quais as tendências de aquecimento observadas nos registros meteorológicos poderiam reportar outros fatores, como efeitos urbanos locais, que o aquecimento global da atmosfera (Back, 2001). Desta forma, torna-se importante detectar formalmente, *post hoc*, as tendências, verificando se estas refletiriam um aquecimento significativo ou uma variação aleatória natural.

A preocupação com as causas e consequências das mudanças climáticas na superfície terrestre tem levado cientistas e governantes políticos a realizarem pesquisas voltadas a diagnosticar principalmente as consequências de possíveis mudanças nas variáveis climáticas em longos períodos.

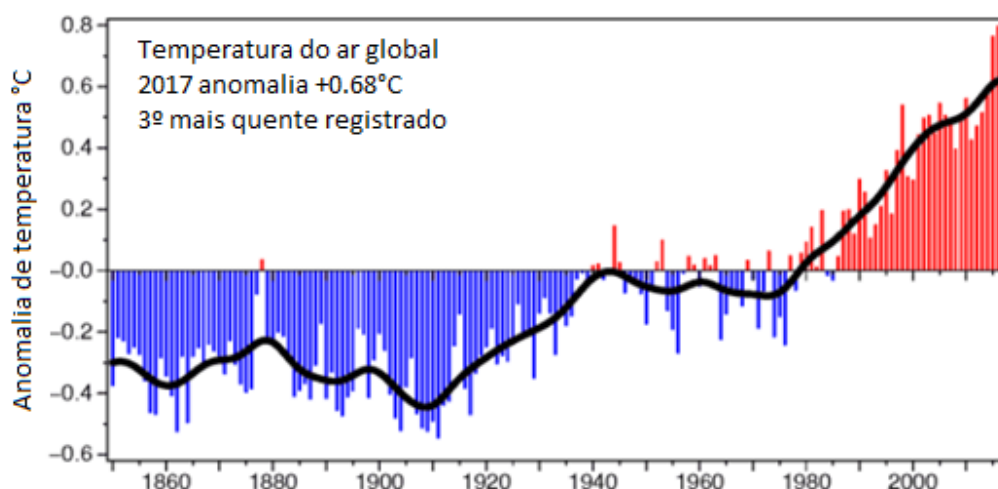


FIGURA 8- Anomalias de temperatura do ar global analisadas em longos períodos.

FONTE: Climate Research Unit, 2018.

Contudo, o aumento estrutural da temperatura média da Terra associado a um efeito estufa provocado por ações antropogênicas, principalmente relacionadas à emissão de gases poluentes na atmosfera, é uma hipótese científica ainda em aberto. Até o momento, efeitos associados ao aquecimento global, a alteração na frequência e distribuição das chuvas, aumentando as ocorrências de secas e de cheias (KARL et al., 1996) (BACK, 2001), foram contrapostos por outras pesquisas: DAI et al. (1997) reportam variação temporal estacionária da precipitação na superfície do planeta no período de 1900 a 1988, mostrando que em grande parte houve um aumento da precipitação, porém em outras regiões foi registrada uma diminuição da precipitação.

Conforme Houghton et al. (1995), os estudos e análises sobre as consequências do efeito-estufa no aquecimento global concluíram que as mudanças observadas no clima global não são ainda suficientemente grandes para serem atribuídas inequivocamente a causas antropogênicas de aumento do efeito-estufa.

Consonantes, Karl et al. (1996) e Back (2001), estudando dados climáticos dos Estados Unidos, concluíram que, embora a temperatura tenha apresentado substancial incremento, as alterações não são grandes, nem temporalmente consistentes para se rejeitar a hipótese de que as mudanças tenham ocorrido por variações aleatórias naturais.

Por outro lado, é de consenso que a ação antrópica afeta a mudança de temperatura e de outras variáveis de uma determinada região justamente onde se encontra uma estação meteorológica, por exemplo. Essas mudanças são chamadas de oscilações seculares.

Tem-se verificado, em determinadas regiões, uma tendência da temperatura média do ar aumentar ou diminuir, muito lentamente, ao longo do tempo. Tal comportamento sugere a existência de oscilações com periodicidade muito ampla, geralmente, referidas como oscilações seculares. Para detectá-las, porém, seria necessário dispor de séries de registros longas e homogêneas, o que é difícil (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Mudanças em tendências seculares podem ser efetivamente causadas pela influência do homem, que vem aumentando a concentração de dióxido de carbono na atmosfera (advindo da combustão e do desflorestamento), a quantidade de partículas em suspensão (poluição industrial) e a produção de calor (VAREJÃO-SILVA, 2006). O surgimento das chamadas ilhas de calor devido à urbanização

produz o aquecimento da atmosfera que afetaria os registros de temperatura, uma vez que a maioria das estações meteorológicas se encontram próximas aos centros urbanos (BACK, 2001).

Alguns autores como, Marengo (2006), Oliveira (2008), Stern (2006) que realizaram estudos direcionados as mudanças climáticas provenientes do aquecimento global possivelmente por ações antropogênicas, apontam a processos de urbanização, próximos as estações meteorológicas, como fator preponderante nas leituras e registros das variáveis climatológicas locais.

Várias projeções, com diferentes cenários e taxas de emissão de gases pela atividade humana que causam o efeito-estufa, têm previsto um aquecimento global na superfície terrestre. Outras alterações previstas nessas simulações são o aumento da precipitação, maior ocorrência de precipitações intensas originadas por processos convectivos, maior frequência de cheias e ocorrências de secas mais severas e mais prolongadas. (HOUGHTON ET AL., 1996; KARL ET AL., 1996; BACK, 2001)

2.3.1 AVALIAÇÃO DE TENDÊNCIAS EM SERIES CLIMATOLÓGICAS

A identificação de alterações nos registros meteorológicos é de grande importância para os estudos de engenharia que utilizam as séries históricas, pois tanto as simulações são realizadas com a hipótese de que as séries históricas são estacionárias, isto é, que não apresentem tendências.

Para testar essa hipótese, definimos uma série climatológica como uma série de amostra de dados composto por um valor climatológico para cada ano do registro que está sendo considerado (THOM, 1966). A homogeneidade de uma série somente pode ser considerada e aceita caso os dados sejam obtidos de uma mesma população, o que possibilita inferirmos que não ocorreram mudanças nos parâmetros das amostras. Yevjevich (1972) e Back (2001) definem tendência em uma série temporal como uma mudança sistemática e contínua em qualquer parâmetro de uma dada amostra, excluindo-se mudanças periódicas ou quase periódicas.

A tendência climática é uma alteração no padrão dos registros caracterizada por um suave acréscimo ou decréscimo nos valores médios na série, sendo considerada abrupta quando levar a outro patamar de valor médio. (BACK, 2001)

Os estudos para verificação de mudanças em séries climatológicas são normalmente complicados por fatores como valores ausentes, sazonalidades, flutuações de curto prazo, e pela falta de homogeneidade – que se justificam, por exemplo, devido às alterações nos instrumentos e nos protocolos de registro e observação. Em alguns casos, há mais problemas por causa de séries de dados que não são suficientemente longas.

Existem muitas abordagens que podem ser utilizadas para detectar as tendências e outras formas de não estacionariedade em séries temporais. Ao decidir qual abordagem adotar, é necessário estar ciente que os procedimentos de teste são válidos (ou seja: os dados atendem aos pressupostos assumidos na construção do modelo estatístico) e quais procedimentos são mais úteis.

Procedimentos baseados em testes paramétricos são amplamente utilizados na estatística clássica. Nestes é necessário assumir a independência dos dados e uma distribuição de probabilidades subjacente, usualmente a Normal. Para muitas séries temporais, contudo, esses pressupostos não são adequados.

Séries de dados climáticos raramente aderem a distribuição Normal e, se técnicas paramétricas forem utilizadas, pode ser necessária transformações nos dados, o que pode ser controverso, e ajustes nos modelos, com possível perda de poder de discriminação.

Em destaque, os métodos não paramétricos têm menos suposições *a priori*. Com estes, não é necessário assumir uma distribuição de probabilidades ou a hipótese de ergodicidade, mas ainda possuem os pressupostos da independência. Uma classe muito útil de testes não paramétricos são aqueles associados a técnicas de permutação, reamostragem, ou ainda, por simulação por Monte Carlo.

Thom (1966) apresenta alguns métodos de análise climatológica que compõem um conjunto de recomendações de testes para detectar mudança ou tendência, em destaque o teste não paramétrico de Mann Kendall. Goossen e Berger (1986) afirmam que o teste de Mann Kendall é o método mais apropriado para analisar mudanças climáticas em séries climatológicas, permitindo a detecção e localização aproximada do ponto inicial de tendência, sendo o ponto de partida para o desenvolvimento de nossa estratégia metodológica.

3. METODOLOGIA

3.1 ÁREA DE ESTUDO

3.1.1 A GRANDE CUIABA

O aglomerado urbano da Grande Cuiabá engloba os centros urbanos dos municípios de Cuiabá e Várzea Grande, tem uma extensão territorial de 4.487,70 km² e está localizado entre as Latitudes 15°36'36" e 15°38'19,4", longitudes 56°11'03,9" e 56°02'20,5", no Centro-Oeste brasileiro, Estado de Mato Grosso-Brasil, fazendo limite com os municípios de Acorizal, Jangada, Santo Antônio do Leverger e Nossa Senhora do Livramento.

Pertence, assim, a Mesorregião Homogênea Centro-Sul Mato-grossense, encerrando-se na Microrregião da Baixada Cuiabana. Situada no relevo da Baixada do Rio Paraguai e calha do Rio Cuiabá, topograficamente, entre 175 e 185m de altitude, uma população total de 803.694 habitantes (IBGE 2010).

