

Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geografia

Fabício Lisboa Vieira Machado

**O CLIMA DE TEÓFILO OTONI (MG): INTEGRAÇÃO ESCALAR,
TIPOS DE TEMPO E IMPACTOS AMBIENTAIS**

Dissertação: Geografia e Análise Ambiental

Belo Horizonte
2016

Fabício Lisboa Vieira Machado

**O CLIMA DE TEÓFILO OTONI (MG): INTEGRAÇÃO ESCALAR,
TIPOS DE TEMPO E IMPACTOS AMBIENTAIS**

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

Área de concentração: Geografia e Análise Ambiental

Linha de pesquisa: Meio ambiente, paisagem e desenvolvimento sustentável

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique Jardim

Belo Horizonte
2016

M149c Machado, Fabrício Lisboa Vieira.
2016 O clima de Teófilo Otoni (MG) [manuscrito] : integração escalar,
tipos de tempo e impactos ambientais / Fabrício Lisboa Vieira Machado.
– 2016.
181 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientador: Carlos Henrique Jardim.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais,
Instituto de Geociências, 2016.
Área de concentração: Geografia e Análise Ambiental.
Linha de pesquisa: Meio Ambiente, Paisagem e Desenvolvimento
Sustentável.
Bibliografia: f. 148-154.
Inclui apêndices.

1. Climatologia – Teses. 2. Impacto ambiental – Teófilo Otoni (MG) –
Teses. I. Jardim, Carlos Henrique. II. Universidade Federal de Minas
Gerais. Instituto de Geociências. III. Título.

CDU: 551.58(815.1)

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Geografia, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Geografia, área de concentração Análise Ambiental.

Aprovada em 17 de junho de 2016, pela banca constituída pelos membros:



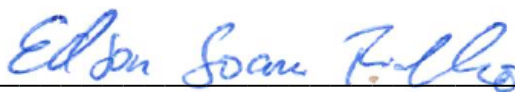
Prof. Dr. Carlos Henrique Jardim - Orientador
UFMG



Prof. Dr. Wellington Lopes Assis
UFMG



Prof. Dr. Alberto Avellar Barreto
Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN/CDTN)



Prof. Dr. Edson Soares Fialho
UFV

Belo Horizonte, 17 de junho de 2016.

“Não importa a tua aparência, a matéria de que és feito ou de onde vieste. Desde que vivas neste universo, (...) mais cedo ou mais tarde o encontrarás. Já está aqui. Está dentro de tudo. Não precisas deixar teu planeta para encontrá-lo. Na trama do espaço, como na natureza da matéria, e ainda numa grande obra de arte, lá está ela, em letras pequenas, a assinatura do artista. Sobrepondo-se aos homens, aos deuses e aos demônios, (...) há uma inteligência que antecede o universo”.

Contato (1985)
Carl Sagan

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço à minha querida mãe, que durante toda a trajetória acadêmica que construí, sempre pude contar com seu apoio e amor incondicionais. É em função dela, que fez por mim o inimaginável, que hoje me tornarei um mestre.

Ao meu pai e ao meu irmão, que, de maneiras diferentes, sempre demonstraram muito carinho e confiança por mim e pelo meu trabalho.

À toda minha querida família e especialmente àqueles que também são habitantes do município de Teófilo Otoni e que estiveram ao meu lado durante esta caminhada. Nominalmente, quero agradecer aos meus tios Nídio e Nilson, pelo grande apoio logístico durante os trabalhos de campo, ao meu padrinho Sandro e às minhas tias Nalda, Neuza, Nagilda e Nilmá, por me acolherem e cuidarem tão bem das estações meteorológicas utilizadas e hospedadas em suas propriedades, e aos meus primos Wesley, Alex, Júnior e Miguel, por todo o auxílio prestado das mais variadas formas. Agradeço, ainda, à minha tia “Mariinha”, que infelizmente não pôde viver para ver finalizada a pesquisa em que tanto colaborou para acontecer.

Agradeço à Mariana, minha companheira e fonte do meu mais sincero sorriso, a quem estas palavras não seriam suficientes para gratificar tudo o que fez e faz por mim desde os tempos da graduação.

Aos amigos de verdade, que independentemente da distância cartográfica, tenho certeza que estarão sempre ao meu lado.

Aos professores Carlos Henrique Jardim e Wellington Lopes Assis, a quem devo tudo o que me tornei dentro desta seara do conhecimento. Ao meu orientador, agradeço ainda por ter confiado e aberto uma porta para mim há seis anos atrás e que hoje culmina neste momento.

Aos professores Ricardo Alexandrino Garcia, por abrir o universo quantitativo para mim, Alberto Avellar Barreto, pelos anos de parceria com a climatologia, e Edson Soares Fialho, por aceitar de prontidão o convite para participação na banca examinadora.

Aos colegas e amigos do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais (Sisema), maiores responsáveis pelo meu crescimento profissional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de mestrado durante um ano.

E sem dúvida, àquele que me ilumina.

RESUMO

Escassas são as pesquisas científicas em climatologia que não se assentam fundamentalmente sobre modelos de classificação climática ou avaliação de aspectos sinóticos e regionais, sobretudo quando distantes dos grandes centros urbanos. Exemplo disso é a região do vale do rio Mucuri, no nordeste de Minas Gerais, que não experimentou produções que contemplassem a análise rítmica do clima ou a identificação de impactos ambientais. Em linhas gerais, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar a inter-relação entre fatores e elementos responsáveis pela produção do(s) clima(s) onde se insere o município de Teófilo Otoni (MG), com vistas à proposição da síntese em unidades climáticas e suporte ao ordenamento municipal. Para tanto, privilegiou-se a decomposição escalar e sistêmica necessária ao estudo geográfico do clima, onde fora definido roteiro metodológico adaptado à avaliação das escalas superiores e inferiores. A partir da interpretação dos dados das séries históricas oficiais regionais e das mensurações a campo com os miniabrigos meteorológicos construídos (realizadas em diferentes contextos paisagísticos e patamares altimétricos), fora avaliada a repercussão espacial diferencial dos componentes do balanço de energia, em que a temperatura média diária do ar mensurada no centro municipal se mostrou até 5,6°C mais elevada do que as áreas rurais e florestais. Sob atuação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (sistema atmosférico de maior frequência), o contraste hídrico horário entre as áreas urbanas e naturais, em algumas situações, foi superior a 20%, em função da redução do saldo de umidade disponível na atmosfera sobre a cidade (menor evapotranspiração). Sob atuação de sistemas instáveis de verão, fora identificado problema histórico recorrente no município e região, associado ao impacto pluviométrico sobre os usos da terra. Por fim, fora realizado o esforço de síntese da pesquisa em unidades climáticas, em que se identificou dois mesoclimas naturais controlados, sobretudo, pelo fator relevo, além de quatro topoclimas naturais e urbanos, que refletem potencialidades e limitações de uso do espaço.

Palavras-chave: clima local; impacto ambiental; Teófilo Otoni.

ABSTRACT

Scientific research in climatology that do not rely primarily on climatic classification of valuation models and synoptic or regional aspects are scarce, especially when far from large urban centers. One example is the region of the valley of the Mucuri, in northeastern Minas Gerais, which has not experienced productions that addressed the rhythmic climate analysis or the identification of environmental impacts. In general, this study aimed to evaluate the interrelationship between factors and elements responsible for producing the climates where the city of Teófilo Otoni (MG) is, with a view to proposing the synthesis in climate units and support municipal planning. Therefore, the scale and systemic decomposition is favored, necessary to geographical climate study, which was defined methodological script adapted to assess the upper and lower ranges. From the interpretation of the data of the regional official historical data and measurements in the field with the built meteorological mini-shelters (conducted in different landscape contexts and altimetry levels), was evaluated the spatial differential impact of energy balance components, where the average temperature daily air measured in the city center proved to 5.6°C higher than the rural and forest areas. Under action of the South Atlantic Subtropical Anticyclone (atmospheric higher frequency system), hourly humidity contrast between urban and natural areas, in some situations, it was more than 20%, due to the reduction of the moisture available balance in the atmosphere on city (less evapotranspiration). Under acting unstable summer systems, recurrent historical problem was identified in the city and region, associated with the rainfall impact on land use. Finally, the effort carried out synthesis of research on climate units, which identified two natural mesoclimates controlled mainly by the relief factor, plus four natural and urban topoclimates, reflecting potential and limitations uses of space.

Key words: local climate; environmental impact; Teófilo Otoni.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	21
OBJETIVOS	25
CAPÍTULO I – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E BASES CONCEITUAIS	26
1.1 A decomposição escalar no estudo do clima	26
1.2 A abordagem sistêmica e os climas urbanos.....	31
1.3 A análise rítmica do clima	34
1.4 As unidades climáticas	37
CAPÍTULO II – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	41
CAPÍTULO III – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	49
3.1 Critérios de seleção da área de estudo	50
3.2 Confeção do aparato sensor	71
3.4 Etapas de campo, coleta e validação dos dados	75
3.3 Análise dos resultados e mapeamento das unidades climáticas	82
CAPÍTULO IV – RESULTADOS E DISCUSSÕES	92
4.1 Os climas regionais e o método <i>fuzzy clustering</i>	92
4.2 A produção do clima local de Teófilo Otoni: análise das séries históricas de dados	104
4.3 O comportamento sinótico geral do período mensurado: análise dos dados médios diários e frequência dos tipos de tempo	120
4.3.1 Verão 2014/2015.....	120
4.3.2 Inverno 2015	129
4.4 A variação horária dos elementos climáticos e o suporte à identificação dos problemas geográficos.....	138
4.5 O esforço de síntese: as unidades climáticas naturais e urbanas	156
CONSIDERAÇÕES FINAIS	165

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	168
APÊNDICE A	176
APÊNDICE B	177
APÊNDICE C	179
APÊNDICE D	180

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Perfil esquemático da decomposição escalar do clima e participação antrópica na alteração dos mesmos. Organização: Fabrício Lisboa Vieira Machado..... 29
- Figura 2.** Representação esquemática das camadas de influência urbana na atmosfera. Fonte: Oke, 1976..... 30
- Figura 3.** Estrutura do “Urban Climatic Map” proposta por Chao et. al. (2010).
..... 40
- Figura 4.** Localização da área urbana do município de Teófilo Otoni (MG).
Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado..... 41
- Figura 5.** Supressão vegetacional de fitofisionomias do bioma Mata Atlântica na região Nordeste do Estado de Minas Gerais. Fonte: Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (2015). 43
- Figura 6.** Modelo hipsométrico da porção nordeste do Estado de Minas Gerais e localização do município de Teófilo Otoni (MG). 45
- Figura 7.** Perfil geoecológico do município de Teófilo Otoni (centro urbano e imediações). Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado..... 47
- Figura 8.** Paisagem regional característica da porção nordeste do Estado de Minas Gerais. 48
- Figura 9.** Fluxograma-chave da pesquisa. Organização: Fabrício Lisboa Vieira Machado..... 50
- Figura 10.** Condições de uso e ocupação da terra na área de estudo – Teófilo Otoni (MG). Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado. 55
- Figura 11.** Saldo de Radiação Solar Global no município de Teófilo Otoni (MG), durante o solstício de verão. Cálculos realizados através do modelo Iqbal inserido no software SBDART, recomendado pelo Núcleo Computacional da Qualidade do Ar da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado. 58

Figura 12. Condições geomorfológicas da área de estudo – Teófilo Otoni (MG). Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.	59
Figura 13. Estação Amostral 1 (EA1), localizada em fundo de vale no bairro Manoel Pimenta, Teófilo Otoni, MG. Foto: Fabrício Lisboa Vieira Machado. Data: 28 de dezembro de 2014.	60
Figura 14. Estação Amostral 2 (EA2), localizada em topo de morro no bairro Manoel Pimenta, Teófilo Otoni, MG. Foto: Fabrício Lisboa Vieira Machado. Data: 28 de dezembro de 2014.	61
Figura 15. Estação Amostral 3 (EA3), localizada em residência rural em planície fluvial, na Vila Suíça, Teófilo Otoni, MG. Foto: Fabrício Lisboa V. Machado. Data: 28 de dezembro de 2014.	62
Figura 16. Estação Amostral 4 (EA4), localizada em área florestal, nas zonas de cabeceira do rio Todos os Santos, Teófilo Otoni, MG. Foto: Fabrício Lisboa Vieira Machado. Data: 28 de dezembro de 2014.	63
Figura 17. Estação Amostral 5 (EA5), localizada em pastagem rural, nas proximidades da Vila Suíça, Teófilo Otoni, MG. Foto: Fabrício Lisboa Vieira Machado. Data: 28 de dezembro de 2014.	64
Figura 18. Estação Amostral 6 (EA6), localizada em moradia em entalhamento fluvial, na Vila Barreiros, Teófilo Otoni, MG. Foto: Fabrício Lisboa Vieira Machado. Data: 29 de dezembro de 2014.	65
Figura 19. Estação Amostral 7 (EA7), localizada em horta domiciliar no bairro Vila São João, Teófilo Otoni, MG. Foto: Fabrício Lisboa Vieira Machado. Data: 29 de dezembro de 2014.	66
Figura 20. Estação Amostral 8 (EA8), localizada em quintal residencial no bairro Teófilo Rocha, Teófilo Otoni, MG. Foto: Fabrício Lisboa Vieira Machado. Data: 29 de dezembro de 2014.	68
Figura 21. Estação Amostral 9 (EA9), localizada em quintal residencial em bairro de classe média alta (Grão Pará), Teófilo Otoni, MG. Foto: Fabrício Lisboa Vieira Machado. Data: 30 de dezembro de 2014.	69

Figura 22. Estações meteorológicas oficiais automática (a) e convencional (b) do Instituto Nacional de Meteorologia em Teófilo Otoni (MG). Fonte: INMET.. 70

Figura 23. Vista lateral e inferior dos mini abrigos meteorológicos e dos sensores (data loggers) de temperatura e umidade relativa do ar (esquerda) e perfil esquemático do abrigo (direita): 1. teto; 2. lâmina de isopor; 3. tubo PVC (parede externa); 4. tubo PVC (parede interna); 5. calço de madeira para manter afastamento e fixar as paredes externa e interna; 6. parafuso unindo os dois abrigos e o suporte do sensor; 7. suporte do registrador; 8. parafuso da haste que prende o abrigo ao teto; 9. parafuso de união dos dois abrigos (parede externa e interna); 10 lâmina de EVA; 11. registrador; 12. alça externa; 13. arame; 14. lâmina de EVA superposta ao isopor; 15. haste de metal unindo teto e corpo do abrigo. Foto e desenho: Carlos Henrique Jardim. Data: 10/11/2012. Adaptado de Machado & Jardim (2014). 74

Figura 24. Balanço hídrico do município de Teófilo Otoni, Minas Gerais (1961-1990). Fonte dos dados: Instituto Nacional de Meteorologia. Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado. 77

Figura 25. Curva de exatidão térmica e hídrica dos sensores utilizados. Fonte: Manual de instruções do termo higrômetro com data logger modelo HT-4000.81

Figura 26. Interpoladores geoestatísticos testados para utilização na pesquisa. Cada método estima os valores máximos e mínimos do modelo de maneira diferente e somente a normalização dos resultados permitiria o emprego de rampa de cores única. Estações Amostrais em pontos amarelos e mancha urbana do município de Teófilo Otoni em contorno preto. Escala: 1:40.000. Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado. 90

Figura 27. Mapa hipsométrico com a distribuição das estações meteorológicas mineiras trabalhadas. Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado. 94

Figura 28. Sazonalidade da temperatura e precipitação no município de Teófilo Otoni, Minas Gerais. Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado. 96

Figura 29. Sazonalidade da temperatura e precipitação no município de Caravelas, Bahia. Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado. 96

Figura 30. Imagem do satélite GOES-13, na banda (faixa espectral) do infravermelho 4, às 12h do dia 05 de julho de 2014, com a representação aparente da atuação do ASAS. Adaptado de Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.....	99
Figura 31. Sazonalidade da temperatura e precipitação no município de Caratinga, Minas Gerais. Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.	100
Figura 32. Sazonalidade da temperatura e precipitação no município de Diamantina, Minas Gerais. Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.....	101
Figura 33. Sazonalidade da temperatura e precipitação no município de Itamarandiba, Minas Gerais. Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado. ..	101
Figura 34. Perfil hipsométrico do vale do rio Todos Santos (azul), onde está instalado o município de Teófilo Otoni. Cores fortes indicam elevação das cotas altimétricas. Mancha urbana destacada em contorno vermelho. Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.	105
Figura 35. Variabilidade das temperaturas anuais em Teófilo Otoni (Minas Gerais). Fonte: INMET. Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.	107
Figura 36. Esquema ilustrado revelando a distribuição da anomalia da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) sob atuação respectiva dos fenômenos La Niña (a) e El Niño (b), em novembro de 2011 e janeiro de 2016. Fonte: Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE).....	111
Figura 37. Variabilidade da umidade relativa do ar anual em Teófilo Otoni (Minas Gerais). Fonte: INMET. Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.	111
Figura 38. Praça Tiradentes, marco turístico da região central de Teófilo Otoni (MG), no início do século XX (a) e no ano de 2015 (b). Fontes: Prefeitura Municipal e Toca Studio.	114

Figura 39. Variabilidade da precipitação anual acumulada em Teófilo Otoni (Minas Gerais). Fonte: INMET. Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.	114
Figura 40. Matéria dos jornais Folha de São Paulo, de 04 de fevereiro de 2002, e R7 Notícias, de 29 de novembro de 2012, destacando impacto de evento pluviométrico concentrado em Teófilo Otoni, Minas Gerais. Disponível em: http://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u45312.shtml e http://noticias.r7.com/minas-gerais/noticias/apos-chuva-forte-e-desabamentos-teofilo-otoni-decreta-estado-de-emergencia-20121129.html	117
Figura 41. Impactos ambientais e sociais oriundos da relação quadro urbano x precipitação concentrada, em episódio de dezembro de 2014. Imagens dos municípios mineiros de Governador Valadares, Conselheiro Pena, Teófilo Otoni e Capitão Andrade, respectivamente.	119
Figura 42. Evolução dos sistemas atmosféricos do período entre os dias 29 a 31 de janeiro de 2015. Imagens do satélite GOES-13 no canal infravermelho 4, às 15h, e cartas sinóticas da Marinha do Brasil nos respectivos dias e horários. Fonte: CPTEC/INPE; Marinha do Brasil.	124
Figura 43. Variação dos valores médios diários da temperatura do ar registrada nas Estações Amostrais em Teófilo Otoni (MG) durante o período de inverno.	125
Figura 44. Variação dos valores médios diários da umidade relativa do ar registrada nas Estações Amostrais em Teófilo Otoni (MG) durante o período de verão.	126
Figura 45. Frequência de atuação dos tipos de tempo durante o primeiro período de mensuração dos dados de campo (verão). Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.	128
Figura 46. Variação dos valores médios diários da temperatura do ar registrada nas Estações Amostrais em Teófilo Otoni (MG) durante o período de inverno de 2015.	132

Figura 47. Variação dos valores médios diários da umidade relativa do ar registrada nas Estações Amostrais em Teófilo Otoni (MG) durante o período de inverno de 2015.....	133
Figura 48. Evolução dos sistemas atmosféricos do período entre os dias 12 a 14 de setembro de 2015. Imagens do satélite GOES-13 no canal infravermelho 4, às 15h, e cartas sinóticas da Marinha do Brasil nos respectivos dias e horários. Fonte: CPTEC/INPE; Marinha do Brasil.	135
Figura 49. Frequência de atuação dos tipos de tempo durante o segundo período de mensuração dos dados de campo (inverno). Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.	136
Figura 50. Propriedade de reflectância de luz solar (albedo) de materiais componentes de espaços urbanos e naturais. Adaptado de Mendonça & Danni-Oliveira (2007).....	140
Figura 51. Análise rítmica horária dos elementos climáticos mensurados nas Estações Amostrais de Teófilo Otoni (MG), entre 27 e 29 de janeiro de 2015. Elaboração autoral.	142
Figura 52. Análise rítmica horária dos elementos climáticos mensurados nas Estações Amostrais de Teófilo Otoni (MG), entre 04 e 08 de fevereiro de 2015. Elaboração autoral.	147
Figura 53. Variação da temperatura do ar em Teófilo Otoni, registrada às 15h dos dias 04 e 05 de fevereiro de 2015. Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.....	149
Figura 54. Matéria do jornal “Aconteceu no Vale”, destacando, com algum sensacionalismo, os efeitos provocados pela chuva em Teófilo Otoni (MG). Disponível em http://aconteceunovale.com.br/portal/?p=52255 . Acesso: 06 de maio de 2016.....	151
Figura 55. Análise rítmica horária dos elementos climáticos mensurados nas Estações Amostrais de Teófilo Otoni (MG), entre 28 e 30 de agosto de 2015. Elaboração autoral.	153

Figura 56. Reportagem do portal de notícias R7, destacando a elevação do número de incêndios florestais em Minas Gerais, em função do tempo seco. Disponível em http://noticias.r7.com/minas-gerais/minas-registra-recorde-de-incendios-florestais-no-mes-de-outubro-26102015 . Acesso: 06 de maio de 2016.	155
Figura 57. Distribuição da temperatura média do ar entre Estações Amostrais de Teófilo Otoni (MG) no período de verão de 2014/2015. Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.	158
Figura 58. Distribuição da umidade relativa média do ar entre Estações Amostrais de Teófilo Otoni (MG) no período de verão de 2014/2015. Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.	159
Figura 59. Carta de unidades climáticas naturais e urbanas do município de Teófilo Otoni (MG). Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.	163

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Remanescentes florestais da Mata Atlântica em Teófilo Otoni, MG. Fonte: Organização Não-Governamental SOS Mata Atlântica. Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.	42
Tabela 2. Percentual de cobertura das classes de uso e ocupação da terra na área de estudo.	54
Tabela 3. Dados referentes à correção aditiva e subtrativa aplicada aos valores mensurados pelas Estações Amostrais de campo. Adaptado de Machado & Jardim (2013).	79
Tabela 4. Fatores corretivos para padronização dos dados entre sensores <i>data loggers</i>	81
Tabela 4. Coeficientes de associação das variáveis climatológicas aos diferentes <i>fuzzy clusters</i> . Valores de maior representatividade grafados em negrito.	97

Tabela 5. Frequência de associação das estações meteorológicas às tipologias climáticas de Köppen (Tropical do Brasil Central), segundo os resultados dos <i>fuzzy clusters</i>	103
Tabela 7. Crescimento populacional do município de Teófilo Otoni, Minas Gerais. Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.	113
Tabela 8. Resumo dos valores médios, máximos e mínimos calculados e/ou mensurados a partir da estação meteorológica convencional do INMET em Teófilo Otoni (MG), entre 1961 a 2013. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia. Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.	119
Tabela 9. Resumo dos valores médios, máximos e mínimos registrados no período úmido (verão 2014/2015).	123
Tabela 10. Resumo dos valores médios, máximos e mínimos registrados no período seco (inverno 2015).....	131

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Categorias taxonômicas da organização geográfica do clima e suas articulações com o clima urbano. Adaptado de Monteiro (2003).....	27
Quadro 2. Listagem de parte das monografias, dissertações e teses de cunho climatológico produzidas essencialmente para a Região Metropolitana de Belo Horizonte na Universidade Federal de Minas Gerais até dezembro de 2013. .	51
Quadro 3. Condições de instalação e aquisição de dados das nove Estações Amostrais utilizadas nos trabalhos de campo.	78
Quadro 4. Síntese das características gerais das unidades climáticas naturais e urbanas do município de Teófilo Otoni (MG). Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.	164

LISTA DE ABREVIATURAS SIGLAS

APA	Área de Preservação Ambiental
APAS	Anticiclone Subpolar do Atlântico Sul
APE	Área de Proteção Especial
ASAS	Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul
BA	Bahia
BDMEP	Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CDL	Câmara de Dirigentes Lojistas
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
EA	Estação Amostral
EMATER	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais
ENOS	El Niño Oscilação Sul
EVA	Ethylene Vinyl Acetate
FAO	Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação
FAPEMIG	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais
fPA	Frente Polar Atlântica
I-a-CC	Unidade Mesoclimática Natural das Colinas Convexas
I-a-FV	Unidade Mesoclimática Natural dos Fundos de Vale
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
I-b-TM	Unidade Topoclimática Natural dos Topos de Morro Florestados
IDW	Inverse Distance Weighted
IEF	Instituto Estadual de Florestas
II-b-BC	Unidade Topoclimática Urbana dos Vales do Baixo Centro
II-b-NC	Unidade Topoclimática Urbana do Núcleo Central Municipal
II-b-TM	Unidade Topoclimática Urbana dos Topos de Morro
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IR	Infrared

LESTE	Laboratório de Estudos Territoriais
LI	Linha de Instabilidade
mEc	Massa Equatorial Continental
MG	Minas Gerais
mTa	Massa Tropical Atlântica
ODP	Oscilação Decadal do Pacífico
PVC	Policloreto de Polivinila
S.C.U.	Sistema Clima Urbano
SEMAD	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
SIDRA	Sistema de Recuperação de Dados Automático
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SISEMA	Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TIN	Triangular Irregular Network
TSM	Temperatura Superficial do Mar
UBL	Urban Boundary Layer
UCL	Urban Canopy Layer
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFVJM	Universidade dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
USGS	United States Geological Survey
UTC	Universal Time Coordinated
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZCOU	Zona de Convergência de Umidade

INTRODUÇÃO

A atmosfera é um meio fluido e contínuo no espaço. Embora não se possa atribuir limites físicos à sua distribuição, o produto de sua interação com a superfície terrestre, orientado pelos *inputs* de energia, configurará sobre cada extensão territorial do planeta, estados habituais de seu comportamento.

Nas palavras de Sorre (1951), tal sucessão habitual dos tipos de tempo sobre determinado local da superfície terrestre responderá pela organização do clima naquele espaço, orientado pela interação com os controles de superfície e a ordem escalar em que se configura. Essa organização, por sua vez, refletirá o papel dos principais parâmetros climáticos intervenientes nas diferentes ordens escalares, de modo que cada uma delas seja mais bem compreendida se focados os fatores e elementos do clima prioritários na gênese de tais estruturas, conforme coloca Sant'Anna Neto (1998).

Nessa ótica, o clima deve ser visto como parte integradora dos geossistemas terrestres, agindo não somente no *input* de energia, mas como elemento transitório que permeia e influencia cada uma das demais esferas ("*transput*"), em determinada escala, sejam elas relativas aos meios físicos, bióticos ou socioeconômicos. Monteiro (1987), por exemplo, ressaltava o caráter indissociável do fator humano no interior dos geossistemas, capaz de regular seus componentes ao seu interesse e/ou bem-estar da sociedade. Tal ação, orientada cada vez mais a fins econômicos, promoveria a "derivação" das condições naturais primitivas, sobretudo respaldadas pela visão determinista e antagonista do homem *versus* natureza.

A modificação das formas naturais e a substituição por superfícies antropicamente transformadas podem provocar significativas mudanças no balanço energético dos espaços, conforme historicamente e de maneira pioneira verificou Luke Howard, que em 1820 constatou que as temperaturas mensuradas na metrópole de Londres eram frequentemente mais elevadas se comparadas às das áreas rurais (ASSIS, 2005). Landsberg (2006), por sua vez, ao resgatar a evolução das pesquisas sobre o clima das cidades, constatou episódios em que as diferenças de temperatura do ar entre campo e os centros urbanos londrinos atingiam quase 10°C.

Tais contrastes térmicos podem variar da escala regional, às menores ordens de organização dos espaços climáticos (microclimas), conforme a expressividade e diversidade da participação humana (uso da terra, atividades industriais, supressão vegetacional, entre outras) e o controle genético (atmosférico) responsável pelo tipo de tempo predominante.

No entanto, com a exceção dos grandes centros urbanos, alvo maior das produções bibliográficas recentes, poucos são os municípios ou regiões brasileiras cujo diagnóstico ou classificação climática não esteja apoiada em autores como Köppen ou Nimer (1966) ou, quando muito, restritas à interpretação dos valores médios das Normais Climatológicas do Brasil.

Em Minas Gerais, por exemplo, produção referente ao clima urbano de Belo Horizonte é o que tem recentemente se destacado. Isso não esgota, de maneira alguma, produções futuras para o mesmo *locus* de pesquisa, em unidades escalares das mais variadas. Porém, ao pesquisar as produções da Universidade Federal de Minas Gerais aplicadas aos demais municípios da região metropolitana da capital mineira, apenas um único trabalho de cunho climatológico que envolvesse, por exemplo, a análise rítmica do clima proposta por Monteiro (1971), fora contabilizado. Na ocasião, Lopes & Jardim (2012) avaliaram o campo térmico e higrométrico do ar nos municípios, ainda que vizinhos, de Contagem e Betim.

Produções referentes aos aspectos sinóticos ou precipitação regional também são encontradas, contabilizando aproximadamente vinte trabalhos, dentre monografias de conclusão de curso, dissertações de mestrado e teses de doutorado desta instituição.

Ao se modificar o contexto regional, ainda menor é a gama de trabalhos científicos em climatologia geográfica produzidos em Minas Gerais. Nos vales dos rios Jequitinhonha e Mucuri, por exemplo, principais drenagens da porção nordeste do estado, pontuais são os resultados que retornaram da pesquisa bibliográfica realizada. Isso porque, contraditoriamente, ainda há grandiosa riqueza para o conhecimento geográfico na região a se explorar, razão esta associada à interação dos mais variados fatores físicos e sociais responsáveis pela organização da paisagem, como a geomorfologia dos mares de morro (em

muito ocupados), seus afloramentos rochosos em formato “pão de açúcar”, a cobertura vegetal associada (inclusive com resquícios da Mata Atlântica), a dinâmica populacional de suas mesocidades, seus problemas socioeconômicos e impactos decorrentes da relação clima x (des)ordenamento espacial.

Este último, historicamente é o que mais desperta a atenção da sociedade e da mídia, haja vista a gama de situações em que um determinado tipo de tempo atmosférico culmina em impacto negativo, com perda de bens materiais, ambientais, danos ao patrimônio público e muitas vezes óbito. Tarefa simples é encontrar tais situações nos meios de comunicação, destacando efeitos das ilhas de calor urbanas no conforto térmico da população, a poluição do ar sobre as grandes cidades, enchentes relacionadas a eventos pluviométricos concentrados, entre outras repercussões, o que reforça a importância de se estudar o clima e sua relação com a organização das cidades.

Em matéria datada de abril de 2015, da emissora Inter TV MG (afiliada do grupo Globo), por exemplo, a própria manchete ilustrava um dos efeitos negativos mencionados, ao destacar que “*Chuva forte provoca estragos em bairros de Governador Valadares*”. Neste mesmo ano, o Jornal Estado de Minas publicou matéria alertando ainda sobre mais um problema da relação entre os meios social e ambiental, ao destacar que a “*Seca e falta de recursos agravam a situação nas favelas do Jequitinhonha*”.

Ainda no mesmo contexto regional e diante da necessidade de compreender a dinâmica climática e o papel do homem na regulação de suas variáveis, o município de Teófilo Otoni pode ser tomado como relevante *locus* de estudo.

Com população atual de aproximadamente 110 mil habitantes urbanos e 24 mil moradores das áreas rurais (IBGE, 2011), a “Capital das Pedras Preciosas”, como é conhecida, está localizada no vale do rio Todos os Santos, afluente do rio Mucuri, porção nordeste do Estado de Minas Gerais.

Historicamente, o município assistiu elevado crescimento populacional, expansão da mancha urbana e exploração agropecuária durante as décadas de 80 e 90. Com isto, fora crescente a modificação das formas naturais e a supressão dos resquícios de Mata Atlântica e como consequência, prováveis

alterações no balanço energético dessa área e de seu entorno (aumento do saldo de calor sensível, alterações nos padrões de advecção de ar, etc.).

De tal maneira, compreender a organização do clima local onde está inserido o município de Teófilo Otoni é importante no sentido de diagnosticar o impacto das transformações humanas na paisagem “natural” pretérita, não somente nas atuais áreas urbanas, mas também agrícolas e pastoris, consideravelmente encontradas em todo o nordeste mineiro. E ainda, como estariam organizados os demais recortes micro escalares do município? Quais são e em que ritmo se manifestam os tipos de tempo? Quais são os impactos ambientais e sociais decorrentes da relação clima x sociedade?

Diante de tais questões, o trabalho se justifica pela capacidade potencial de promover, além da compreensão dos fatores e elementos envolvidos na organização do clima em escala local e sua integração com as demais unidades escalares, subsídios ao melhor ordenamento espacial do território, que leve em consideração a manutenção das condições naturais e minimização de prováveis impactos negativos.

Tem-se como expectativas de resultados que as unidades climáticas porventura encontradas necessariamente refletirão condições do sítio urbano da cidade, ainda que inexistente a construção de um clima urbano próprio, nos moldes do que teoriza Monteiro (1976). No entanto, espera-se que sobretudo nas áreas em elevado patamar altimétrico e sob tipos de tempo instáveis, haja demasiada diminuição ou supressão de tal participação antrópica na regulação dos elementos climáticos, justamente por refletirem condições associadas ao clima regional em que se insere o município de Teófilo Otoni.

OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa é analisar a relação entre os fatores geográficos (naturais e antrópicos) com os elementos atmosféricos (temperatura e umidade relativa do ar), a fim de compreender a organização espacial do(s) clima(s) onde se situa o município de Teófilo Otoni (MG).

Para tanto, tem-se como objetivos específicos: i) identificação de padrões e ritmos climáticos (condição habitual, médias e desvios); ii) produção de documentos cartográficos analíticos da área de estudo e da variação espacial/temporal dos elementos climáticos (hipsometria, orientação e exposição de vertentes, uso da terra, carta de isothermas, isoígras, etc.); iii) mapeamento das unidades climáticas da área de estudo, com vistas à proposição de carta síntese.

CAPÍTULO I – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E BASES CONCEITUAIS

1.1 A decomposição escalar no estudo do clima

Conceito fundante da ciência geográfica, a escala assume papel indispensável também na ciência climatológica, sobretudo no seu estudo geográfico a que se propõe aqui realizar. Isso porque, a Geografia se configura enquanto ciência social, cujas interpretações dos mais variados fenômenos apresentam dimensão associada a uma categoria de análise do espaço (paisagem, território, lugar ou região) e, portanto, permitem interpretar a espacialidade (dispersão espacial) de determinado fenômeno ou objeto.

Sendo a sucessão habitual dos tipos de tempo sobre determinada área, o objeto do estudo geográfico do clima, conhecer suas implicações espaciais e, portanto, ambientais e sociais, dependerá do reconhecimento da escala em que o ritmo climático¹ se manifesta. De tal forma, não se trata apenas de escala espacial, mas também daquela que remeta à temporalidade dos fenômenos, suas recorrências históricas habituais, seus estados médios e desvios rítmicos. Ambas as escalas estarão necessariamente amarradas aos mecanismos genéticos responsáveis pelas suas configurações, tendo a radiação solar como principal *input* (motor) de energia no Sistema Terra.

Assim sendo, faz-se pertinente pensar em arranjo espacial que se decomponha dos níveis de organização macro climáticos em direção às mais complexas estruturas componentes dos microclimas, em que bem lembrou Ribeiro (1993), possuirão diferenciados parâmetros climáticos fundamentais intervenientes em cada ordem de grandeza. Sant'Anna Neto (1998) lembra ainda que em tais organizações escalares haverá graus de significância em cada um dos elementos intervenientes, particularizando-se seu papel influenciador e determinante na gênese daquela escala.

De tal maneira, Monteiro (1976), a partir das contribuições de Tricart & Cailleux à sistematização das escalas de trabalho em geomorfologia, propôs a organização do estudo geográfico do clima a partir de categorias taxonômicas

¹ Conceito este melhor elucidado nos tópicos posteriores.

que articulasse as grandezas de ordem global aos produtos mais específicos dos climas produzidos em microescala. Foram segmentados, portanto, sete níveis de organização escalar, conforme resumido no **quadro 1** a seguir.

Quadro 1. Categorias taxonômicas da organização geográfica do clima e suas articulações com o clima urbano. Adaptado de Monteiro & Mendonça (2003).

Escala cartográfica de tratamento	Espaços climáticos	Espaços urbanos	Estratégias de abordagem		
			Meios de observação	Fatores de organização	Técnicas de análise
1:45.000.000 1:10.000.000	Zonal	-	Satélites	Latitude Centros de ação atmosférica	Caracterização geral comparativa
1:5.000.000 1:2.000.000	Regional	-	Cartas sinóticas Radares meteorológicos	Circulação secundária	Redes transectos
1:1.000.000 1:500.000	Sub-regional	Megalópole	Rede meteorológica de superfície	Fatores geográficos	Mapeamento sistemático
1:250.000 1:100.000	Local	Região Metropolitana	Posto meteorológico Posto complementar	Integração geológica Ação antrópica	Análise espacial
1:50.000 1:25.000	Mesoclima	Cidade grande, bairro ou subúrbio de metrópole	Registros móveis (episódios)	Urbanismo	Especiais
1:10.000 1:5.000	Topoclima	Pequena cidade, fâcias de bairro	(Detalhe)	Arquitetura	
1:2.000	Microclima	Edificações e habitações	Baterias de instrumentos especiais	Habitação	

Ao se modificar a escala de análise de determinado fenômeno de cunho climatológico, muda-se necessariamente a instrumentação requisitada à sua observação. E não se trata apenas da aparelhagem para tanto, mas das bases teórico-metodológicas adequadas àquela escala. A exemplo, a observação das massas de ar e sistemas frontais atuantes em determinada região brasileira muito melhor realizada será, se sobre o amparo de imagens de satélite, cartas sinóticas e radares meteorológicos.