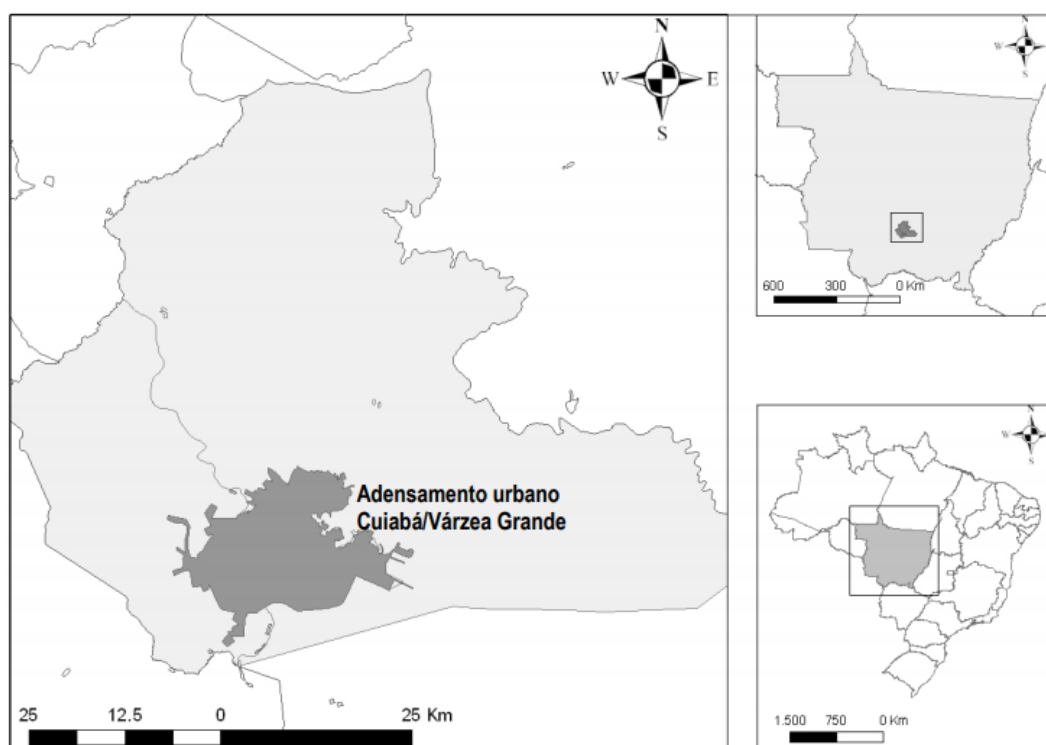


FIGURA 9- Localização da área de estudo.

Fonte: Oliveira 2007.

A Grande Cuiabá vem passando por um acelerado processo de crescimento urbano nos últimos anos, caracterizado tanto pela criação de estruturas verticais em alguns bairros quanto pela expansão horizontal de sua malha urbana. Este fato acarreta alterações no comportamento térmico dos espaços microclimáticos do

ambiente urbano e das edificações, uma vez que os atributos da forma urbana estão sendo modificados (MACIEL, 2011).

3.1.2 ASPECTOS CLIMATICOS

A Grande Cuiabá é conhecida como um dos locais mais quentes do Brasil. Conforme Schreiner (2009) e Maitelli (2005) Cuiabá e Várzea Grande na classificação de Köppen pertencem no Clima de Savana, no qual possui um clima tropical Semiúmido, com estação seca (outono-inverno) e estação chuvosa (primavera-verão) com temperatura média anual de 25°C e pluviosidade anual de 1.450mm.

Segundo França (2013) o clima desse aglomerado urbano é caracterizado por apresentar elevadas temperaturas ao longo do ano e duas estações bem definidas, uma chuvosa, entre a primavera e o verão e outra seca, entre o outono e o inverno.

A estação seca apresenta uma característica importante que é o fenômeno de “friagem”, resultante da entrada de uma massa polar atlântica sobre a região, podendo causar uma queda brusca na temperatura, em curto espaço de tempo (NIMER, 1989)

De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2018), baseado no período de monitoramento de dados coletados de 1931 a 1960, a temperatura média anual máxima em Cuiabá varia de 31,4°C a 35°C, já no período de 1961 a 1990 a temperatura média anual máxima em Cuiabá varia de 30,7°C a 34,1°C. Como se pode ver pelo gráfico abaixo o mês de junho apresentou a menor temperatura já o mês de setembro a maior.

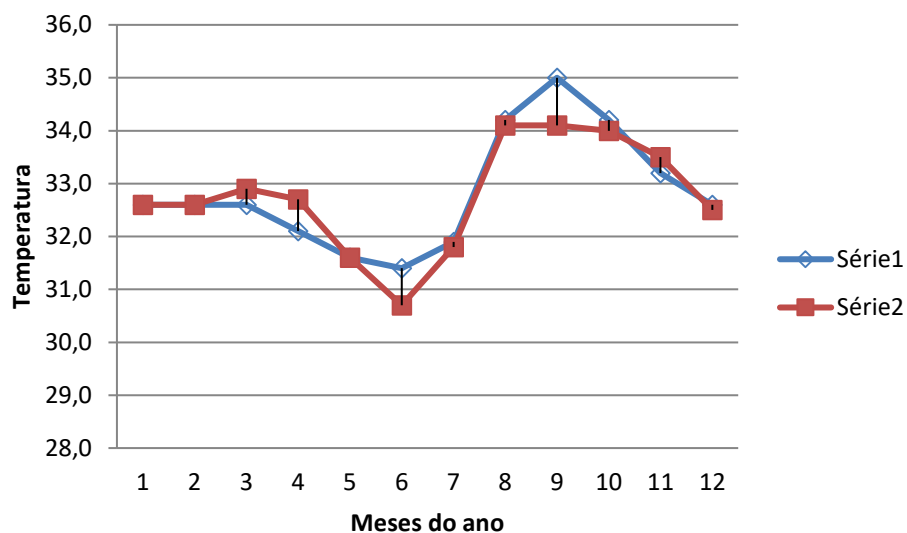


FIGURA 10- Gráfico da temperatura média mensal máxima para Cuiabá, a serie 1 representa o período de 1931 a 1960 e a serie 2 o período de 1961 a 1990

Fonte: Adaptado de INMET, disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/graficosClimaticos>

Já a temperatura mínima média anual, durante o mesmo período, variou de 16,1 a 22,7°C. Como se pode ver pelo gráfico abaixo o mês de julho apresentou a menor temperatura já o mês de dezembro a maior.

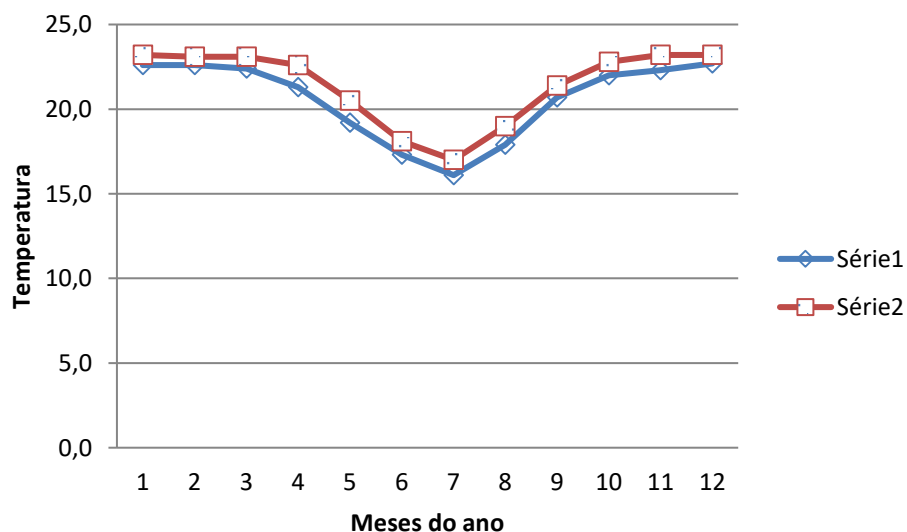


FIGURA 11- Gráfico da temperatura média mensal mínima para Cuiabá, a serie 1 representa o período de 1931 a 1960 e a serie 2 o período de 1961 a 1990

Fonte: Adaptado de INMET, disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/graficosClimaticos>

Na Grande Cuiabá a direção do vento é predominante para N (norte) e NO (noroeste) na maior parte do ano, e S (sul) no período do inverno. O fato da

Grande Cuiabá, ser um aglomerado urbano, situado em uma depressão geográfica faz com que a frequência e a velocidade média dos ventos seja extremamente baixa, minimizando o efeito das trocas térmicas por convecção e ressaltando ainda mais a influência do espaço construído sobre a temperatura do ar, o que acaba gerando condições praticamente ideais para experimentos com medições microclimáticas (DUARTE & SERRA, 2003). O que se constata é que o clima é predominantemente quente, acentuado pelo processo de urbanização contínuo que resulta no registro de temperaturas altas durante todo o ano.

3.1.3 VEGETAÇÃO

Quanto a vegetação, a Grande Cuiabá possui uma característica única e privilegiada de estar entre três biomas, são eles: as áreas úmidas do Pantanal, as savanas do Cerrado e a Amazônia. Mudanças nas características dos biomas e do relevo podem provocar alterações no clima local.

A vegetação nativa é definida pela ocorrência de Cerrado, Cerradão, Mata Ciliar, além de algumas formações associadas decorrentes do contato entre o Cerrado e a Floresta de Transição. Na cidade, as áreas verdes encontram-se representadas principalmente por vegetação remanescente de áreas não construídas, margens de córregos e rios, vegetação domiciliar, fundos de vales, parques, praças e vegetação viária (GUARIM, 1990).

Conforme Alves (2012), a retirada da cobertura vegetal, introdução das novas formas de relevo, concentração de edificações, concentração de equipamentos e pessoas, impermeabilização do solo, canalização do escoamento superficial, rugosidade da superfície, lançamento concentrado e acumulação de partículas e gases na atmosfera, e produção de energia artificial tem contribuído para a criação de microclimas distintos nos espaços intra-urbanos (MENDONÇA, 1994; OFFERLE et al., 2005; COUTTS et al., 2007).

Conforme Alves (2012), as plantas influenciam em microclimas urbanos, pela sua atuação no controle da incidência solar, da temperatura, e umidade do ar, dos ventos, das chuvas e exerce um efeito moderador da poluição do ar. A vegetação contribui para uma ambiência urbana agradável, porque protege dos efeitos da radiação solar, criando um efeito de filtro. Em alguns casos, elas constituem canais e barreiras, nas quais as folhagens funcionam como relevantes obstáculos. A relação entre vegetação e temperatura do ar ocorre no controle da

radiação solar, do vento e da umidade do ar. A vegetação também serve para atenuar a intensidade de precipitação no solo e modifica a concentração da umidade na atmosfera e na superfície adjacente; sendo várias as escalas pelas quais a vegetação pode atuar.

3.1.4 EXPANSÃO URBANA

De acordo com Villanova (2009):

A evolução da população do município de Cuiabá, com aproximadamente 98% de população localizada na zona urbana é o reflexo da acelerada urbanização por qual passou a cidade a partir da década de 70, como mostra o Gráfico 5. É importante observar que o crescimento da cidade especialmente nas décadas de 1970 e 1980, estava servindo de atrativo para correntes migratórias vindas de todas as regiões do País, que viam na cidade uma oportunidade de novos empreendimentos ou postos de trabalho.

Segundo o Plano diretor de Desenvolvimento Estratégico de Cuiabá:

A expansão urbana nas margens do rio Cuiabá ocorreu nos séculos XVIII e XIX, sendo que a primeira delimitação do perímetro urbano foi reconhecida legalmente no Ato nº 176 de 25/07/1938 (CUIABÁ, 2008).

Segundo dados da Prefeitura Municipal de Cuiabá, até a década de 60 do século XX o município possuía um crescimento populacional estabilizado às margens do córrego da Prainha, sendo de 57.860 mil habitantes. Com os incentivos fiscais e créditos fornecidos pela SUDAM (Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia) na década de 60, grandes empresas agropecuárias se instalaram no estado e ocorreu a ocupação do norte mato-grossense, tornando Cuiabá um pólo de apoio à ocupação da Amazônia meridional brasileira (CUIABÁ, 2010).

Ano	Lei N°	Área (km²)	Acréscimo (km²)	Variação %	População Urbana	Variação %	Densidade hab./ha
jul/38	Ato 176	2,59	-	-	-	-	-
jul/60	534	4,5	1,91	73,75	45.875	-	101,94
mar/74	1.346	48,45	43,95	976,67	122.284	166,56	25,24
abr/78	1.537	104,98	56,53	116,68	164.896	34,85	15,71
nov/82	2.023	153,06	48,08	45,8	222.303	34,81	14,52
dez/94	3.412	251,94	98,88	64,6	420.044	88,95	16,67
dez/03	4.485	256,31	4,37	1,73	517.193	23,13	20,18
jul/04	4.598	252,58	-3,73	-1,46	531.504	2,77	21,04
dez/04	4.719	254,57	1,99	0,79	531.504	0	20,88
jan/07	150	254,57	0	0	576.855	8,53	22,66

Tabela 2- Evolução do Limite do Perímetro Urbano de Cuiabá.

Fonte: Cuiabá, 2008.

Segundo IBGE (2017), a população da Grande Cuiabá, que engloba os municípios de Cuiabá e Várzea Grande, deu um salto considerável de 212.980 em 1980 para 803.694 em 2010 com estimativa de 864.131 para 2017, o que por consequência provocou um crescimento vertiginoso da infraestrutura das cidades

e uma considerável redução das áreas verdes originando, conforme França (2013), microclimas urbanos diferenciados.

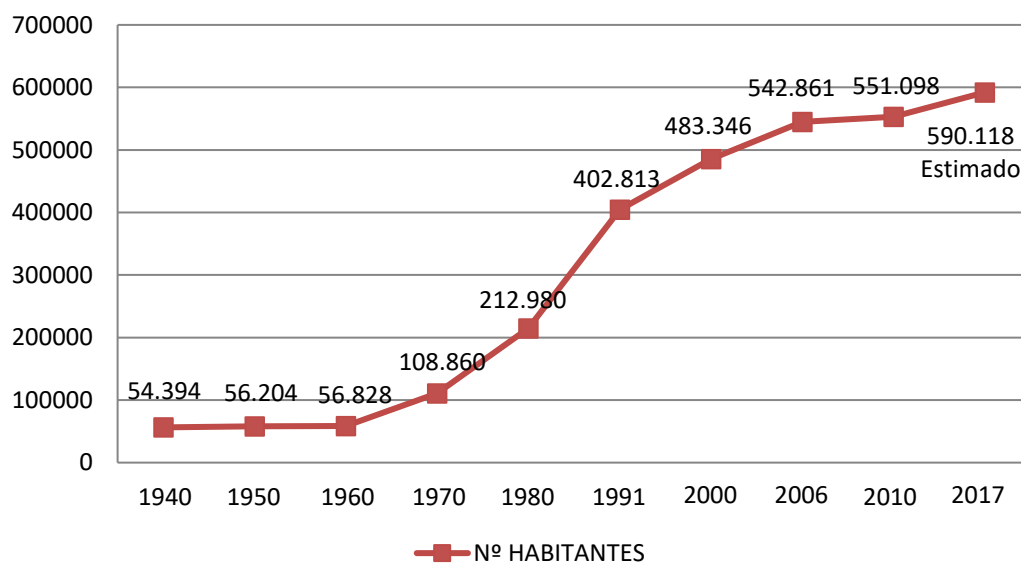


FIGURA 12- Evolução da população de Cuiabá, 1940-2017.

Fonte: IBGE, 2017

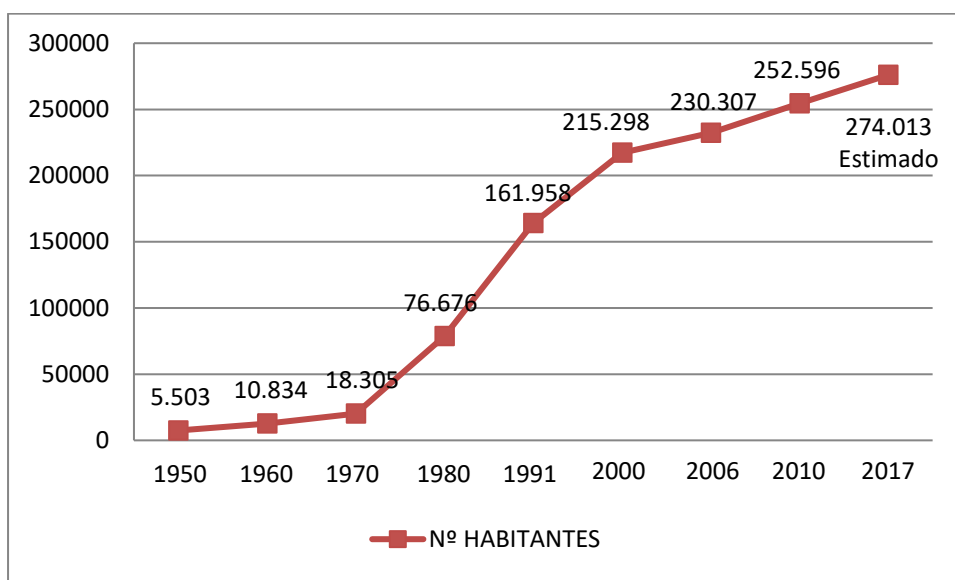


FIGURA 13- Evolução da população de Várzea Grande, 1950-2017.

Fonte: IBGE, 2017

A Grande Cuiabá experimentou um crescimento rápido e sem planejamento, provocando uma série de alterações na estrutura da paisagem e uso do solo urbano, fragmentando os espaços naturais e reduzindo drasticamente a cobertura vegetal. Atualmente, os remanescentes da vegetação original, são encontrados, principalmente, nas áreas de proteção ambiental ou de preservação.

O presente trabalho se faz justificável pelas mudanças ocorridas ao longo dos anos tanto no relevo da Grande Cuiabá, quanto no crescimento exacerbado de sua população, buscando verificar se ocorreram mudanças na temperatura média local, principalmente a presença de tendências nesses elementos e se as mesmas podem influenciar nas mudanças das estações chuvosa e seca dessa região.

3.2 SÉRIES CLIMATOLÓGICAS

A análise acerca das variações e as possíveis tendências dos elementos do clima, especificamente, dentre as variáveis disponíveis, escolheu-se a temperatura do ar, por ser a de maior, e mais completa, série disponível, e por ser um parâmetro de base para avaliação do conforto ambiental.

A análise dos dados contemplou as estatísticas de média, mínimo e máximo mensais para a estação climatológica do INMET em Cuiabá, Mato Grosso no período de 1961 a 2017.