Em contrapartida, tais informações servirão apenas como subsídio ao entendimento do controle sinótico regional que se impõe sobre uma área de estudo, mas pouco contribuirão diretamente para a avaliação dos diferentes espaços microclimáticos existentes no interior das edificações de um complexo

industrial, muito susceptíveis às propriedades físicas de armazenamento de calor dos materiais que o constituem e às atividades humanas desenvolvidas.

Não há de se perder de vista, no entanto, o fato de que as organizações escalares resguardam conexões entre si. Castro (1995) ressalta que um mesmo fenômeno observado por instrumentos e escalas distintas, revelará aspectos diferenciados e “prender-se” em única determinada escala, conforme aponta Ullmo (1969), é renunciar à percepção do todo que se passa nas escalas inferiores.

De tal modo, aquilo que é produzido em escala regional está sim embutido nos resultados observados a campo, quando da análise dos microclimas e topoclimas de determinada área, que apresentarão resultados diferentes sob condições atmosféricas instáveis ou estáveis. Esta é uma imposição de origem genética macro escalar e que repercutirá hierarquicamente nas demais escalas inferiores, contudo, com diferentes níveis de percepção, tal como o exemplo do complexo industrial acima mencionado. Esta é a visão geográfica e interescalar necessária ao estudo do clima.

A respeito disso, Monteiro (2001, p. 200) enfatiza que o fundamental à compreensão das relações entre clima e a sociedade deve emanar do reconhecimento de que:

“a. O comportamento atmosférico, integrado às demais esferas e processos naturais, “organiza” espaços climáticos a partir das escalas superiores em direção às inferiores;”

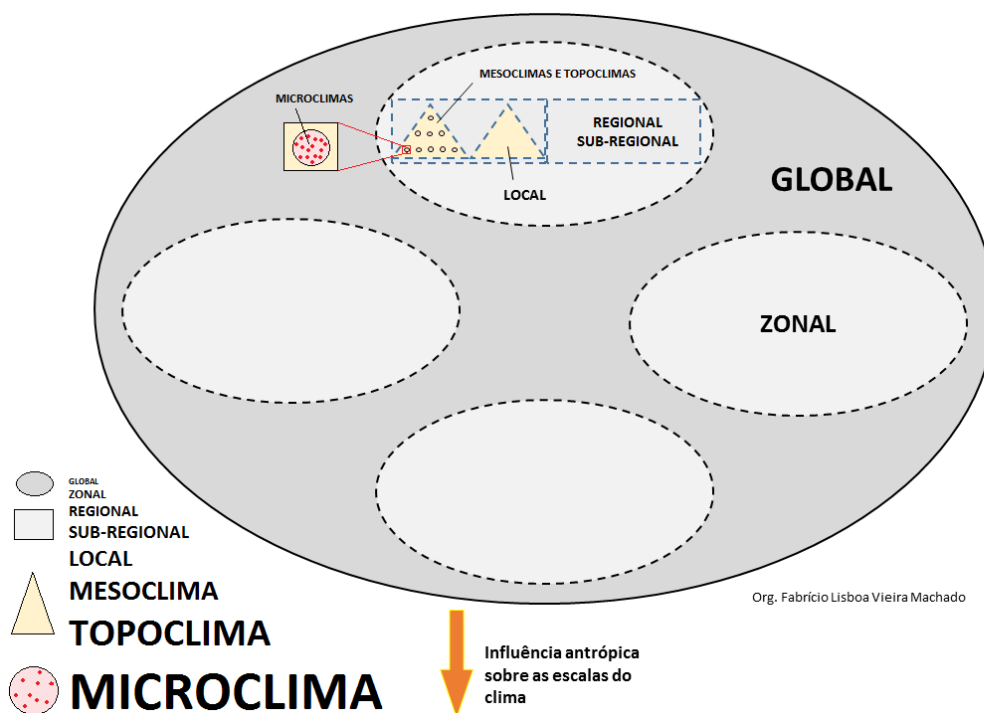
b. “A ação antrópica em derivar ou “alterar” essa organização ocorre no sentido inverso, ou seja, das escalas inferiores para as superiores.”

A capacidade humana de derivar os espaços e a repercussão imediata no componente climático do sistema, portanto, será muito mais nítida e mensurável quanto menor for a abrangência espacial das escalas. O próprio Monteiro (1978) deixa claro que o homem teria capacidade de “criar” microclimas, bem como alterar substancialmente os climas locais, tais como os climas urbanos produzidos pelas grandes cidades.

No entanto, esta ação direta poderia ser projetada até os espaços sub-regionais, mas daí em direção às escalas superiores, a compreensão repousaria na experiência histórica, totalmente desacompanhada das evidências oriundas da observação meteorológica relativamente recente.

A **figura 1**, ao promover a visão transitória entre escalas, através de recortes geométricos que variam do todo em direção ao que seria o privado, intrínseco ou particular, resume a decomposição escalar do estudo geográfico do clima, bem como a capacidade humana de alterar tais organizações, que por sua vez, experimentaria o sentido inverso. Ao sair do universo particular dos microclimas, a participação humana na alteração do todo (global), tende a se perder quão maior for a dimensão espacial do sistema.

Figura 1. Perfil esquemático da decomposição escalar do clima e participação antrópica na alteração dos mesmos. Organização: Fabrício Lisboa Vieira Machado.

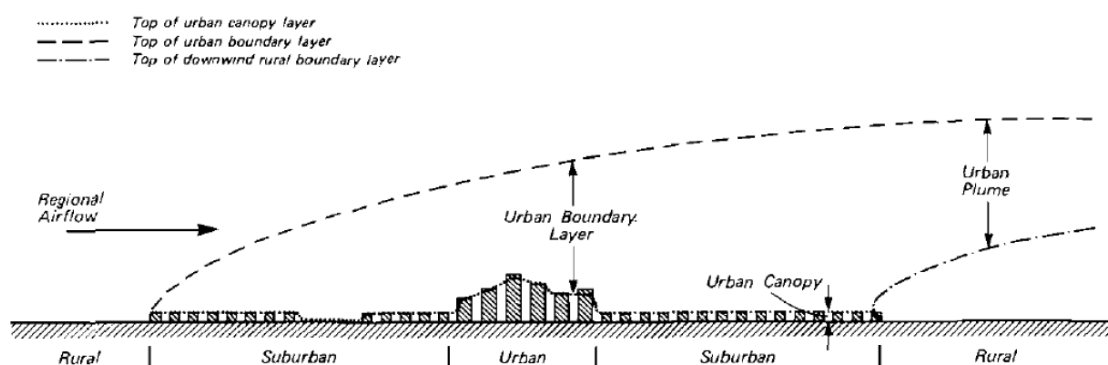


Nesta ótica, ao contrário das escalas inferiores, a ilegibilidade da legenda relativa aos climas globais é proposital, uma vez que visa justamente ilustrar a demasiada atenuação da participação humana na alteração dos níveis de organização macro escalares, orientados muito mais por mecanismos de origem astronômica, do que por fatores antrópicos ou ao pleno alcance da manipulação humana.

Por outro lado, exemplo relevante ao potencial humano de derivar o clima em determinadas escalas é obtido ao olhar tais níveis de organização de maneira vertical. Isto é, até aqui se preocupou à discussão da espacialização horizontal das escalas, suas dimensões e aspectos genéticos, no entanto, a maior das contribuições advindas neste sentido, talvez tenha sido dada pelo pesquisador canadense Tim Oke, ao apresentar divisão da camada limite da influência da superfície sob a atmosfera.

Sobre o estudo dos climas produzidos em ambiente urbano, Oke (1976) verificou a ocorrência de plumas de ar em turbulência, basicamente divididas em duas camadas de organização vertical, conforme **figura 2**. A primeira delas, *Urban Canopy Layer* (UCL), representaria a camada de ar mais próxima à superfície, sob influência direta dos fenômenos físicos responsáveis pelas trocas de calor quando do aquecimento do solo e irradiação de energia.

Figura 2. Representação esquemática das camadas de influência urbana na atmosfera. Fonte: Oke, 1976.



No período diurno, em função da elevada disponibilidade de energia e conseqüente aquecimento superficial, a também chamada Camada do Dossel Urbano tende a apresentar razoável expansão vertical, tão maior quanto maiores forem os insumos de energia solar. A partir do aquecimento dos materiais componentes das edificações urbanas, a UCL passa a acompanhar o nível médio das rugosidades do tecido em expansão vertical. No entanto, uma vez associada à produção de espaços climáticos restritos às formas e materiais urbanos, se desdobraria horizontalmente em escalas micro e topoclimáticas.

Já a *Urban Boundary Layer* (UBL), verticalmente se manifestaria imediatamente acima do dossel urbano e se estenderia até a camada limite

planetária, onde acima desta também diminuiriam consideravelmente a fricção e a turbulência do ar gerada pelos fluxos de calor e rugosidades de superfície. Segundo Oke (1978), a Camada Limite Urbana pode ser concebida na escala local ou mesoclimática e a pluma gerada, em função do escoamento de ar regional, pode ser projetada inclusive sobre porções territoriais rurais, particularidade relevante ao município de estudo.

1.2 A abordagem sistêmica e os climas urbanos

É interessante destacar que, independentemente do nível de organização escalar em que se insere, a capacidade humana de “derivar” os climas naturais não se dá de maneira direta. Isto é, não há a aplicação de uma tensão antrópica, como apontam Drew (1986) e Monteiro (2001), diretamente na atmosfera, que por sua vez é regulada por comandos de escalas superiores. O que se observa é uma ação indireta, associada aos impactos na cobertura biótica, no uso da terra e na comunidade vegetal, estes sim capazes de alterar a relação superfície-atmosfera, em variados níveis escalares.

Caberá ao pesquisador conhecer a sensibilidade (capacidade de suporte) de tais elementos componentes às tensões impostas, bem como os produtos gerados, que vale deixar claro, não se manifestarão apenas negativamente, podendo a ação antrópica resultar em benefícios claros aos meios físicos, bióticos e, sobretudo, socioeconômicos (para o qual tradicionalmente converge a capacidade humana de se apropriar do ambiente).

Todo esse arranjo de tensões, elementos e produtos está necessariamente amarrado à concepção de sistema. Há basicamente a entrada de energia por meio de um (ou vários) mecanismo proponente, suas variáveis reguladoras e retro alimentadoras, além de produtos concebidos nas mais variadas formas e escalas. Além disso, há de se mencionar que tal sistema não é meramente climático, uma vez que toca em variáveis que apresentam seus próprios subsistemas geográficos, ecológicos e sociais.

Sendo assim, o clima é muito mais um componente que transita os fluxos de energia do sistema (*transput*), obviamente detentor de complexo subsistema,

do que a unidade máxima em análise. Esta última será a combinação de tais fatores, que permitirão a decomposição de suas peculiaridades no intuito único de promover a análise integrada daquele espaço, desdobrado naquela que se mostraria a mais adequada de suas categorias de análise: a paisagem.

De tal maneira, Sotchava (1977), a partir de esforços iniciados na década de sessenta, elaborou proposta metodológica para o estudo integrado e sistêmico do ambiente, cuja alcunha recebida entendia a inter-relação dos componentes da paisagem como um geossistema. Sua definição, conforme apresenta Caracristi (2007, p. 16), seria de uma *“formação natural que experimenta os impactos dos ambientes social, econômico e técnico, constituindo-se num sistema dinâmico, aberto e hierarquicamente organizado”*.

Bertrand (1972), no entanto, entendia que a síntese do conceito de paisagem perpassava pelo conceito de escala, para a promoção do melhor entendimento dos diferentes processos que atuam nas variadas unidades de grandeza.

Assim sendo, o francês apresentou a decomposição de seis categorias de unidade de paisagem, considerando os elementos climáticos e estruturais nas chamadas unidades superiores (zona, domínio e região) e os elementos biogeográficos e antrópicos nas unidades inferiores (geossistema, geofácies e geótopo). Incluiu ainda, a noção de combinação dinâmica e instável ao desenvolvimento da paisagem, em que fatores geográficos reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fariam da paisagem um conjunto indissociável e em perpétua evolução, tanto como “bloco único”, quanto sob efeito da dinâmica própria de cada subsistema que a compõe. Neste contexto, Tricart (1977) resume que *“o conceito de sistema é, atualmente, o melhor instrumento lógico de que dispomos para estudar os problemas do meio ambiente”* e calcado nisso é que a presente pesquisa se desenvolverá.

Com base nisso, portanto, o geossistema é aquele se mostra como categoria de unidade de paisagem mais adequada ao estudo geográfico do clima, justamente por ser compatível com a escala humana, uma vez que os desdobramentos de origem antrópica se revelam claramente até as escalas climáticas locais, tal como se configuram os climas urbanos e impactos associados.

Monteiro (2001), inclusive propôs modelo para conduzir pesquisas climatológicas dirigidas às escalas inferiores de organização espacial, integradas aos sistemas naturais e incorporando as derivações antropogenéticas (caráter este que o autor julgava indissociável da análise geossistêmica). Segundo Caracristi (2007), para Monteiro, a paisagem assumia-se enquanto “entidade espacial” em contínua transformação, que se revela como sistema dinâmico e aberto, cujo grau de complexidade é formado segundo a escala objetivada pelo pesquisador (relação explícita sujeito-objeto).

No caso das paisagens urbanas, cujas componentes físicas foram demasiadamente alteradas, há relevante peculiaridade oriunda dos fatores climáticos. Isso se deve ao fato de que a modificação das formas naturais e a consequente substituição por superfícies impermeabilizadas, com materiais e equipamentos urbanos com diferenciadas propriedades físicas para retenção e/ou dissipação de energia, podem promover a criação de singulares campos térmicos e higrométricos do ar sobre as cidades, ressaltadas as escalas de abrangência e a manifestação dos mesmos em diferentes tipos de tempo.

O Sistema Clima Urbano, (S.C.U.), tal como foi concebido por Monteiro (1976), pressupõe estrutura singular, aberta, evolutiva, dinâmica, adaptativa e autorreguladora, cuja interpretação e articulação no sistema se dá por meio dos três canais de percepção (termodinâmico, físico-químico e hidrometeorológico), que representam a hierarquia dos fluxos de energia em ambiente urbano, desde as diferentes fontes de entrada, os mecanismos de transformação e os produtos e efeitos causados sobretudo na variável humana, maior responsável pela apropriação de tais espaço.

A compreensão dos elementos componentes do balanço de energia mostra-se enquanto chave para o entendimento das trocas de calor em ambiente urbano, orientando a criação de espaços micro e topoclimáticos com contrastantes respostas térmicas e higrométricas no interior de uma mesma cidade.

Portanto, ao adentrar tais espaços para tomar-lhes a temperatura, conforme avalia Monteiro (1990), haverão de ser avaliados aspectos físicos dos materiais nas mais diversas e agudas formas de interação do meio urbano com o ambiente, ainda que em amostra pontual e, portanto, refletidora das condições

microclimáticas imediatas. Dentre os componentes do balanço de energia há de se verificar o albedo (propriedade de reflectância da luz solar incidida sobre determinado corpo), o calor específico (quantidade de energia, por unidade de massa, necessária para elevar em um grau a temperatura de uma dada substância) e a condutividade térmica (associada à transmissividade e armazenamento da energia recebida no interior do material).

Ainda que de difícil ampliação para a escala local, representativa das cidades, a comparação com outros postos amostrais e a interpretação da malha de estações criadas, permitirá a confrontação com os sistemas atmosféricos atuantes e o seu desdobramento em tipos de tempo, cujas respostas superficiais em elementos climáticos mensuráveis, são resultados da interação com a paisagem.

Por fim, não se pretende adentrar muito mais na tônica da discussão do Sistema Clima Urbano, uma vez que o propósito da presente pesquisa não possui caráter de averiguação de um provável clima eminentemente urbano em Teófilo Otoni. No entanto, Monteiro (2001) propõe que as discussões sobre a noção de paisagem e sua evolução, bem como o conceito de geossistema, sirvam de referencial para o estudo da análise integrada, a qual se propõe aqui alcançar, tentando assim atribuir a maior quantidade de correlações possíveis dentro de uma mesma unidade de paisagem, seja ela natural ou urbana.

1.3 A análise rítmica do clima

Ao diferenciar-se da climatologia tradicional, estática e separatista conduzida por expoentes como Köppen (1901) e Hann (1908) *apud* Caracristi (2007), o geógrafo francês Maximilien Sorre é tido como marco ao paradigma metodológico da ciência climatológica. Isso porque fora ele a revisar a definição primária do clima enquanto conjunto de fenômenos meteorológicos que caracterizam o estado médio da atmosfera em dado ponto da superfície, conceito este ainda despreendido do conhecimento dos aspectos dinâmicos responsáveis pela gênese sinótica dos tipos de tempo, bem como dos desvios

rítmicos comumente experimentados quando da individualização dos sistemas atmosféricos aos variados fatores de superfícies.

No que tange ao mencionado “ritmo”, Sorre (1951) fora ainda um dos primeiros a elucidar o objeto e método do estudo geográfico do clima, à luz do conhecimento do fator tempo (duração), indispensável à definição dos espaços climáticos. Nas palavras de Ferreira (1996), ao elucidar a definição de Sorre, pág. 18, “*a sucessão habitual dos estados atmosféricos induz à noção de ritmo e duração, ambos fundamentais (...) às relações com a organização espacial*”.

Neste sentido, também há de se destacar a contribuição de Pédélaborde (1959), um dos divulgadores da concepção dos “tipos de tempo” como sendo o elemento fundamental para o estudo geográfico do clima, além de grande influenciador teórico-metodológico da climatologia dinâmica no Brasil. Após conhecimento da circulação atmosférica e encadeamento dos tipos de tempo, o autor alcançava a definição do clima de determinada região como resultante do somatório dos estados atmosféricos.

Outra interessante contribuição para a análise geográfica do clima, em sua concepção dinâmica e rítmica, fora advinda do geógrafo brasileiro Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro, que consubstanciado pelos expoentes franceses mencionados, distanciou-se ainda da noção do clima como somatório dos estados médios.

Monteiro (1971) optou por trabalhar com o mecanismo sequencial dos tipos de tempo, em que o clima é avaliado pela inter-relação de todos seus elementos componentes, integrados na unidade “tempo” e em sucessão no mínimo diária, necessária à verificação do desenvolvimento e atuação dos sistemas atmosféricos, particularizados em realidades geográficas regionais, em espécie de desenrolar *continuum*. De tal maneira, é possível identificar não somente aquilo que é habitual (“anos padrões” e aqui sim, estados médios), mas ainda o que se aproxima das irregularidades rítmicas (desvios), cujo potencial de produção de impactos negativos é elevado em função do desordenamento espacial típico das cidades brasileiras, planejadas para adaptação àquilo que é “padrão” e não muito para o que é “exceção”.

Para Monteiro (1969), somente a sucessão é que permite perceber as diferentes combinações dos elementos climáticos e a inter-relação com os fatores do quadro geográfico. Será a sequência que conduzirá ao ritmo, sendo este último, a essência da análise dinâmica. Para identificação do mesmo, há de se representar concomitantemente os elementos fundamentais do clima, e em unidades de tempo cronológico, como visto, pelo menos diárias, em que sejam compreendidos os mecanismos da circulação atmosférica regional, geradora dos estados atmosféricos que em sucessão, constituem o fundamento do ritmo.

Tal organização escalar regional promoveria o conhecimento dos parâmetros necessários à identificação dos problemas geográficos, haja vista a individualização dos centros de ação em sistemas que se definem a partir de fatores geográficos continentais e, portanto, regionais. Segundo Tavares (1974), o “tipo de tempo” reveste-se necessariamente de significado geográfico, justamente pela escala em que se configuram os fatores responsáveis pela sua gênese. Entretanto, na análise rítmica do clima não basta unicamente a avaliação dos tipos de tempo, mas a maneira pela qual se dá seu encadeamento e sucessão habitual. O estudo de tais cadeias de tipos de tempo é que levará à compreensão do ritmo, vista como a essência do estudo geográfico do clima.

Por fim, os desdobramentos dos tipos de tempo em realidades escalares locais, nada mais seriam do que respostas dos fatores intervenientes na gênese daquela ordem de grandeza (altitude, relevo, uso da terra, produção urbana do espaço, etc.), expressos em individualização ecológica e, portanto, sistêmica, cujas variações se revelam quantitativamente, a despeito das interpretações do quadro regional, necessariamente reveladas em caráter qualitativo, possibilitador da mais ampla correlação com os elementos responsáveis pela organização do espaço geográfico.

No entanto, apesar da importante tentativa de integração entre os diversos fatores atmosféricos e de superfície, oriunda do refinamento teórico e pragmático do método, a análise rítmica também apresenta limitações. Talvez a maior delas esteja relacionada à dependência de dados de observações

sistemáticas (registros quantitativos em série), o que inviabiliza sua aplicação em contextos pretéritos, quando a instrumentação meteorológica existente não permitia tamanha mensuração.

Se visado objeto de pesquisa que pressuponha transições entre escalas do clima, com propósitos individualizados à cada unidade de grandeza, também não seria possível abarcar tudo unicamente com a análise rítmica do clima. Ainda que ela tenha como premissa a integração também entre escalas, a avaliação de aspectos de origem no nível superior ou inferior poderá ser melhor realizada a partir de métodos e técnicas específicos àquele contexto, o que permite que a análise rítmica seja talvez o método central de uma pesquisa inter-escalar, mas não seu único.

A operacionalização do método da análise rítmica aplicada nesta pesquisa, por exemplo, é compartilhada com demais técnicas e será apresentada no capítulo contendo os procedimentos metodológicos necessários ao alcance dos resultados.

1.4 As unidades climáticas

A atribuição de limites à espacialização dos elementos climáticos e sobretudo à sucessão habitual dos tipos de tempo sobre determinada região é, sem dúvida, tarefa árdua a qualquer pesquisador. Isso porque o objeto de estudo da ciência climatológica está necessariamente amarrado aos fluxos de energia e matéria, em variados níveis de organização escalar espacial e temporal.

Armani (2004), por exemplo, na tentativa de elucidar a síntese de uma bacia hidrográfica na metrópole de São Paulo em unidades climáticas, reforça quão fundamental é conhecer a natureza do espaço contida em cada realidade mensurada. Para o mesmo, a identificação dos variados climas (em diferentes manifestações escalares) inclui a estruturação de uma rede de relações entre atributos (propriedades que descreveriam o estado físico de uma parcela de ar) e controles (características físicas, bióticas ou socioeconômicas transformadoras dos atributos) climáticos. Segundo Tarifa (2002), a hierarquização de tais controles em escalas é que decompõe os processos e volumes das camadas

de ar em contínua análise e síntese (integração), de modo a subsidiar a compreensão das unidades climáticas em relações espaço-temporais.

De tal maneira, muito mais pertinente se faz conhecer a realidade dos climas naturais e urbanos de determinada dimensão territorial através da interpretação de suas séries históricas e principalmente a partir do conhecimento do ritmo de sucessão dos tipos de tempo nas escalas inferiores, do que meramente aplicar modelos de caracterização climática, que quando muito, se aproximam das escalas sub-regionais, sejam estes modelos estáticos ou genéticos (e que não convém nesta discussão aprofundar).

Ao realizar estudo conjunto no município de São Paulo, o próprio pesquisador brasileiro José Roberto Tarifa, por exemplo, traçou os pressupostos básicos para o alcance de tal esforço de síntese, conforme elucidado por Tarifa & Armani (2001). Conforme posto, a despeito das dificuldades de identificar o que ainda é “natural” em metrópole como São Paulo, ainda há, em diferentes níveis de hierarquia escalar, momentos em que os ritmos de sucessão dos ciclones extratropicais ou das brisas oceânicas são dominantes, em detrimento dos fenômenos e ritmos explicitamente urbanos.

É nesta correlação entre atributos e controles climáticos que se procura definir limites (identidades climáticas) no espaço geográfico. Neste caso, utilizando a análise integrada dos mapas dos elementos e controles climáticos (sobretudo os que revelassem a altimetria, declividade e bacias de drenagem), em concomitância com o conhecimento empírico dos topoclimas e microclimas de anos de trabalho do pesquisador é que fora possível construir as unidades climáticas naturais para aquela metrópole.

E apesar de imersas em “atmosfera urbana” de menor imponência, os dados meteorológicos de Teófilo Otoni, assim como visto em São Paulo, também refletirão respostas superficiais diferenciadas para cada tipo de tempo atuante, em que poderão ser verificadas situações cuja topografia e a altimetria municipal (aspectos intrínsecos à compartimentação **natural** do relevo), por exemplo, sejam suficientes para justificar a variação dos elementos climáticos em espaços homogêneos (unidades). Este é o conceito de unidade climática natural em que a presente pesquisa se fundamenta.

No que tange aos climas urbanos e sua síntese em unidades climáticas tipicamente citadinas, ainda em relação ao exemplo de São Paulo, fora demandado principalmente o reajuste dos métodos e técnicas necessários à compreensão do fenômeno por parte dos pesquisadores. Fora necessária sobretudo a compreensão da realidade urbana como uma totalidade territorial, em que o fenômeno é considerado nas mais diversas formas, graus, intensidades e aspectos de representação, contemplando as práticas sociais mais cotidianas da natureza urbana.

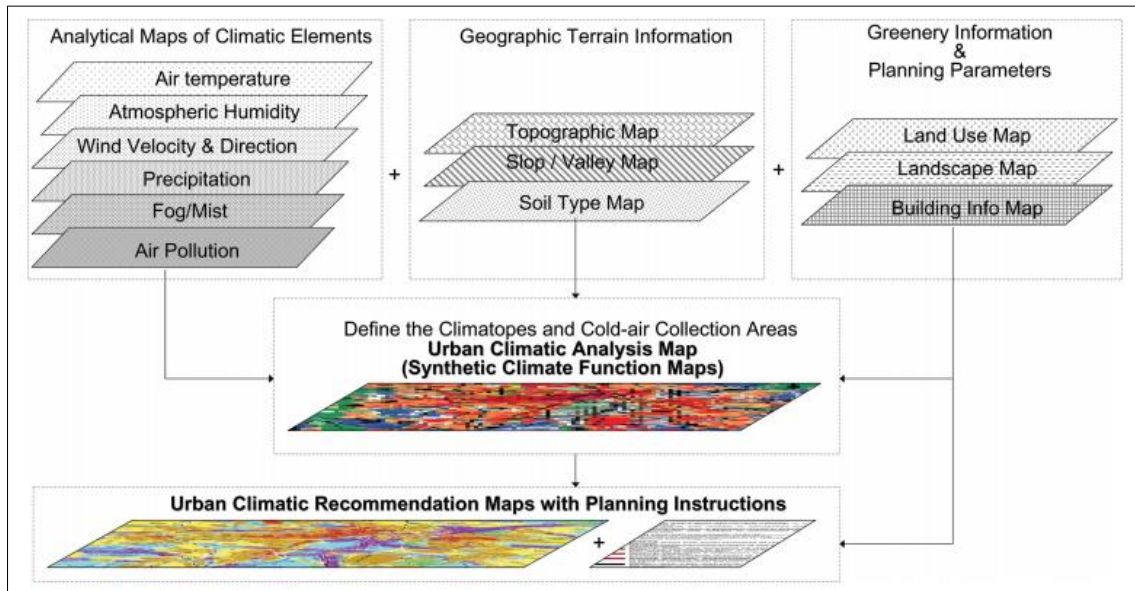
Diante de tal concepção, partiu-se à decomposição escalar dos climas urbanos, identificando desde aqueles que se manifestavam no todo contínuo da mancha urbana de São Paulo e se configuravam enquanto escala local, até as organizações em unidades topo e microclimáticas (representativas dos variados usos e ocupações da terra, bem como do “habitar”, do “viver” e do “trabalhar” do cidadão paulista, componente *sine qua non* do geossistema urbano organizado).

Jardim (2007) pôde avançar ainda mais nesse sentido, ao apresentar o mapeamento das unidades climáticas na bacia do rio Aricanduva (São Paulo) a partir da delimitação prévia dos tipos de tempo, cuja imposição e estabelecimento em sucessão rítmica, puderam facilmente potencializar ou suprimir a existência de unidades climáticas, sobretudo urbanas. E isto de fato fora verificado pelo autor, quando em observações sistemáticas de episódios de ocorrência de sistemas frontais e massas sub-polares, todos os núcleos de calor sob estabilidade temporal formados, foram atenuados ou suprimidos.

Com os avanços tecnológicos e incorporação das geotecnologias, cada vez mais são empregados métodos computacionais para mapeamento das unidades climáticas, como as técnicas de interpolação de variáveis climáticas por meio do geoprocessamento, realizado por Assis (2010) em Belo Horizonte e de maneira complementar por Fialho (2010) na Ilha do Governador (Rio de Janeiro). Tais técnicas inclusive encontram respaldo internacional, uma vez que Chao *et. al.* (2010), ao revisar a evolução dos estudos de mapeamento climático em áreas urbanas, considerados aspectos fundamentais e estratégicos para o planejamento das cidades, propuseram modelo cartográfico

teórico de sistematização dos aspectos-chave para definição da carta síntese de unidades climáticas urbanas, conforme visualizado na **figura 3**.

Figura 3. Estrutura do “*Urban Climatic Map*” proposta por Chao *et. al.* (2010).



Segundo os autores, as camadas básicas de entrada refletem mapas analíticos da distribuição dos elementos climáticos, dados geográficos do terreno (topografia, modelos digitais de elevação, tipos de solo, etc.) e parâmetros de planejamento, como o mapeamento dos distintos usos da terra.

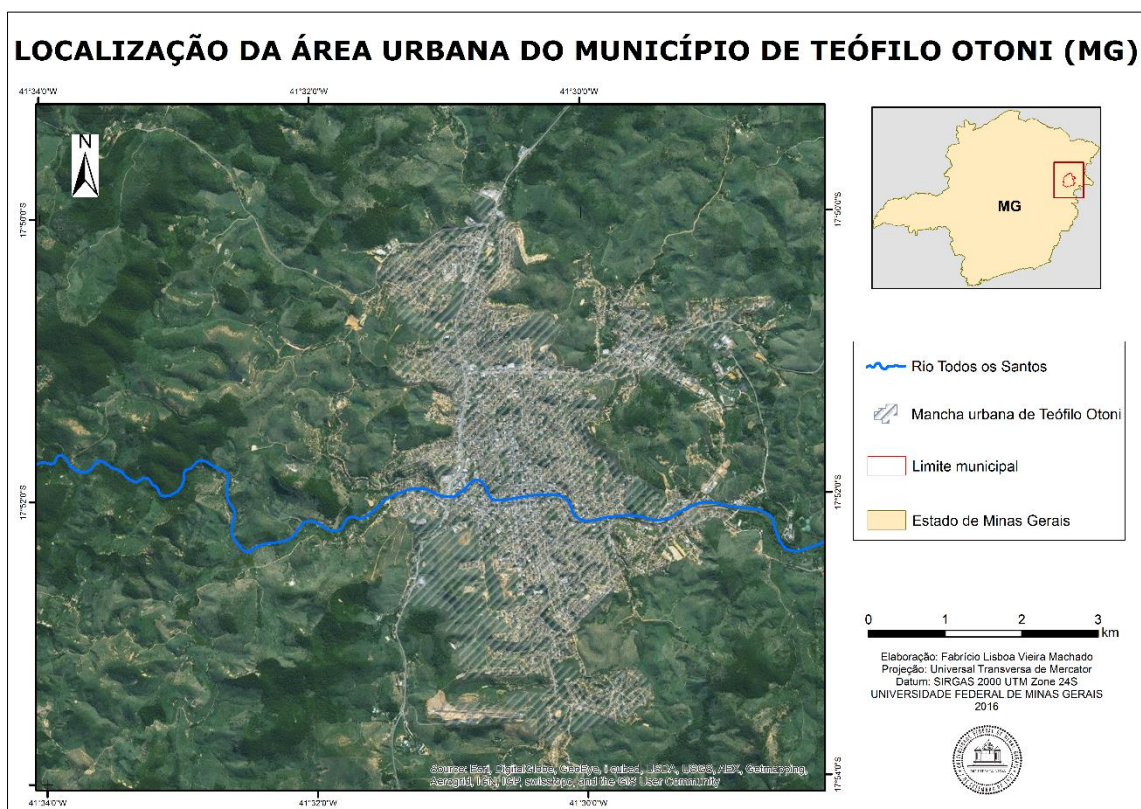
Se integradas às premissas clássicas, não somente o cruzamento, mas a inter-relação sistêmica das informações que compõem a paisagem em estudo é que subsidiarão a espacialização dos climas urbanos e a construção das instruções ao ordenamento do espaço geográfico, métodos dos quais se pretende em parte incorporar na presente pesquisa, sem perder de vista o arcabouço teórico-metodológico necessário.

CAPÍTULO II – CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Teófilo Otoni está localizado na porção nordeste do Estado de Minas Gerais, no vale fluvial da bacia do rio Mucuri. Seu controle de base regional é o rio Todos Santos, principal afluente do anterior, e em cujo vale cresceu e se desenvolveu a intitulada Capital das Pedras Preciosas.

Apesar de conter área municipal de 324.682 ha, a porção eminentemente urbana do município (**figura 4**) possui aproximadamente 1.560 ha, representativa de apenas 0,48% do total. Com base em Ab'Sáber (2007), a região ainda estaria sob o domínio morfoclimático tropical-atlântico, com ocorrência dos mares de morro em formatos mamelonares (pontões de granito), recobertos por fitofisionomias da Mata Atlântica.

Figura 4. Localização da área urbana do município de Teófilo Otoni (MG). Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.



Entretanto, os remanescentes florestais mapeados no último levantamento realizado pela organização não-governamental SOS Mata Atlântica apontam a ocorrência aproximada de 52.864 ha de tal cobertura vegetal no interior do território municipal. Conforme verificado na **tabela 1** abaixo, isso é

representativo de 16,28% da área total de Teófilo Otoni, fruto dos ciclos de apropriação humana do espaço e desenvolvimento de atividades supressoras desde a colonização do primeiro núcleo regional em 1853².

Tabela 1. Remanescentes florestais da Mata Atlântica em Teófilo Otoni, MG. Fonte: Organização Não-Governamental SOS Mata Atlântica. Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.

Feições territoriais	Área (ha)	Cobertura (%)
Áreas urbanas	1555,51	0,48
Remanescentes florestais da Mata Atlântica	52864,92	16,28
Limite municipal	324682,00	100,00

*Cálculos realizados pelo pesquisador através de técnicas de geoprocessamento. O mapeamento realizado pelo órgão é disponibilizado em formato *shapefile* (arquivos vetoriais espacializados e legíveis por *softwares* dos Sistemas de Informação Geográfica - SIG).

Os principais responsáveis pelo processo observado, conforme exemplos discutidos por Moraes (2012), foram os ciclos iniciais de exploração da madeira da Mata Atlântica (que era vendida para outras regiões do estado sem benefícios diretos à população local); a substituição gradual desta prática pela atividade cafeicultura no início do século XX; e o atual fator de maior responsabilidade sob as atividades de supressão vegetal no município: a pecuária extensiva sem manejo de pasto.

Esta última prática ainda é demasiadamente realizada de maneira ilegal, tal como aponta reportagem da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (Semad), de 08 de abril de 2015. Intitulada “*Fiscalização investiga desmatamentos ilegais no Nordeste de MG*”, a matéria revela a ação criminosa na região dos municípios de Teófilo Otoni, Ladainha, Itaipé e Novo Cruzeiro, onde as queimadas são utilizadas como artifício para mascarar áreas desmatadas anteriormente (**figura 5**), inclusive onde havia ocorrência de espécies do bioma Mata Atlântica, que, vale destacar, é protegido por Lei.

² Através da Companhia de Comércio e Navegação do Mucuri, liderada pelo jornalista, político e comerciante Teophilo Benedicto Ottoni, a quem a cidade, inicialmente intitulada Filadélfia, homenageia.

Figura 5. Supressão vegetacional de fitofisionomias do bioma Mata Atlântica na região Nordeste do Estado de Minas Gerais. Fonte: Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (2015).



É importante ressaltar que desde o ano de 1989, aproximadamente 53,9% do município de Teófilo Otoni está protegido pela Área de Proteção Especial Todos os Santos (APE), definida e demarcada via Decreto nº 29.589/89 pelo Governo do Estado de Minas Gerais (sob gestão do Instituto Estadual de Florestas), com o intuito da proteção e conservação dos mananciais e áreas de cabeceira do rio homônimo. No entanto, uma vez que a área não é restrita à proteção integral, tal como são os Parques Estaduais e Nacionais, sua criação pouco representou no que tange à frenagem do avanço do desmate histórico.

No tocante ao seu desenvolvimento morfológico, a evolução da paisagem da região em muito esteve associada a eventos de desequilíbrio morfodinâmico, conforme verificado por Magalhães & Moreira (1998). A partir da análise estratigráfica de depósitos coluviais e aluviais realizada pelos pesquisadores, fora possível promover a reconstituição de eventos deposicionais e denudacionais datados do cenozoico, o que permitiu a interpretação da evolução do modelado local, fortemente associada a sequências típicas de grandes movimentos de massa.