Nesse período a estação climatológica deveria fornecer um total de 684 dados de temperatura média mensal, referente aos 684 meses que compõe o período, porém, desse total existem 568 somente, o que se conclui que os dados fornecidos apresentam uma falha no fornecimento de dados com um percentual de 17%.

Meses do Ano	Percentual de meses com falhas
Janeiro	21%
Fevereiro	19%
Março	18%
Abril	18%
Maio	16%
Junho	16%
Julho	16%
Agosto	14%
Setembro	14%
Outubro	16%
Novembro	18%
Dezembro	19%
Total geral	17%

TABELA 3 - Percentual de falhas considerando as variáveis temperaturas média, máxima e mínima diárias (1961 a 2017).

Fonte: INMET, 2018.

Dos dados observados pode-se verificar que a temperatura média mensal teve seu maior valor no mês de setembro de 2015 sendo o mesmo de 29,85°C, já o menor valor foi em julho de 1988, sendo o mesmo de 20,86°C, o que, segundo Schreiner (2009), Maitelli (2005) e França (2013) é plenamente justificável, uma vez que nesses meses apresentam os picos de temperatura na Grande Cuiabá, ou seja, setembro o maior valor e julho o menor valor.

A amplitude térmica nesse período apresentou variações máximas superiores 18°C e variações mínimas inferiores a 8°C, sendo, respectivamente, a maior registrada em agosto de 2012 e a menor em março de 1995.

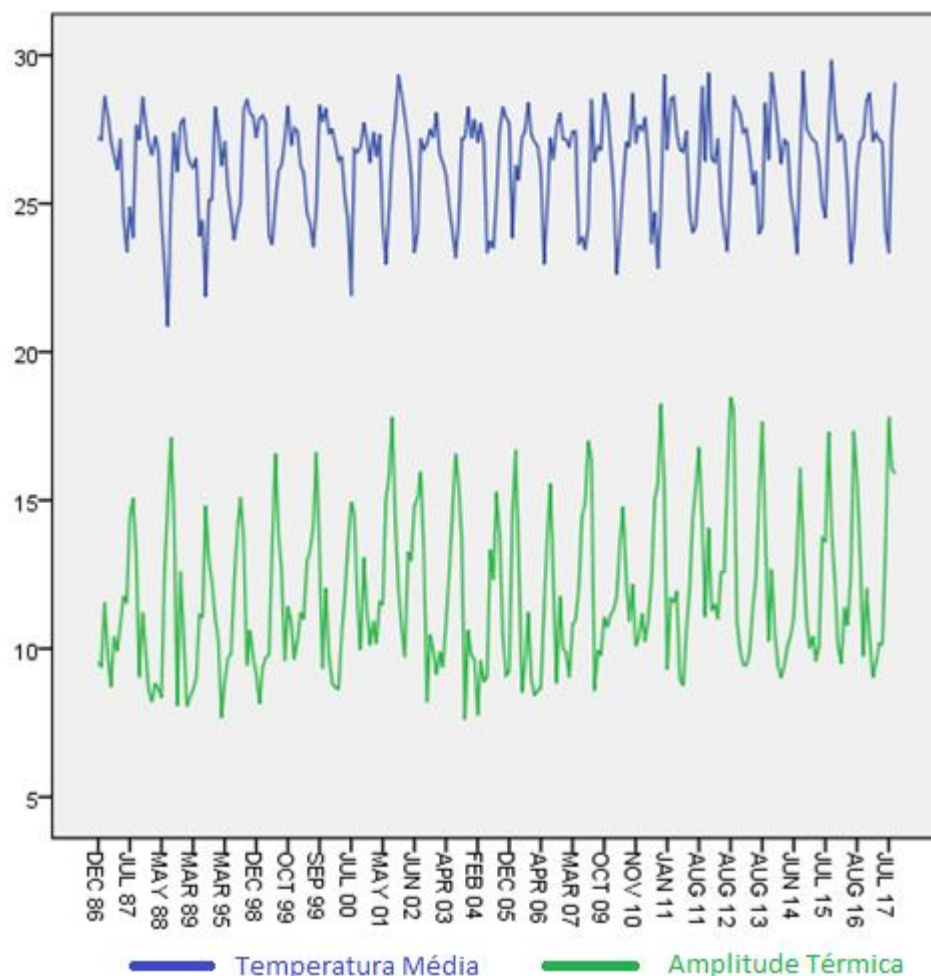


FIGURA 14– Temperatura Média e Amplitude Térmica diárias.

Fonte: INPE, 2018

3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

3.3.1 AVALIAÇÃO DE TENDÊNCIA

O tratamento estatístico utilizou o teste não-paramétrico de Mann-Kendall Sazonal com Bootstrap (MKSBS). O seu desenvolvimento segue abaixo:

O Teste de Mann-Kendall é um método robusto, sequencial e não paramétrico utilizado para determinar se determinada série de dados possui uma tendência temporal de alteração estatisticamente significativa.

Por tratar-se de um método não paramétrico, ele não requer distribuição normal dos dados. Outra vantagem deste método é o fato de ser pouco influenciado por mudanças abruptas ou séries não homogêneas. No entanto, este método exige que os dados sejam independentes e aleatórios.

A verificação da independência da série temporal foi realizada através do teste de autocorrelação serial para a aleatoriedade dos dados foi realizado através do teste de Mann-Kendall. O método baseia-se em rejeitar ou não a hipótese nula de que não exista tendência na série de dados.

A variável estatística S é calculada a partir da somatória dos sinais (sgn) das diferenças, par a par, de todos valores da série (x_i) em relação aos valores que a eles são futuros (x_j), expressa nas Eqs. (1) e (2).

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n sgn(x_j - x_i) \quad (1)$$

$$sgn(x_j - x_i) = \begin{cases} +1; & \text{se } x_j > x_i \\ 0; & \text{se } x_j = x_i \\ -1; & \text{se } x_j < x_i \end{cases} \quad (2)$$

Quando $n \geq 10$, a variável S pode-se, a partir do teorema do limite central, considerar aderente a distribuição normal, na qual a sua variância, $Var(S)$, pode ser obtida através da Eq. (3), na qual t_i representa a quantidade de repetições de uma extensão i (Por exemplo, uma série histórica com três valores iguais entre si teria 1 repetição de extensão igual a 3, ou $t_i = 1$ e $i = 3$).

$$Var(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n t_i(i)(i-1)(2i+5)}{18} \quad (3)$$

O indicie Z_{MK} segue a distribuição normal, na qual a sua média é igual a zero, valores positivos indicam uma tendências crescentes, e negativos tendências decrescentes. De acordo com o sinal de S , o indicie Z_{MK} da distribuição normal é calculado a partir da Eq. (4):

$$\begin{aligned} Z_{MK} &= \frac{S - 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; \text{ para } S > 0 \\ Z_{MK} &= 0; \text{ para } S = 0 \\ Z_{MK} &= \frac{S + 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; \text{ para } S < 0 \end{aligned} \quad (4)$$

A etapa inicial do cálculo do Z_{mk} é para estimar (equação 5) e remover a inclinação de tendência da série original (passo 1). O lag-1, o coeficiente de auto correlação, é então estimado e removido desta série "desviada" (passo 2). O declive estimado é então sobreposto a esta última série (referida como uma série misturada; passo 3).

Segundo Yue et al. (2002), esta série misturada preserva uma tendência existente, mas não é mais influenciada pela presença de séries significativas correlações. Daqui em diante, esses três passos serão referido como o algoritmo TFPW. Equações 1, 3 e 4 (o teste MK original) são então aplicados a esta série misturada (passo 4). O resultado final (passos 1 a 4) é o TFPW-MK. Mais informações relacionadas ao TFPW-MK pode ser encontrado em Yue et al. (2002). Valores positivos (negativos) MK e TFPW-MK indicam a presença de aumento (diminuição) tendências.

$$\text{TSA} = \text{mediana} \left(\frac{x_a - x_b}{a - b} \right) \forall b < a \quad (5)$$

A Equação 5 é frequentemente referida como Theil Sen Approach ou TSA (SEN, 1968) e é frequentemente usado para estimar a inclinação de uma tendência existente. De acordo com Yue et al. (2002), a série temporal não deve ser restringida se o seu valor de TSA for "quase igual a zero" (YUE et al., 2002).

Neste caso, a hipótese nula de nenhuma tendência deve ser aceita. Neste estudo, um valor não significativo de TSA foi considerado como sendo quase igual a zero. O significado de cada valor de TSA foi avaliado usando a abordagem

bootstrap descrito em Yue e Pilon (2004). O número de amostras bootstrapped necessárias para construir o distribuições nulas relacionadas foram definidas para 5.000 significância dos coeficientes de auto correlação foi avaliado conforme descrito em Wilks (2011).

Este é o procedimento básico do teste o qual, de acordo com Hirschet al. (1982), foi aprimorado na versão implementada em R no pacote supracitado para dados sazonais, incorporando, via método de Monte Carlo, a autocorrelação na estatística do teste. Mais detalhes podem ser vistos nos trabalhos de Hipel&McLeod (2005), Hirschet al. (1982) e Hamed& Rao (1997).

3.3.2 ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS

Para identificar as estações do ano foi utilizada a análise de agrupamentos, que é o nome dado às técnicas de análise que dividem os dados em grupos, classificando objetos ou indivíduos em grupos homogêneos. Isto é, observando apenas as similaridades ou dissimilaridades entre eles (MAROCO, 2003). Para fins deste estudo, a análise de agrupamentos foi utilizada para agrupar os meses conforme padrões de distribuição de temperatura semelhantes. O método utilizado foi o procedimento não-hierárquico K-means.