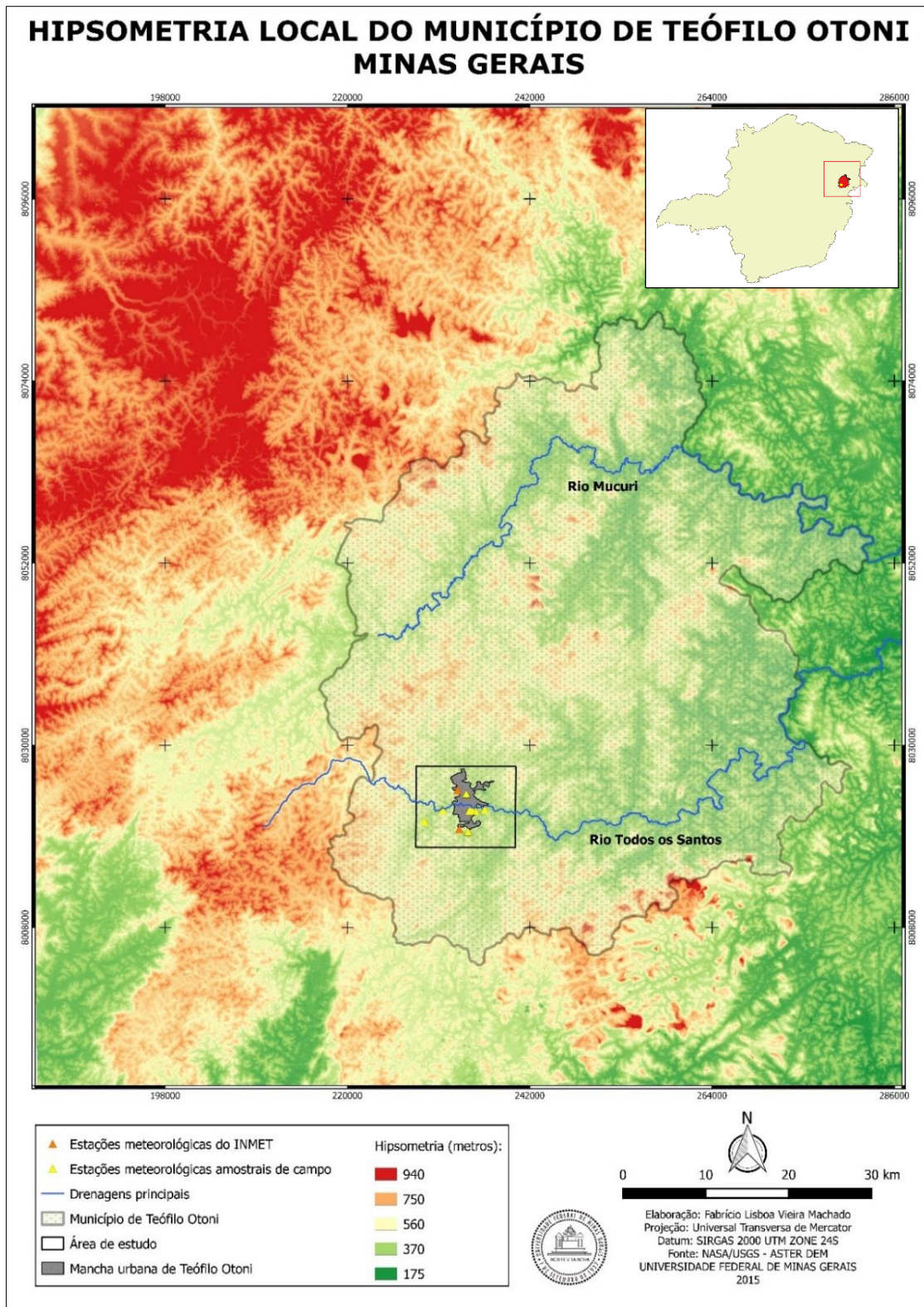
Tais processos foram responsáveis pela mobilização do antigo manto de alteração gerado sob clima tropical úmido e a consequente exposição de extensas porções do embasamento cristalino (pouco alterado), revelado por meio de pontões e domos graníticos. Tais indícios indicam que a paisagem pretérita não apresentava a atual configuração de anfiteatros e vale escavados, sendo os antigos níveis de base, correspondentes aos atuais níveis de topos de morro, entre 750 e 950 metros.

Em função disso, os cursos d'água mostram-se marcadamente controlados pelas estruturas geológicas, em que se observa a retilinearidade dos vales fluviais, tal como se manifestam na porção territorial onde está instalado o centro urbano do município. Em virtude do dissecamento do relevo, a paisagem é caracterizada ainda pela ocorrência de encostas muito íngremes com topos convexos, susceptíveis à descamação concêntrica (acebolamento).

Fernandes (2013), ao mapear as unidades de paisagem do Vale do Mucuri, identificou os latossolos com horizonte B bem desenvolvido e com baixa saturação por bases como principais coberturas pedológicas associadas às vertentes convexas da região, em que a declividade e a elevada erodibilidade dos mesmos seriam vistos como fatores limitantes às aptidões agrossilvipastoris. No entanto, a limitação natural dos solos da região pouco influenciou nas práticas rurais desenvolvidas, sobretudo as de cunho pastoril, que atualmente respondem pela principal atividade comercial no campo e pela “homogeneização” fisiográfica das vertentes que compõem a paisagem rural.

Nos leitos fluviais também são encontradas coberturas argissólicas férteis, associadas à migração da argila, mas ao invés de aproveitado seu potencial agrícola, os usos preponderantes destinados a tais espaços se resumem à ocupação desornada da calha dos rios (sobretudo no sítio urbano de Teófilo Otoni e municípios limítrofes), além da supressão de mata ciliar. A **figura 6** ilustra o contexto hipsométrico da região, bem como a distribuição da mancha urbana do município de Teófilo Otoni ao longo de seu território.

Figura 6. Modelo hipsométrico da porção nordeste do Estado de Minas Gerais e localização do município de Teófilo Otoni (MG).



A efeito único de caracterização estática e simplória (a que não se pretende nesta pesquisa desenvolver), o clima da região é enquadrado na tipologia de Köppen como Aw (tropical quente semiúmido), cuja precipitação média anual,

extraída das Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990 (RAMOS *et. al.*, 2009) é da ordem de 959,1 mm. A distribuição do volume precipitado se dá de maneira sazonal, sendo os meses de novembro e dezembro detentores dos maiores totais e o bimestre de agosto-setembro como o de menor volume.

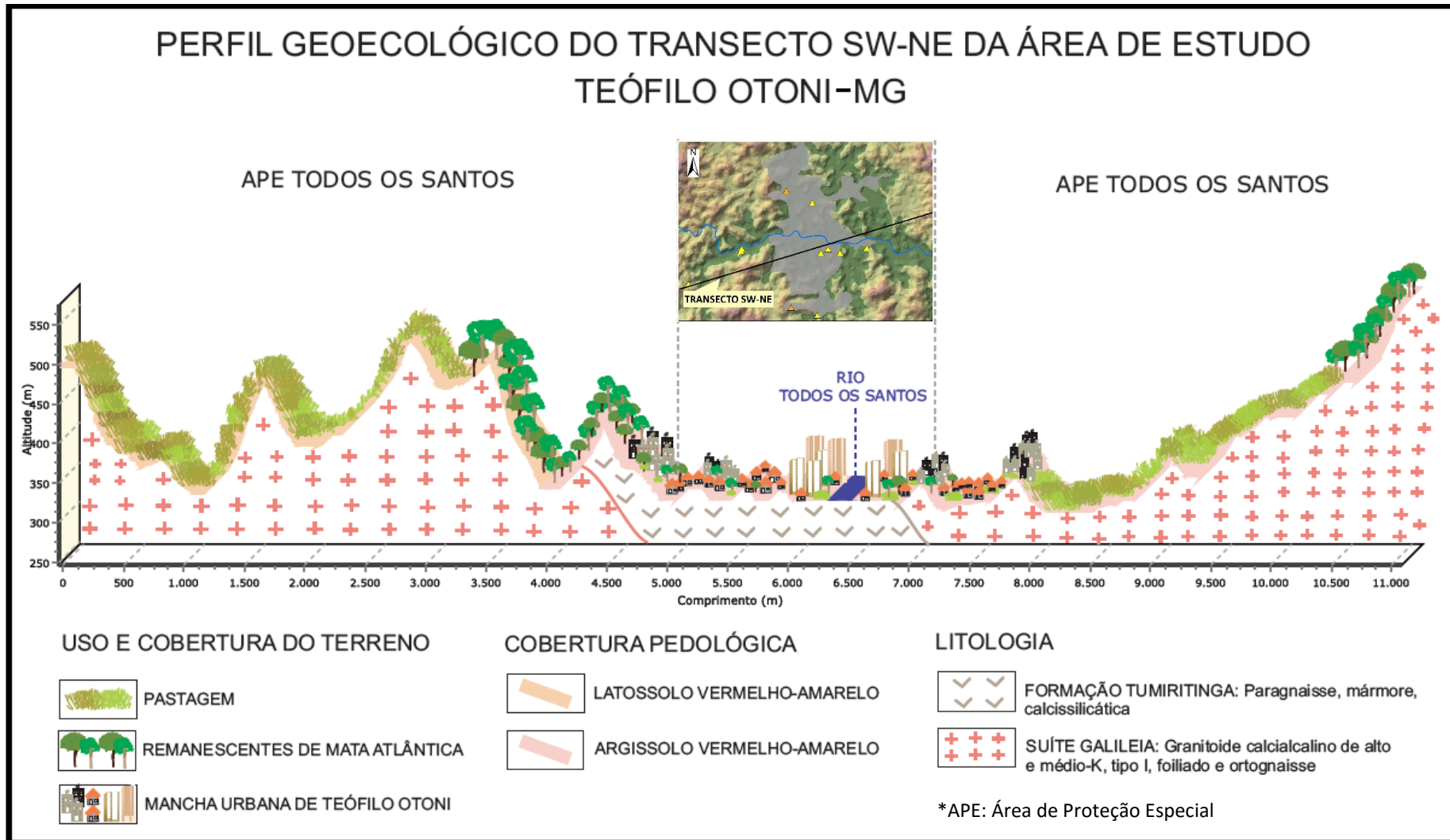
A elucidação por meio de fatores genéticos pode estar amarrada à formação das zonas de convergência de umidade, conforme esboçado por Abreu (1998), cuja atuação característica se dá no trimestre de verão e contribui para os elevados totais observados. Quando da análise dos resultados obtidos nesta pesquisa, tais mecanismos serão melhor explicitados, sobretudo no contexto regional-local de Teófilo Otoni.

Em exercício de síntese do quadro urbano-natural do município fora construído perfil geocológico representativo da área de estudo observada no mapa anterior. Isto é, em virtude da vasta extensão territorial de Teófilo Otoni e tendo em vista os propósitos da pesquisa, a delimitação de uma área como amostra do clima local seria operacionalmente mais plausível, escolha esta melhor explicitada no capítulo seguinte.

No entanto, o conhecimento da estrutura geocológica da paisagem dá subsídios para a análise integrada de seus componentes, aspecto fundamental ao estudo geográfico do clima, bem como à identificação de impactos correlatos em cada um dos ambientes.

Em sentido sudoeste-nordeste, portanto, traçou-se perfil de onze quilômetros, representativo da altimetria do terreno, dos usos e ocupações ali consolidados, da transição rural-urbano, da litologia do substrato, bem como da sua cobertura pedológica associada, além do indicativo da mencionada APE Todos os Santos. A **figura 7** apresenta o bloco diagrama síntese.

Figura 7. Perfil geológico do município de Teófilo Otoni (centro urbano e imediações). Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.



À medida que se distancia do vale fluvial do rio Todos os Santos, cujas coberturas florísticas foram bastante substituídas por formas antropogênicas do sítio urbano de Teófilo Otoni, em maior expressão são encontradas as paisagens resultantes dos processos históricos (naturais e de origem antrópica) responsáveis pela sua conformação em realidade regional.

Conforme revela a **figura 8**, o arranjo fisiográfico do espaço apresenta certa homogeneidade paisagística, com a presença cada vez mais constante das formas de relevo residuais (sobretudo quando se aproxima dos municípios de Nanuque, Carlos Chagas e Governador Valadares, porções leste e sul de Teófilo Otoni), circundadas por vastas áreas de pastagem (uso do solo preponderante na região) e ligeiros enclaves de Mata Atlântica, sobretudo de maneira ciliar.

Figura 8. Paisagem regional característica da porção nordeste do Estado de Minas Gerais.



CAPÍTULO III – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Diante dos objetivos dispostos e à luz do conhecimento geográfico da região de estudo, seus problemas de cunho ambiental e social, bem como suas potencialidades e limitações paisagísticas, seguiu-se à definição dos procedimentos metodológicos que subsidiaram a escolha de porção do município de Teófilo Otoni enquanto *locus* de pesquisa climatológica, além dos materiais e técnicas utilizadas para tanto.

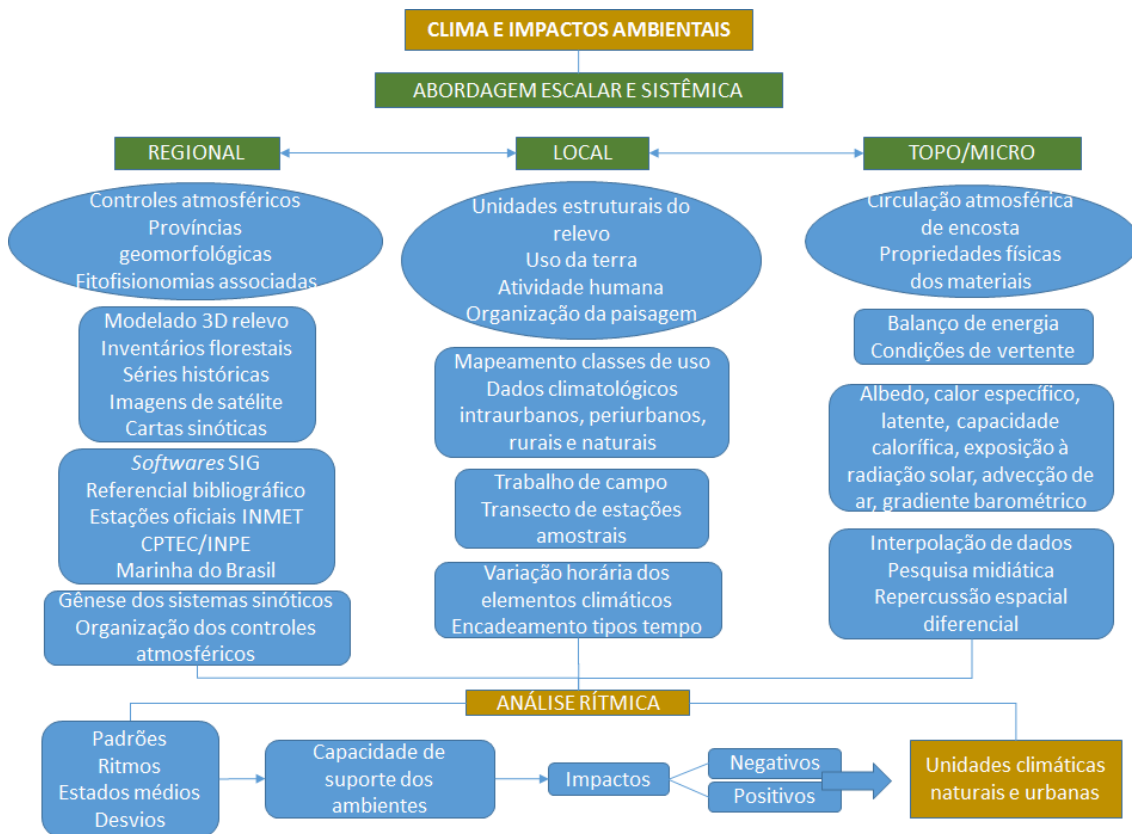
Em linhas gerais, estabeleceu-se um roteiro metodológico (**figura 9**), que contemplasse a avaliação dos climas e impactos associados, a partir da abordagem escalar e sistêmica anteriormente discutida, culminando não meramente no estabelecimento dos estados médios e habituais, mas no entendimento do ritmo de sucessão dos tipos de tempo e a repercussão superficial individualizada às organizações das diferentes paisagens.

Diante disso, torna-se importante contextualizar o significado que o termo “impacto” assumirá nesta pesquisa, não restrito unicamente ao que é definido na Resolução CONAMA nº 01/1986³, mas ampliado de modo a abarcar as intervenções humanas no espaço que também podem potencializar aspectos positivos no meio ambiente.

Sendo assim, o fluxograma apresentado contribui na sistematização do roteiro metodológico a ser seguido para o alcance da resposta do problema de pesquisa aqui posto, com a particularização dos elementos e fatores climáticos em unidades-síntese. Para tanto, em hierarquia vertical, as organizações escalares são distinguidas conforme fatores genéticos, seguidas pelos materiais e métodos necessários à sua avaliação, pelas principais fontes de dados e elementos a analisar e, por fim, pelos produtos imediatos que compõem a análise rítmica do clima, um dos métodos centrais da pesquisa, cuja razão de escolha e aplicação será posteriormente discutida.

³ Definido como “qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e a qualidade dos recursos ambientais”.

Figura 9. Fluxograma-chave da pesquisa. Organização: Fabrício Lisboa Vieira Machado.



Isto posto, serão discutidos neste capítulo quatro tópicos que perpassam o fluxograma apresentado, envolvendo i) os critérios para definição de estações amostrais; ii) a construção e manutenção dos abrigos e sensores meteorológicos utilizados; iii) os trabalhos de campo realizados e o tratamento das variáveis mensuradas; e iv) as técnicas de análise dos dados, particularizadas conforme a organização escalar a qual refletem.

3.1 Critérios de seleção da área de estudo

As razões que motivaram a escolha de porção do município de Teófilo Otoni (Minas Gerais), como *locus* de pesquisa central deste estudo perpassam por questões acadêmicas, políticas, logísticas e operacionais, além da relevância, em primeira instância, para o progresso da ciência climatológica.

Como fora introduzido, pontuais são as produções bibliográficas que contemplam o estudo geográfico do clima em municípios além dos limites da Região Metropolitana de Belo Horizonte ou Triângulo Mineiro. A grande maioria

dos trabalhos, em linhas gerais, são voltados à aplicação de modelos de classificação climática de cunho regional, à distribuição têmporo-espacial de elementos como a precipitação e/ou à interface com a climatologia agrícola, sobretudo nos trabalhos oriundos da Universidade Federal de Minas Gerais e Universidade Federal de Uberlândia.

Em contrapartida, a utilização da análise rítmica do clima e a preocupação com a decomposição escalar, por exemplo, podem ser vistos nas contribuições de Fialho (2009) para o município de Viçosa (MG), assim como em Ferreira (1996) e Assis (2010) para Belo Horizonte. O **quadro 2** revela parte dos trabalhos encontrados no acervo bibliotecário da Universidade Federal de Minas Gerais até dezembro de 2013 e a relativa homogeneidade das áreas de estudo.

Quadro 2. Listagem de parte das monografias, dissertações e teses de cunho climatológico produzidas essencialmente para a Região Metropolitana de Belo Horizonte na Universidade Federal de Minas Gerais até dezembro de 2013.

Título	Autor	Ano de publicação
Eventos pluviais concentrados em Belo Horizonte - MG: caracterização genética e impactos físico-ambientais	FERREIRA, Vanderlei Oliveira	1996
Estudos preliminares para um programa de diagnóstico de ilhas de calor para a mancha urbana de Belo Horizonte	ASSIS, Wellington Lopes	1997
Influência da circulação de macro-escala sobre o clima de Belo Horizonte: estudo sobre as possíveis influências do fenômeno El Niño sobre o clima local	MOREIRA, Alecir Antônio Maciel	1999
Análise do campo térmico e hídrico em Belo Horizonte	ASSIS, Wellington Lopes	2001
Estudo da distribuição espacial das chuvas em Belo Horizonte e em seu entorno	MOREIRA, Jorge Luiz Batista	2002
Estudo da variabilidade espacial das chuvas em Belo Horizonte	COELHO, Carlos Wagner Gonçalves Andrade	2006
Chuvas persistentes e ação da zona de convergência do atlântico sul na região metropolitana de Belo Horizonte	LUCAS, Taiza de Pinho Barroso	2007
Variáveis do clima urbano: análise da situação atual e prognósticos para a região do bairro Belvedere III, Belo Horizonte, MG	VILELA, Jacqueline Alves	2007
Diagnóstico climático e estudo das variações termo-higrométricas do Município de Sete Lagoas - MG	LEÃO, Márcia Silva	2008
Anticiclones e umidade relativa do ar: um estudo sobre o clima de Belo Horizonte	FRANCA, Rafael Rodrigues da	2009
O Sistema Clima Urbano do município de Belo Horizonte na perspectiva têmporo-espacial	ASSIS, Wellington Lopes	2010
Variações de temperatura e umidade relativa do ar em área rural e urbana: o segmento temporal de inverno de 2011 em Belo Horizonte, Contagem e Betim (MG)	LOPES, Larissa Cristina Silva	2011
Clima urbano: um estudo aplicado a Belo Horizonte	FRANCISCO, Rubia Cecília Augusta	2012
Sucessão e encadeamento de tipos de tempo e repercussão espacial da temperatura e umidade do ar em Belo Horizonte e municípios limítrofes no período entre 26/10/2012 e 25/11/2012	CARMO, Ana Maria Raposo	2013

Adentrando-se às regiões interioranas do estado, mais escassas tornam-se as produções bibliográficas em climatologia geográfica, sobretudo nos vales dos rios Jequitinhonha e Mucuri. Neste último, bacia hidrográfica em que se insere a área de estudo, a pesquisa acadêmica retornou trabalhos voltados ao planejamento urbano a partir de indicadores litológicos, geomorfológicos e/ou sociais (MAGALHÃES JR. & MOREIRA, 1998; ALMEIDA, 2009), que unicamente apontaram o regime habitual de chuvas da região, seus valores médios históricos e possíveis impactos associados, estando o foco voltado a questões outras que não à dinâmica climática em suas variadas escalas.

No caso da bacia do rio Jequitinhonha, estudos climatológicos comparativos foram produzidos por Mendes Silva (2010) e Mendes Silva & Ferreira (2011), na Universidade Federal de Uberlândia, sobretudo para os municípios de Araçuaí, Itamarandiba e Pedra Azul, cuja importância para a compreensão dos climas regionais em inter-relação com o objeto de estudo desta pesquisa merece destaque. Além dos trabalhos citados para os respectivos vales fluviais, a pesquisa bibliográfica em climatologia não mais retornou resultados.

Por outro lado, enquanto razão política da escolha da área de estudo, elenca-se como principal fator a inoperância do poder público em suas mais diversas esferas de articulação. Isto porque a cidade convive historicamente com repercussões negativas ao patrimônio público e aos bens domésticos a cada evento pluviométrico associado a um desvio rítmico. No entanto, as mais corriqueiras ações de cunho ambiental da prefeitura, desenvolvidas pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente e dispostas em seu próprio sítio eletrônico até 2014 (intituladas como “obras”), destinavam-se na quase totalidade dos casos à mera poda de árvores.

O próprio Plano Diretor do Município de Teófilo Otoni, instituído pela Lei nº 5.892/2008, e que deveria estabelecer as diretrizes da política ambiental municipal, não fora aprovado até o presente ano de 2016 e, conseqüentemente, não se encontra em execução. No art. 1º, parágrafo 2º, inciso II, inclusive é disposto que qualquer propriedade municipal deveria assegurar a utilização adequada dos recursos naturais disponíveis, incluindo a proteção, preservação e recuperação dos mesmos. Além disso, no art. 4º

também se encontra disposto o dever da definição por parte da prefeitura das áreas propícias ao reflorestamento, em parceria com entidades estaduais.

Ao contrário disso, o que se observou foi o histórico crescente de supressão vegetal no município, elemento importante na alteração do balanço de radiação nas escalas inferiores do clima e a ocupação cada vez maior, de topos de morro e leitos fluviais. É importante ressaltar que se tentou acesso às informações georreferenciadas referentes ao zoneamento das áreas especiais de interesse ambiental estabelecidas no Plano Diretor, no entanto, não se obteve resposta por parte da prefeitura municipal.

Por outro lado, no ano de 2014 fora criado o projeto “Teófilo Otoni Sustentável”, sob coordenação da Secretaria Municipal de Meio Ambiente, que mais recentemente tem buscado cumprir pautas associadas às águas, solos, remanescentes florestais e educação ambiental, por meio de ações conjuntas com os órgãos já mencionados, além de associações ambientais e com a Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM). Neste sentido, espera-se que com o direcionamento da pesquisa para o município, possa-se contribuir para o fomento de suas políticas públicas ambientais, não somente no tocante ao conhecimento acerca do clima da região, mas no controle dos impactos associados e alcance das diretrizes propostas.

Quanto à razão logística e operacional do projeto, escolheu-se o município, ainda, em função da acessibilidade a locais para a instalação dos equipamentos meteorológicos utilizados, haja vista a presença de familiares do pesquisador instalados em residências fixas nas áreas urbanas e rurais do território. Isso garantiria não somente maior número de estações amostrais, como a segurança dos aparelhos contra depredações, furtos e danos gerais advindos da exposição do aparato utilizado aos mais variados tipos de tempo.

Por fim, e em maior relevância, se encontram os critérios climatológicos e geossistêmicos de seleção dos postos amostrais. Foram distribuídas nove miniestações meteorológicas dentro do *locus* de pesquisa (assinalado nos mapas e cartogramas pela alcunha de “área de estudo”). A razão da seleção, à primeira vista arbitrária, de um polígono como recorte espacial, na verdade

tange ao fato do mesmo funcionar como amostra do clima local em que se insere o município de Teófilo Otoni e que se pretende aqui avaliar.

Tal polígono contempla variados aspectos físicos naturais, rurais e urbanos da paisagem, a começar pelos distintos tipos de uso da terra. É nele em que se encontra a mancha urbana de Teófilo Otoni, onde estão instalados os aparatos administrativos da cidade, uma população de pelo menos 110 mil habitantes e grande parte dos fluxos do balanço de energia característicos dos ambientes urbanos. Não se sabe se a cidade representa por si só o Sistema Clima Urbano proposto por Monteiro (1976) e em quais tipos de tempo se manifestaria, mas o simples potencial elencado instiga a avaliação e justifica a contemplação da área urbana na distribuição das estações amostrais.

Além disso, fragmentos de remanescentes florestais da Mata Atlântica, pastagens naturais e áreas degradadas também são encontradas no interior do *locus* de pesquisa (conforme **tabela 2**) e, por sua vez, tiveram uma Estação Amostral associada. No mesmo recorte poligonal verificam-se ainda duas estações meteorológicas oficiais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), cujos dados são disponibilizados gratuitamente no sítio eletrônico do órgão, incluindo a série histórica da estação convencional⁴, o que ratifica a escolha da área de estudo também em função da ampliação da malha de dados para análise. A **figura 10** ilustra os distintos tipos de uso da terra encontrados e a distribuição das estações utilizadas.

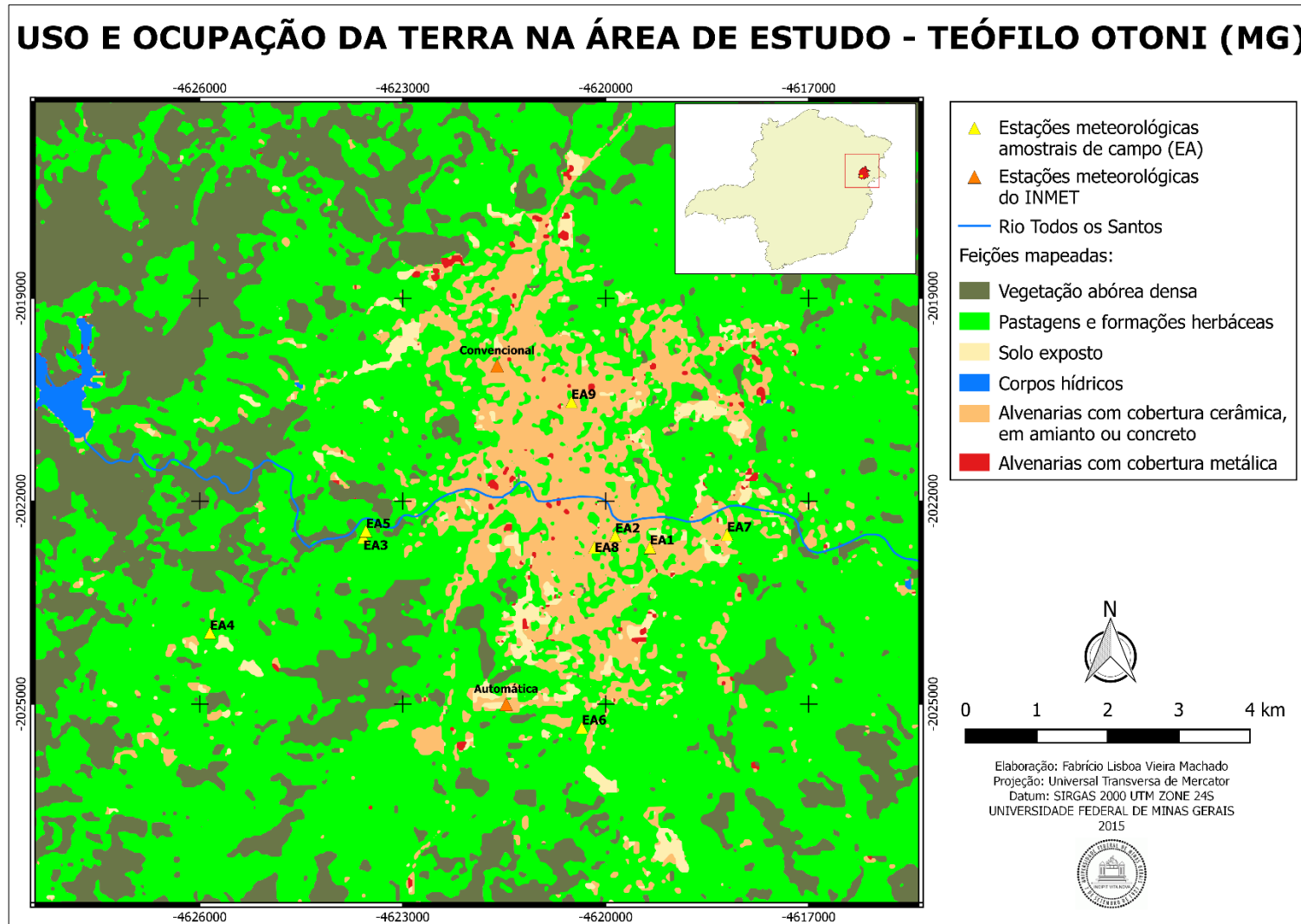
Tabela 2. Percentual de cobertura das classes de uso e ocupação da terra na área de estudo.

Classe de uso	Área recoberta (ha)	Percentual de cobertura (%)
Vegetação arbórea densa	12591,33	35,0
Pastagens e formações herbáceas	21361,56	59,4
Solo exposto	301,16	0,8
Corpos hídricos	91,13	0,3
Área urbana efetiva ⁵	1593,15	4,4
Total	35938,33	100,0

⁴ Disponíveis para *download* a partir do ano de 1961, via plataforma do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), acessível a partir do endereço eletrônico <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>.

⁵ Somatório das classes de alvenaria com cobertura cerâmica, em amianto ou concreto, com alvenarias com cobertura metálica.

Figura 10. Condições de uso e ocupação da terra na área de estudo – Teófilo Otoni (MG). Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.



Outro aspecto fundamental na organização dos elementos climáticos nas mais variadas escalas é o relevo e este, como visto na caracterização da área de estudo, é fator relevante na organização da paisagem de Teófilo Otoni.

Basicamente, a cidade cresceu e se desenvolveu a partir da planície fluvial do Rio Todos os Santos, cujas altitudes variam entre 315 e 370 metros. No entanto, não somente o patamar altimétrico e o consequente gradiente barométrico proporcionado (resultando no resfriamento teórico de $0,65^{\circ}\text{C}$ a cada 100 metros de elevação) contribuem para a manutenção dos diferentes campos térmico e higrométricos do ar sobre a cidade.

Na verdade, a posição de vale fluvial em que se encontra, cercada pelas áreas de cabeceira do rio Todos os Santos, a montante, e pelo divisor entre a sua sub-bacia e aquela relativa ao rio Mucurizinho, a jusante, insere mecanismos de circulação atmosférica local associados à rugosidade do terreno e aos padrões catabáticos e anabáticos, semelhante ao verificado por Machado & Assis (2014) para os bairros Vila da Serra e Vale do Sereno, localizados nas escarpas e vales da Serra do Curral, município de Nova Lima (MG).

Isto é, a drenagem de ar frio, em escala de nível inferior, a que poderá estar sujeita a cidade nos períodos noturnos tem sua gênese assentada não unicamente na altitude em que se encontra, mas na disposição das unidades estruturais do relevo e na morfologia de suas planícies e encostas, que poderão organizar condições topoclimáticas de expressão dos elementos.

Assim sendo procurou-se distribuir as Estações Amostrais de campo em diferenciados patamares altimétricos, mas também abarcando as condições de topo de morro, de fundo de vale e de média vertente, de modo a contemplar maior amostra da geomorfologia local, não somente relativa à forma, mas aos processos desencadeados da relação clima / fisiologia da paisagem, que por sua vez, terão importância fundamental na detecção dos impactos associados aos mais variados tipos de tempo.

Também se teve o cuidado de distribuir as Estações Amostrais de maneira orientada ao norte geográfico, uma vez que a posição latitudinal da área de estudo (aproximadamente $17^{\circ}51'S$) experimenta trajetória do Sol na abóbada

celeste predominantemente com ângulo de inclinação mais próximo do Equador, sobretudo no trimestre de verão. De tal forma, a disponibilidade de luz solar entre as Estações Amostrais seria, teoricamente, semelhante.

Isso pode ser estimado inicialmente ao se calcular o ângulo de incidência solar (σ) no solstício de verão, dado pela subtração do ângulo de inclinação do eixo terrestre ($23^{\circ}27'$) pela latitude do município, subtraído do ângulo perpendicular de incidência solar. No caso de Teófilo Otoni, tem-se que:

$$\sigma = 90^{\circ} - (23^{\circ}27' - 17^{\circ}52')$$

$$\sigma = 90^{\circ} - (05^{\circ}35')$$

$$\sigma = 84^{\circ}25'$$

Em seguida, para estimar o saldo de radiação solar global (R_s), expressa em kwh/m^2 , aplica-se a equação de Angström-PreScott, que correlaciona a radiação solar global diária no topo da atmosfera (extraterrestre) com a razão de insolação, conforme apresentada pela equação abaixo:

$$R_s = R_a (a + b \cdot n/N), \text{ em que:}$$

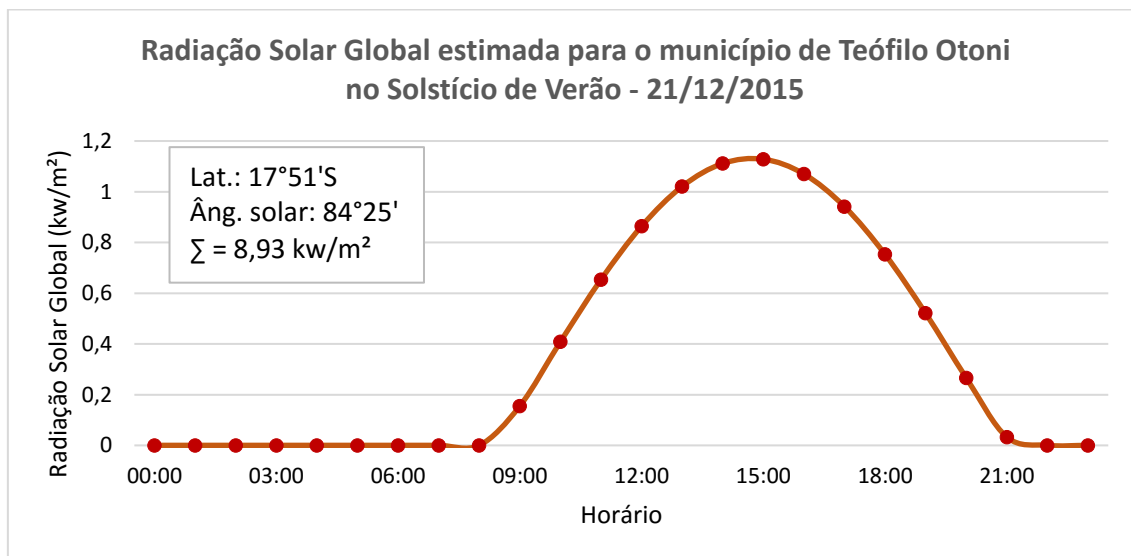
R_a é a radiação extraterrestre; n representa a duração média do brilho solar observado; N é a duração máxima possível do brilho solar; a é o coeficiente que expressa a fração difusa da radiação solar (multiplicada pelo cosseno do ângulo da latitude municipal); e b é o coeficiente complementar que expressa o total de radiação solar global (constante de Glover & McCulloh válida para as latitudes de 0° a 60°).