Neste modelo, a distância entre um ponto p_i e um conjunto de grupos, dada por $d(p_i, \chi)$, é definida como sendo a distância do ponto ao centro mais próximo dele. A função a ser minimizada então, é dada por:

$$d(P, \chi) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d(p_i, \chi)^2 \quad (5)$$

Inicialmente, dado um número de grupos previamente determinado, os indivíduos são ordenados iterativamente entre os grupos de modo minimizar a variância dentro destes, enquanto, ao mesmo tempo, a maximiza entre eles (HAIR et al., 2005).

O algoritmo pode ser descrito da seguinte maneira: 1. Escolher k distintos valores para centros dos grupos (possivelmente, de forma aleatória); 2. Associar cada ponto ao centro mais próximo; 3. Recalcular o centro de cada grupo; 4. Repetir os passos 2-3 até nenhum elemento mudar de grupo.

O procedimento, conforme Hair (2005), geralmente converge em poucas iterações para uma configuração estável, na qual nenhum elemento está designado para um grupo cujo centro não lhe seja o mais próximo. Um exemplo da execução do algoritmo de K-Means pode ser visto na figura 15.

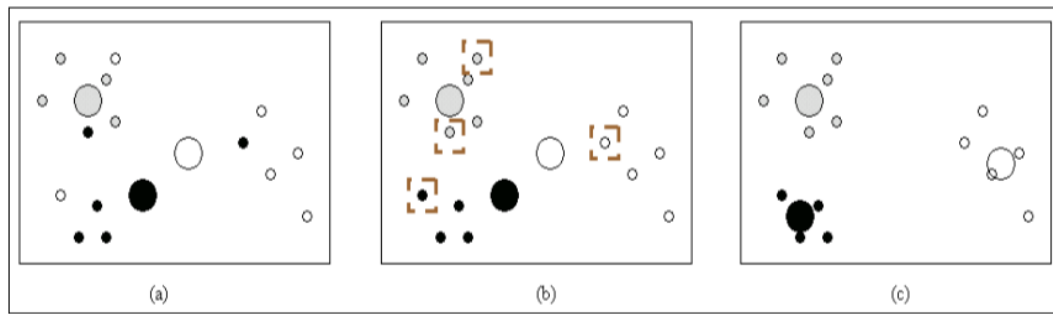


FIGURA 15- Exemplo de execução do algoritmo de K-Means

Fonte: Linden, 2009.

Na figura 15, pode-se observar que: (a) cada elemento foi designado para um dos três grupos aleatoriamente e os centróides (círculos maiores) de cada grupo foram calculados; (b) os elementos foram designados agora para os grupos cujos centróides lhe estão mais próximos; (c) os centróides foram recalculados. Avalia-se as variâncias intra e inter grupos e repete-se os passos (b) e (c) até que estivessem estas saturem.

Um eventual problema é que esta condição enfatiza a questão da homogeneidade e ignora a importante questão da boa separação dos clusters. Isto pode causar falhas na separação dos conjuntos no caso de uma má inicialização dos centroides. Na figura 15 pode-se ver o efeito de uma má inicialização na execução de um algoritmo de K-Means. Outro ponto que pode afetar a qualidade dos resultados é a escolha do número de conjuntos feita pelo usuário. Um número pequeno demais de conjuntos pode causar a junção de dois clusters naturais, enquanto que um número grande demais pode fazer com que um cluster natural seja quebrado artificialmente em dois Linden (2009).

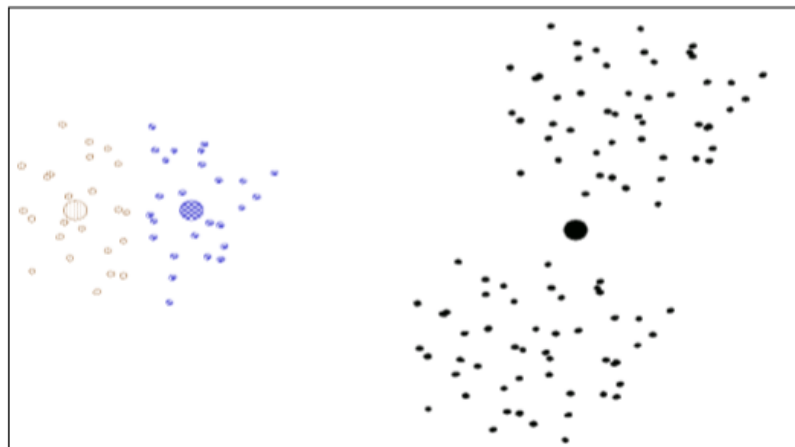


FIGURA 16- Exemplo do efeito de uma má inicialização do algoritmo K-Means

FONTE: Linden, 2009.

Na figura 16 observa-se que existem três clusters naturais neste conjunto, dois dos quais foram atribuídos ao grupo de cor sólida. O problema é que o terceiro cluster é bem separado dos outros dois clusters, e se dois conjuntos forem inicializados daquele lado da figura, eles ficarão daquele lado.

Após o teste MKSB, para as séries significativas a detecção dos limites críticos referentes à mudança de tendência na série seria utilizado o Teste Seqüencial de Mann-Kendall.

Os testes de tendência e a análise agrupamentos foram aplicados utilizando a linguagem R, pacote Kendall, a partir da distribuição disponibilizada pela Microsoft no ambiente Azure Machine Learning.

4. RESULTADOS

As variáveis analisadas foram a temperatura (t) e a amplitude térmica (at) mensais médias registradas em Cuiabá, pelo INMET, no período de 12/1986 a 12/2016 totalizando, assim, uma série de 278 observações. Contudo, 12.90% dos seus registros não estavam disponíveis nas bases de dados obtidas, o que exigiu o uso de estatísticas adaptadas e o uso de reamostragem para o cômputo das estimativas, seus intervalos de confiança e níveis de significância.

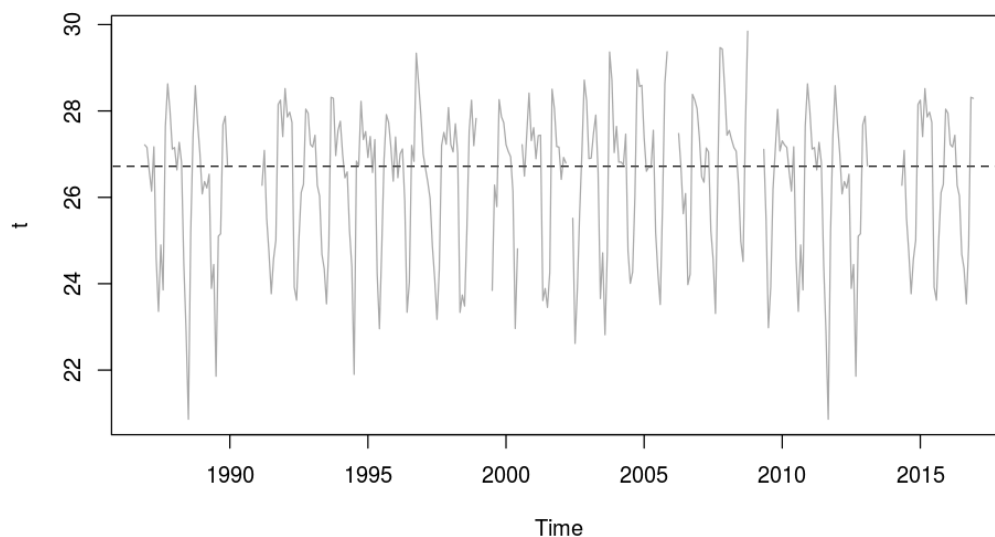


FIGURA 17- Representação gráfica das séries de temperatura média mensal de Cuiabá

FONTE: INPE, 2018

Uma inspeção visual na Figura 17 permite uma análise preliminar do comportamento das séries sob estudo.

As auto-correlações seriais e parciais dos dados para a série de médias mensais totais de temperatura em relação ao intervalo de tempo (lag) estão dispostas na Figura 18 e 19, respectivamente, com valores alternando o sinal até 3 lags (6 meses), indicando, possivelmente a necessidade de aplicar um diferencial de primeira ordem para estabelecer um modelo preditivo.