Dornelas *et. al.* (2006), em trabalho realizado na capital federal (Brasília), apontaram a escassez de coeficientes ajustados para alguns municípios e regiões brasileiras, sendo necessário, em alguns casos, estimar as variáveis através de modelos de regressão linear, como realizado na pesquisa. No entanto, Allen *et. al.* (1998), em trabalho realizado para a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO), recomendam a utilização dos parâmetros $a = 0,25$ e $b = 0,50$ quando dados consistentes e calibrados de radiação solar real não se encontram disponíveis.

No caso de Teófilo Otoni, cuja pesquisa bibliográfica não encontrou valores ajustados, fora seguida a recomendação da FAO. A distribuição do saldo de

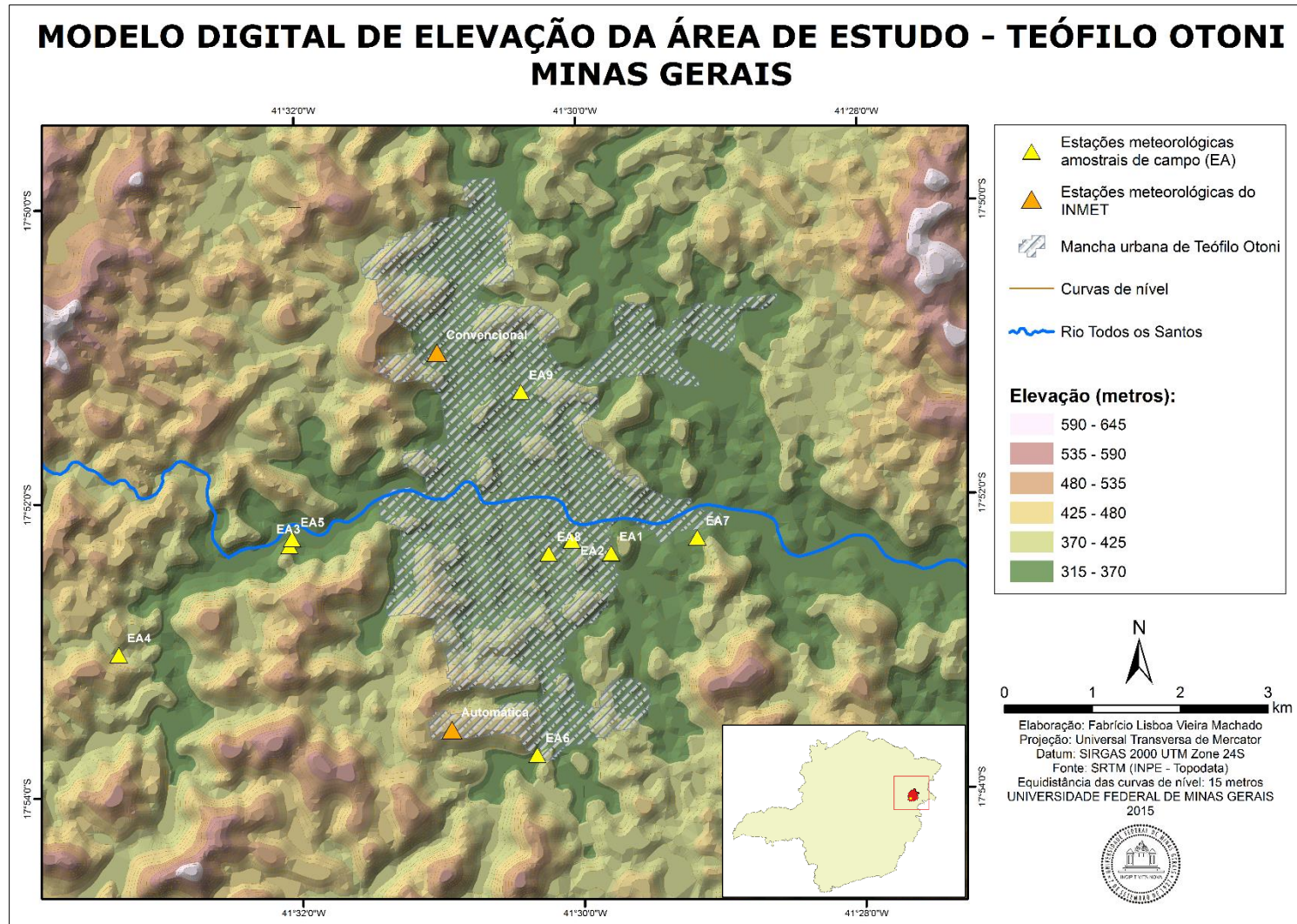
radiação solar global horária durante o solstício de verão pode ser visualizada na **figura 11** abaixo.

Figura 11. Saldo de Radiação Solar Global no município de Teófilo Otoni (MG), durante o solstício de verão. Cálculos realizados através do modelo I_{qbal} inserido no *software* SBDART, recomendado pelo Núcleo Computacional da Qualidade do Ar da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.



Por fim, as Estações Amostrais foram dispostas ainda em forma de transecto amostral no sentido sudoeste-nordeste (SW-NE) e sul-norte (S-N), razão esta melhor discutida quando da explanação das técnicas de análise. A **figura 12** apresenta o Modelo Digital Elevação do *locus* de pesquisa, revelando os diferenciados patamares altimétricos da área, o contexto geomorfológico e a disposição das estações utilizadas.

Figura 12. Condições geomorfológicas da área de estudo – Teófilo Otoni (MG). Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.



Assim sendo, a fim de avaliar os variados fatores e elementos envolvidos na organização do clima local de Teófilo Otoni, instalou-se a Estação Amostral 1, doravante intitulada EA1, em área urbana periférica, localizada em trecho do bairro Manoel Pimenta, de classe média baixa, cujas habitações são majoritariamente caracterizadas por alvenarias sem revestimento (em tijolo exposto e laje cimentada) ou quando muito, revestidas por reboco sem pintura e telhas de amianto. O contexto morfológico em que se insere é de fundo de vale fluvial (esculpido pelo Córrego São Benedito, afluente do rio Todos os Santos, nível de base regional), onde se observa a presença de vegetação ciliar de porte arbóreo acompanhando o referido curso d'água. O patamar altimétrico em que fora instalada a EA1 é de 334 metros acima do nível do mar.

O abrigo meteorológico somado ao sistema sensor fora disposto em quintal residencial arejado, distante de qualquer material sólido ou líquido em pelo menos 1,5 metros, de modo a evitar a interferência da irradiação de calor em ondas longas sobre o aparelho, conforme recomendado por Geiger (1961). A **figura 13** revela as condições da instalação.

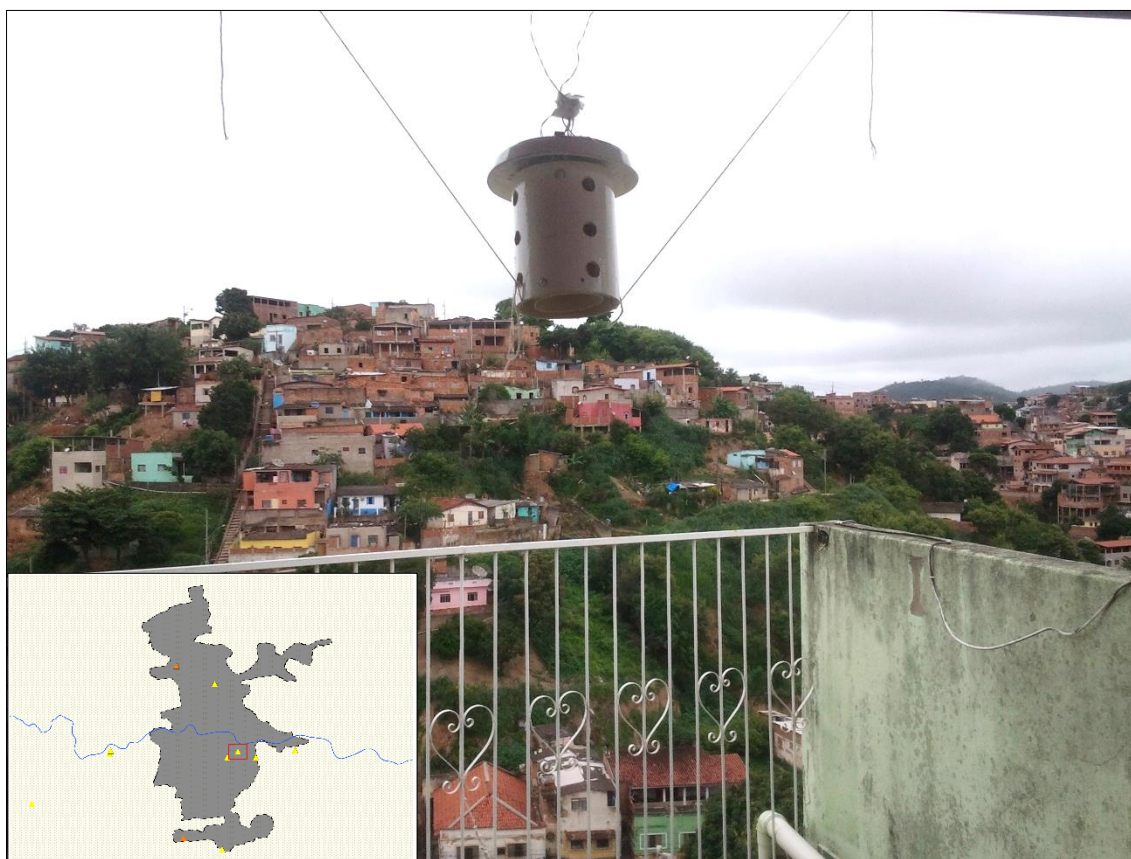
Figura 13. Estação Amostral 1 (EA1), localizada em fundo de vale no bairro Manoel Pimenta, Teófilo Otoni, MG. Foto: Fabrício Lisboa Vieira Machado. Data: 28 de dezembro de 2014.



A Estação Amostral 2 (EA2), por sua vez, fora colocada sobretudo em contexto morfológico distinto, uma vez que fora afixada em residência localizada em topo de morro (pontão de granito ocupado), a 359 metros de altitude e ainda no bairro Manoel Pimenta, o que reforça o caráter fortemente ondulado do relevo.

Neste trecho, as residências possuem infraestrutura razoavelmente melhor, com a presença de habitações de até quatro pavimentos (pequenos apartamentos), revestidos com reboco e pintura. Há presença espaçada de vegetação de porte arbustivo compondo a paisagem urbana, distribuída em meio aos canteiros das calçadas e nas encostas com elevada declividade. A EA2 fora instalada em terraço de residência familiar de dois pavimentos, como pode ser observado na **figura 14** a seguir.

Figura 14. Estação Amostral 2 (EA2), localizada em topo de morro no bairro Manoel Pimenta, Teófilo Otoni, MG. Foto: Fabrício Lisboa Vieira Machado. Data: 28 de dezembro de 2014.



A terceira Estação Amostral (EA3) foge ao contexto urbano e se localiza na transição com o meio rural, em localidade nomeada como Vila Suíça (em resposta ao córrego homônimo que drena parte da área). O uso da terra está

predominantemente associado a pastagens para criação de gado, com presença de fitofisionomias da Mata Atlântica nos leitos fluviais. As malhas viárias não são asfaltadas (“estrada de chão”) e o limite entre uma habitação e outra está sempre marcado por ampla área descampada.

O aparato sensor esteve instalado nos fundos de residência com revestimento em telha de amianto e pintura externa, nas proximidades de encosta de vertente antropicamente alterada (típico “barranco cortado”) e recoberta por formações gramíneas e arbustivas (**figura 15**), à altitude de 336 metros.

Figura 15. Estação Amostral 3 (EA3), localizada em residência rural em planície fluvial, na Vila Suíça, Teófilo Otoni, MG. Foto: Fabrício Lisboa V. Machado. Data: 28 de dezembro de 2014.

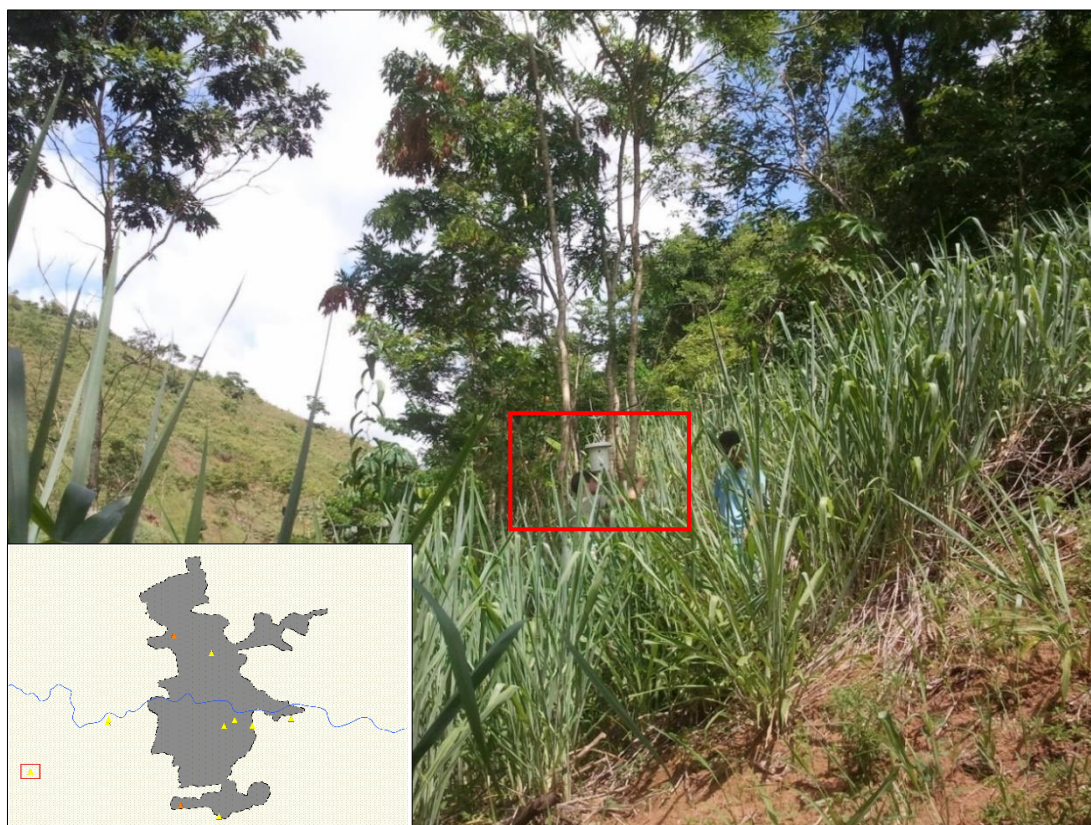


A Estação Amostral 4 (EA4) está assentada em patamar altimétrico mais elevado dentre dez dos postos trabalhados, à exceção apenas da estação meteorológica automática oficial do INMET, localizada no aeroporto de Teófilo Otoni, a 467 metros de altitude. Quanto à disposição altimétrica da EA4, isto se deve ao fato da mesma se encontrar em zona de cabeceira de um dos afluentes do rio Todos os Santos, o Ribeirão São José, a pelo menos 3,5 quilômetros de distância de qualquer centro urbano e a 377 metros de altitude.

Esta é também a estação que reproduz as condições mais próximas do que seria uma “área natural”, haja vista a presença de vegetação de porte arbóreo denso e a ausência de ocupação humana no local onde fora instalada. No entanto, a partir do trabalho de campo realizado, discutido nos capítulos seguintes, observou-se que os indivíduos vegetais ali instalados se tratam de vegetação em estágio secundário, ou seja, a área muito provavelmente já fora alterada e se encontra atualmente em recuperação. A título de exemplo, espécies exóticas da família das *Poaceas*, como o bambu, além de gramíneas como o *Cymbopogon citratus* (capim-limão) são facilmente encontradas.

O aparato sensor, de tal forma, foi colocado em local topo e microclimático privilegiado, uma vez que está instalado na calha fluvial do Ribeirão São José e afixado em meio às espécies vegetais ciliares, o que provavelmente refletirá, desta forma, o padrão de circulação de brisas associado e o ambiente saturado de umidade de um fragmento florestal, produto do saldo energético diferenciado no interior do dossel, a ser avaliado. A **figura 16** ilustra a situação.

Figura 16. Estação Amostral 4 (EA4), localizada em área florestal, nas zonas de cabeceira do rio Todos os Santos, Teófilo Otoni, MG. Foto: Fabrício Lisboa Vieira Machado. Data: 28 de dezembro de 2014.



A quinta Estação Amostral (EA5) melhor representa o contexto de pastagem da área de estudo, haja vista a sua inserção em ampla área descampada, nas proximidades da EA3, e na planície de inundação do próprio rio Todos os Santos, responsável por abrigar no ambiente ciliar espécies da Mata Atlântica de elevado porte (área de preservação permanente hídrica). Desta forma, a EA5 é também o posto de mensuração localizado no menor patamar altimétrico dentre os utilizados, a aproximadamente 325 metros de altitude.

O aparato sensor fora afixado junto à cerca que divide duas propriedades rurais no perímetro da Vila Suíça, em área cuja abóbada celeste se encontra na quase totalidade desobstruída. Não há presença de alvenarias construídas em raio aproximado de pelo menos 200 metros, conforme **figura 17**.

Figura 17. Estação Amostral 5 (EA5), localizada em pastagem rural, nas proximidades da Vila Suíça, Teófilo Otoni, MG. Foto: Fabrício Lisboa Vieira Machado. Data: 28 de dezembro de 2014.



A sexta Estação Amostral (EA6) chama a atenção pelo contexto socioeconômico e ambiental em que se insere. Sem dúvida, fora o posto instalado na área mais carente de infraestrutura urbana dentre as demais

localidades. Isto porque o aparato sensor foi colocado em residência domiciliar irregular de três andares, localizada exatamente dentro da calha fluvial do Córrego São Benedito, a menos de 15 metros do contato com a lâmina d'água, no bairro Vila Barreiros, extremo sul da mancha urbana de Teófilo Otoni. O sensor se encontra instalado a 353 metros de altitude.

Além de apresentar relevância quanto ao comportamento dos elementos climáticos em ambiente fluvial, a EA6 revela grave problema do ordenamento espacial urbano do município, em que não raro são encontradas moradias instaladas nas mesmas condições da utilizada como base da estação amostral.

A justificativa de sua escolha, portanto, está assentada na maior oportunidade potencial de avaliação de impactos ambientais decorrentes, por exemplo, de eventos pluviométricos concentrados, cuja repercussão ao ambiente ocupado poderá se manifestar de maneira negativa. Isso dependerá da pressão imposta ao sistema e à capacidade de suporte que o mesmo terá frente aos variados tipos de tempo, a serem avaliados na presente pesquisa. A **figura 18** a seguir revela a criticidade da situação, bem como a disposição do sensor em varanda de moradia sem revestimento em reboco ou pintura.

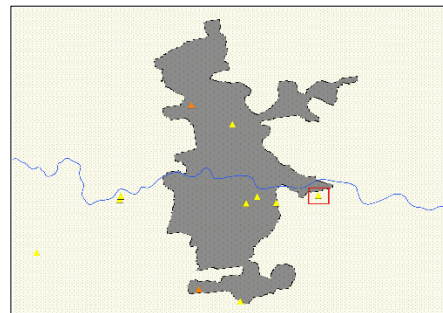
Figura 18. Estação Amostrai 6 (EA6), localizada em moradia em entalhamento fluvial, na Vila Barreiros, Teófilo Otoni, MG. Foto: Fabrício Lisboa Vieira Machado. Data: 29 de dezembro de 2014.



Já a Estação Amostral 7 fora colocada em área peri-urbana, nas proximidades do limite da mancha urbana de Teófilo Otoni no sentido leste, acompanhando o fluxo do rio Todos os Santos. Também se trata de estação amostral em patamar altimétrico inferior, registrando altitude de 328 metros. Localiza-se no bairro Vila São João, cujas moradias apresentam predominantemente padrão de classe média baixa, semelhante ao verificado na EA1, com ocorrência de alvenarias sem reboco e sem revestimento de telha cerâmica.

No entanto, a residência escolhida para instalação do aparato sensor apresenta melhor disposição de infraestrutura, com pintura externa, áreas sombreadas e arejadas, contando ainda com a presença de uma horta de aproximadamente 250 m² nos fundos do loteamento. No espaço cultivado, são encontradas espécies vegetais de diferentes portes, variando entre formações herbáceas típicas para a produção de temperos (pimenteiras, pés de manjerição, salsinha e cebolinha), além de formações arbóreas frutíferas (como goiabeiras e pés de jabuticabas). Neste ambiente é que fora afixado o aparato sensor, conforme disposto pela **figura 19** a seguir.

Figura 19. Estação Amostral 7 (EA7), localizada em horta domiciliar no bairro Vila São João, Teófilo Otoni, MG. Foto: Fabrício Lisboa Vieira Machado. Data: 29 de dezembro de 2014.



A oitava Estação Amostral (EA8) utilizada na presente pesquisa procurou revelar ambientes representativos das aglomerações de formas urbanas, como estudados por exemplo, por Silva & Ribeiro (2005) na Vila Paraisópolis, São Paulo, e por Machado & Jardim (2014) no Aglomerado da Serra, Belo Horizonte.

Não fora possível, no entanto, mensurar o interior de ambientes comparativos aos acima apresentados, em virtude da extensão territorial restrita dos mesmos em Teófilo Otoni (quase sempre associados a topos de morro e encostas íngremes de menor expressão espacial).

A dificuldade logística e a segurança do pesquisador quanto à acessibilidade a tais espaços também se mostrou empecilho à tomada de dados, o que promoveu o remanejamento do cenário ideal (interior de uma favela) para trecho do bairro Teófilo Rocha, que apesar de não se configurar enquanto espaço carente de infraestrutura básica e serviços, apresenta disposição de habitações em meio a vielas e becos muito próximos uns aos outros, o que aumenta o armazenamento de energia em forma de calor, em virtude da densidade de massa edificada.

Assim sendo, instalou-se o abrigo meteorológico, juntamente do aparelho sensor, em quintal residencial de 15 m², com superfície revestida em ardósia e cercado por muros com pouco mais de dois metros de altura. A altitude no ponto de instalação é de 327 metros, segundo ponto mais rebaixado do relevo no interior da área de estudo.

A **figura 20**, apesar de revelar as condições gerais acima descritas, apresenta tipo de revestimento da superfície diferente do que fora informado. Isso porque no período entre a instalação dos equipamentos nos trabalhos de campo de verão e inverno (7 a 8 meses de diferença), o piso de ardósia fora substituído por cobertura cerâmica, na coloração bege, como pode ser observado. Quando da análise dos dados coletados em campo, será possível avaliar a existência ou não de impacto de tal manutenção no balanço energético do espaço.

Figura 20. Estação Amostral 8 (EA8), localizada em quintal residencial no bairro Teófilo Rocha, Teófilo Otoni, MG. Foto: Fabrício Lisboa Vieira Machado. Data: 29 de dezembro de 2014.



A nona e última Estação Amostral (EA9) fora colocada em bairro de alto poder aquisitivo, nas proximidades da região central da cidade de Teófilo Otoni (Bairro Grão-Pará), à altimetria de 338 metros. Aqui é observado padrão retangular de arruamento, cujas estruturas viárias não se encontram totalmente impermeabilizadas (calçamento em blocos de paralelepípedo) e há presença de vegetação de porte arbóreo espaçadas em intervalos métricos fixos. As residências, por sua vez, se encontram revestidas por telha cerâmica e com pintura externa. Há presença de jardins e varandas. Também são observados edifícios com até 14 andares em áreas circundantes.

No entanto, dificuldades operacionais não permitiram a instalação do equipamento sensor de modo a refletir a organização dos elementos climáticos em escalas representativas do que seria o clima produzido no interior deste bairro, ficando a estação confinada entre muros altos (superiores a 5 metros) do quintal da residência. Desta forma, não será possível, por exemplo, incluí-la em uma provável interpolação de dados, como subsídio ao mapeamento das unidades climáticas (manifestadas em conjuntos de topoclimas), procedimento melhor explicitado em capítulos posteriores. No entanto, a sua não exclusão da

pesquisa também retornará dados relevantes ao entendimento do comportamento dos elementos climáticos em microescala, que no interior das cidades, possuirão importância a ser considerada.

Um exemplo corriqueiro dos grandes centros urbanos relacionado ao confinamento do ar destacado está associado à formação dos cânions urbanos⁶, cujas temperaturas médias registradas à noite por Alvarez (2001) *apud* Vilela (2007), em exemplo na cidade de Sevilla (Espanha), registravam-se até 3°C mais quentes, em função do aprisionamento do calor pela massa edificada. Enquanto isso, no período diurno, o elemento climático se apresentou entre 4°C a 8°C mais frio, em função do sombreamento contínuo produzido pelos prédios. Apesar de não se assemelhar rigorosamente aos exemplos acima descritos, a EA 9 servirá de laboratório ao estudo do ar confinado. A **figura 21** ilustra o ambiente da Estação Amostral 9.

Figura 21. Estação Amostral 9 (EA9), localizada em quintal residencial em bairro de classe média alta (Grão Pará), Teófilo Otoni, MG. Foto: Fabrício Lisboa Vieira Machado. Data: 30 de dezembro de 2014.

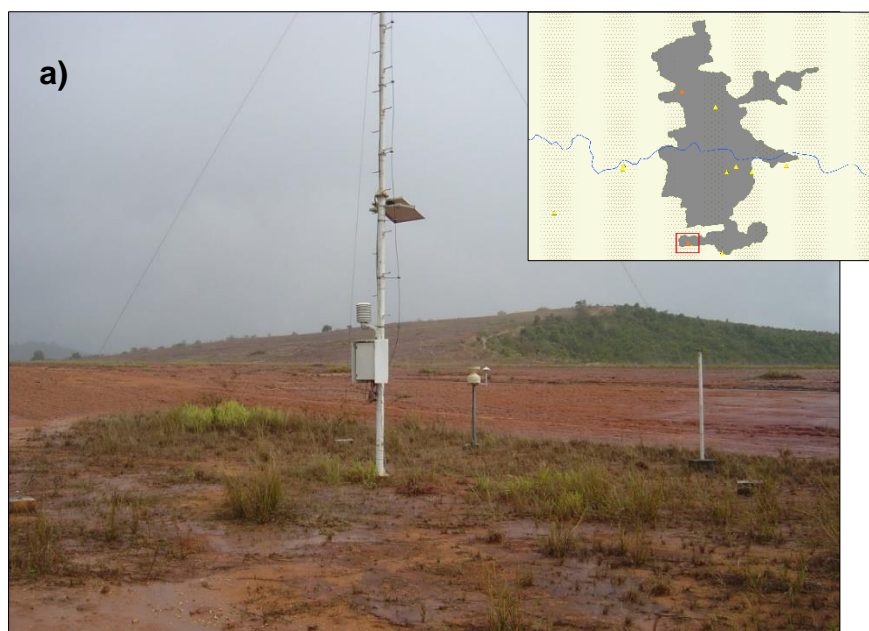


⁶ O cânion urbano é um fenômeno climático cuja gênese está associada ao sombreamento contínuo produzido pela massa edificada das malhas urbanas, impossibilitando a desobstrução do dossel e a entrada de radiação solar de maneira direta.

De modo a ampliar a malha amostral de dados, bem como tornar comparáveis aqueles obtidos por meio das estações amostrais distribuídas, utilizou-se duas estações meteorológicas oficiais do INMET disponíveis no interior da cidade de Teófilo Otoni. A primeira delas, já citada, é a de operação automática, localizada nas dependências do aeroporto municipal, cujos dados mensurados de maneira horária, revelam elementos outros que não aqueles captados pelos sensores das estações amostrais (temperatura, umidade relativa do ar e ponto de orvalho). Com o uso da mesma obtém-se acesso ainda à radiação, pressão atmosférica, velocidade do vento e precipitação acumulada.

Já com a estação convencional do INMET, localizada no ponto mais ao norte dentre as onze estações trabalhadas, à altitude de 356 metros, obtém-se acesso ainda às condições relativas à nebulosidade e à direção preferencial dos ventos, variáveis estas mensuradas nos três horários sinóticos (0h, 12h e 18h UTC⁷). Para esta mesma estação dispõe-se ainda de série histórica de dados meteorológicos desde o ano de 1961, a serem utilizados quando da apresentação dos resultados e discussões da pesquisa. A **figura 22** ilustra as estações automática e convencional do INMET em Teófilo Otoni (MG).

Figura 22. Estações meteorológicas oficiais automática (a) e convencional (b) do Instituto Nacional de Meteorologia em Teófilo Otoni (MG). Fonte: INMET.



⁷ O *Universal Time Coordinated* (UTC) é o fuso horário de referência a partir do qual se calculam as demais zonas horárias do mundo.



Por fim, há de se destacar que o clima local a que se procura avaliar por meio das Estações Amostrais distribuídas, nada mais é do que uma decomposição escalar dos climas regionais, sendo necessário, portanto, conhecer o cenário em que a área de estudo se insere também no tocante às escalas superiores.

Para tanto, foram utilizados dados das estações meteorológicas oficiais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para aferição das condições climáticas em municípios circundantes à Teófilo Otoni, cujos métodos de análise serão apresentados em tópico posterior. De todo modo, somam-se ao conhecimento dos climas regionais os municípios mineiros de Araçuaí, Caratinga, Diamantina, Itamarandiba, Montes Claros, Pedra Azul e Salinas, além do município baiano de Caravelas, distribuídos em contextos geomorfológicos, fitofisionômicos e de uso da terra diferenciados.

3.2 Confecção do aparato sensor

Muito se discutiu em relação à instalação das Estações Amostrais, os ambientes os quais refletem e o potencial de avaliação das diferentes organizações escalares por meio dos aparelhos. No entanto, não fora até então apresentado o conjunto de materiais que compõem o aparato meteorológico utilizado para tanto.

Inúmeras são as dificuldades encontradas na realização da pesquisa científica em climatologia geográfica no Brasil, sobretudo quando o objeto de estudo se aproxima das escalas inferiores (microclimas e topoclimas), em que se torna necessária a mudança metodológica para a sua plena avaliação e a consequente aquisição de instrumentos próprios para tanto.

Sem dúvida, o acesso a dados meteorológicos no cenário atual se encontra restrito àqueles disponibilizados pelo INMET por meio das estações oficiais e que tendem a refletir organizações escalares muito mais próximas dos climas locais e regionais. Assim sendo, uma das soluções para baratear o custeio da compra dos instrumentos necessários à pesquisa climatológica seria a auto confecção dos mesmos, pelo menos em parte.

Pensando nisso, o Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais, por meio dos esforços do prof. Dr. Carlos Henrique Jardim, bolsistas e orientandos, desenvolveu o abrigo meteorológico utilizado na presente pesquisa. Inicialmente testado na avaliação horária dos elementos climáticos em áreas rurais e urbanas dos municípios de Contagem e Betim, conforme Lopes & Jardim (2012), o aparato fora reformulado, submetido a novos testes e desenvolvido em lote (atualmente em doze unidades).

Consiste em abrigo construído para acomodar os sensores registradores portáteis do tipo *data loggers* (modelo Icel HT 4000)⁸, habilitados para realizar tomadas e armazenamentos de dados em periodicidade que varia de dois segundos a 24 horas. Para os propósitos da pesquisa, entretanto, foram configurados para coletar simultaneamente em todas as nove Estações Amostrais, dados de temperatura, umidade relativa do ar e ponto de orvalho (variáveis mensuradas pelo modelo) a cada intervalo de sessenta minutos.

Isso permite verificar a evolução e o ritmo de variação do comportamento atmosférico em inter-relação com as condições da superfície, individualizada à cada contexto paisagístico em que as Estações Amostrais foram inseridas.

⁸ Adquiridos com verba de projeto de pesquisa custeado pela Pró-reitoria de Extensão da Universidade Federal de Minas Gerais (EDITAL Nº 03 de 09/09/2009 - PROGRAMA DE AUXÍLIO À PESQUISA DE DOUTORES RECÉM-CONTRATADOS), em parceria com o Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (Edital Fapemig 21/2010 Proc. APQ-00254-11).

Permite ainda o atendimento aos critérios da análise rítmica do clima, discutida enquanto metodologia de pesquisa no capítulo anterior e apresentada enquanto aplicabilidade ao objeto de estudo deste trabalho em tópicos seguintes.

Salienta-se que somente se trabalhou com dados horários das variáveis de temperatura e umidade relativa do ar nas Estações Amostrais, em razão da limitação técnica do aparelho utilizado. Apesar do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais dispor de pluviômetros, anemômetros e luxímetros, nenhum desses aparelhos possuía tecnologia para tomada e armazenamento de dados de maneira automática, o que inviabilizou a sua utilização sistemática na presente pesquisa, realizada em município que não o de moradia do pesquisador.

O abrigo meteorológico utilizado fora desenvolvido pensando-se na facilidade para transporte e afixação nos mais variados ambientes de relevância para pesquisas microclimatológicas, assim sendo, deveria atender aos critérios de baixos pesos e dimensões. De tal forma, fora projetado em duas estruturas tubulares em cano PVC, acopladas uma dentro da outra. Possuem 22 centímetros de altura, providos de aberturas na parte superior, inferior e em orifícios laterais, de modo a promover a ventilação, conforme apresentam Machado & Jardim (2014). O cilindro externo possui cerca de 15 centímetros de diâmetro e o interno 10 centímetros.

Cada orifício perfurado a partir de ferramenta com broca furadeira possui aproximadamente 2 centímetros de diâmetro (tubo externo) e 1,5 centímetros (tubo interno). Foram dispostos em trio vertical a cada 45°, totalizando, portanto, doze orifícios externos e doze internos. Tomou-se o cuidado para que fossem afixados de maneira não alinhada em relação ao outro tubo cilíndrico, de modo a evitar a incidência de radiação solar direta sobre o aparelho sensor. Este último se encontra afixado em haste no interior do cilindro interno.

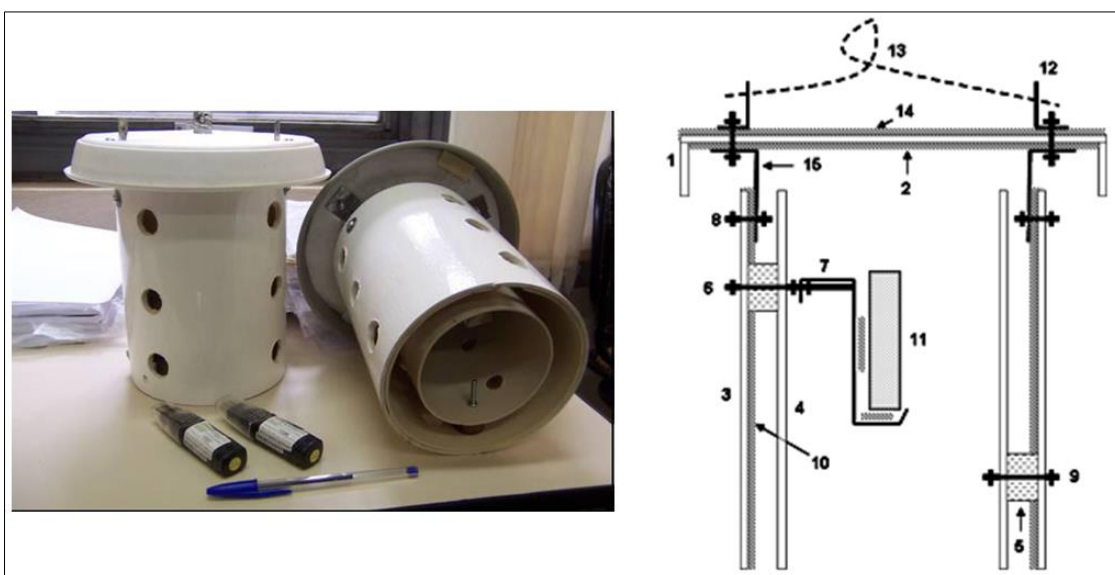
Tendo em vista a promoção do menor armazenamento de calor possível e a conseqüente não interferência nos dados mensurados, fora aplicado ainda um revestimento na porção interna do cilindro maior e na parte superior da

cobertura, em que se afixou material emborrachado do tipo EVA (*ethylene vinyl acetate*), que funciona como isolante térmico. Não obstante, afixou-se também, lâmina de isopor de 2 milímetros de espessura na parte interna da cobertura do abrigo, como reforço à diminuição da transferência de calor.

Por fim, revestiu-se toda a superfície externa do abrigo meteorológico com pintura em esmalte sintético brilhante na coloração branca, de modo a aumentar o índice de reflectância da energia solar (albedo) e proteger o aparato completo dos agentes intempéricos. É importante ressaltar ainda, que os abrigos foram submetidos a testes quanto à permeabilidade do conjunto, uma vez que estaria sujeito a eventos de precipitação intensa e, em tese, ofereceria risco à danificação do sensor.

Os resultados dos testes com mangueira de jato d'água de alta pressão revelaram a impenetrabilidade do líquido na parte interna do menor cilindro, local onde se encontraria afixado o sensor. A **figura 23** dispõe a vista lateral e inferior dos abrigos meteorológicos, os sensores *data loggers* utilizados, bem como o desenho da estrutura dos componentes.

Figura 23. Vista lateral e inferior dos mini abrigos meteorológicos e dos sensores (*data loggers*) de temperatura e umidade relativa do ar (esquerda) e perfil esquemático do abrigo (direita): 1. teto; 2. lâmina de isopor; 3. tubo PVC (parede externa); 4. tubo PVC (parede interna); 5. calço de madeira para manter afastamento e fixar as paredes externa e interna; 6. parafuso unindo os dois abrigos e o suporte do sensor; 7. suporte do registrador; 8. parafuso da haste que prende o abrigo ao teto; 9. parafuso de união dos dois abrigos (parede externa e interna); 10. lâmina de EVA; 11. registrador; 12. alça externa; 13. arame; 14. lâmina de EVA superposta ao isopor; 15. haste de metal unindo teto e corpo do abrigo. Foto e desenho: Carlos Henrique Jardim. Data: 10/11/2012. Adaptado de Machado & Jardim (2014).



3.4 Etapas de campo, coleta e validação dos dados

Atendendo-se aos propósitos da pesquisa, o trabalho de campo fora dividido em quatro partes. A primeira delas, apesar da definição dos pontos de mensuração dos dados ter sido realizada em gabinete, objetivou o reconhecimento da área de estudo e a conferência empírica das condições de instalação do aparato sensor (sobretudo atestando o atendimento ao que fora definido como critérios para representação dos contextos de uso e ocupação da terra, altimetria, condições de relevo, elevada disponibilidade de luz solar ao longo do dia, etc.).

Após aferições, o trabalho de campo realizado entre os dias 27 e 30 de dezembro de 2014 objetivou principalmente a afixação dos abrigos e termohigrômetros *data loggers* em cada um dos nove pontos amostrais definidos, conhecendo-se também suas coordenadas geográficas e respectivos valores de cota altimétrica, além da construção do acervo fotográfico de campo.

Os aparatos sensores permaneceram em monitoramento contínuo durante intervalo aproximado de 50 dias (período de verão), tendo sido recolhidos no segundo trabalho de campo, realizado em 16 de fevereiro do ano de 2015. Vale destacar, que em virtude da dificuldade operacional em lidar com nove aparelhos, cinco dos mesmos tiveram de ser recolhidos previamente (12/02/2015) por figura parental instruída para tanto. O mesmo foi também responsável pela checagem da segurança e integridade dos aparelhos enquanto instalados, conforme orientações do pesquisador.

Há de se observar também que fora tomado o cuidado de se acionar todos os nove sensores ao mesmo tempo, para que seus respectivos cronômetros permanecessem alinhados durante todo o período de mensuração.

A terceira e quarta etapas do trabalho de campo, realizadas nos dias 08 de agosto e 19 de setembro de 2015, respectivamente, envolveram a reinstalação dos aparatos sensores para a segunda tomada contínua de dados (período de inverno), tendo sido realizada somente nas Estações Amostrais mais representativas e/ou peculiares, definidas pela análise prévia dos resultados iniciais da primeira bateria de dados. Outro fator importante que impediu a nova mensuração em todas as Estações Amostrais anteriores foi a dificuldade

logística oriunda da ausência dos proprietários e/ou interlocutores dos locais de instalação, que não puderam prestar auxílio nesta segunda bateria de dados.

Para sanar tal problema, à primeira vista poderia ser alterada a data de realização do terceiro trabalho de campo, no entanto, há de se destacar que a escolha dos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, bem como de agosto e setembro, para o monitoramento das condições meteorológicas e aquisição de dados nas Estações Amostrais, não se deu de maneira arbitrária.

Procurou-se contemplar os mais variados tipos de tempo associados, respectivamente, aos períodos úmidos e secos do município de Teófilo Otoni e região, cujos impactos sobre os meios físico, biótico e socioeconômico se manifestam de maneiras diferenciadas.

Em razão disso, justifica-se também os longos períodos sequenciais de mensuração, na tentativa de se abarcar o maior número possível de tipos de tempo característicos da interação dos controles atmosféricos representativos de verão e inverno, em interação com os fatores de superfície.

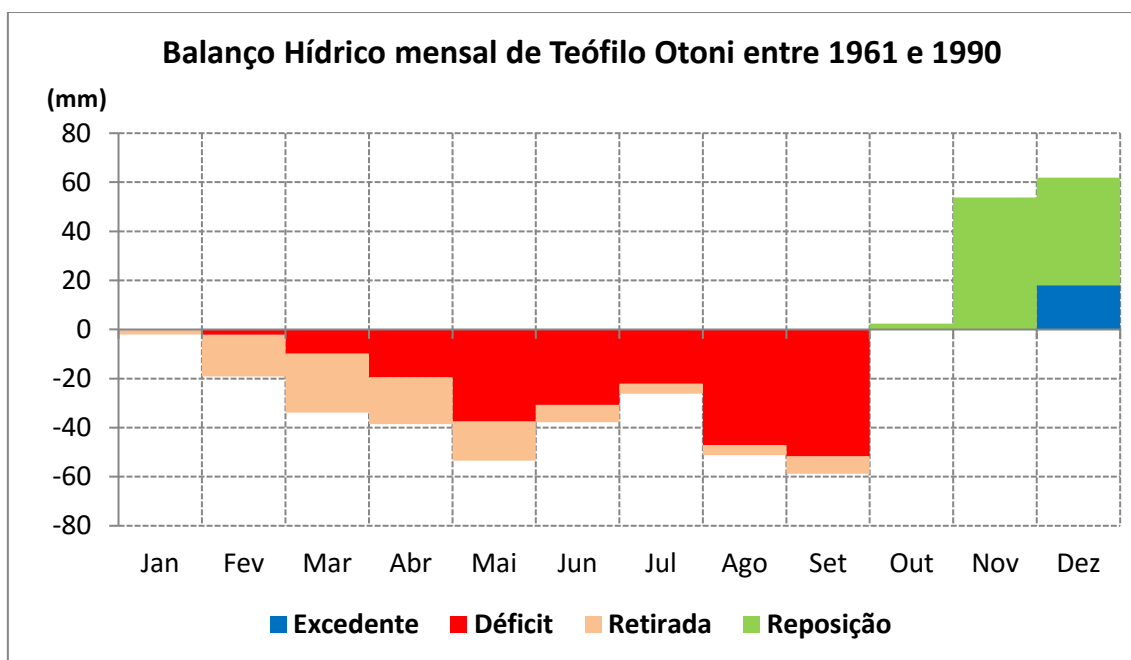
Para a definição mais aproximada dos períodos secos e úmidos do município, utilizou-se o balanço hídrico histórico de Teófilo Otoni (calculado a partir dos dados do INMET de 1961-1990), em que se é possível conhecer os meses de maior *déficit* e excedente hídrico da área de estudo.

É notória a importância dessa tentativa de definição, principalmente para a agricultura, o abastecimento hídrico e o planejamento urbano, mas ainda assim, a complexidade do sistema climático não permite tal definição de forma rigorosa. A própria diversidade de técnicas deixa clara a dificuldade de se estabelecer esses períodos. No entanto, o método escolhido para classificação climática a partir do balanço de água no solo, proposto por Thornthwaite em 1948, aperfeiçoado por Mather em 1955 e elucidado por Tubelis & Nascimento (1984)⁹, além de fortemente difundido, se mostrou satisfatório ao propósito da pesquisa.

⁹ Em linhas gerais, a partir da precipitação histórica de uma dada região, o cálculo baseia-se na aferição da evapotranspiração potencial do solo (ETP), na capacidade de armazenamento

Os resultados, portanto, apontaram os meses de novembro e dezembro como os detentores das maiores reposições e excedentes hídricos históricos em Teófilo Otoni, conforme observado na **figura 24**, enquanto que agosto e setembro apresentam a maior deficiência. O **quadro 3**, por sua vez, apresenta o resumo das características gerais das Estações Amostrais, bem como seu período de monitoramento durante os períodos de verão e inverno.

Figura 24. Balanço hídrico do município de Teófilo Otoni, Minas Gerais (1961-1990). Fonte dos dados: Instituto Nacional de Meteorologia. Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.



hídrico do mesmo (individualizada para as mais variadas faixas latitudinais e vegetações características das regiões brasileiras) e na sua evapotranspiração real (ETR), de onde se é possível extrair os períodos de deficiência, reposição, excedente e retirada hídrica do solo.

Quadro 3. Condições de instalação e aquisição de dados das nove Estações Amostrais utilizadas nos trabalhos de campo.

Estação (referência)	Coordenada X	Coordenada Y	Altitude (m)	Uso e cobertura da terra	Datas das instalações	Datas das retiradas	Dias de monitoramento efetivo
EA 1 - Bairro Manoel Pimenta (fundo de vale)	235478	8022096	334	Área urbana periférica Alvenarias sem revestimento	27/12/2014 08/08/2015	16/02/2015 19/09/2015	90
EA 2 - Bairro Manoel Pimenta (topo de morro)	234988	8022256	359	Área urbana periférica Alvenarias com reboco e pintura	28/12/2014 --	12/02/2015 --	46
EA 3 - Vila Suíça (residência em vertente de área rural)	231442	8022185	336	Área transição urbano-rural Vertentes descampadas	28/12/2014 --	12/02/2015 --	46
EA 4 - Leito fluvial	229300	8020819	377	Área florestal Cabeceiras de drenagem Mata secundária	28/12/2014 --	12/02/2015 --	46
EA 5 - Pastagem em área rural	231475	8022273	325	Área rural Vegetação gramínea e arbustiva Ocorrência de Mata Atlântica	28/12/2014 08/08/2015	12/02/2015 16/09/2015	82
EA 6 - Vila Barreiros (calha fluvial ocupada)	234553	8019564	353	Área transição urbano-rural Calha fluvial ocupada Supressão de mata ciliar	29/12/2014 08/08/2015	16/02/2015 16/09/2015	85
EA 7 - Vila São João (horta residencial)	236562	8022294	328	Área urbana periférica Alvenarias com reboco e pintura	29/12/2014 08/08/2015	16/02/2015 16/09/2015	85
EA 8 - Bairro Teófilo Rocha (quintal residencial)	234696	8022091	327	Área urbana periférica Ocorrência de vielas e becos Alvenarias com reboco e pintura	29/12/2014 07/08/2015	12/02/2015 16/09/2015	82
EA 9 - Bairro Grão-Pará (quintal residencial)	234345	8024122	338	Área urbana padrão classe alta Residências com dois ou mais andares Ruas arborizadas	30/12/2014 --	16/02/2015 --	48

Passo anterior aos métodos de análise dos resultados é aquele relativo ao tratamento dos dados. Não o tratamento enquanto estatística aplicada para obtenção de resultados, confecção de cartas, gráficos, modelos ou semelhantes, mas aquele referente à validação e padronização dos dados. Isto é, para torna-los válidos, os mesmos passaram por duas etapas de ajuste. A primeira delas objetivou o alinhamento dos dados de temperatura e umidade relativa do ar gerados pelos mini abrigos meteorológicos em Teófilo Otoni à Estação Meteorológica do INMET, de modo que pudessem ser comparados com um aparato sensor oficial reduzindo em parte as disparidades observadas em dados adquiridos em mesmo horário e local.

Para tanto, aproveitou-se do procedimento já realizado por Machado (2013), em que os sensores modelo Icel HT-4000, juntamente do abrigo construído, foram instalados na área interna da Estação Automática do *campus* Pampulha da UFMG. Ambos os cronômetros foram precisamente ajustados para tomada simultânea de dados e permaneceram em operação por período de dez dias (em sequência de tipos de tempo estáveis, cujas amplitudes térmicas e higrométricas diárias se mostram mais elevadas). De posse dos dados, fora realizada a aplicação de fator corretivo (aditivo/subtrativo) para cada horário inteiro diário, calculado a partir da média dos desvios observados entre sistemas sensores. A **tabela 3** apresenta as alterações realizadas nos dados adquiridos pelos *data loggers*.

Tabela 3. Dados referentes à correção aditiva e subtrativa aplicada aos valores mensurados pelas Estações Amostrais de campo. Adaptado de Machado & Jardim (2013).

Horário (horas)	Temp. do ar (°C)	Umid. relativa do ar (%)	Horário (horas)	Temp. do ar (°C)	Umid. relativa do ar (%)
0	0,2	-11,5	12	-1,6	-2,6
1	0,1	-11	13	-1,3	-3,6
2	0,2	-10,7	14	-1,3	-3,9
3	0,3	-10,4	15	-1,3	-4,5
4	0,3	-10,5	16	-0,8	-6,3
5	0,3	-11,1	17	-0,4	-9,6
6	0,3	-11	18	0,3	-13,6
7	0,4	-10,9	19	0,3	-12,1
8	-0,1	-7,8	20	0,1	-11,5
9	-0,7	-6,3	21	0,3	-12,2
10	-1	-4,4	22	0,4	-12,6
11	-1,2	-2,3	23	0,3	-11,8

Sem dúvida, o cenário ideal seria o ajuste dos aparelhos sensores junto à própria estação meteorológica automática de Teófilo Otoni, cuja diferença altimétrica, se comparada ao *campus* Pampulha, é superior a 400 metros. No entanto, em função de questões operacionais e da indisponibilidade de prazos e recursos, não fora possível realizar tal procedimento, o que possivelmente implicará em valores de temperatura e umidade do ar com menor refinamento quantitativo, oriundos do ajuste baseado em níveis barométricos distintos da realidade local de Teófilo Otoni.

A segunda etapa de ajuste dos dados diz respeito ao alinhamento entre Estações Amostrais, isto é, a conferência se todos os nove sensores *data loggers* apresentavam exatidão conjunta entre os aparelhos.

Para tanto, os mesmos foram lacrados no interior de caixa de papelão, colocada em armário metálico fechado e em ambiente livre de incidência de radiação solar direta ou difusa (construção em alvenaria de concreto armado). O cenário ideal seria que todos os sensores mensurassem exatamente os mesmos valores de temperatura e umidade relativa do ar.

No entanto, durante teste realizado no dia 12 de outubro de 2014, entre 13:30 e 16:30, os valores mensurados minuto a minuto entre os nove sensores registraram diferença média de aproximadamente 0,4°C, tendo sido observados valores mínimos de 26,67°C no sensor que viera a ser instalado na Estação Amstral 5 (pastagem natural) e máximos de 27,1°C no sensor posteriormente instalado na Estação Amstral 3 (residência na Vila Suíça).

De modo a padroniza-los, portanto, adotou-se um valor de referência para o teste realizado, em que a partir dele seriam adicionados critérios aditivos ou subtrativos para correção dos valores mensurados nos trabalhos de campo. O valor de referência, portanto, foi a média global dos valores médios observados, calculada em 26,88° C. A **tabela 4** resume os fatores corretivos a serem aplicados nos dados mensurados a campo pelas Estações Amostrais.

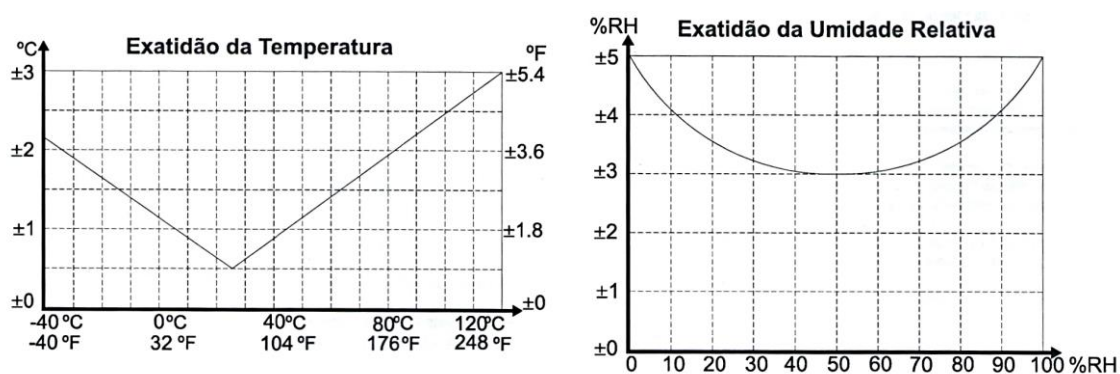
Tabela 4. Fatores corretivos para padronização dos dados entre sensores *data loggers*.

<i>Data logger</i> correspondente	Temperatura média do teste realizado (°C)	Valor de referência (°C)	Fator corretivo (°C)
Sensor EA1	26,86		0,02
Sensor EA2	26,96		-0,08
Sensor EA3	27,10		-0,22
Sensor EA4	26,98		-0,10
Sensor EA5	26,68	26,88	0,20
Sensor EA6	27,00		-0,12
Sensor EA7	26,90		-0,02
Sensor EA8	26,67		0,21
Sensor EA9	26,78		0,10

É importante ressaltar que independentemente dos procedimentos estatísticos de ajuste realizados, o modelo sensor utilizado sempre apresentará variação no comportamento das variáveis mensuradas, conforme curvas de exatidão expressas no próprio manual técnico do aparelho (**figura 25**).

No caso da temperatura do ar, por exemplo, o “ótimo” é registrado próximo aos 26°C, onde apresenta erro médio de +0,5°C. Aos 40°C, por exemplo, o sensor registraria erro médio de quase +1°C. Já em relação à umidade relativa do ar, o “ótimo” é registrado aos 50%, ao apresentar erro médio de +3%. Em situação de instabilidade atmosférica e forte precipitação, cuja umidade relativa do ar pode atingir mais de 90%, o erro registrado pelo sensor ficaria próximo de +5%.

Figura 25. Curva de exatidão térmica e hídrica dos sensores utilizados. Fonte: Manual de instruções do termo higrômetro com *data logger* modelo HT-4000.



Em relação a possíveis variações dos elementos oriundas da proximidade do fim da vida útil da bateria do sensor, salienta-se que foram privilegiados *data loggers* com pouco ou nenhum uso desde a sua aquisição, tendo permanecidos desligados, com a bateria retirada e em lacre. O referido manual

técnico do sensor ainda explicita que operando em ciclo de medição de cinco em cinco segundos, a bateria tem vida útil de um ano. Como visto, as medições desta pesquisa foram realizadas em intervalos de sessenta minutos.

Por fim, vale destacar que os dados mensurados no dia da instalação das Estações Amostrais foram descartados, assim como aqueles obtidos no dia da retirada dos aparelhos, razão esta justificada pelo elevado potencial de ocorrência de erros nos valores gerados, em virtude da adaptação do sistema sensor ao ambiente e da manipulação do mesmo por fontes metabólicas de calor (pesquisador).

3.3 Análise dos resultados e mapeamento das unidades climáticas

Seguindo a linha hierárquica proposta no fluxograma síntese da pesquisa, o método de análise dos resultados há de seguir ordenamento escalar. Isto é, partiu-se da interpretação dos fatores e elementos responsáveis pela organização do clima regional onde se insere o município de Teófilo Otoni, até o desdobramento nos mais complexos níveis de organização microclimáticos. Para tanto, mostrou-se necessário conhecer os métodos e técnicas apropriadas a cada uma das escalas, a começar pelo clima regional.

Para aferição do mesmo, recorreu-se principalmente às séries históricas dos dados das estações meteorológicas convencionais do INMET dos municípios da porção norte e nordeste do estado de Minas Gerais. Foram analisadas as sazonalidades dos elementos climáticos, seus balanços hídricos e produzidos os respectivos climogramas com o comportamento médio anual (temperatura, umidade relativa do ar, precipitação, etc.) para os municípios de Araçuaí, Caratinga, Diamantina, Itamarandiba, Montes Claros, Pedra Azul e Salinas, além da própria cidade de Teófilo Otoni.

Foram observados seus padrões e variabilidades ao longo das séries históricas de 1961 a 2012, cujos dados foram adquiridos no BDMEP/INMET a partir de etapa cadastral. Todos os produtos gráficos e da estatística descritiva foram gerados a partir do *software* Microsoft Excel 2013.

Concomitante à interpretação das séries históricas, foi testado, de maneira complementar, o modelo estatístico *fuzzy cluster* para reconhecimento de padrões espaciais associados ao conjunto de estações. Isto porque, ao romper com a lógica binária da linguagem matemática aplicada a agrupamentos (*clusters*), o referido modelo permite que um mesmo dado possa pertencer a diferentes grupos ao mesmo tempo, mas com distintos graus de associação.

Do ponto de vista climatológico, mostra-se salutar seu emprego, haja vista a enorme gama de tipos de tempo historicamente observáveis nas regiões tropicais, o que contribuirá para avaliar a sazonalidade presente na incorporação de um município em um ou outro clima regional.

O modelo proposto por Loft Zadeh na década de sessenta, intitulado Teoria dos Conjuntos *Fuzzy*, resolveria problemas, como por exemplo, oriundos da consideração de uma região A como “seca”, unicamente por apresentar valor de umidade relativa do ar inferior a 40%, enquanto que uma região B que apresentasse o mesmo elemento mensurado em 41% não o seria assim considerada, unicamente por não atender aos critérios impostos¹⁰. Porém, com a lógica *fuzzy*, baseada na aceitação das incertezas, a cidade A assumiria um valor de pertinência que a elencaria, simultaneamente, tanto ao conjunto das chamadas cidades “secas”, quanto a um segundo provável conjunto de cidades “moderadamente secas”, por exemplo.

Para alcançar tais produtos, o método utiliza de medidas de similaridade em seu processo de execução, calculadas com base na distância entre dois vetores. Um algoritmo é empregado no sentido de permitir a associação de um ou mais desses vetores (objetos) a dois ou mais *clusters*, o que evita a associação forçada a um único destes, por objetos localizados nas bordas entre distintos agrupamentos. De maneira geral, são concedidos coeficientes de filiação que indicam, *entre zero e um*, parciais pertencimentos.

¹⁰ Os *hard clusters*, tal como é o exemplo dado, se aproximam muito da noção de caracterização climática por modelos empíricos, em que são observados um ou outro fatores e impostos limites à espacialização dos elementos climáticos, sem o conhecimento da gênese dos controles atmosféricos que em interação com a superfície configurarão determinado nível de organização escalar.

Neste sentido, o método *fuzzy clustering* baseia-se na minimização da função objetivo, que por sua vez, representa a distância entre os dados e os centros dos agrupamentos. Através do algoritmo *fuzzy c-means*, desenvolvido por Bezdek em 1981, conforme aponta Ferreira (2012), o método realiza inúmeras iterações na busca de uma “configuração ótima” de parâmetros para minimizar a função e somente cessa ao encontrar erro de quantização invariável, mesmo que mais iterações sejam realizadas.

Com o processo de minimização, os dados são associados aos grupos de forma que, quanto menores forem as distâncias entre o dado X e o vetor protótipo C associado a ele, menor será o valor encontrado, expresso conforme equação a seguir e onde, $d(C_i; x_j)$, é a distância entre o vetor de dados x_j e o protótipo do grupo C_i ; c é o número de grupos a ser determinado pelo algoritmo; n é o número de dados no conjunto de dados; e U_h é uma matriz binária chamada “matriz de partição”, de dimensões $c \times n$.

$$J_{CM}(U_h, C) = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n u_{ij} d(\vec{C}_i, \vec{x}_j)^2$$

Sendo assim, de posse de tal método, espera-se ser possível, por exemplo, avaliar a influência da Serra do Espinhaço em sua porção setentrional na configuração dos elementos climáticos nas bordas leste e oeste e sua respectiva organização escalar, regiões estas onde estão inseridos os municípios de interesse.

Ferreira (2012), por exemplo, avaliou, a partir do modelo *fuzzy clustering*, a variabilidade espacial e temporal dos agrupamentos para a bacia do rio Paraíba (entre os estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro), identificando pelo menos cinco unidades climáticas ancoradas nas variáveis históricas de temperatura, precipitação e evapotranspiração.

O tratamento inicial dos dados para o teste do modelo complementar *fuzzy* fora realizado em parte pelo Laboratório de Estudos Territoriais do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais (LESTE), responsável pela conversão do formato padrão do INMET e sua compilação em *software*

IBM SPSS Statistics. Nesta mesma plataforma foram calculadas pelo autor as médias históricas mensais e demais estatísticas descritivas para os períodos secos e úmidos de cada município, além de organizados os dados para a plotagem no *software* SPLUS 2000, responsável por rodar o modelo *fuzzy clustering* e construir os agrupamentos de dados, por meio da caixa de ferramenta *Fuzzy partitioning*.

Optou-se pela criação de quatro *clusters*, de modo que fossem no mínimo representativos, *a priori*, das faixas úmidas de leste da Serra do Espinhaço, recobertas por resquícios de Mata Atlântica; das porções elevadas do orógeno, com seus afloramentos quartzíticos e mosaicos de Unidades de Conservação que resguardam paisagens naturais; das faixas ocidentais recobertas pelas fitofisionomias de Cerrado; e, possivelmente, das terras baixas costeiras sob maior influência oceânica.

Os resultados, assim como aqueles adquiridos pela análise das séries históricas, serão apresentados em formatos gráficos e cartográficos, lançando mão do auxílio de *softwares* de geoprocessamento, tais como o ArcGIS 10.2 e o QGIS 2.8, para tratamento das tabelas de atributos, interpolação de dados e produção de mapas temáticos.

A análise do clima local onde se insere o município de Teófilo Otoni, bem como sua individualização em topo e microclimas, objetos primordiais de estudo desta pesquisa, seguiu os moldes da análise rítmica do clima proposta por Monteiro (1971) e apresentada em capítulos anteriores.

Para operacionalizá-la, portanto, a série de dados amostrais mensurada em campo, cuja variação se manifesta em intervalos horários, fora inter-relacionada com o sistema sinótico de atuação imediata, de onde se extraiu o tipo de tempo encadeado e o seu ritmo de sucessão ao longo dos dias. Isto é, dia após dia foram adquiridas as imagens dos satélites GOES13 com composição de bandas na faixa espectral visível (*Blue Marble*) e infravermelho (IR-4), além das cartas sinóticas da Marinha do Brasil¹¹. A partir delas e com o

¹¹ Disponíveis, respectivamente, no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), disponível em

apoio bibliográfico e meteorológico, identificou-se a evolução e imposição do sistema atmosférico atuante sobre a região de Teófilo Otoni, a repercussão têmporo-espacial em superfície e em que ritmo tal dinâmica se desdobrou pelo período de análise.

A observação horária dos elementos climáticos mensurados pela estação automática do INMET (temperatura, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, precipitação, direção e velocidade dos ventos, entre outros) também foram incorporados como controles regionais.

Todos os elementos mensurados foram representados em prancheta gráfica, contendo o seu comportamento horário e o respectivo controle atmosférico em atuação simbolizado, atentando para a inter-relação entre os mesmos. Na identificação dos controles também foram confeccionados gráficos com a distribuição média diária dos valores mensurados, além de planilhas com as amplitudes termohigrométricas diárias, valores mínimos e máximos absolutos, média dos valores mínimos e máximos observados e demais produtos da estatística descritiva.

Uma vez que se tratam de dados em série temporal contínua (horários), cujo fator genético de realidade regional é identificado pelas imagens de satélite e cartas sinóticas e cuja repercussão têmporo-espacial se manifesta quantitativamente a partir dos valores dos elementos mensurados, as próprias curvas de seus comportamentos expressas nos gráficos e pranchetas permitem a identificação e avaliação de um ritmo estabelecido. No entanto, como as Estações Amostrais se individualizam em realidades paisagísticas de escala inferior, a resposta frente a um mesmo ritmo de sucessão de tipo de tempo (gênese regional), se dará de maneira diferente em cada uma delas. Logo, os problemas geográficos advindos desta interação também não serão idênticos. Segundo Monteiro (1971) e destacado por Ferreira (1996), pág. 25:

“Só a análise rítmica detalhada ao nível de tempo, revelando a gênese dos fenômenos climáticos pela interação dos elementos e fatores, dentro de uma realidade regional, é capaz de oferecer parâmetros

<http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes/formulario.logic> e no Centro de Hidrografia da Marinha, disponível em <https://www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/prev/cartas/cartas.htm>.

válidos à consideração dos diferentes e variados problemas geográficos da região”.

E é exatamente a possibilidade de aferição da resposta superficial diferencial dos meios físicos, bióticos e socioeconômicos dos geossistemas terrestres, frente aos inúmeros tipos de tempo instaurados, bem como a capacidade de resiliência de cada um dos ambientes aos desvios rítmicos também averiguados pela análise rítmica, que torna o método uma das mais importantes tentativas de integração superfície-atmosfera.

Da interpretação dos desvios rítmicos, fora realizado esforço de pesquisa dos impactos ambientais associados, sejam eles positivos ou negativos. Para tanto, informações de cunho jornalístico foram de grande valia, além da observação de fontes bibliográficas e de informações de Estado (condição de vazão de cursos d'água, qualidade da água, etc.). Procurou-se o conhecimento do impacto diferencial dos resultados observados na análise rítmica do clima em cada um dos ambientes onde estão inseridas as Estações Amostrais de campo e as automáticas e convencionais oficiais do INMET, compreendendo a fonte e o trânsito de energia no sistema, além das interações com os elementos das paisagens urbanas, rurais e naturais.

Por fim, fora realizado o esforço de síntese, produto final deste trabalho. O mapeamento das unidades climáticas “naturais” e “urbanas” foi embasado pelas premissas básicas de Monteiro (1990), que elucida o fato de que análises geográficas estão associadas intimamente à modelização cartográfica, e pela metodologia proposta pelos trabalhos já apresentados de Tarifa & Armani (2001), ainda que não detalhadamente descrita do ponto de vista operacional.

Em relação ao método, fora realizado tratamento cartográfico através de sobreposição de camadas por meio dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), de modo a compilar as cartas de condição de uso e ocupação da terra, modelo digital de elevação (com as respectivas isolinhas altimétricas) e interpolação dos elementos temperatura e umidade relativa do ar mensurados nos períodos úmidos e secos sob análise.

A combinação das mesmas revelou indícios do comportamento topo e microclimático sob condições sinóticas instáveis e estáveis, além da

especialização média dos elementos em cada uma das situações. A partir disso, mostrou-se razoável identificar padrões espaciais componentes de níveis de organização escalar fortemente influenciados pela produção antrópica de calor, além daqueles influenciados em maior grau pelas condições geográficas locais do município (“naturais”).

As cartas que compuseram este exercício foram confeccionadas a partir da aquisição das imagens do satélite *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), tratadas e divulgadas no projeto brasileiro Topodata, sob coordenação do INPE, assim como dos satélites ASTER DEM e Landsat 8, de propriedade do *United States Geological Survey* (USGS).

Da primeira delas, extraiu-se curvas de nível com intervalos de cota de quinze metros, valor este que apresentou resultado mais satisfatório do ponto de vista cartográfico, uma vez que o projeto do referido satélite possui resolução espacial de apenas trinta metros. A partir delas fora elaborado o modelo de rede irregular triangular (TIN), responsável pela visualização em terceira dimensão do terreno.

Dos dois últimos satélites, extraiu-se o mapa hipsométrico da região do município de Teófilo Otoni, a partir de mosaico das cenas ASTER, realizado no *software* Envi 5.0, e da sua natural rugosidade do terreno. Do Landsat 8 fora realizada a composição das bandas espectrais em 5-4-1 (infravermelho), para realce das coberturas vegetacionais e posterior classificação do uso da terra no *software* Spring 5.2.7, em que fora realizada amostragem de pixels da imagem com representatividade à respectiva classe de uso superior a 80% (demais amostras foram excluídas ou remapeadas).

Utilizou-se ainda, o classificador Maxver-ICM, que além de promover a maximização da função de verossimilhança, considera também a dependência espacial das amostras, isto é, a sua vizinhança (a classe atribuída depende tanto do valor observado naquele pixel, quanto das classes atribuídas aos seus vizinhos).

Por fim, a interpolação das variáveis climáticas mensuradas nas diferentes localidades da área de estudo foi submetida a testes, a fim de se identificar o

melhor algoritmo interpolador para subsidiar, do ponto de vista da homogeneidade estatística, o mapeamento das unidades climáticas. Entre eles foram testados o inverso da distância ponderada (IDW), a krigagem ordinária, a função radial básica (método de *spline*) e a polinomial local.

Segundo Barbosa (2006), a krigagem (*kriging*) é um método geoestatístico que permite estimar o valor espacial desconhecido a partir de um conjunto de dados quantitativos disponíveis. Parte do pressuposto de que quanto mais próximo de um ponto cujo valor é conhecido, mais semelhantes a ele serão os resultados encontrados na distribuição espacial. Contudo, ao distanciar-se demais do referido ponto, a correlação espacial pode deixar de existir, o que inviabiliza o método quando a malha de pontos com valores conhecidos é espacialmente limitada (ou concentrada em pequena área).

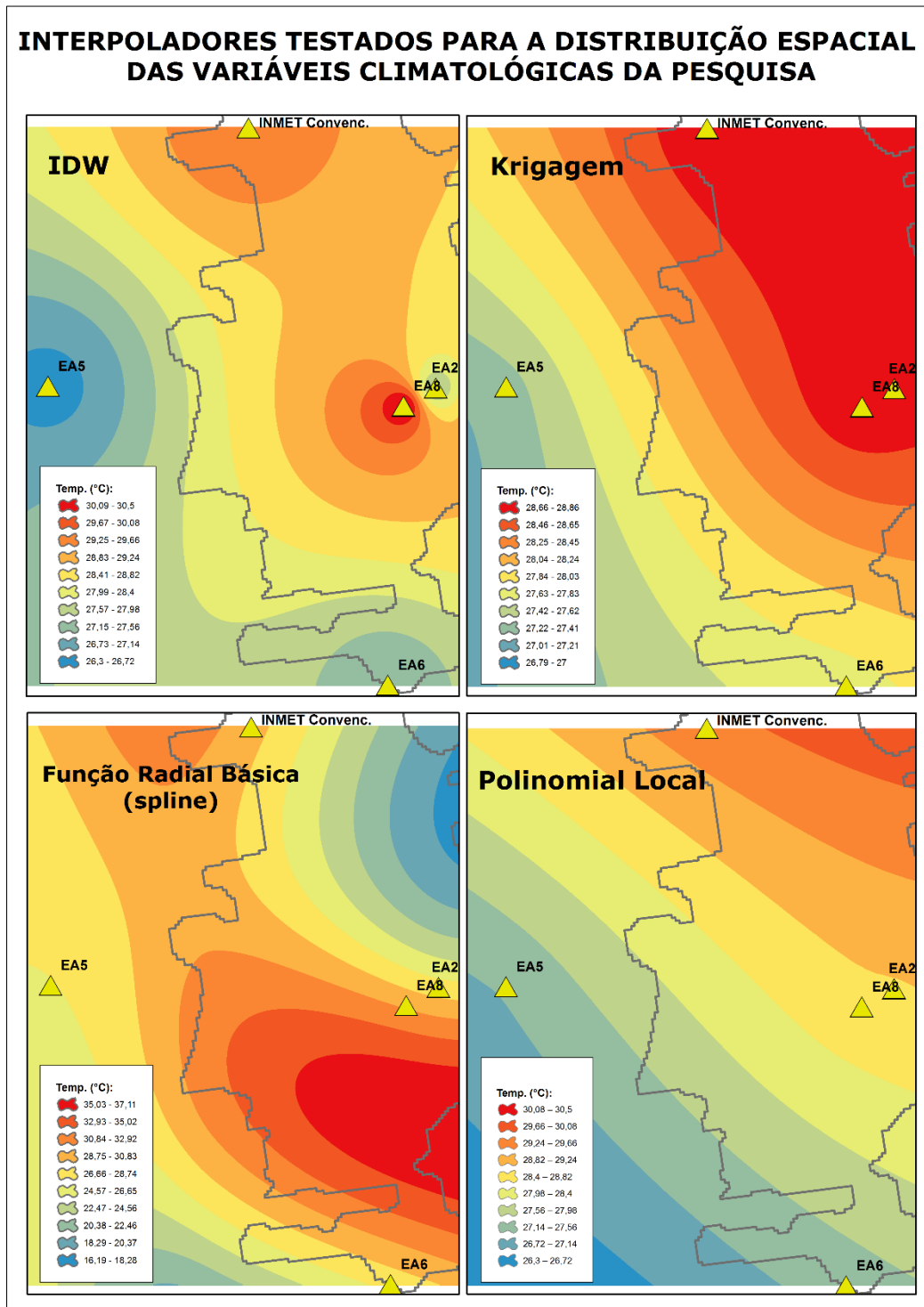
Nestas situações, torna-se necessário, do ponto de vista estatístico, optar por método que aplique maior peso aos valores amostrados à sua volta em relação aos mais distantes, do que incorrer na quebra da correlação espacial. O IDW, segundo Jakob (2006), executa bem tal premissa, uma vez que para prever um valor para algum local não mensurado, usará os valores amostrados à sua volta, de modo que cada ponto possua uma influência no novo ponto, que por sua vez, diminuirá na medida em que a distância aumenta. No entanto, a baixa malha amostral utilizada neste método pode resultar em círculos concêntricos (*bullseye*), com expressivas nuances entre classe e outra.

A função radial básica, por sua vez, apresenta um conjunto de métodos determinísticos utilizados para o cálculo de superfícies suavizadas de um grande número de pontos. No entanto, quando existem muitas mudanças nos valores mensurados e em curta distância espacial, o último autor considera o emprego do método inapropriado, uma vez que não permite que seja investigada a auto correlação entre os dados.