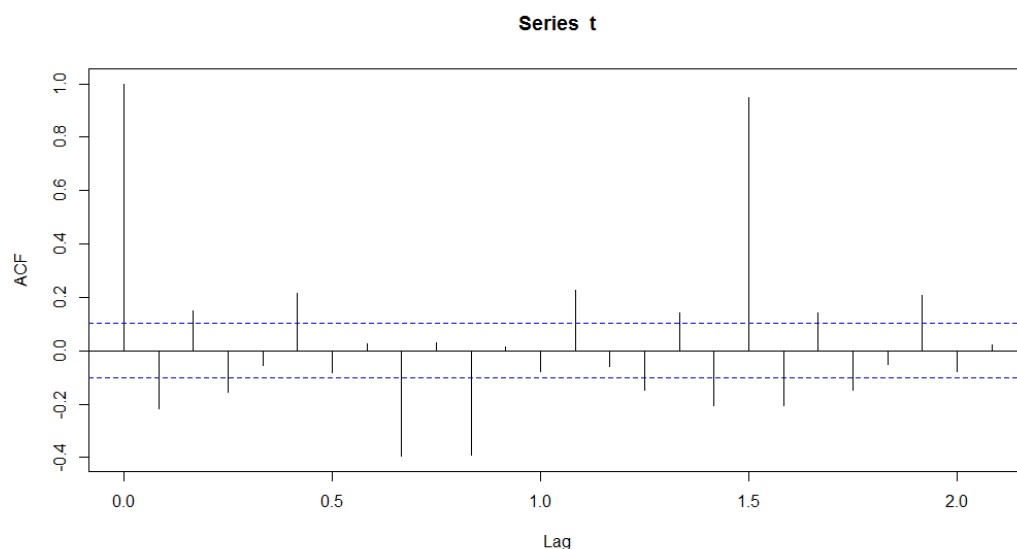


FIGURA 18– Função de auto-correlação serial da temperatura média mensal

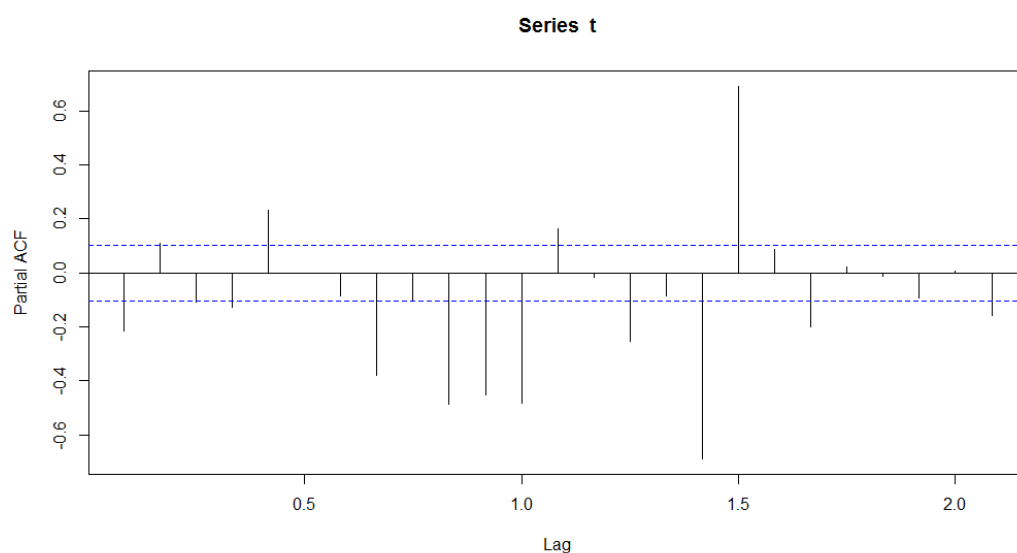


FIGURA 19– Função de auto-correlação parcial da temperatura média mensal

As Figuras 20 e 21 apresentam a auto-correlação serial da série mensal de amplitudes térmicas médias com alternância similares a uma função trigonométrica, um indicativo de que, sob um modelo preditivo, a defasagem seria igual a zero, média móvel e o grau de diferenciação iguais a 1.

Não se detectou pelo teste de Mann-Kendall falhas de estacionariedade, e, conseqüentemente, limites críticos, nas séries de temperatura e amplitude térmica médias mensais avaliadas, reportando uma baixa influência de fenômenos oceânicos como El Nino e La Nina, assim como a mudanças urbanas, nas

características estruturais das séries temporais analisadas. A Tabela 4 apresenta os níveis de significância obtidos para o procedimento supracitado.

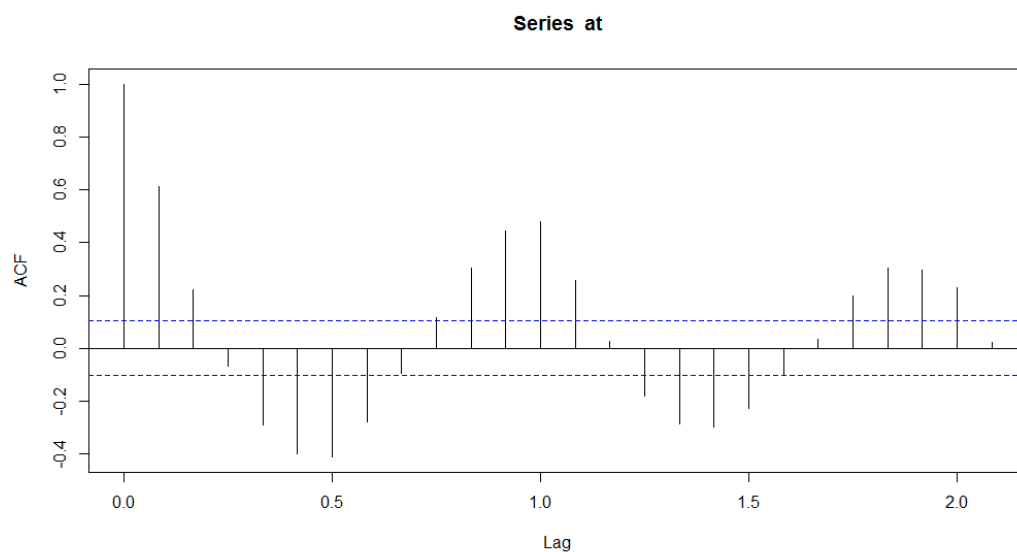


FIGURA 20– Função de auto-correlação serial da amplitude térmica média mensal

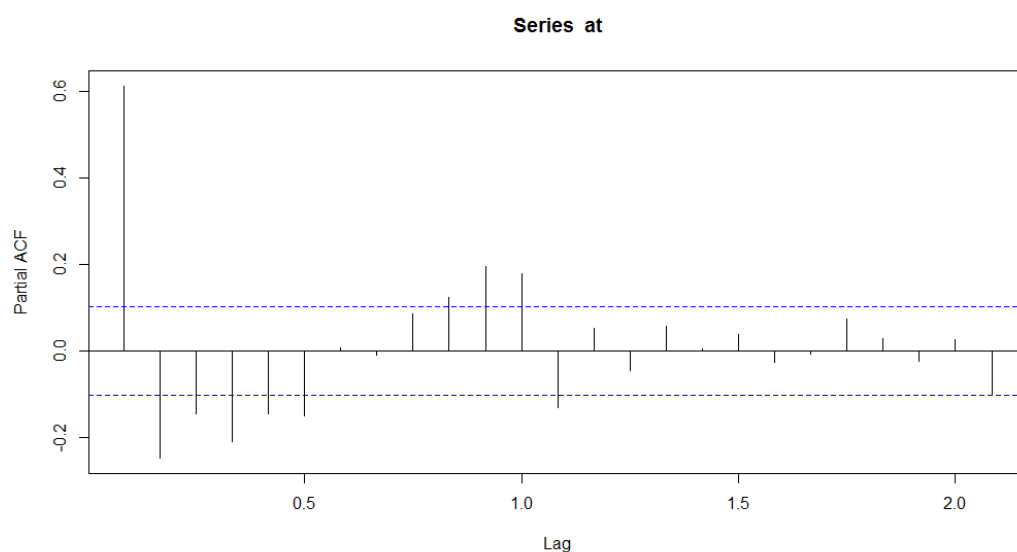


FIGURA 21– Função de auto-correlação parcial da amplitude térmica média mensal

Uma vez testada a estacionariedade e ergodicidade das séries temporais, compilou-se as séries climatológicas mensais, para às quais testou-se as suas aderências a distribuição Normal pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, obtendo valores altamente significativos para todos as série climatológicas (Tabela 4), o que levou a opção pelo uso da mediana e de *bootstrap* para o cálculo dos intervalos de confiança dos valores esperados mensais.

As Tabelas 5 e 6 dispõem dos intervalos de confiança da mediana de mínimo e máximo para um nível de confiança de 95%. Todos os limites foram estimados por *bootstrap* com 5000 reamostragens.

TABELA 4– Níveis de significância para os testes não-paramétricos de Mann-Kendall e Kolmogorov-Smirnov

Séries	Mann-Kendall (p)	Kolmogorov- Smirnov (p)
Janeiro	0,429	0,000
Fevereiro	0,912	0,000
Março	0,631	0,000
Abril	0,860	0,000
Maio	0,363	0,000
Junho	0,342	0,000
Julho	0,937	0,000
Agosto	0,764	0,000
Setembro	0,430	0,000
Outubro	0,874	0,000
Novembro	0,692	0,000
Dezembro	0,950	0,000

* Nível de confiança de 95%.

TABELA 5– Intervalos de confiança das séries climatológicas das temperaturas médias mensais

Séries	Mínimo*	Mediana	Máximo*
Janeiro	26,10	27,40	28,48
Fevereiro	26,30	26,85	27,76
Março	26,17	26,94	27,95
Abril	25,63	26,92	27,69
Maio	23,43	24,68	25,81
Junho	22,88	23,95	24,92
Julho	21,21	23,69	24,98
Agosto	24,00	25,26	27,21
Setembro	25,41	27,53	29,43
Outubro	27,57	28,25	29,36
Novembro	26,99	27,71	28,57
Dezembro	26,73	27,31	27,88

* Nível de confiança de 95%.

TABELA 6– Intervalos de confiança das séries climatológicas das amplitudes térmicas médias mensais

Séries	Mínimo*	Mediana	Máximo*
Janeiro	7,83	9,33	10,94
Fevereiro	7,72	9,01	11,05
Março	8,60	9,43	11,21
Abril	8,66	10,46	12,42
Maio	8,70	11,38	12,95
Junho	11,07	13,30	15,03
Julho	13,37	14,93	16,96
Agosto	13,41	15,94	18,03
Setembro	11,78	13,28	16,13
Outubro	10,41	11,55	13,07
Novembro	9,68	10,09	11,28
Dezembro	8,31	9,46	10,75

* Nível de confiança de 95%.

TABELA 7– Grupos homogêneos estimado por k-means

Séries	Grupos
Janeiro	1
Fevereiro	1
Março	1
Abril	1
O Maio	2
Junho	3
Julho	3
Agosto	4
Setembro	1
Outubro	1
Novembro	1
Dezembro	1

A mediana, assim como as estimativas intervalares da mediana obtidas – mínimo e máximo, foram submetidas a um procedimento de classificação não-hierárquica k-means o qual, em relação a temperatura e amplitude térmica, detectou dois grupos dominantes, um de janeiro-abril e setembro-dezembro (Grupo 1), e outro entre junho-julho(Grupo 3), ambos com zonas de transição nos meses de maio e agosto (Grupos 2 e 4). A disposição dos grupos pode ser observada na Tabela 7.

Considerando a importância da previsão da temperatura para o planejamento de várias atividades, espera-se que a análise disposta propicie incentivo para estudos futuros ligados ao planejamento dessas atividades na ou em outras localidades, considerando-se, possivelmente, também estimativas diárias.

5. CONCLUSÃO

As análises dos testes de hipótese aplicados permitem inferir a existência de um grupo dominante (Grupo 1), com 8 meses, possuindo as maiores temperaturas e menores amplitudes térmicas. Os Grupos 2 e 3 apresentaram maiores amplitudes térmicas e menores temperaturas. Mediante essas variações, foi possível considerar que, possivelmente, existe tendência para a antecipação do Grupo 2 e o seu prolongamento durante o Grupo 4. Desse modo, é possível inferir-se a tendência do prolongamento do Grupo 1 no decorrer do ano, possivelmente associada a elevadas temperaturas do ar e baixa amplitude térmica.

6. BIBLIOGRAFIAS

ALVES, E. D. L.; BIUDES, M. S. Padrões da temperatura do ar e da umidade relativa: estudo de caso no campus de Cuiabá da Universidade Federal de Mato Grosso, **Bol. geogr.**, Maringá, v. 30, n. 3, p. 5-16, 2012

ALVES, M. P. A.; VANZ A.; CRUZ G. S.; KELLEN DE CÁSSIA B.K.MARTARELLO, , ANDERSON NASCIMENTO MONTEIRO E JOELMA MISZINSKI. Caracterização da Forte Onda de calor de 2014 em Santa Catarina, **Ciência e Natura**, Santa Maria v.38 n.1, 2016, Jan.- Abr. p. 309 – 325 **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas - UFSM** ISSN impressa: 0100-8307 ISSN on-line: 2179-460X

AYOADE, J.O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002. 332p, 1v.

BACK, A.J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, 2001, 36(5): 717-726.

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**, Campinas, 2009, 68(3): 807-815.

BLAIN, G. Séries anuais de temperatura máxima média do ar no estado de São Paulo: variações e tendências climáticas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, (2010). 25(1): 114-124.

CHILETTIO, E. C. **Caracterização climática da região do Lago de Manso: um estudo comparativo com a área urbana da Grande Cuiabá**. 2005. 161 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, 2005.

COUTTS, A. M.; BERINGER, J.; TAPPER, N. J. Impacto fin creasing urban densityon local climate: Spatialand temporal variations in the surface energy balance in Melbourne, Australia. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, Washington, v. 46, n. 4, p. 477-493, 2007.

CUIABÁ. Prefeitura. Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Urbano-IPDU (org. por Adriana Bussiki Santos). Plano Diretor de Desenvolvimento Estratégico de Cuiabá. **Cuiabá: Entrelinhas**, 2008.

CUIABÁ. Prefeitura. Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Urbano-IPDU. (Org. por Adriana Bussiki Santos). Perfil socioeconômico de Cuiabá. Volume IV. **Cuiabá: Central de Texto**, 2010.

DAI, A.; FUNG, I.; GENIO, A. D. del. Surface observed global land precipitation variations during 1900-1988. **Journal of Climate**, Boston, v. 10, p. 2946-2962, 1997.

DE PAULO, S.R. Análise das relações entre a dinâmica complexa do fenômeno elniño e a temperatura do ar em cuiabá/mt no período de 1961-2013. **Brazilian Geographical Journal**, 2015. Ituiutaba, v. 6, n. 2, p. 154-167, jul./dez. 2015. Página 156

DUARTE, D. H. S.; SERRA, G. G. Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental brasileira: correlação e proposta de um indicador. **Ambiente Construído**. v.3, n.2, p.7-20, abr./jun.2003. ISSN 1415- 8876. Porto Alegre, 2003.

FANGER, P. O. **Thermal Comfort**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1970

FROTA, A. B.; SCHIFFER, R. S. **Manual de Conforto Térmico**. 7. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

GALLAGHER, R.; APPENZELLER, T. Beyond reductionism. **Science** 284:79. 1999.

GOOSSENS, C.; BERGER, A. Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. **Annales Geophysical**, Berlin, v.4, n.B4, p.385-400, 1986.

HAIR, J.F.Jr.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L.; BLACK, W.C. **Análise Multivariada de Dados**. 5 ed. Porto Alegre: **Bookman**, 2005.

HAMED , K. H. ; RAO, A. R. **A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data**. ELSEVIER, Journal of Hydrology, USA, 1998, pp. 182-196.

HIPE, K.W.; MACLEOD, A.I. **Time Series Modelling of Water Resources and Environmental Systems**. Electronic reprint of our book orginally published in 1994, ELSEVIER, 2005.

HIRSCH, R.M.; SLACK, J.R.; SMITH, R.A. Techniques for trend assessment for monthly water quality data, **Water Resources Research**, 1982, 18: 107-121.

HOUGHTON, J. T.; MEIRA FILHO, L. G.; CALLANDER, B. A.; HARRIS, N.; KATTENBERG, A.; MASKELL, K. (ed.). Climate Change 1995: The Science of Climate Change. **Cambridge: Cambridge University Press**, 1996.

KARL, T. R.; KNIGHT, R. W.; EASTERLING, D. R.; QUAYLE, R. G. Indices of climate change for the United States. **American Meteorological Society Bulletin**, Boston, v. 77, n. 2, p. 279-292, Feb. 1996.

MACHADO, N. G.; SILVA, F. C. P.; BIUDES, M. S. Efeito das condições meteorológicas sobre o risco de incêndio e o número de queimadas urbanas e focos de calor em Cuiabá-MT, Brasil. *Ciência e Natura*, Santa Maria, v. 36 n. 3 set-dez. 2014, p. 459 – 469 **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas** - UFSM ISSN impressa: 0100-8307 ISSN on-line: 2179-460X

MARCUZZO, F. F. N.; MELO, D. C. R. Distribuição Espaço-Temporal e Sazonalidade das Chuvas no Estado do Mato Grosso. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 16** n.4 - Out/Dez 2011, 157-167

MACIEL, C. R. **Análise da relação entre características do ambiente urbano e o comportamento de variáveis microclimáticas: estudo de caso em Cuiabá-MT.** 2011. xii, 127 f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2011

MAITELLI, G. T. **Uma abordagem tridimensional de clima urbano em área tropical continental: o exemplo de Cuiabá – MT.** 1994. 204 p. Tese (Doutorado em Geografia), Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, 1994.

MAITELLI, G. T. **Interações Atmosfera-Superfície.** Moreno, G.; Higa, T. C. S. (orgs.). Geografia de Mato Grosso: Território, Sociedade. Cuiabá: Entrelinhas, 2005.

Martins F.R.; Guarnieri R.A.; Pereira E.B. O aproveitamento da energia eólica. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, São José dos Campos, SP, Brasil. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 1, 1304 (2008) www.sbfisica.org.br

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI** / José A. Marengo – Brasília: MMA, 2006. 212 p.: il. color ; 21 cm. (Série Biodiversidade, v. 26)

MAROCO, J. **Análise estatística: com a utilização do SPSS.** Lisboa: Silabo, 2003.

MASCARÓ, L. R. de. **Ambiência Urbana.** 1. ed. Porto Alegre: Sagra – D.C. Luzzatto, 1996.

MENDONÇA, F. de A. **O Clima e o Planejamento Urbano das Cidades de Porte Médio e Pequeno: Proposições Metodológicas para Estudo e sua Aplicação à Cidade de Londrina/PR.** 1994. Tese (Doutorado em Geografia Física), Programa de PósGraduação em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

NETO, M.J.; ROCHA, P.S.; ARRUDA, P.H.Z.; ARROS, M.P. Introdução a Física Ambiental, Cuiaba, **UFMT**, 2012.

OLIVEIRA, A. S. **Análise de desempenho térmico e consumo de energia em residências na cidade de cuiabá/ mt: estudo de caso.** 2007. 109 f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) –Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2007.

OLIVEIRA, I. M.; ZEILHOFER, P.; SANTOS E. S. **Segmentação para classificação de áreas urbanas a partir de imagem digital do Landsat7/ETM+: Estudo de caso** – Cuiabá-MT. 2007. Anais XIII Simpósio

Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 6011-6018

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia Vegetal**. São Paulo SP: Agronômica Ceres, 1981.440p, 1v.

OFFERLE, B.; JONSSON, P.; ELIASSON, I.; GRIMMOND, C. S. B. Urban Modification of the Surface Energy Balance in the West African Sahel: Ouagadougou, Burkina Faso. **Journal of Climate**, New York, v. 18, n. 19, p. 3983-3995, 2005.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba, agropecuária, p.478, 2002.

Reichardt, K.; Tinn, L.C. **Solo, Planta e Atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. 1ª ed. Barreira, SP. Manole 2004, 478f.

RICHMAN J. S.; MOORMAN J. R. Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy. **American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology**. 278(6): 2039–2049. 2000.