A interpolação polinomial local, por fim, é um método determinístico que não apresenta exatidão, uma vez que suaviza os dados de maneira geral. Produz “superfícies” com muito mais variações se comparado aos demais interpoladores e é indicada quando a variável estudada apresenta curta variação de tendência entre os pontos conhecidos.

A comparação dos diferentes interpoladores em um exemplo aplicado ao município de Teófilo Otoni e baseado nas Estações Amostrais (distribuição de temperaturas do ar) pode ser visualizado na **figura 26** abaixo.

Figura 26. Interpoladores geostatísticos testados para utilização na pesquisa. Cada método estima os valores máximos e mínimos do modelo de maneira diferente e somente a normalização dos resultados permitiria o emprego de rampa de cores única. Estações Amostrais em pontos amarelos e mancha urbana do município de Teófilo Otoni em contorno preto. Escala: 1:40.000. Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.



A análise dos diferentes resultados permite justificar a escolha do IDW como o interpolador padrão adotado nesta pesquisa, que mesmo superestimando as isolinhas de corte, ainda assim melhor representou a distribuição das temperaturas e melhor oferecerá suporte à delimitação das unidades climáticas naturais e urbanas da área de estudo.

Conforme aferiu Assis (2010), o modelo digital de elevação, em concomitância com a carta de uso da terra, servirá como balizador para a determinação dos limites entre as unidades topo e microclimáticas, aqui identificadas para o município de Teófilo Otoni e necessariamente orientadas pelos controles de superfície, sejam estes “naturais” ou urbanos.

CAPÍTULO IV – RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Os climas regionais e o método *fuzzy clustering*

No exercício de compreender a organização escalar regional em que se inserem os municípios brasileiros, comumente lança-se mão de modelos de classificação climática de caráter empírico ou genérico, em que são empregadas uma ou duas variáveis para caracterizar o comportamento “geral” dos elementos climáticos, além de delimitar cartesianamente seus limites e transições.

Tal visão converge de modo a ofuscar a ideia do ritmo de manifestação dos controles atmosféricos e sua repercussão espacial sobre as superfícies terrestres, como discutido, expressa em seus estados médios, habituais e, sobretudo, nos desvios associados (eventos extremos de chuva, períodos prolongados de veranico, episódios de geada, etc.).

A iniciar-se por Köppen, que em 1901, produziu a primeira proposta de classificação climática quantitativa para o globo terrestre e que é reconhecida e utilizada até os dias atuais, conforme verificou Alvares *et. al.* (2013), diversas técnicas e modelos foram produzidos e aperfeiçoados.

Este primeiro, por exemplo, consiste-se na observação dos elementos climáticos temperatura e precipitação, conforme a distribuição das porções vegetacionais de cada região. Thornthwaite & Matter, mais tarde, implementaram modelo para cálculo do balanço hídrico superficial, em que são levadas em consideração variáveis que tangem inclusive ao potencial de armazenamento de água dos solos, a eficiência da evapotranspiração e uma representativa série histórica de dados de precipitação. Este modelo, como visto, inclusive fora utilizado para a determinação dos períodos secos e úmidos do trabalho de campo desta pesquisa.

De fato, tais classificações são importantes para a compreensão dos climas regionais e para o manejo organizado das reproduções humanas no espaço pelos órgãos gestores. Contudo, a ausência de abordagem da atmosfera como detentora de caráter dinâmico, contemplando a evolução e repercussão das massas de ar e sistemas frontais (apesar de intrinsecamente embutidos nos

resultados médios observados nos modelos de Köppen e Thornthwaite & Mather), acaba por ignorar a ideia do ritmo de sucessão dos tipos de tempo.

E ao se trabalhar com medidas de tendência central nos referidos modelos é também suprimida a noção de frequência de participação de determinada localidade em cada uma das tipologias propostas e principalmente, em mais de uma delas, o que é perfeitamente possível, tendo em vista a gama de tipos de tempo observáveis nas áreas tropicais.

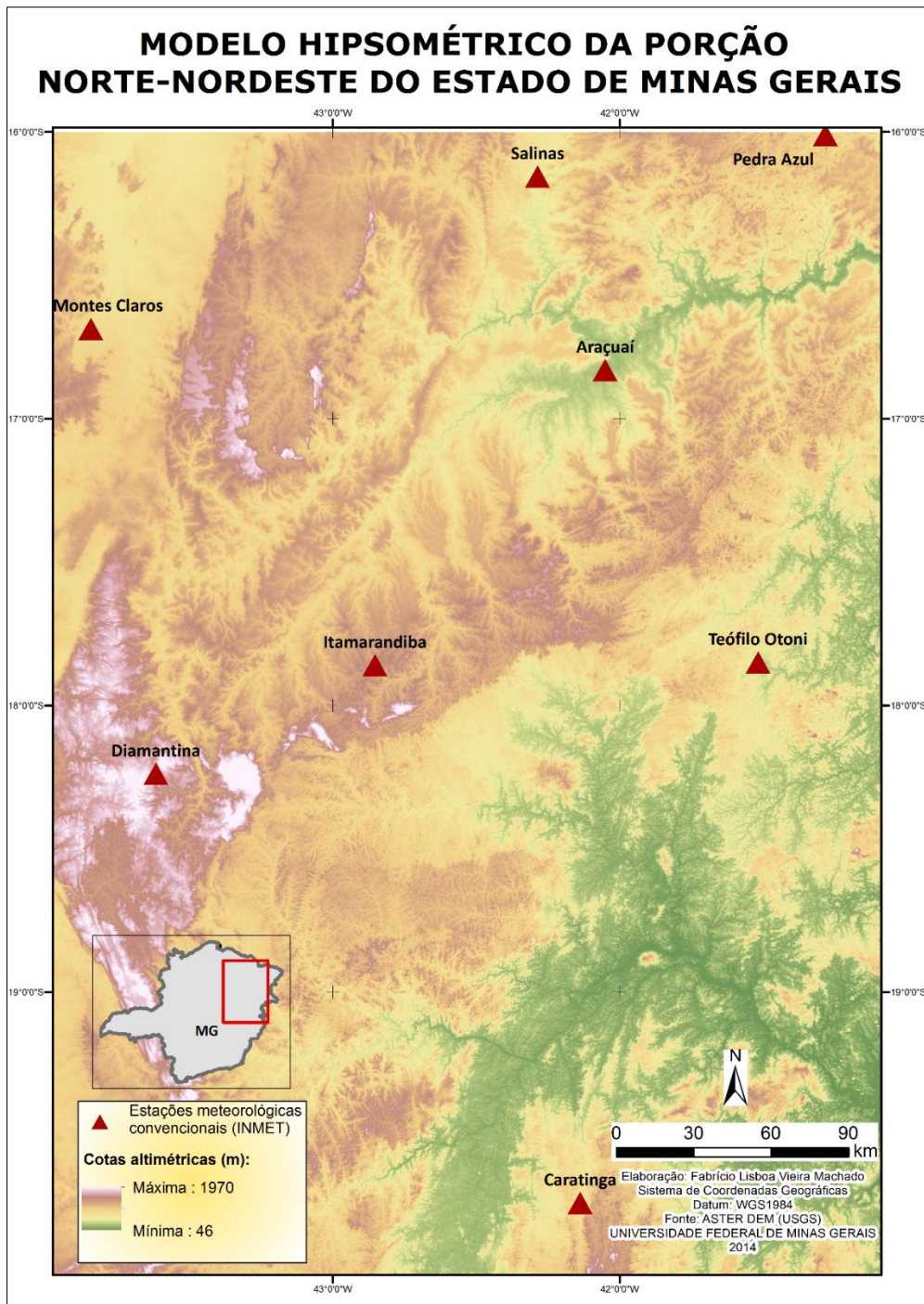
Na região de Teófilo Otoni, por exemplo, o diagnóstico ambiental da área de estudo (caracterização geral) revelou série de fatores fisiográficos componentes da paisagem natural e urbana possivelmente capazes de promover a migração de uma determinada classe climática genérica para outra, dependendo do tipo de tempo atuante. Sem a preocupação com a dinâmica atmosférica, proposta nos modelos de Strahler¹², por exemplo, dificilmente seria possível alcançar tal aferição.

Conforme discutido no capítulo metodológico, é nesta situação que o emprego do modelo de agrupamentos nebulosos (*fuzzy clusters*) se mostra salutar. Isso porque o método estatístico empregado, permite a inclusão de qualquer dado de natureza quantitativa a mais de um grupo simultaneamente, baseando-se na aceitação de diferentes níveis de pertencimento. Isso possibilita a avaliação dos sistemas atmosféricos e a sua repercussão em superfície.

Tamanho a extensão territorial da porção norte-nordeste de Minas Gerais, bem como a sua diversidade paisagística, que procurou-se avaliar os climas regionais oriundos da inter-relação com os variados estados atmosféricos, além da inserção de Teófilo Otoni nesta organização. Os aspectos fisiográficos mencionados, bem como a distribuição das estações meteorológicas utilizadas seguem sintetizadas em modelo hipsométrico (**figura 27**).

¹² Modelo conhecido pelo caráter genético, descritivo-explicativo, baseado na natureza dos movimentos e processos dos sistemas atmosféricos. Segundo Nóbrega (2010), estes são fatores verdadeiramente ativos no que diz respeito à configuração do tempo e clima de uma região.

Figura 27. Mapa hipsométrico com a distribuição das estações meteorológicas mineiras trabalhadas. Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.



A análise dos agrupamentos nebulosos modelados revelou, inicialmente, razoável quantidade de estações cujo período úmido estivera mais predominantemente associado a um mesmo *cluster* (I). Os municípios de Araçuaí, Caravelas, Montes Claros, Pedra Azul, Salinas e Teófilo Otoni apresentam características geomorfológicas e fitogeográficas razoavelmente

semelhantes, no que diz respeito à porção do espaço em que estão assentados.

As cotas altimétricas das referidas extensões municipais em território mineiro variam de pouco mais de 350 metros, a cotas médias próximas de 600 metros, o que não é significativamente representativo quando pensado o gradiente térmico e barométrico teórico existente na variação da temperatura a cada 100 metros de altitude (cerca de 0,65°C, aproximadamente). A cobertura da terra, marcadamente caracterizada pela transição dos biomas da Mata Atlântica e do Cerrado, em seus estágios avançados de supressão, ainda contribui para ratificar a inserção das estações em um mesmo *cluster* (I) com maiores graus de pertencimento, se comparado às demais.

Vale destacar, que o referido agrupamento reuniu estações cujos dados associavam-se somente ao período úmido da série histórica trabalhada, o que permite inferir que o *cluster* (I) é fortemente caracterizado por situações temporais habituais das estações chuvosas de sudeste nesta latitude, além da participação do fator relevo. Isso porque os centros de baixa pressão formados sobre o continente, a influência dos sistemas frontais e das zonas de convergência de umidade estão associados à instabilidade atmosférica típica de verão, à elevada convectividade e, portanto, pela imposição das características relativas à ação desses sistemas.

De tal maneira, a imposição dos sistemas instáveis, cuja gênese se dá predominantemente em escalas zonais e regionais, acaba por desorganizar ou mesmo suprimir os climas produzidos nas escalas inferiores quando em tais condições temporais (como os climas urbanos, por exemplo). Resultado disso é a manifestação em maior força dos controles naturais, conforme observaram Machado & Jardim (2014), através da análise rítmica do clima realizada no Aglomerado da Serra, em Belo Horizonte, e como é o caso do papel do relevo na gênese do *cluster* (I).

Contudo, ao observar os coeficientes de associação de cada estação aos variados *clusters*, é notória a pouca representatividade do município de Caravelas (BA) e, intrinsecamente, de seu contexto espacial, na conformação do primeiro agrupamento (42,6%). Isso muito provavelmente está associado à

distribuição pluviométrica da estação, cujos períodos de maiores *déficits* e excedentes são relativamente distintos dos predominantemente encontrados nas estações mineiras (respectivamente em agosto e novembro, no caso baiano). Os climogramas (**figuras 28 e 29**) a seguir ilustram a diferença nítida existente entre a distribuição das variáveis climáticas de Teófilo Otoni (MG) e Caravelas (BA), contextos (climas) regionais eminentemente diferentes.

Figura 28. Sazonalidade da temperatura e precipitação no município de Teófilo Otoni, Minas Gerais. Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.

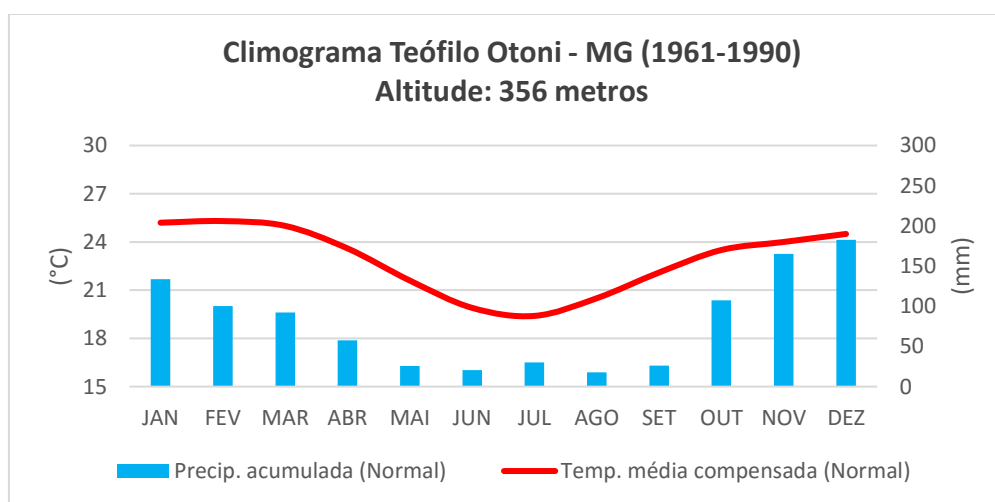
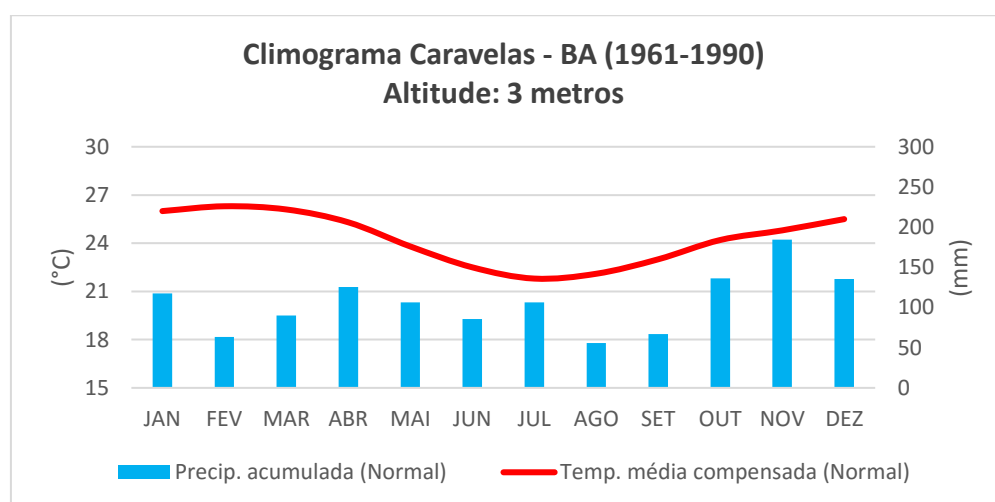


Figura 29. Sazonalidade da temperatura e precipitação no município de Caravelas, Bahia. Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.



O motivo disso está ligado à participação direta do Oceano Atlântico na manutenção do campo hídrico local e aos mecanismos de circulação secundária atuantes nas zonas costeiras do Nordeste brasileiro, como por exemplo, os distúrbios ondulatórios de leste, que contribuem para a

pluviosidade média concentrada mais habitualmente nas estações de outono e primavera. A **tabela 4** apresenta os coeficientes de associação de cada estação aos *fuzzy clusters* modelados.

Tabela 4. Coeficientes de associação das variáveis climatológicas aos diferentes *fuzzy clusters*. Valores de maior representatividade grafados em negrito.

ID	Estação	Período	Cluster I	Cluster II	Cluster III	Cluster IV
1	Araçuaí	Úmido	0,62664	0,10280	0,17114	0,09943
2	Araçuaí	Seco	0,11415	0,66059	0,09183	0,13343
3	Caratinga	Úmido	0,31502	0,07207	0,51276	0,10016
4	Caratinga	Seco	0,05768	0,06786	0,07124	0,80322
5	Caravelas	Úmido	0,42623	0,11019	0,32596	0,13763
6	Caravelas	Seco	0,26630	0,11949	0,39402	0,22020
7	Diamantina	Úmido	0,17117	0,09179	0,58780	0,14924
8	Diamantina	Seco	0,12870	0,19172	0,15505	0,52453
9	Itamarandiba	Úmido	0,12609	0,05079	0,74278	0,08033
10	Itamarandiba	Seco	0,09637	0,11217	0,12516	0,66631
11	Montes Claros	Úmido	0,36888	0,19071	0,26711	0,17330
12	Montes Claros	Seco	0,07184	0,75764	0,06533	0,10520
13	Pedra Azul	Úmido	0,69066	0,06528	0,16657	0,07749
14	Pedra Azul	Seco	0,11296	0,15887	0,11952	0,60864
15	Salinas	Úmido	0,77143	0,04835	0,12372	0,05650
16	Salinas	Seco	0,03822	0,87725	0,03311	0,05143
17	Teófilo Otoni	Úmido	0,82227	0,03905	0,09502	0,04367
18	Teófilo Otoni	Seco	0,12545	0,12808	0,14072	0,60576

A participação de Montes Claros na composição característica do primeiro *cluster* também é pouco expressiva (da ordem de 36,8%), uma vez que mesmo em período úmido, seus valores médios históricos de umidade relativa do ar são os mais baixos dentre as estações amostrais, registrando 67,86%. Tal quantitativo a aproxima muito do conjunto de parâmetros responsáveis pela organização do *cluster* (II), a quem registra coeficiente de associação expressivo de 0,757 (ou 75,7%) no período seco.

Juntamente da referida cidade, encontram-se mais predominantemente associados os municípios de Araçuaí e Salinas, ambos cujos dados iterados no modelo *fuzzy* dizem respeito ao período seco. A sua inclusão em um mesmo provável clima regional também é reforçada por Ferreira & Mendes Silva (2012), que identificaram a ocorrência de padrão diferenciado de distribuição temporal e espacial da pluviosidade no setor central da bacia do rio Jequitinhonha, onde se localizam os municípios. É verificado que no período

seco, os totais pluviométricos não superam 100 mm em nenhuma das estações, o que contribuiu para a predominância das fitofisionomias da caatinga na região.

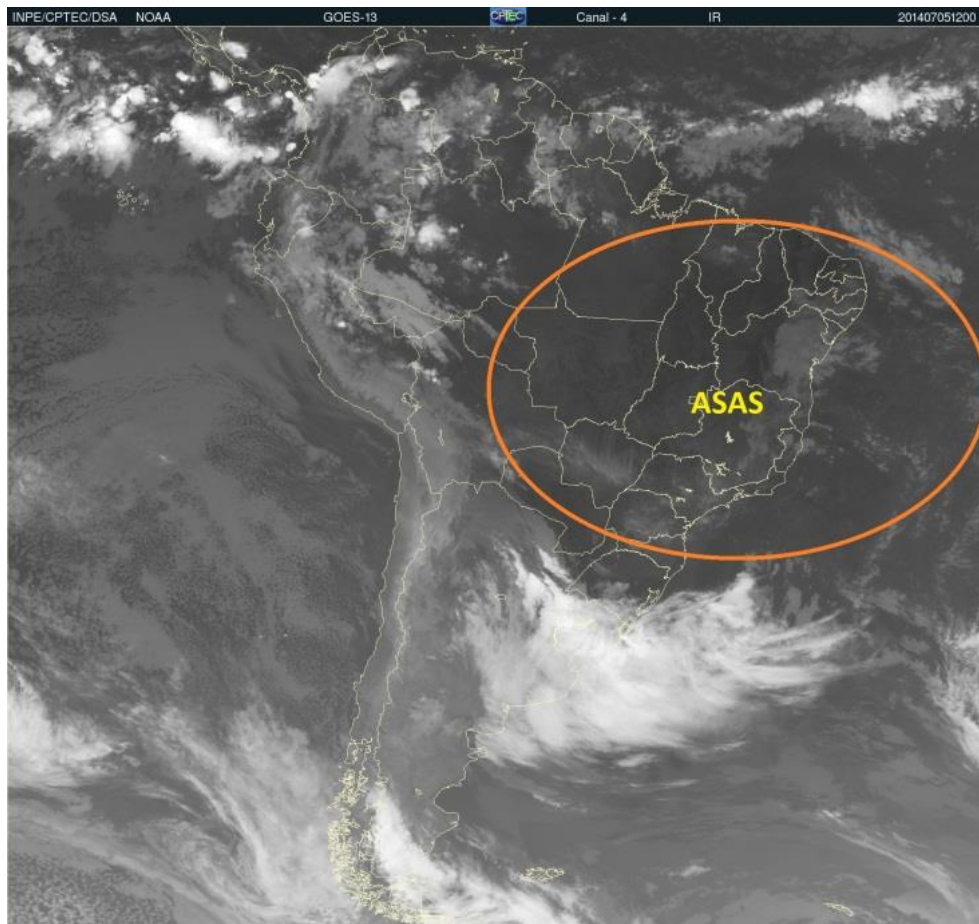
No caso de Montes Claros, que também fora inserida no *cluster* (II), fica evidente que o observado se deve à participação da Serra do Espinhaço como “barreira” à entrada de umidade oceânica para as porções a oeste, mas não somente. A abordagem climatológica dinâmica e a preocupação escalar intrínseca à tal ciência revela também (e talvez principalmente) a atuação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), como importante fator responsável pela organização das variáveis climáticas sob as faixas territoriais das três cidades.

Ao observar as imagens de satélite adquiridas junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), para o período de inverno do ano de 2014 (**figura 30**), por exemplo, é notável a imposição desse sistema de alta pressão sobre grande parte do país. O mesmo é caracterizado como zona de descida vertical de ar, cuja atuação promove o enfraquecimento das correntes convectivas de superfície, inibe a formação de nebulosidade de grande desenvolvimento vertical e garante condições temporais estáveis.

Dessa forma, a radiação solar pode incidir sobre a superfície terrestre de maneira direta em maior número de situações, o que promove o aquecimento diferencial dos distintos tipos de cobertura. O saldo energético, portanto, resulta em elevadas amplitudes térmicas diárias, além de permitir maior manifestação dos climas produzidos nas escalas inferiores.

Contudo, mesmo com a imposição do centro de alta pressão é possível visualizar nebulosidade na faixa central do estado de Minas Gerais, prolongando-se pelo território baiano e litoral de Nordeste. Trata-se da imposição nítida do domínio macroestrutural da Serra Espinhaço, responsável pela ascensão mecânica do ar advectado e, por vezes, sua condensação. As áreas úmidas e ainda recobertas, em parte, por Mata Atlântica também respondem pela nebulosidade observada no Nordeste.

Figura 30. Imagem do satélite GOES-13, na banda (faixa espectral) do infravermelho 4, às 12h do dia 05 de julho de 2014, com a representação aparente da atuação do ASAS. Adaptado de Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.



É interessante destacar também, que como célula anticiclônica, seu movimento giratório se dá no sentido anti-horário, o que resulta no registro por parte das estações meteorológicas, de vetores de direção predominante dos ventos de origem leste e nordeste. Além da importância dos fatores dinâmicos (relativos à posição e frequência dos núcleos de alta pressão no decorrer do ano), isso reforça ainda o efeito adiabático causado pelo Espinhaço, capaz de afetar o movimento descendente de ar onde está localizado o município de Montes Claros (posição de sotavento em relação aos ventos predominantes advindos do oceano Atlântico).

Salinas e Araçuaí, por sua vez, encontram-se na borda leste do orógeno, mas contraditoriamente *a priori*, também pertencem ao *cluster* (II). Se analisado o mapa hipsométrico, rapidamente se percebe a situação de fundo de vale em que estão instaladas as cidades. Em tipos de tempo predominantemente estáveis, conforme dito, os fatores envolvidos na organização dos climas em

escalas inferiores são potencializados. Resultado disso, neste caso, é a criação dos padrões de circulação de brisa montanha-vale, capazes de confinar o ar quente no fundo de vale em variadas situações.

O *cluster* (III), por sua vez é caracterizado substancialmente pelas estações em patamares altimétricos mais elevados e em tipos de tempo instável, cujas temperaturas médias das séries históricas estiveram sempre abaixo dos 24°C. Neste grupo, através da interpretação do *hard cluster*, elencam-se os municípios de Caratinga, Diamantina e Itamarandiba, em série de dados do período úmido, além do município baiano de Caravelas em período seco. A inclusão deste último, se deve mais uma vez aos controles atmosféricos atuantes de realidade regional distinta dos territórios mineiros e às trocas energéticas oceano-continente a que está submetido, responsáveis pelas configurações sazonais diferentes e que aproximam seu período aqui dito seco, à realidade regional do *cluster* (III).

A associação predominante de Caratinga ao *cluster* (III), cuja cota altimétrica não é tão elevada quanto Diamantina e Itamarandiba (que ficam próximas dos mil metros de altitude), remonta também ao fator latitudinal, registrado entre 19° e 20°S. Este fato contribui para a maior frequência de participação dos sistemas frontais, orientando os tipos de tempo a condições instáveis, sobretudo no trimestre de verão, quando os totais precipitados ultrapassam os 200 mm mensais. As **figuras 31, 32 e 33** ilustram a sazonalidade dos elementos climáticos dos municípios componentes do *cluster* (III).

Figura 31. Sazonalidade da temperatura e precipitação no município de Caratinga, Minas Gerais. Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.

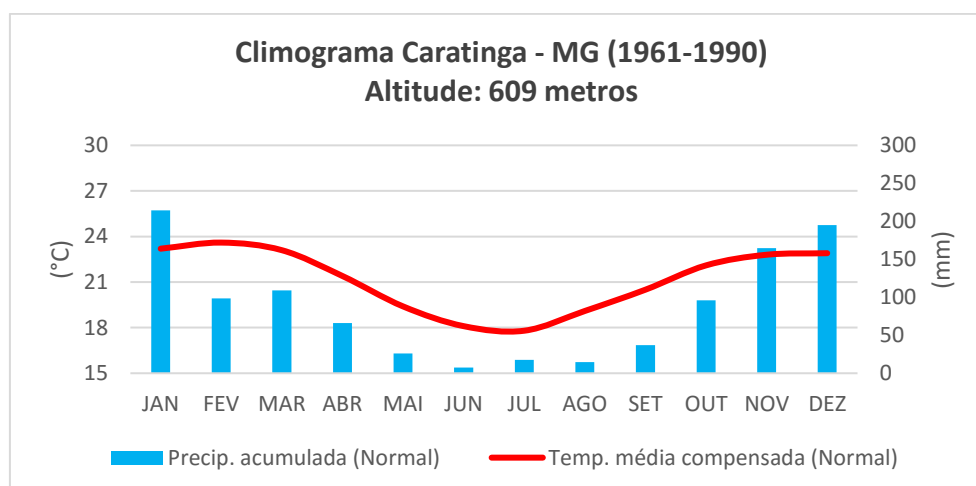


Figura 32. Sazonalidade da temperatura e precipitação no município de Diamantina, Minas Gerais. Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.

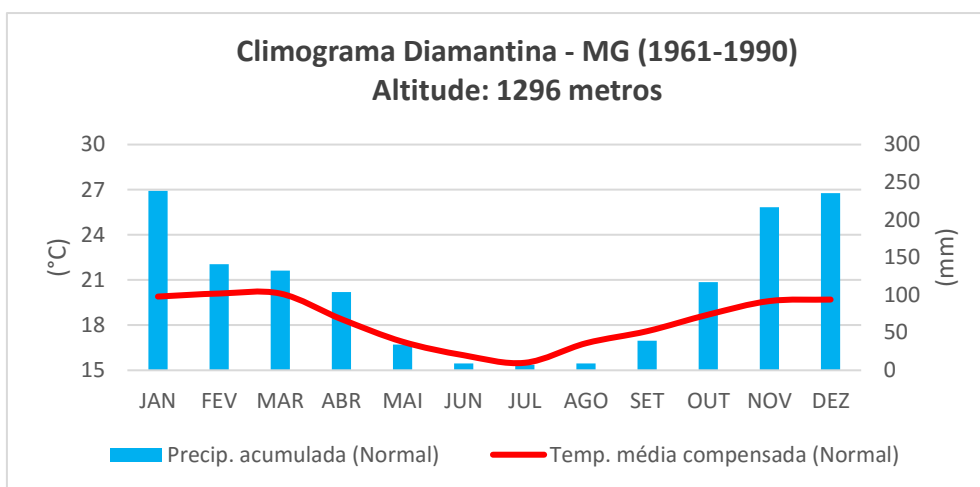
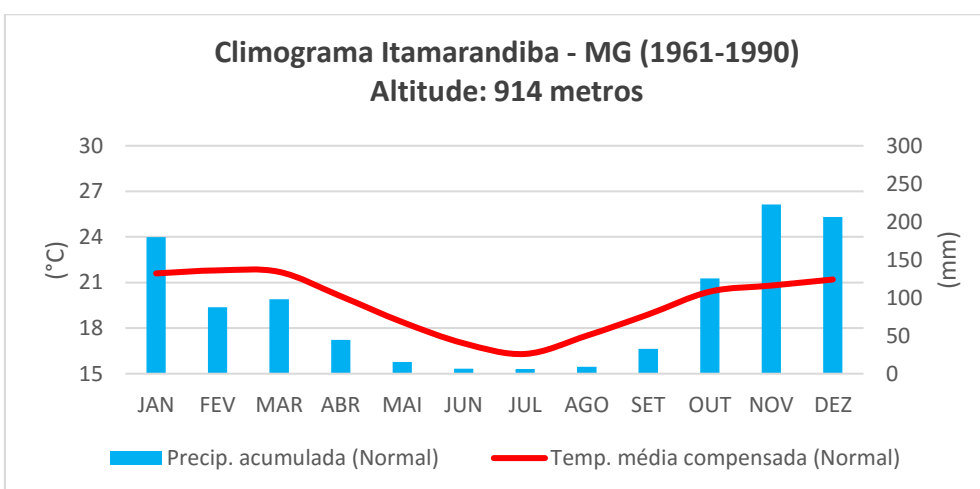


Figura 33. Sazonalidade da temperatura e precipitação no município de Itamarandiba, Minas Gerais. Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.



A proximidade com o Parque Estadual do Rio Doce e à RPPN Mata do Sossego, Unidades de Conservação que asseguram grandes extensões territoriais de Mata Atlântica preservada, também é fator justificativo para a inclusão da cidade de Caratinga ao terceiro *cluster* (*input* de umidade no campo higrométrico local).

Porém, vale destacar que o seu coeficiente de associação é de apenas 0,512, confundindo-se muito com o *cluster* (I), onde registrou 31,5% de associação. O motivo provavelmente está associado à questão altitudinal, visto que se encontra a 609 metros acima do nível do mar (muito próxima, por exemplo, dos 648 metros de altitude da estação meteorológica de Pedra Azul, no norte de Minas Gerais).

O quarto *cluster*, por fim, reúne estações que na totalidade dos casos de maior pertencimento, estiveram associadas eminentemente aos períodos secos das séries históricas computadas no modelo. Todas as cidades aqui incluídas (Caratinga, Diamantina, Itamarandiba, Pedra Azul e Teófilo Otoni) ou compartilham de patamar altimétrico semelhante, ou da relativa proximidade com o oceano.

Mesmo Pedra Azul, localizada em menor altitude que as demais estações mencionadas e em latitude também menor, apresentou razoável coeficiente de associação (da ordem de 0,608), uma vez que se forem calculadas as distâncias mínimas das estações até o oceano, a referida cidade é aquela que se encontra mais próxima do mar em território mineiro. A superfície ainda recoberta por vegetação em grande parte (mesmo que por eucaliptais), principalmente nas porções a leste, também contribui para a manutenção de tais condições em período seco.

Em suma, os resultados alcançados segmentaram quatro agrupamentos nebulosos característicos, associados às: i) altitudes menos elevadas das porções do norte de Minas Gerais, onde a participação dos sistemas instáveis reforça os aspectos naturais da paisagem em período úmido (e onde se insere em maior predominância estatística o município de Teófilo Otoni); ii) cidades encaixadas em condições de vale, cuja participação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul nos períodos secos se mostra predominante; iii) cidades em elevadas cotas altimétricas sob condições instáveis e/ou em proximidade com o oceano nos períodos úmidos; iv) cidades com condições geomorfológicas semelhantes ao *cluster* (III), mas sob tipos de tempo estável.

Ao comparar os resultados obtidos após a *clusterização*, com a classificação climática de Köppen, por exemplo, nota-se que a Serra do Espinhaço é de fato participativa na gênese de diferentes climas regionais da porção em estudo.

Conforme discutido, adotando tal modelo genérico não seria possível estabelecer vínculos imediatos com os aspectos sinóticos, responsáveis primários pela gênese dos climas regionais. Prova disso é a presença constante do *cluster* (IV), associado aos períodos secos das cidades de patamar altimétrico elevado, mas cuja umidade relativa média ainda é

razoavelmente elevada (média em torno de 73%), resposta relacionada à maior frequência de atuação de frentes do que no *cluster* I, por exemplo.

E em relação à frequência, observa-se pela análise dos *fuzzy clusters* que as estações modeladas estiveram presentes em quatro tipologias de Köppen distintas, em territórios mineiro e baiano, quando realizada tal comparação. A de maior recorrência de pertencimento, com coeficiente de associação superior a 46%, fora a associada aos climas Tropicais do Brasil Central, com médias de temperatura superiores aos 18°C em todos os meses, sendo seis destes de período seco, o que sugere a atuação predominante do ASAS sazonalmente.

Além de ratificar a empregabilidade dos *fuzzy clusters* no estudo dinâmico do clima, a avaliação da frequência reforça ainda a limitação da lógica clássica embutida no modelo empírico, que atribuiria uma única tipologia à cada município. Seria assim, portanto, responsável por suprimir as participações dos variados tipos de tempo na configuração e reconfiguração das classificações climáticas de um território, somente aferidas com o auxílio da lógica nebulosa, somada às imagens de satélite. O quantitativo das frequências pode ser visualizado na **tabela 5** a seguir.

Tabela 5. Frequência de associação das estações meteorológicas às tipologias climáticas de Köppen (Tropical do Brasil Central), segundo os resultados dos *fuzzy clusters*.

Estação	Quente: média > 18°C em todos os meses (6 meses secos)	Quente: média > 18°C em todos os meses (4 a 5 meses secos)	Subquente: média entre 15°C e 18°C em pelo menos um mês (4 a 5 meses secos)	Mesotérmico brando: média entre 10°C e 15°C (4 a 5 meses úmidos)
Araçuaí	3	0	0	0
Caratinga	0	0	0	2
Caravelas	0	0	0	0
Diamantina	0	0	1	1
Itamarandiba	0	0	2	0
Montes Claros	3	0	0	0
Pedra Azul	0	2	0	0
Salinas	2	0	0	0
Teófilo Otoni	0	0	2	0
Total	8	2	5	3
Frequência	44,4%	11,1%	27,8%	16,7%

4.2 A produção do clima local de Teófilo Otoni: análise das séries históricas de dados

Diferentemente da escala regional, a análise dos climas produzidos em realidade local, cuja participação das atividades antrópicas ganha maior representatividade, exige a adoção de novos instrumentos de análise, conforme discute Conti (1995). Sem perder de vista a conexão com as escalas de nível superior, responsáveis pela definição dos tipos de tempo, no nível local necessariamente deverá ser observada a variação diária dos elementos climáticos (em representativa série histórica de dados) e em inter-relação constante com outras áreas do conhecimento geográfico.

Para a composição do clima local em que se insere o município de Teófilo Otoni, a presente pesquisa, como visto, divide-se em dois momentos. Primeiramente, será aqui analisada a série histórica dos dados da estação meteorológica convencional do INMET para o município, de modo a identificar as variabilidades naturais do clima (impostos por mecanismos, principalmente, de nível superior) e de que forma o processo de expansão da mancha urbana contribuiu (ou não) para o rearranjo dos padrões observados. Neste momento, ainda será possível correlacionar o dado de natureza quantitativa (que expressa a repercussão de um fenômeno natural ou tipo de tempo) com possíveis impactos ambientais e sociais históricos verificados, oriundos do desordenamento urbano frente aos variados estados atmosféricos.

Nos tópicos seguintes, conforme elucidado no capítulo metodológico, seguir-se-á à interpretação dos dados e tipos de tempo observados em campo, em que a partir da análise rítmica proposta por Monteiro (1971) serão conhecidos padrões de organização topo e microclimática, responsáveis pela diferenciação da repercussão espacial de um mesmo tipo de tempo entre as nove Estações Amostrais trabalhadas. A composição e o arranjo de tais escalas de nível inferior, além de permitir avaliar também a resposta superficial frente a um desvio rítmico, servirão como balizadores para a produção da carta-síntese de Unidades Climáticas municipais.

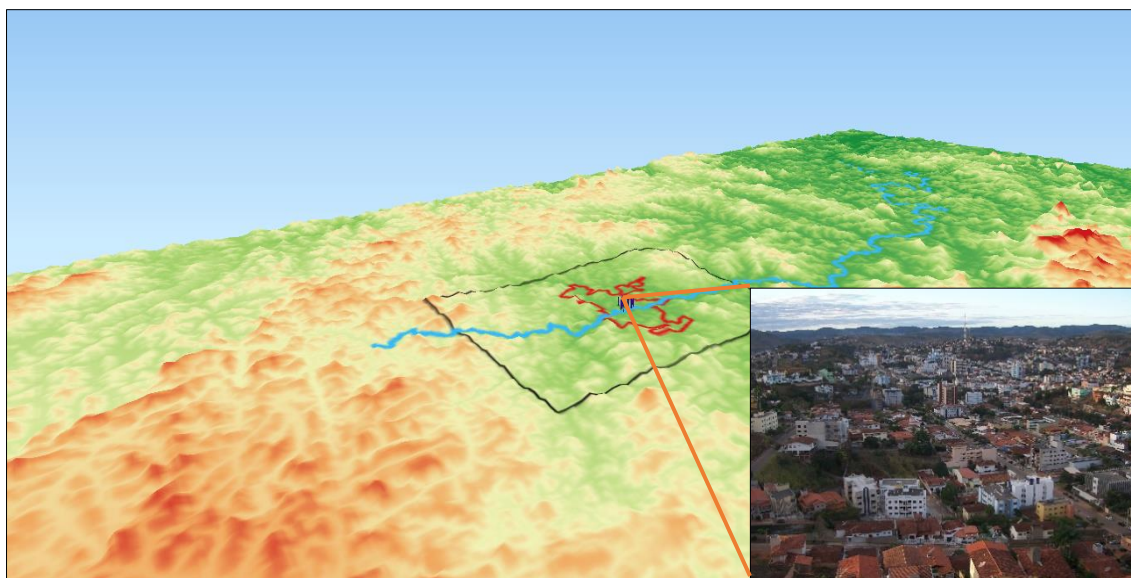
Dando início à discussão, ao recortar o modelo hipsométrico local apresentado, focando-se na realidade fisiográfica do polígono da área de estudo, logo se

observa a inserção da cidade de Teófilo Otoni em vale fluvial escavado pelo rio Todos os Santos e seus afluentes. Com variações altimétricas de mais de 350 metros em raio inferior a 10 km, torna-se razoável afirmar a representatividade da estação meteorológica convencional do município quanto à reflexão de condições temporais de origem local.

Isso se deve ao fato de que a situação morfológica do município é responsável por confinar¹³ parte da parcela de ar em contato direto com a superfície urbana, o que, dessa forma, a possibilita estar sujeita aos fatores antrópicos responsáveis pela organização do clima em escala local, dependendo do tipo de tempo predominante ao longo do ano. Dessa forma, o dado mensurado pela estação meteorológica (posicionada em área urbana) tende a refletir condições do seu sítio com razoável expressão, o que permitirá avaliar a interferência de tais fatores no comportamento dos elementos climáticos ao longo dos anos.

A **figura 34** permite verificar a situação morfológica de confinamento relativo do município de Teófilo Otoni (MG).

Figura 34. Perfil hipsométrico do vale do rio Todos Santos (azul), onde está instalado o município de Teófilo Otoni. Cores fortes indicam elevação das cotas altimétricas. Mancha urbana destacada em contorno vermelho. Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.



Conforme verificado por Lombardo (2009), em São Paulo e Lisboa, e por Lima *et.al.* (2012) na cidade paranaense de Cascavel, interessante indicador da

¹³ Confinamento teórico que poderá ser avaliado, em parte, na interpretação do comportamento sinótico geral dos períodos de campo.

participação urbana na regulação da temperatura do ar é a variabilidade dos valores mínimos absolutos observados ao longo dos anos, que em função da adição de calor de origem antropogênica (formas urbanas), tem se mostrado mais sensível a elevações.

Em Teófilo Otoni, as menores temperaturas registradas desde a disponibilização dos dados da estação convencional a partir de 1961¹⁴ foram de 13,2°C em 18 de julho de 1980, seguida por 13,4°C nos meses de julho de 1986 e 2004. Integram este ranking, temperaturas mínimas registradas, mais uma vez em julho, nos anos 1962 e 1963 (13,7°C e 13,8°C, respectivamente).

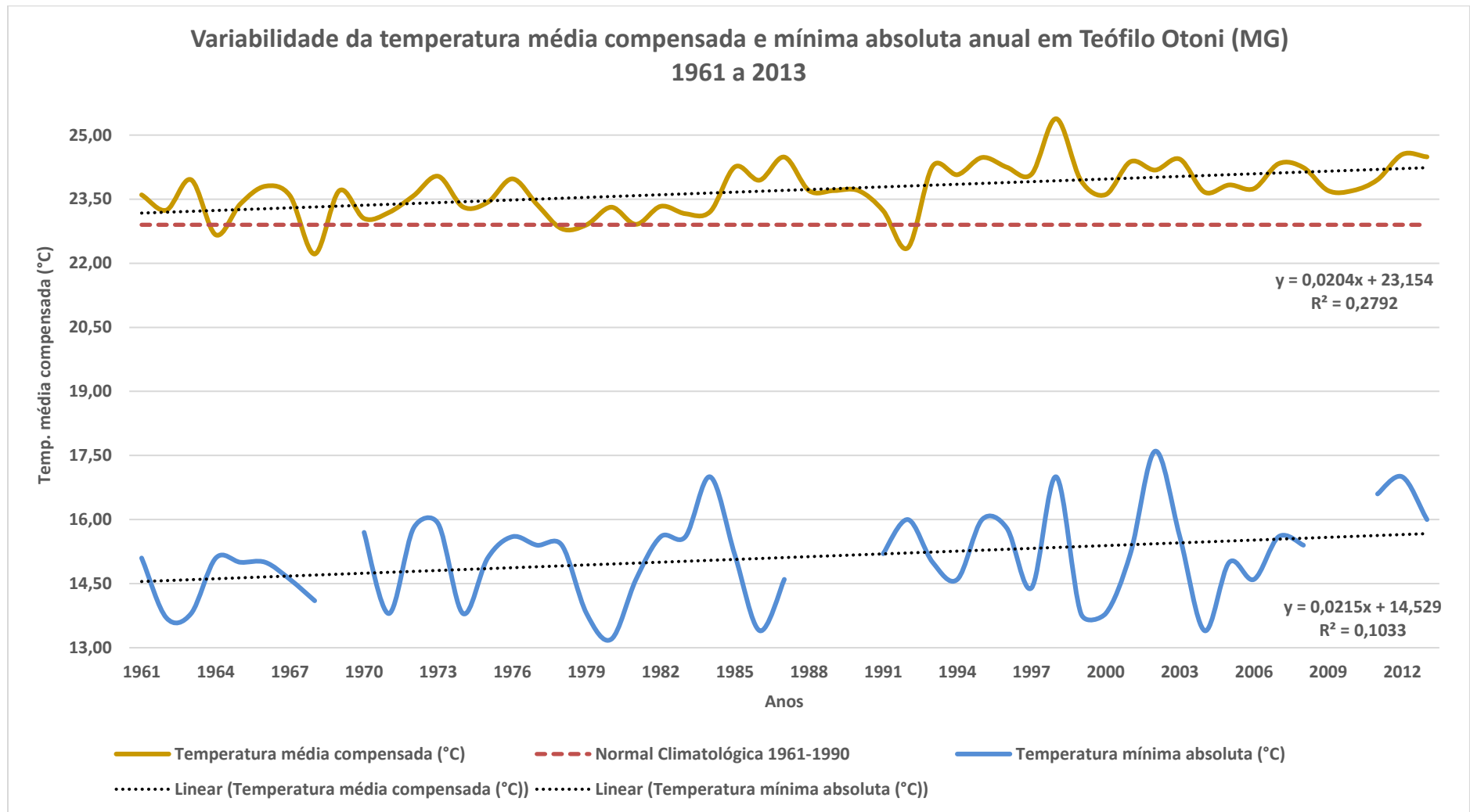
Analisando a **figura 35**, verifica-se que apesar de possuir coeficiente de determinação de apenas 10,3% ($R^2 = 0,1033$), quando relacionada a variação da temperatura mínima com a evolução dos anos, o mesmo indica linearidade na elevação a partir da década de 1990. Em 2002, por exemplo, a temperatura mínima absoluta registrada foi de 17,6°C, em 26 e 27 de maio. Antecedendo tais valores, novamente o período mais recente se destaca, ao registrar temperaturas mínimas de 17°C em julho de 1998 e outubro de 2012.

Não somente a ligeira elevação das temperaturas é observada a partir da década de 90, como também a periodicidade de alternância entre picos e vales do gráfico. Nota-se que as temperaturas mínimas absolutas até 1983 mantiveram-se oscilando entre 13,2°C a pouco mais de 16°C em intervalos de três anos ou quatro anos.

Entre 1964 e 1966, e também entre 1975 e 1978, por exemplo, observou-se relativa homogeneidade nas temperaturas mínimas absolutas mensuradas pela estação, cujas variações entre um ano e outro não ultrapassaram 0,4°C. Por outro lado, do final da década de 1980 em diante, em intervalo igual ou inferior a dois anos, as temperaturas mínimas registradas variaram mais fortemente (em torno de 4,2°C), como pôde ser observado entre os anos de 2002 e 2004, que registraram 17,6°C e 13,4°C respectivamente.

¹⁴ A estação OMM 83492 - Teófilo Otoni (MG) entrou em operação em 01/11/1910. Tentou-se acesso aos dados anteriores a 1961 junto ao INMET, no entanto, fora alegado que os mesmos apresentam elevado número de falhas e que o órgão está trabalhando com método para preenchimento. Tão logo terminado o trabalho, os dados serão disponibilizados.

Figura 35. Variabilidade das temperaturas anuais em Teófilo Otoni (Minas Gerais). Fonte: INMET. Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.



Ainda pode ser verificado no gráfico anterior, que a distribuição das temperaturas médias também foi alvo de reflexão. Isso porque a medida estatística reflete padrão histórico oriundo da gama de dados mensurados anualmente, o que revela aspectos gerais do que fora o comportamento da variável climática nos determinados anos. Diferentemente dos valores mínimos absolutos, o cálculo da temperatura média retrata mais fielmente a evolução do clima local de Teófilo Otoni, tanto sob a influência de fatores de origens macro escalares, quanto do próprio crescimento da mancha urbana da cidade.

Apesar de “mascarar” sobretudo os desvios rítmicos anuais, a análise dos valores médios é importante no sentido de que melhor resumem a variabilidade do padrão de distribuição observado ao longo dos anos. Neste caso, utilizou-se os valores médios calculados, ainda, como maneira de preenchimento das falhas encontradas na série histórica disponibilizada pelo INMET, cuja planilha bruta da estação meteorológica convencional em análise fora repassada unicamente com os valores registrados nos horários sinóticos (UTC) de 0h, 12h e 18h. Dessa forma, tiveram de ser calculados os valores máximos, mínimos e a média compensada¹⁵ dos elementos climáticos diariamente e anualmente. Se observada a distribuição dos valores mínimos absolutos no gráfico anterior, ficam evidentes os anos com maior número de falhas e lacunas (*gaps*).

De volta à análise, observa-se que a correlação da temperatura média compensada com o fator tempo (*time*), ainda que estatisticamente não muito representativo, mostrou-se mais elevada do que quando comparada à temperatura mínima absoluta. O coeficiente de determinação de 0,2792 indica a gradual elevação das temperaturas médias da década de 1960 em direção aos anos 2000. Mais que isso observa-se claramente padrões decenais de variabilidade do elemento, típicos de mecanismos e ciclos climáticos de atuação zonal e/ou global.

O ano de 1998, por exemplo, cuja temperatura média compensada atingiu o valor máximo registrado nesta série histórica (calculada em 25,4°C), fora

¹⁵ Calculada de tal modo para tornar-se comparável à temperatura média compensada das Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990 (RAMOS *et.al*, 2009). A fórmula de cálculo é expressa por $T_{mc} = (T_{max} + T_{min} + T_{12h} + 2T_{0h}) / 5$.

marcado pela forte atuação de evento climático de gênese amarrada às escalas superiores.

Trata-se do El Niño Oscilação Sul (ENOS), definido por Barry & Chorley (2013) como uma variação atmosférica irregular, que envolve mecanismos de troca de ar entre a célula subtropical de alta pressão habitualmente localizada sobre o oceano Pacífico Sul (em sua porção oriental), com as regiões ocidentais sob núcleos de baixa pressão, próximas à Indonésia.

O ENOS apresenta periodicidade irregular de atuação entre 2 e 10 anos, e apesar da ausência de consenso entre pesquisadores, sua gênese está provavelmente associada ao papel do Oceano Pacífico como grandiosa fonte de energia térmica, de modo que as anomalias registradas na Temperatura Superficial do Mar (TSM) atuam de maneira semelhante a um pêndulo, capazes de movimentar o sistema de circulação de que trata o ENOS.

Isso porque na região do Pacífico equatorial ocidental acumula-se massa d'água com as temperaturas mais elevadas do planeta, associadas à habitual incidência de radiação solar direta (atuação do Anticiclone Subtropical do Pacífico Sul), à baixa perda de calor por evaporação (em função do padrão moderado de velocidade dos ventos na região) e pelo empilhamento, conforme explicitam os referidos autores, de água superficial forçada a oeste pela atuação dos ventos Alísios de leste.

Essa massa d'água de elevada temperatura se dissipa na periodicidade mencionada, em função de mudanças ocorridas no padrão de circulação das correntes oceânicas e pela constante troca de calor oceano-atmosfera. No que ocorre, os centros de baixa pressão outrora posicionados na porção equatorial oriental do Pacífico Sul (sob ENOS), deslocam-se para a Ásia e Oceania, em espécie de mecanismo de teleconexão¹⁶ quase global.

Tal fenômeno nada mais é do que a manifestação da fase positiva da circulação da Célula de Walker, que conforme discute Bjerknes (1969) *apud*

¹⁶ Em meteorologia, o conceito que significa “conexão a distância”, assume a conotação de anomalias nas variáveis atmosféricas e oceânicas que ocorrem conjuntamente em regiões remotas. Adaptado de Cavalcanti *et.al.* (2009).

Alves *et.al.* (2005), funciona como uma espécie de gangorra de pressão em superfície, em que o ar ascendente do setor oeste do Pacífico (responsável pelos elevados totais precipitados nesta região), descende sobre a borda ocidental e resulta na diminuição da TSM em até 3°C.

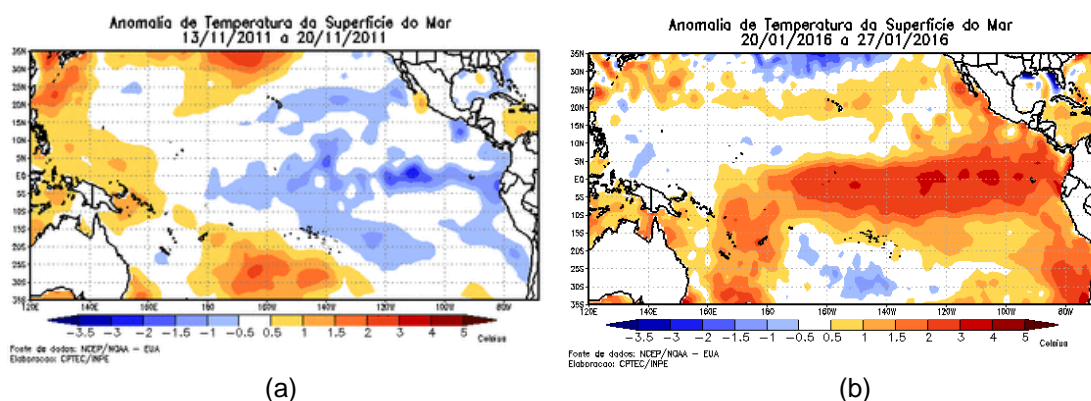
Quando há ocorrência de anos sob a fase positiva da célula de Walker, atribui-se a alcunha de La Niña (ou não-ENOS) e os efeitos mais diretos sobre o Sudeste e Nordeste brasileiro (regiões das quais o município de Teófilo compartilha de aspectos paisagísticos) estão associados à chegada de sistemas frontais às latitudes dos litorais da Bahia, Sergipe e Alagoas, e conseqüentemente ao registro de temperaturas abaixo da média histórica durante o inverno, conforme verificaram Marengo & Oliveira (1998).

Por outro lado, nos anos sob efeito do El Niño, notadamente demarcados no gráfico anterior pelos picos de temperatura média compensada anual (na maioria dos casos acompanhados pela elevação das mínimas absolutas também), são registradas reduções históricas nos valores médios de umidade relativa do ar e principalmente nos totais precipitados.

Oliveira & Satyamurty (1998), por exemplo, ao avaliar os impactos do ENOS nas “anomalias” térmicas e pluviométricas do Brasil, verificaram o inverno de 1997 da região Sudeste até 4°C mais quente se comparado à média histórica até então. A redução na precipitação entre fevereiro e abril, por sua vez, fora espacializada pelos autores para toda a extensão territorial do país e mostrou-se até 200 mm menor na região onde se encontra o município de Teófilo Otoni, dada a situação de bloqueio atmosférico instaurada com a atuação do ENOS naquele ano.

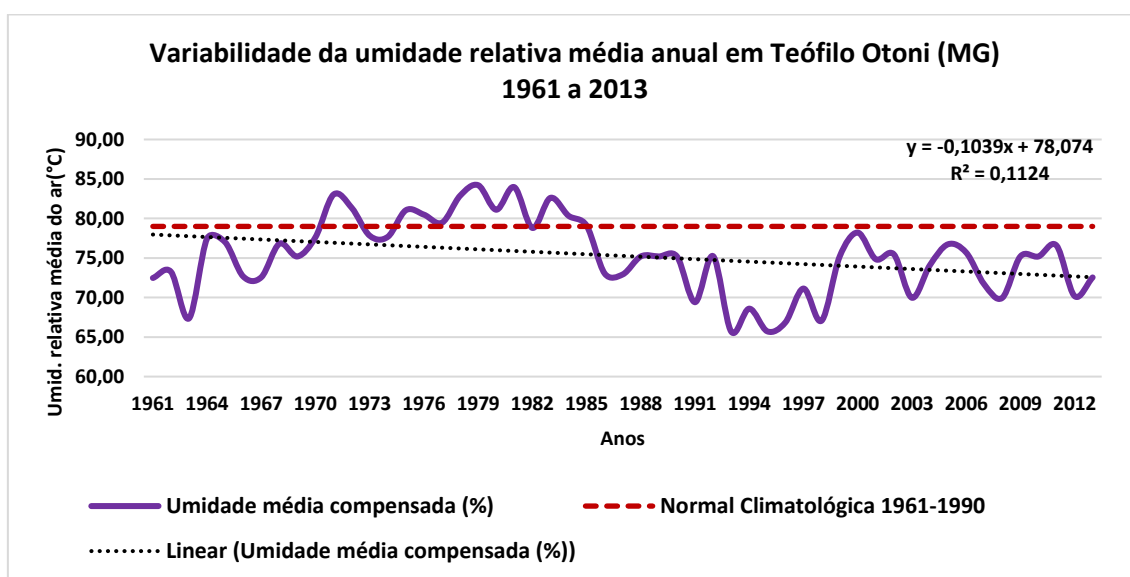
A **figura 36** ilustra a diferença no comportamento da TSM em episódios de La Niña e El Niño, respectivamente.

Figura 36. Esquema ilustrado revelando a distribuição da anomalia da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) sob atuação respectiva dos fenômenos La Niña (a) e El Niño (b), em novembro de 2011 e janeiro de 2016. Fonte: Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE).



Concomitante aos eventos intercalados de La Niña e El Niño há de considerar um segundo padrão decadal, de durabilidade maior, observado na distribuição das temperaturas médias e mínimas e mais bem destacado ainda na variabilidade interanual da umidade relativa do ar, observada na **figura 37**.

Figura 37. Variabilidade da umidade relativa do ar anual em Teófilo Otoni (Minas Gerais). Fonte: INMET. Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.



Tal padrão, por sua vez, trata-se da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), identificada por Mantua *et.al.* (1997) como uma variabilidade natural da temperatura das águas do Pacífico Norte, associada à forte atuação de sistemas de baixa pressão. Em periodicidade aproximada de trinta anos, a oscilação entre as fases frias e quentes é capaz de alterar substancialmente o volume da pesca na costa oeste dos Estados Unidos, em função da adaptação

evolutiva das espécies de salmão a determinadas temperaturas da água. Isso foi evidenciado pelo autor através de reportagens históricas e dados quantitativos, que destacam ainda a teleconexão do mecanismo cíclico com demais regiões do globo terrestre.

Ao observar a distribuição da umidade relativa do ar em Teófilo Otoni ao longo dos anos, nota-se que durante as fases frias da ODP, por exemplo, estabelecidas pelo autor mencionado entre 1900-1925 e 1946-1977, foram registrados valores médios de até 83%, em 1971. Já durante as fases quentes da ODP (estabelecidas entre 1925-1946 e entre 1977 a finais da década de 1990), em que os padrões da TSM no Pacífico Norte se configuram de maneira inversa, o elemento chegou a registrar 65,7% em 1993, quase 14% inferior às Normais Climatológicas do município (79%). E a umidade permaneceu abaixo do parâmetro histórico até o ano de 1999, quando somente se igualou ao valor de referência calculado entre 1961-1990.

É importante destacar que os padrões observados na década de 90 provavelmente também estão relacionados ao aumento no número de episódios de El Niño, advindos da atuação da ODP positiva (mecanismo que reforça a Oscilação Sul), ao passo que durante a década de 70, somente o ano de 1973 apresentou valor médio de umidade abaixo do quantitativo das Normais Climatológicas (registrado em 77,8%), fruto da participação da ODP negativa no enfraquecimento da frequência de episódios de El Niño e fortalecimento dos efeitos do La Niña.

Há de se mencionar, contudo, que apesar da imposição de sistemas de escala global (e como verificado, cíclicos) na produção do clima local de Teófilo Otoni, além do papel do relevo, capaz de condicionar a circulação do ar em superfície (propiciando aquecimento diferencial das vertentes e variações de umidade do ar por advecção), parte da elevação das temperaturas e diminuição da umidade relativa do ar observadas a partir da década de 1980, também está associada às mudanças realizadas na cobertura da terra e à consequente alteração do balanço de energia oriunda desse processo.

Melhor discutida nos tópicos seguintes (onde serão avaliados os dados do trabalho de campo) a substituição das formas vegetacionais por superfícies

impermeabilizadas diminuem gradualmente o saldo de calor latente disponível na atmosfera sobre a cidade, importante variável do balanço de energia no que tange, por exemplo, à avaliação do conforto térmico urbano.

Os dados relativos ao crescimento populacional, bem como as fotos históricas da região central do município permitem inferir tal influência antrópica na alteração das variáveis climáticas locais dos últimos anos. Segundo dados censitários do Sistema de Recuperação de Dados Automático do IBGE (SIDRA), o número de habitantes na Capital das Pedras Preciosas cresceu de pouco mais de 128 mil em 1980 para mais de 140 mil em 1991. Após esse período, manteve-se oscilando entre os dois montantes descritos e na última projeção calculada, retomou-se o crescimento, conforme **tabela 7** a seguir.

Tabela 7. Crescimento populacional do município de Teófilo Otoni, Minas Gerais. Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.

Ano	População (nº habitantes)
1980	128.826
1991	140.833
2000	129.424
2010	134.733
2015*	141.086

*Projeção estimada. Diretoria de Pesquisas - Coordenação de População e Indicadores Sociais (DPE/COPIS).

Se observada a Praça Tiradentes, por exemplo, monumento histórico de encontro, comércio e lazer do município, perceptível é a alteração da composição da paisagem urbana e natural, haja vista a substituição das fitofisionomias de cerrado e Mata Atlântica anteriormente existentes pela ocupação residencial dos topos de morros e vertentes circundantes. A **figura 38** ilustra alguns aspectos da evolução da região central de Teófilo Otoni.

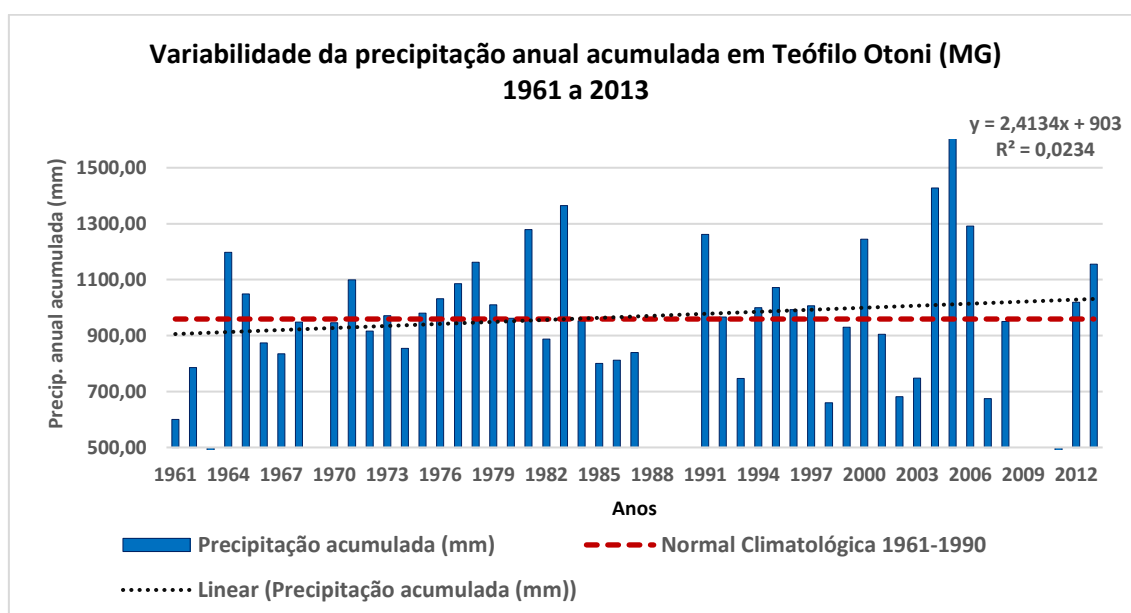
Figura 38. Praça Tiradentes, marco turístico da região central de Teófilo Otoni (MG), no início do século XX (a) e no ano de 2015 (b). Fontes: Prefeitura Municipal e Toca Studio.



Ao correlacionar o crescimento da cidade com a evolução temporal de outro elemento climático importante para a caracterização do clima local de Teófilo Otoni, o regime pluviométrico, a **figura 39** de imediato instiga a pensar na inexistência de qualquer padrão oriundo das escalas inferiores. Isso porque, a distribuição do acumulado interanual da precipitação se mostra muito variável, oscilando entre 2003 e 2004, por exemplo, em quase 700 mm (747,6 mm contra 1427,6 mm).

Tal variabilidade natural do fenômeno é inclusive estatisticamente comprovada, ao registrar coeficiente de determinação da relação chuva x tempo (*time*) de apenas 2% ($R^2 = 0,0234$), o mais baixo dentre as variáveis avaliadas.

Figura 39. Variabilidade da precipitação anual acumulada em Teófilo Otoni (Minas Gerais). Fonte: INMET. Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.



No entanto, observa-se que a partir da década de 1990, a pluviosidade anual acumulada permaneceu abaixo da Normal Climatológica (959,1 mm) em maior número de casos, quando comparada às décadas anteriores. Além disso os anos de maiores valores registrados também se mostraram mais expressivos nas últimas duas décadas, atingindo somatório superior a 3000 mm no biênio 2004-2005 (1427,4 mm e 1673,7 mm, respectivamente).

Além da relação com os mecanismos cíclicos de escala zonal e/ou global, há de se avaliar também a dinâmica das massas de ar, responsáveis pelo desdobramento da variabilidade dos elementos no quadro regional e cuja análise com maior propriedade, realizada a partir de dados quantitativos diários, dar-se-á no capítulo seguinte. No entanto, o padrão observado também é justificado por um fator de superfície, em atuações distintas.

No primeiro caso, ao substituir cada vez mais as formas naturais por superfícies pavimentadas, as ações humanas provocam alterações no balanço energético em escala local, como visto, diminuindo o saldo de umidade e calor latente na atmosfera. Por outro lado, porém, as mesmas formas urbanas revestidas por materiais como asfalto, concreto, etc., apresentam propriedades físicas capazes de absorver maior quantidade de energia em forma de calor. Isso promoveria o aumento teórico na convectividade de superfície e conseqüentemente, maior desenvolvimento vertical de nebulosidade sobre o município, que vale lembrar, se encontra geomorfologicamente confinado em vale fluvial, o que favorece a ascensão mecânica do ar “antropizado” (inserido na *boundary layer*).

O resultado teórico disso seria o ligeiro aumento na intensidade da precipitação anual, mas em menor instância se comparado ao que verificou Assis (2009) em estudo de caso realizado nos bairros Buritis e Estoril, em Belo Horizonte. Na ocasião, a rugosidade das formas urbanas, em interação com o relevo movimentado foram responsáveis pelos acréscimos pluviométricos observados.

No entanto, certamente a área edificada de Teófilo Otoni não se compara a uma metrópole do porte de Belo Horizonte, onde a influência antrópica nos fluxos convectivos se mostra muito mais elevada. Dada a limitada extensão territorial e expressão das formas urbanas da área de estudo, somente a

quantificação do aporte de energia de origem antropogênica é que poderia de fato comprovar a relação com o padrão observado, tal como realizado por Azevedo (2001; 2002) para a Região Metropolitana de São Paulo. Nestas ocasiões, mesmo com a aferição da distribuição dos maiores totais pluviométricos históricos se darem em superior número de casos nos dias úteis semanais (atividade humana mais intensa), ainda assim o autor levantou dúvidas sobre a existência de um ritmo antropogênico embutido no clima local.

É importante deixar claro que esta seara de discussão não é objeto central da presente pesquisa, que se reserva a levantar indícios e “abrir portas” para novas produções científicas sobre a influência da malha urbana de cidades de médio porte na variabilidade da precipitação.

Mas no ano de 2002, por exemplo, marcado por temperaturas muito acima da média, e em função disso, por processos convectivos superfície-atmosfera de maior intensidade, foram registrados quase 300 mm de chuva em apenas dois dias, sendo que 241 mm destes, foram captados em 24 horas. Isto não foi verificado em nenhuma outra situação dentro da série histórica analisada, o que também pode ser parte da variabilidade natural do clima. E a efeito de comparação, a média histórica de precipitação para todo o mês de fevereiro em Teófilo Otoni é de 100,4 mm, segundo dados das Normais Climatológicas do Brasil de 1961-1990 (RAMOS *et.al.*, 2009).

E pensando em região do Estado carente de investimento em infraestrutura e execução dos planejamentos propostos, isso foi mais que suficiente para instaurar o caos social e ambiental no município, que convive historicamente com episódios de enchentes, movimentos de massa e danos aos patrimônios públicos e privados, a cada evento pluviométrico concentrado (na maioria das vezes, de expressão muito menor do que o mencionado).

Apesar do alarde da mídia, como pode ser observado na **figura 40**, o poder público parece desconhecer os aspectos fisiográficos da paisagem municipal e não faz valer as diretrizes do Plano Diretor. Em função da ocupação irregular das encostas (que suprimem a vegetação responsável por estabilizar o manto de alteração) e da disposição dos vales criados entre pontão e outro (que canalizam a água do escoamento superficial), os impactos negativos oriundos

da relação chuva x ordenamento espacial, somados às demais questões decorrentes, são, sem dúvida, o maior problema de cunho ambiental experimentado pelos moradores de Teófilo Otoni.

Figura 40. Matéria dos jornais Folha de São Paulo, de 04 de fevereiro de 2002, e R7 Notícias, de 29 de novembro de 2012, destacando impacto de evento pluviométrico concentrado em Teófilo Otoni, Minas Gerais. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u45312.shtml> e <http://noticias.r7.com/minas-gerais/noticias/apos-chuva-forte-e-desabamentos-teofilo-otoni-decreta-estado-de-emergencia-20121129.html>.

04/02/2002 - 19h50

Chuva recorde mata 12 em Teófilo Otoni, Minas Gerais

RANIER BRAGON
da Agência Folha, em BH

Após chuva forte e desabamentos, Teófilo Otoni decreta estado de emergência

Duas idosas ficaram soterradas e estão em estado grave

Márcia Costanti, do R7 MG | 29/11/2012 às 12h40

+A -A

Ainda em relação ao evento do ano de 2002, na reportagem destacada fica evidente a preocupação por parte da Defesa Civil com os riscos oriundos das ocupações irregulares. Em fala de representante do órgão, à época major, é destacado que “essa é uma região crítica do estado, principalmente pelo fato de Teófilo Otoni ter suas encostas ocupadas de forma irregular, com risco de soterramento”. Curiosamente, na reportagem de dez anos depois, duas cidadãs ficaram feridas pelo desmoronamento de encostas. Na ocasião, fora registrada precipitação de 116,4 mm em 24 horas, quando a média esperada para todo o mês de novembro era de 165,1 mm.

Vale justificar aqui, que o ano de 2002, apesar de registrar um dos maiores desastres ambientais do município, aparece no gráfico anterior com acumulado anual de apenas 681 mm. Isso se deve ao fato de que a estação meteorológica convencional do INMET parou de registrar dados de precipitação a partir do mês de maio deste ano, o que impossibilitou o conhecimento do real montante

anual. Sem dúvida, os dados da série histórica referentes à precipitação foram os que apresentaram maior número de falhas e lacunas.

Certo é que os mecanismos responsáveis pela gênese dos tipos de tempo instáveis (causadores de elevada precipitação) se organizam em escala no mínimo regional, de representativa extensão territorial (sistemas frontais, linhas de instabilidade, zonas de convergência de umidade, núcleos de baixa pressão, entre outros discutidos no tópico seguinte). Assim sendo, demais municípios inseridos na região de Teófilo Otoni, teoricamente, experimentam valores precipitados próximos aos ali registrados, no entanto, a repercussão em superfície (onde está de fato o impacto) poderá se dar de maneira diferente, haja vista a organização da cidade frente aos desvios rítmicos.

Porém, em reportagem datada de 15 de dezembro de 2014¹⁷, percebe-se que a desorganização do arranjo urbano das pequenas e médias cidades brasileiras não é exclusividade de Teófilo Otoni. Em registro fotográfico sequencial (**figura 41**) é possível verificar aspectos semelhantes nos impactos registrados em cidades dos vales dos rios Doce e Mucuri, o que reforça a importância de pesquisas de cunho climatológico voltadas ao planejamento, tal como se pretende alcançar com a produção da carta de Unidades Climáticas de Teófilo Otoni.

Ao levantar as potencialidades e limitações em relação aos usos e ocupações de cada espaço, embasadas pelos resultados da análise rítmica posterior, acredita-se melhor subsidiar o poder público na produção de políticas para controle e mitigação dos impactos negativos.

¹⁷ Matéria divulgada no portal “Aconteceu no Vale”. Disponível em <http://aconteceunovale.com.br/portal/?p=48021>. Demais registros fotográficos da repercussão de eventos pluviométricos concentrados em Teófilo Otoni podem ser visualizados nos apêndices do trabalho.

Figura 41. Impactos ambientais e sociais oriundos da relação quadro urbano x precipitação concentrada, em episódio de dezembro de 2014. Imagens dos municípios mineiros de Governador Valadares, Conselheiro Pena, Teófilo Otoni e Capitão Andrade, respectivamente.



Por fim, e de modo a sintetizar a variabilidade climática verificada na série temporal em análise, segue **tabela 8** contendo o resumo da estatística descritiva dos elementos avaliados a partir dos dados da estação meteorológica convencional de Teófilo Otoni.

Tabela 8. Resumo dos valores médios, máximos e mínimos calculados e/ou mensurados a partir da estação meteorológica convencional do INMET em Teófilo Otoni (MG), entre 1961 a 2013. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia. Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.

Variável climática	Valores médios	Máxima absoluta	Mínima absoluta	Média das máximas	Média das mínimas
Temperatura do ar	23,7°C (compensada)	39,6°C (10/09/1997)	13,2°C (18/07/1980)	28,8°C	22,5°C
Umidade relativa do ar	72,2% (compensada)	100%	15% (30/08/1963)	83,90%	58,20%
Precipitação	966,4 mm (acumulado anual)	241 mm (04/02/2002) (acumulado diário) ou 1673,7 mm 2005 (acumulado anual)	659,9 mm (1998) (acumulado anual)	-	-

4.3 O comportamento sinótico geral do período mensurado: análise dos dados médios diários e frequência dos tipos de tempo

De modo a prosseguir com a decomposição escalar proposta na presente pesquisa e avaliar os fatores micro e topoclimáticos responsáveis pela construção do clima local de Teófilo Otoni partiu-se, como visto, para a mensuração a campo (a partir de miniestações meteorológicas) das variáveis temperatura e umidade relativa do ar em diferentes porções territoriais da área de estudo.