SANTOS, F.M.M. **Análise de desempenho térmico e lumínico em uma escola pública na cidade de cuiabá/mt: estudo de caso**, 2008, 117 f, Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) –Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

SILVA, J.G.; **Introdução à tecnologia de refrigeração e da climatização**. 1ª ed. São Paulo: Artliber, 2003, 220 f.

SILVA, P.C.P. **Análise do comportamento térmico de construções não convencionais através de simulação em visual doe**. Dissertação (Mestrado em engenharia civil), Universidade do Porto, Portugal. 2002.

SCHREINER, S.; VASCONCELOS, L. C. S.; ZEILHOFER, P. Técnicas de Geoprocessamento para modelação de anomalias de temperatura nos perímetros urbanos de Cuiabá e Várzea Grande – MT, **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 4371-4376.

THOM, H.C.S. Some methods of climatological analysis. **Geneve: World Meteorological Organization**, 1966.54 p (WMO Technical Note, 81).

VAREJÃO-SILVA, M.A. **Meteorologia e Climatologia, versão digital 2**, Recife, Pernambuco, Brasil, 2006. Disponível em: <<http://www.anakena.com.br/file/239832/meteorologia-e-climatologia-vd2-mar-2006.pdf>>. Acesso em: 09 set. 2018

YEVJEVICH, V. **Probability and statistics in hydrology**. Fort Collins : Water Resources Publication, 1972. 276 p.

XAVIER, A.A.P. **Condições de conforto térmico para estudantes de 2º grau na região de Florianópolis**. 1999. 209p. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Departamento de engenharia civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

GALVANI, E.; LIMA N. G. B., JUNIOR S. S.; ALVES. R. R. Avaliação da temperatura do ar no perfil topoclimático do parque estadual de Intervales – sp, entre as altitudes de 150 a 950 metros, **Trabalho elaborado como parte das atividades do plano de manejo do Parque Estadual de Intervales (PEI)**, SP, 2006.

VILLANOVA, S.R.F, MAITELLI, G.T. A importância da conservação de áreas verdes remanescentes no centro político administrativo de Cuiabá-MT, **UNICIÊNCIAS**, v.13, 2009.

VIANELLO, R. L; ALVES, A. R, **Meteorologia Básica e Aplicada**. 1ª edição. Viçosa: Editora UFV, 2002. 449p, 1v.

ANEXO 1 – CÓDIGO DOS SCRIPTS DESENVOLVIDOS EM R

```
# -----

# Teste de Mann-Kendall com bootstrap

# Autores: Carlo Ralph De Musis e Silvino Garcia

# Data 29/12/2017

# -----

f <- function(x) length(which(!is.na(x)))

# -----

# Calcula a amplitude térmica e temperatura média diária

# A amplitude corresponde a apenas uma leitura por dia

ano <- factor(cba$ano)

mes <- factor(cba$mes)

dia <- factor(cba$dia)

# Temperatura mínima

aux <- cba[,c('ano','mes','dia','tmin')]

agr_tmin_dia <- aggregate(aux, by=list(ano,mes,dia),

                          FUN=min, na.rm=TRUE, na.action=NULL)

agr_tmin_dia <- agr_tmin_dia[,c('Group.1','Group.2','Group.3','tmin')]

names(agr_tmin_dia) <- c('ano','mes','dia','tmin')

agr_tmin_dia[agr_tmin_dia$tmin==Inf,]$tmin <- NA

# Temperatura máxima

aux <- cba[,c('ano','mes','dia','tmax')]

agr_tmax_dia <- aggregate(x=aux, by=list(ano,mes,dia),

                          FUN=max, na.rm=TRUE, na.action=NULL)

agr_tmax_dia <- agr_tmax_dia[,c('Group.1','Group.2','Group.3','tmax')]

names(agr_tmax_dia) <- c('ano','mes','dia','tmax')
```

```

agr_tmax_dia[agr_tmax_dia$tmax==Inf,]$tmax <- NA

# Amplitude térmica

agr_tmin_tmax_dia <- merge(agr_tmin_dia,agr_tmax_dia,
by=c("ano","mes","dia"))

agr_tmin_tmax_dia$at <- agr_tmin_tmax_dia$tmax - agr_tmin_tmax_dia$tmin

agr_at_dia <- agr_tmin_tmax_dia[,c('ano','mes','dia','at')]

agr_at_mes_media <- aggregate(x=agr_at_dia,
                              by=list(agr_tm_dia$ano,agr_tm_dia$mes),
                              FUN=mean, na.rm=TRUE, na.action=NULL)

agr_at_mes_media <- agr_at_mes_media[,c('Group.1','Group.2','at')]
names(agr_at_mes_media) <- c('ano','mes','at')

agr_at_mes_n <- aggregate(x=agr_at_dia,
                          by=list(agr_tm_dia$ano,agr_tm_dia$mes),
                          FUN=f)

agr_at_mes_n <- agr_at_mes_n[,c('Group.1','Group.2','at')]
names(agr_at_mes_n) <- c('ano','mes','at_n')

agr_at_mes_media_n <-
merge(agr_at_mes_media,agr_at_mes_n,by=c("ano","mes"))
names(agr_at_mes_media_n) <- c('ano','mes','at','at_n')

# Temperatura média

aux <- cba[,c('ano','mes','dia','tm')]

agr_tm_dia <- aggregate(x=aux, by=list(ano,mes,dia),
                        FUN=mean, na.rm=TRUE, na.action=NULL)

agr_tm_dia <- agr_tm_dia[,c('ano','mes','dia','tm')]

agr_tm_dia <- agr_tm_dia[!is.nan(agr_tm_dia$tm),]

```

```

agr_tm_mes_media <- aggregate(x=agr_tm_dia,
                              by=list(agr_tm_dia$ano,agr_tm_dia$mes),
                              FUN=mean, na.rm=TRUE, na.action=NULL)
agr_tm_mes_media <- agr_tm_mes_media[,c('ano','mes','tm')]

agr_tm_mes_n <- aggregate(x=agr_tm_dia,
                          by=list(agr_tm_dia$ano,agr_tm_dia$mes),
                          FUN=f)
agr_tm_mes_n <- agr_tm_mes_n[,c('Group.1','Group.2','tm')]
names(agr_tm_mes_n) <- c('ano','mes','tm_n')

agr_tm_mes_media_n <-
merge(agr_tm_mes_media,agr_tm_mes_n,by=c("ano","mes"))

# Filtrando os meses com no mínimo 15 dias com leituras

tm <- agr_tm_mes_media_n[agr_tm_mes_media_n$tm_n>=15,
                        c('ano','mes','tm')]
at <- agr_at_mes_media_n[agr_at_mes_media_n$at_n>=15,
                        c('ano','mes','at')]
ds <- merge(tm,at,by=c('ano','mes'))

# Último valor para o mês de janeiro
t <- ts(ds[ds['mes']==1,]$tm, start=c(1986, 12), end=c(2016, 12),
frequency=12) # Total
at <- ts(ds$at, start=c(1986, 12), end=c(2016, 12), frequency=12) # Total

# Temperatura
acf(t, na.action = na.pass)
pacf(t, na.action = na.pass)

# Amplitude térmica
acf(at, na.action = na.pass)
pacf(at, na.action = na.pass)

```

```

# Examinando a autocorrelação e a autocorrelação parcial sugerem
# que estas são significativas. Podemos, então, aplicar o
# teste de Mann-Kendall com bootstrap.

install.packages("Kendall")

install.packages("boot")

library(Kendall)

library(boot)

resultados <- data.frame(varc=character(),
                           mes=integer(),
                           mk_t0=double(),
                           mk_ns=double(),
                           min_05=double(),
                           med=double(),
                           max_95=double(),
                           stringsAsFactors=FALSE)

for (v in 3:4) { # tm e at
  for (mes in 1:12) {
    ul <- nrow(resultados) + 1
    resultados[ul, 'varc'] = names(ds)[v]
    resultados[ul, 'mes'] = mes

    # Calculando as séries mensais

    t <- ts(ds[ds['mes'] == mes, v], start=c(1986, mes), end=c(2016, mes),
            frequency=1) # Total

    MKtau <- function(z) {
      aux <- MannKendall(z)
      return(c(aux$tau, aux$sl))
    }

    est <- tsboot(t, MKtau, R=5000, l=5, sim="fixed")
  }
}

```

```

    est_mk_med <- quantile(est$t[,1],0.5, na.rm=TRUE) # Estatística MK

    est_ns_med <- quantile(est$t[,2],0.5, na.rm=TRUE) # Nível de
significância

    resultados[ul,'mk_t0']=est_mk_med

    resultados[ul,'mk_ns']=est_ns_med


    q <- function(z) quantile(z,0.05, na.rm=TRUE)

    boot.05 <- tsboot(t, q, R=5000, l=1, sim="fixed")$t0

    resultados[ul,'min_05']=boot.05


    q <- function(z) quantile(z,0.5, na.rm=TRUE)

    boot.5 <- tsboot(t, q, R=5000, l=1, sim="fixed")$t0

    resultados[ul,'med']=boot.5


    q <- function(z) quantile(z,0.95, na.rm=TRUE)

    boot.95 <- tsboot(t, q, R=5000, l=1, sim="fixed")$t0

    resultados[ul,'max_95']=boot.95

  }
}

# K-means

library(reshape2)

res <- resultados[,c(-3,-4)]

res_norm = melt(res, id = c('varc','mes'), na.rm = TRUE)

res_reord <- dcast(res_norm, formula = mes ~ variable + varc)


agr <- kmeans(res_reord, 4, nstart = 20)

res_reord <- cbind(res_reord,agr$cluster)

```