No entanto, independente das distintas dinâmicas microclimáticas porventura registradas nas Estações Amostrais, que são intrínsecas à composição paisagística de cada espaço, o controle atmosférico predominante em cada dia de mensuração a campo ditará padrão oriundo dos níveis de organização escalar superiores, condicionando, portanto, certa homogeneidade na variabilidade dos dados médios registrados pelas Estações Amostrais.

Mais que isso, a avaliação dos controles atmosféricos em interação com os discutidos fatores de superfície (cuja resposta é registrada quantitativamente por cada Estação Amostrai) permitirá a aferição do tipo de tempo atuante e o ritmo com que se desenvolvem, aspecto imprescindível para a compreensão dos problemas oriundos da relação clima x sociedade ao longo do ano.

4.3.1 Verão 2014/2015

De modo geral, durante o primeiro período de mensuração dos dados de campo, compreendido efetivamente entre 31 de dezembro de 2014 e 12 de fevereiro de 2015, o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) fora notadamente o sistema sinótico de maior atuação.

Eminentemente estável, a célula de alta pressão é oriunda da subsidência vertical do ar nas latitudes próximas de 30°, associadas à circulação média meridional da atmosfera, conforme elucidam Bastos & Ferreira (2000). Sua atuação é responsável pelo enfraquecimento das correntes convectivas de superfície, inibindo a formação de nebulosidade de grande desenvolvimento

vertical e conseqüentemente permitindo maior volume de entrada de radiação solar de maneira direta.

Conforme detalhado no capítulo metodológico, o cálculo do balanço hídrico de Teófilo Otoni orientou a definição dos períodos para realização dos trabalhos de campo e coleta dos dados, privilegiando as estações sazonais úmidas (verão) e secas (inverno). No entanto, até o início do mês de fevereiro de 2015, as estações oficiais do INMET não haviam computado qualquer registro de precipitação no município e as imagens de satélite ratificavam a situação de bloqueio atmosférico imposta pelo ASAS, o que de certa forma poderia comprometer parte dos objetivos propostos na pesquisa, ao anular a avaliação dos habituais tipos de tempo instáveis de verão.

Neste sentido, os aparelhos sensores permaneceram instalados por mais duas semanas aproximadamente, o que possibilitou a avaliação da curta atuação da Frente Polar Atlântica (fPa) e da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), sistemas de baixa pressão responsáveis, em linhas gerais, pela advecção de ar frio das latitudes médias e altas, manutenção de instabilidade temporal e conseqüente homogeneidade dos elementos climáticos mensurados.

A análise dos dados médios do período é capaz de registrar a repercussão espacial da alternância dos controles atmosféricos. No dia 30 de janeiro, por exemplo, sob atuação do ASAS, as temperaturas médias variaram de 26,8°C na EA 4 (leito fluvial) a 32,4°C na EA 8 (quintal residencial do bairro Teófilo Rocha). A umidade relativa do ar média, por sua vez, registrou, neste mesmo dia, valores que variaram de 37% na EA 9 (ar confinado em residência do bairro Grão Pará) a 55,1% na EA 5 (área de pastagem).

Em relação aos valores de temperatura máximos absolutos, todas as estações também os registraram sob atuação do ASAS, sendo que a EA 8 mais uma vez se destacou dentre as demais, ao registrar 43,9°C¹⁸ às 15h do dia 30 de janeiro

¹⁸ Valor final após ajustes e calibrações elucidadas no capítulo metodológico. O valor bruto registrado pelo aparelho sensor, sem qualquer correção, foi de 45°C.

de 2015. A umidade relativa mínima absoluta foi registrada às 17h do dia 22 de janeiro do mesmo ano, com valor de 11%.

Se observadas as amplitudes térmicas e higras médias do período de mensuração, os maiores valores também são verificados sob atuação da célula de alta pressão. Na EA 1 (quintal de residência em bairro peri-urbano) são registradas as segundas maiores variações térmicas médias (14,1°C) e higras (46%), ficando atrás somente dos valores térmicos encontrados na EA 8 (15°C) e higras na EA 3 (47%), residência em área rural.

Sob a atuação dos sistemas sinóticos de baixa pressão, por sua vez, as temperaturas médias variaram de 23,8°C na EA 6 (calha fluvial ocupada na Vila Barreiros) a 25,3°C na EA 9, no dia 08 de fevereiro de 2015. A umidade relativa do ar também apresentou baixa amplitude média entre estações, ao registrar, por exemplo, 79% na EA1 e 78% na EA 2 (residência em topo de morro) e na EA 7 (horta residencial). A **tabela 9** resume os valores médios e absolutos mensurados nas Estações Amostrais.

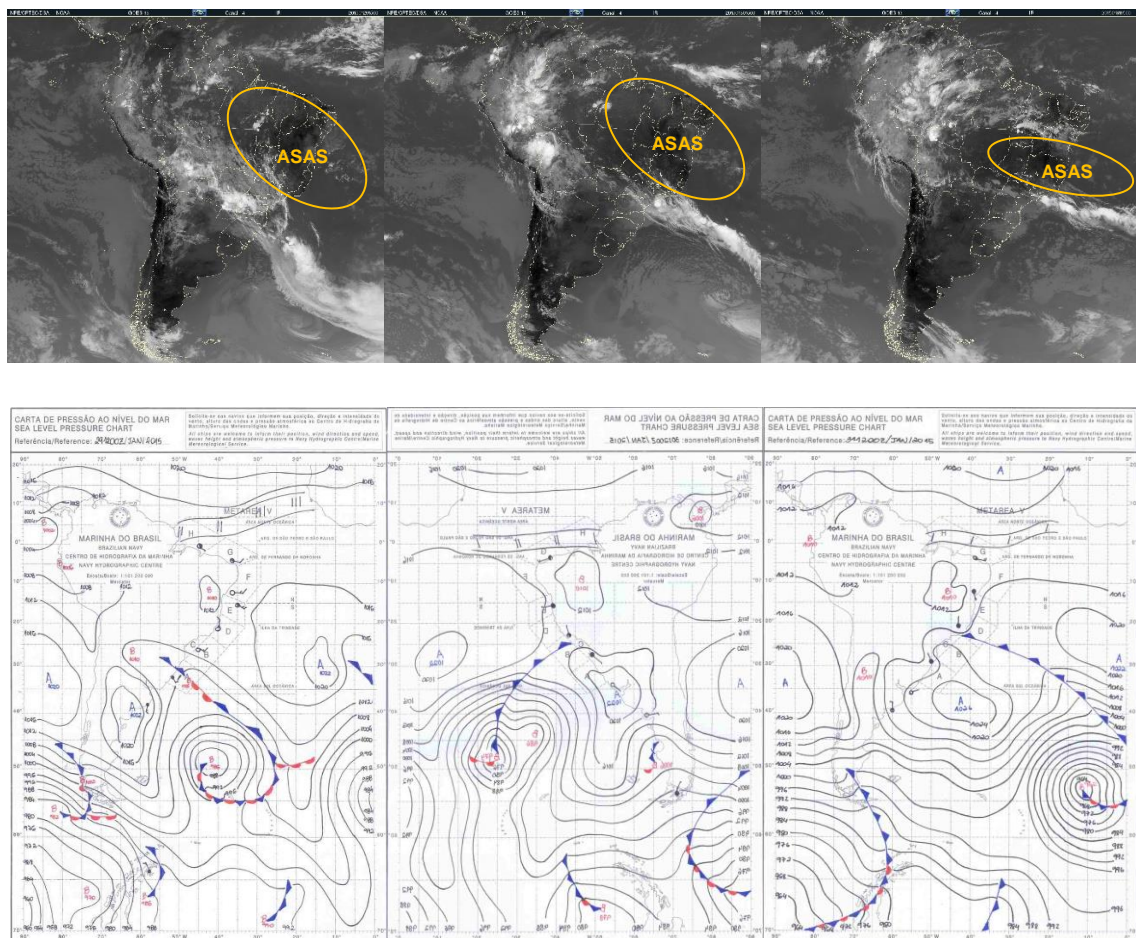
Tabela 9. Resumo dos valores médios, máximos e mínimos registrados no período úmido (verão 2014/2015).

Estação amostral	Temp. média global (°C)	Umid. média global (%)	Temp. máxima absoluta (°C)	Umid. Máxima absoluta (%)	Temp. mínima absoluta (°C)	Umid. mínima absoluta(%)	Ampl. térmica média (°C)	Ampl. higríca média (%)
EA 1 - Bairro Manoel Pimenta (peri-urbano)	28,7	52,5	42,0	87,7	20,9	12,5	14,1	45,9
EA 2 - Bairro Manoel Pimenta (topo de morro)	27,2	54,5	35,7	87,8	21,1	17,4	9,5	40,9
EA 3 - Vila Suíça (residência em vertente de área rural)	27,5	56,2	39,5	88,7	18,8	14,1	13,7	47,4
EA4 - Leito fluvial (florestal)	25,9	61,0	37,7	90,6	17,6	20,6	12,6	44,4
EA 5 - Pastagem em área rural	26,3	60,0	37,1	88,9	17,8	18,2	11,9	45,8
EA 6 - Vila Barreiros (calha fluvial ocupada)	27,0	56,9	36,3	86,0	19,0	20,5	10,4	40,3
EA 7 - Vila São João (horta residencial peri-urbano)	27,7	55,0	40,2	93,6	19,5	16,8	13,8	45,7
EA 8 - Bairro Teófilo Rocha (quintal residencial urbano)	29,9	48,0	43,9	83,3	21,7	11,0	15,0	42,5
EA 9 - Bairro Grão-Pará (quintal residencial urbano)	29,6	47,2	42,5	85,2	22,1	17,3	10,7	32,6

Independentemente dos distintos tipos de uso e cobertura da terra, contextos geomorfológicos e fitofisionômicos responsáveis pela diferenciação dos valores médios entre Estações Amostrais, percebe-se a predominância da elevação das temperaturas médias e a diminuição da saturação hídrica do ar na maior parte do período avaliado. Com a imposição do ASAS, o céu claro e limpo permitiu a entrada direta da radiação solar de ondas curtas (ultravioleta) que, com base nos componentes do balanço de energia em superfície, promoveu o padrão observado.

Ao avaliar a sequência de imagens de satélite e cartas sinóticas da **figura 42** fica clara a participação do controle atmosférico na gênese do tipo de tempo quente e estável observado, não somente restrito à área de estudo, mas organizado em unidade escalar no mínimo regional. Com a proximidade de sistema frontal oriundo das regiões subpolares, em deslocamento sentido nordeste, o ASAS (Massa Tropical Atlântica - mTa) é empurrado e comprimido para latitudes menores, o que reforça a permanência de temperaturas elevadas e a queda da umidade do ar.

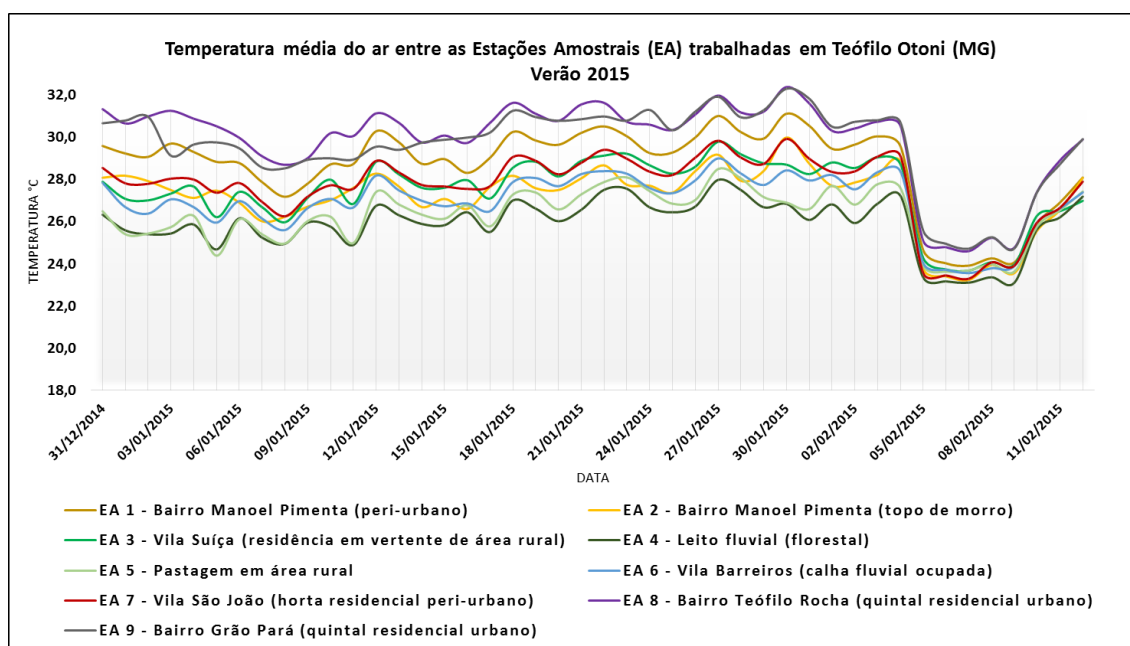
Figura 42. Evolução dos sistemas atmosféricos do período entre os dias 29 a 31 de janeiro de 2015. Imagens do satélite GOES-13 no canal infravermelho 4, às 15h, e cartas sinóticas da Marinha do Brasil nos respectivos dias e horários. Fonte: CPTEC/INPE; Marinha do Brasil.



Em sucessão rítmica, a produção dos tipos de tempo do período sob análise se iniciou a partir da atuação de uma linha de instabilidade (LI) na porção nordeste do Estado de Minas Gerais, já em elevado processo de dissipação.

No dia 01 de janeiro de 2015, por exemplo, a descontinuidade térmica já havia sido substituída pelo ASAS, o que garantiu a manutenção das temperaturas elevadas até a introdução de uma nova linha de instabilidade entre os dias 05 e 06 seguintes. A **figura 43** revela a imposição de tal sistema de baixa pressão, que segundo Cavalcanti *et.al.* (2009), desenvolve-se frequentemente na costa nordeste do território brasileiro e pode se propagar para o interior do continente, resultando, inclusive, em considerável montante de precipitação nos períodos diurnos de máxima atividade convectiva (que não fora o caso neste episódio).

Figura 43. Variação dos valores médios diários da temperatura do ar registrada nas Estações Amostrais em Teófilo Otoni (MG) durante o período de inverno.

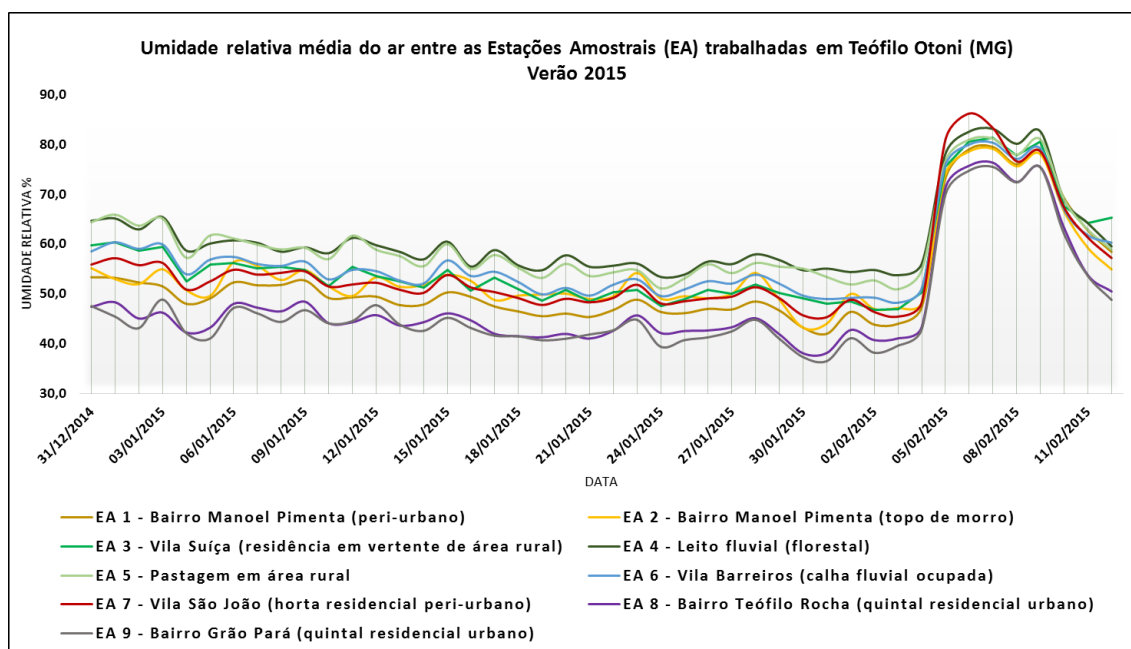


À exceção da Estação Amostral 9 (ambiente confinado), todos os demais sensores registraram declínio nas temperaturas em função da razoável instabilidade temporal oriunda da atuação da linha de instabilidade no dia 05 de janeiro. O valor médio mensurado na EA 5 (pastagem), por exemplo, declinou de 26,3°C no dia 04/01 (sob atuação do ASAS) para 24,4°C no dia 05/01 (com a formação da LI).

Em função do caráter semi-fixo do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul e sua dinâmica de deslocamento oceano-continente (que retira umidade da massa d'água e em movimento anti-horário a transporta para as regiões a barlavento da Serra do Espinhaço) o comportamento da temperatura do ar experimentou padrão ondulatório de variação diária. Isso porque ao aquecer, a superfície contribui para à ascensão mecânica do ar depositado e conseqüentemente para a dissipação da nebulosidade nas faixas de leste, o que cria mecanismo cíclico condicionado à dinâmica de deslocamento da célula de alta pressão.

Tal constatação também é observada nos valores médios de umidade relativa do ar, que experimentaram semelhante padrão de variabilidade ondulatória entre dias sucessivos, mas em menor expressão, conforme visualizado na **figura 44**.

Figura 44. Variação dos valores médios diários da umidade relativa do ar registrada nas Estações Amostrais em Teófilo Otoni (MG) durante o período de verão.



A situação de relativo bloqueio atmosférico oriunda da atuação do ASAS permaneceu constante na região até a imposição de sistema inicialmente de origem sub-polar. Trata-se da passagem de uma frente fria (ou Frente Polar Atlântica - fPa), que segundo Nimer (1966) é caracterizada como uma superfície de descontinuidade térmica formada na linha de choque entre duas massas de ar de temperaturas distintas, ao longo da qual o ar frio (mais denso)

substitui o ar quente e provoca a sua ascensão e condensação. Resultado disso é a formação de uma zona depressionária, marcadamente instável, com nebulosidade acentuada e elevada probabilidade de precipitação.

No caso de Teófilo Otoni no período em análise, a resposta da imposição do sistema frontal nas variáveis mensuradas foi nítida, tamanha a imposição de sistema de origem nas escalas superiores. A umidade relativa média do ar na Estação Amostral 7 (horta da Vila São João), por exemplo, elevou-se de 48,3% para 81% do dia 04 para o dia 05 de fevereiro de 2015. Mesmo na EA 4 (leito fluvial vegetado), que registrou os maiores valores médios de umidade relativa do ar entre as Estações Amostrais da área de estudo, a variável média também experimentou elevação de mais de 22% entre os dias 04 e 05 de fevereiro.

A temperatura média do ar, por sua vez, declinou entre os mesmos dois dias de 30,5°C para 25,1°C na EA 8 (quintal residencial do bairro Teófilo Rocha) e de 28,8°C para 23,8°C na EA 2 (residência em topo de morro). Já na EA 5 (pastagem), o declínio se deu em menor proporção, registrando 27,6°C no dia 04 e 23,9°C no dia 05, cujos motivos serão melhor explicitados no capítulo dedicado à análise rítmica.

O auge da participação da frente fria se deu a partir do dia 06 de janeiro de 2015, quando o avanço do sistema para as porções territoriais de menor latitude permitiu a conexão com os núcleos térmicos continentais de baixa pressão, o que contribuiu para a formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

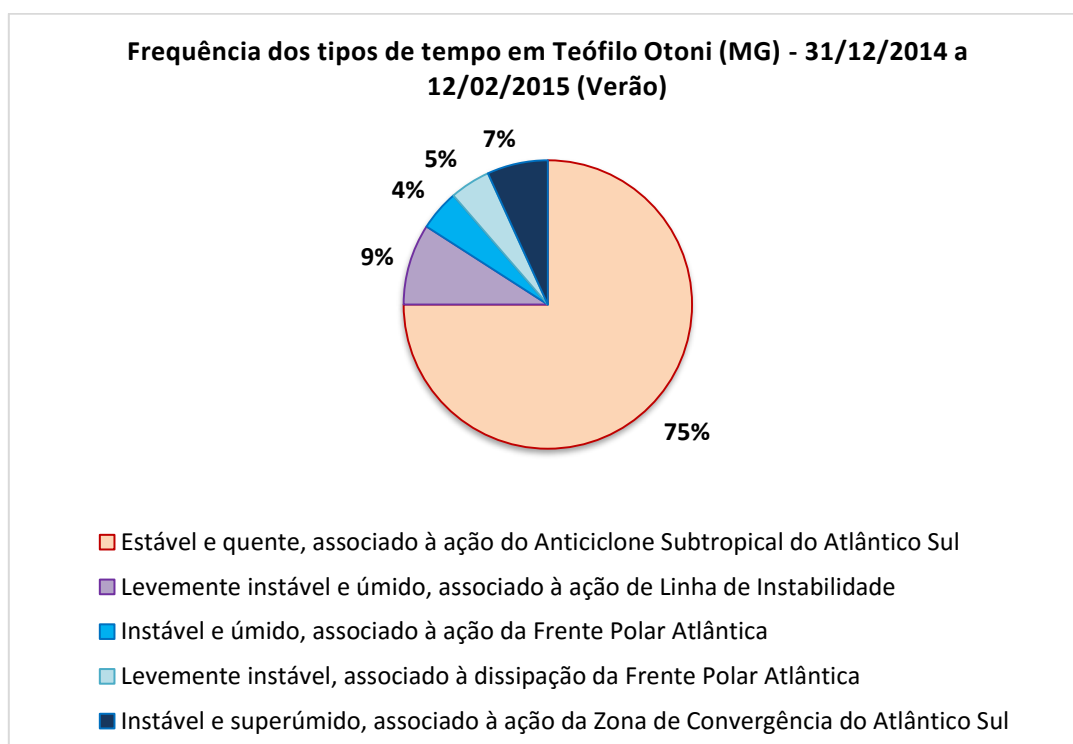
Essa última é caracterizada por uma faixa de nebulosidade em alinhamento NW-SE, que se estende até os sistemas frontais da região sudeste e que se forma predominantemente no verão do hemisfério sul, com ocorrências pontuais de nuvens de alto desenvolvimento vertical, quando a maior incidência de radiação solar provoca o elevado aquecimento superficial e a convecção do ar saturado pela umidade oriunda da vegetação amazônica. A consequente formação da Massa Equatorial Continental (mEc), em interação com as zonas depressionárias originadas no Chaco boliviano (confinadas a oeste pela Cordilheira dos Andes), ainda contribuem para a canalização do sistema e advecção da umidade para demais extensões do território brasileiro.

Resultado disso foi a manutenção das condições de instabilidade temporal em Teófilo Otoni, cuja umidade relativa média do ar não foi menor do que 75% até o dia 09 de fevereiro (registrada na EA 9 - ar confinado em quintal residencial urbano), quando iniciada a dissipação do sistema, em processo de frontólise. A maior temperatura média do ar durante a atuação da fPa ou da ZCAS também não ultrapassou 25,3°C, registrada novamente na EA 9.

Após dissipação da Zona de Convergência e tropicalização do sistema polar, os valores de temperatura observaram razoável aumento (de até 2,6°C no leito fluvial vegetado, entre os dias 09 e 10/02). A umidade relativa média, por sua vez, registrou declínio de até 14% na mesma Estação Amostral (EA 4).

Em relação à frequência de participação dos controles atmosféricos e configuração dos tipos de tempo, pôde-se identificar o ASAS associado a condição estável e quente, como o mais atuante durante os 44 dias do primeiro período de mensuração dos dados. Ainda que observados tipos de tempo notadamente associados a sistemas instáveis de verão, a frequência de participação do ASAS correspondeu a 75% dos casos registrados (33 dias), conforme observado na **figura 45** abaixo.

Figura 45. Frequência de atuação dos tipos de tempo durante o primeiro período de mensuração dos dados de campo (verão). Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.



Em segundo lugar estiveram predominantemente atuantes as linhas de instabilidade temporal, registradas em 9% dos casos (4 dias), seguidas pela Zona de Convergência do Atlântico Sul, registrada em quase 7% dos casos (3 dias) e pelas frentes frias em frontogênese e em frontólise, que somaram pouco menos de 5% dos casos cada uma (apenas 2 dias).

Se somada a frequência de participação de todos os tipos de tempo associados à instabilidade temporal no verão, tem-se montante total da ordem de 26% (ou 11 dias), o que corresponde exatamente a um terço do número de dias sob atuação de sistemas atmosféricos predominantemente estáveis. Isso reforça a importância dos fatores da climatologia dinâmica na regulação dos elementos em Teófilo Otoni, que mesmo em estação do ano historicamente “úmida”, condicionou, em maior grau, tipos de tempo estáveis na região.

A relação completa dos controles sinóticos e tipos de tempo predominantes em cada dia de campo (incluindo o período de inverno) pode ser conferida nos apêndices do trabalho.

4.3.2 Inverno 2015

A mensuração dos dados a campo no inverno compreendeu o período entre os dias 09 de agosto a 16 de setembro de 2015. Mais uma vez e conforme esperado, o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) foi o controle atmosférico predominantemente atuante, razão esta associada à inclinação do ângulo de incidência solar, que provoca o consequente enfraquecimento da radiação que chega à superfície terrestre durante o inverno no hemisfério sul e o recuo dos sistemas depressionários de origem tropical e/ou equatorial.

Conforme elucidado no capítulo metodológico, nem todas as Estações Amostrais trabalhadas durante o período de verão puderam ser reaproveitadas na mensuração dos dados de inverno, em função de questões sobretudo logísticas. Assim sendo, permaneceram em análise a EA 1 (quintal residencial de bairro peri-urbano), EA 5 (pastagem em área rural), EA 6 (fundo de vale ocupado), EA 7 (horta em quintal residencial peri-urbano) e EA 8 (quintal residencial em área urbana).

Inicialmente demarcado por elevada nebulosidade oceânica confinada a barlavento da Serra do Espinhaço, o segundo período de mensuração somente registrou as maiores temperaturas médias do ar na última semana de observações, sob forte atuação do ASAS em situação pré-frontal.

Ao se deslocar para latitudes menores, a diferença de pressão em superfície entre o sistema frontal e a célula anticiclônica é responsável por comprimi-la, a norte, contra a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), sistema de baixa pressão equatorial formada pela convergência dos ventos alísios e pela força de Coriolis¹⁹. Resultado disso é a intensificação da pressão atmosférica e elevação das temperaturas, que no dia 11 de setembro de 2015, foi responsável pelo registro térmico médio na EA 8 de até 29°C, seguida pela EA 1 (28,5°C) e pela EA 7 (28°C). A menor temperatura média registrada neste dia foi de 27,6°C, na EA 5.

A umidade relativa média do ar, em função disso, também apresentou os menores valores do período no dia 11/09, ao registrar montante mínimo de 44% na EA 8 e máximo de 51% na pastagem rural (EA 5). Já os menores valores médios de temperatura do ar foram registrados no dia 12 de agosto de 2015, da ordem de 19°C (no vale fluvial ocupado - EA 6), seguido por 19,5°C na EA 7 (horta residencial urbana). O maior valor médio neste dia foi de 20,6°C, registrado na EA 8 (quintal residencial urbano). Os maiores valores médios de umidade relativa do ar, por sua vez, foram registrados somente no dia 18/08, em que a EA 5 (pastagem em área rural) experimentou 79%. O menor valor médio neste dia não foi inferior a 71%, registrado também na EA 8.

Em relação aos valores máximos e mínimos absolutos de todo o período de inverno, destaca-se a EA 1 (quintal residencial peri-urbano), que registrou temperatura de 38°C, às 15h do dia 11/09. Essa mesma estação também registrou o mínimo absoluto de umidade relativa (16%), às 16h do dia 19/09. Demais resumos médios e absolutos dos elementos mensurados no período de inverno podem ser visualizados na **tabela 10** a seguir.

¹⁹ Segundo Barry & Chorley (2013) é associada à força defletora rotacional da Terra, que advém do movimento de massas sobre a superfície, referenciado a um sistema de coordenadas. Isto é, qualquer objeto terrestre se deslocará pelo rompimento da inércia.

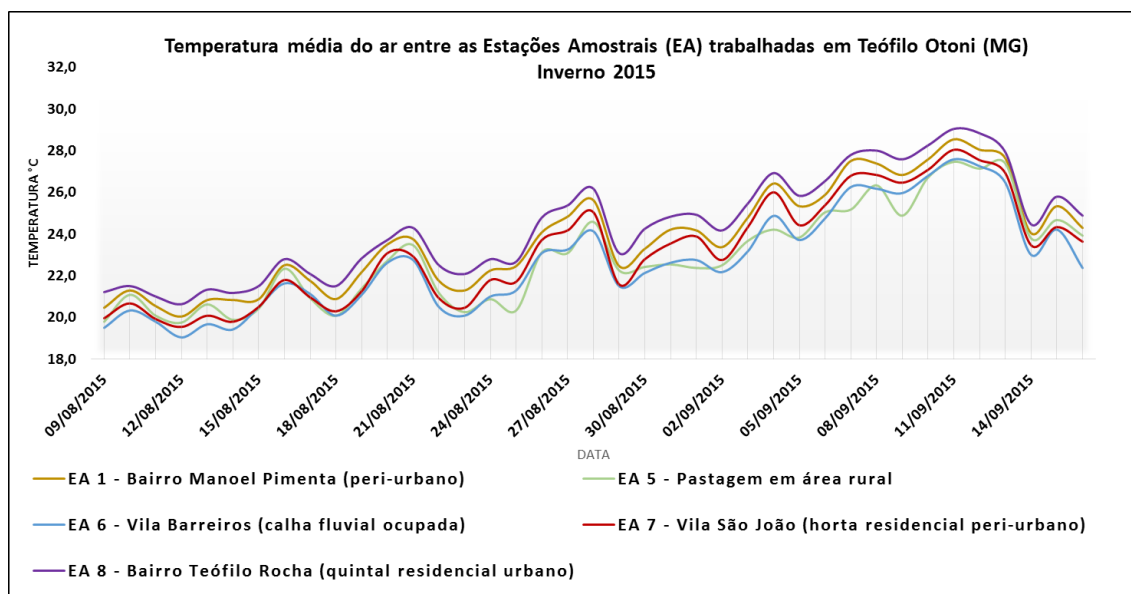
Tabela 10. Resumo dos valores médios, máximos e mínimos registrados no período seco (inverno 2015).

Estação amostral	Temp. média global (°C)	Umid. média global (%)	Temp. máxima absoluta (°C)	Umid. Máxima absoluta (%)	Temp. mínima absoluta (°C)	Umid. mínima absoluta(%)	Ampl. térmica média (°C)	Ampl. higríca média (%)
EA 1 - Bairro Manoel Pimenta (peri-urbano)	23,8	60,3	38,0	84,8	15,0	16,2	11,6	36,1
EA 5 - Pastagem em área rural	22,9	64,5	37,6	90,6	12,7	17,4	13,5	43,4
EA 6 - Vila Barreiros (calha fluvial ocupada)	22,7	62,3	34,9	87,8	13,6	22,1	10,8	36,1
EA 7 - Vila São João (horta residencial peri-urbano)	23,2	60,8	37,8	86,1	14,3	18,3	11,6	36,8
EA 8 - Bairro Teófilo Rocha (quintal residencial urbano)	24,4	57,7	37,2	83,0	16,2	19,9	11,0	35,4

Como pode ser observado na **figura 46**, o segundo período de mensuração de dados, em função da nebulosidade oceânica mencionada, iniciou-se com certa homogeneidade nas temperaturas entre postos amostrais. A diferença térmica média entre a estação mais fria (EA 6 – calha fluvial ocupada) e a mais quente (EA 8 – quintal residencial em área urbana) no dia 09 de agosto, por exemplo, foi de apenas 1,7°C.

No entanto, à medida que a nebulosidade (composta basicamente por nuvens do tipo altocumulus) se dissipou, as temperaturas médias registraram crescente aumento, bem como variabilidade diária em padrão ondulatório semelhante ao observado no período de verão. No dia 18 de agosto, por exemplo, a EA 5 (pastagem rural) registrou temperatura da ordem de 20,1°C, enquanto que no dia 20 seguinte, os valores médios registrados atingiram 22,7°C. O mesmo padrão foi observado em todas as demais estações, ainda sob atuação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, razão associada à sua dinâmica de deslocamento, que ora advecta umidade oceânica para o interior do continente e contribui para o aumento da nebulosidade, ora funciona como bloqueio atmosférico (enfraquecendo os fluxos convectivos e permitindo a entrada de radiação solar de maneira direta).

Figura 46. Variação dos valores médios diários da temperatura do ar registrada nas Estações Amostrais em Teófilo Otoni (MG) durante o período de inverno de 2015.



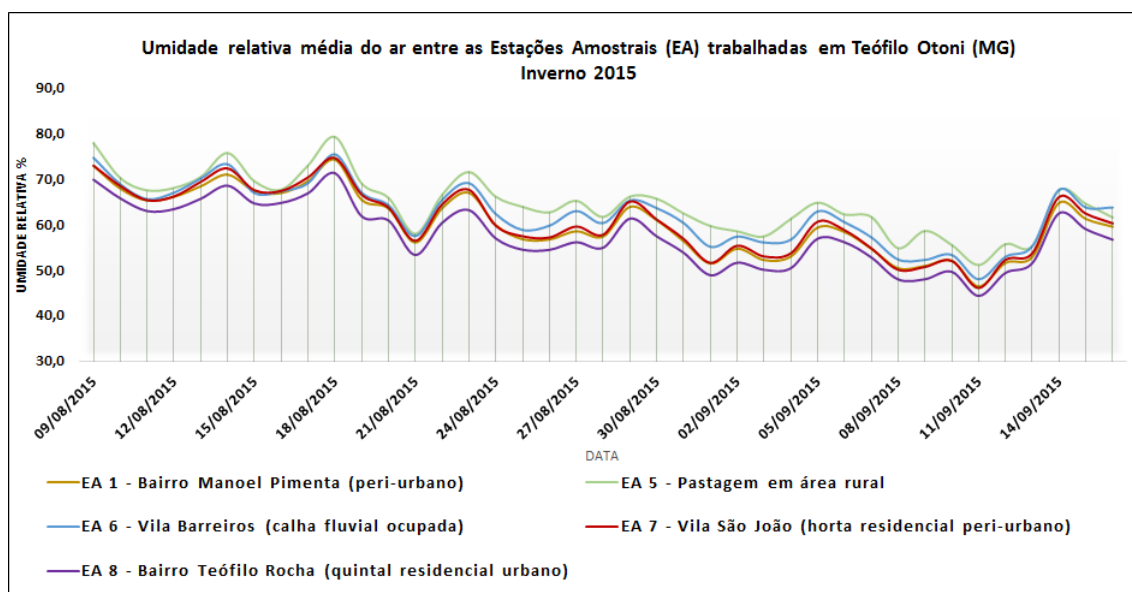
A elevação das temperaturas observada no dia 28 de agosto, em que chegou-se a registrar 26,2°C na EA 8, é explicada pela situação pré-frontal imposta

pela aproximação de sistemas dinâmicos de sul, que comprimem as células de alta pressão sobre as latitudes menores e favorecem o aquecimento superficial.

Por outro lado, ainda que em processo de frontólise, sua posterior atuação foi responsável por ligeira instabilidade temporal na região e pela redução da temperatura média em até 3,4°C de um dia para o outro, registrada na EA 7 (horta residencial em bairro peri-urbano). Tal Estação Amostral experimentou valores da ordem de 25°C no dia 28 e 21,6°C no dia 29 de agosto.

O mesmo padrão sinótico imposto nos dados de superfície pode ser visualizado na variabilidade da umidade relativa do ar, que no dia 28 (sob atuação do ASAS) registrou 58% na EA 7 e no dia 29 (sob atuação da frente fria em dissipação) registrou 65%, diferença média de 7%, conforme visualizado na **figura 47**.

Figura 47. Variação dos valores médios diários da umidade relativa do ar registrada nas Estações Amostrais em Teófilo Otoni (MG) durante o período de inverno de 2015.



Com a passagem do sistema instável, o Anticiclone Subpolar do Atlântico Sul (APAS) esteve atuante por período breve de um ou dois dias. Segundo Assis *et. al.* (2013), trata-se de célula de alta pressão migratória, oriunda de latitudes subpolares e caracterizada pela advecção de ar frio e queda dos valores de temperatura nas regiões sul, sudeste e centro-oeste do Brasil (em situações de normalidade).

Sua atuação sobre Teófilo Otoni e região, já em processo de tropicalização, foi responsável pela ligeira manutenção das condições impostas pela frente subpolar, em que se observou contraste térmico e higróico médio de apenas 2,2°C e 6%, respectivamente, entre a EA 6 (calha fluvial ocupada) e a EA 8 (quintal residencial urbano), no dia 30 de agosto de 2015.

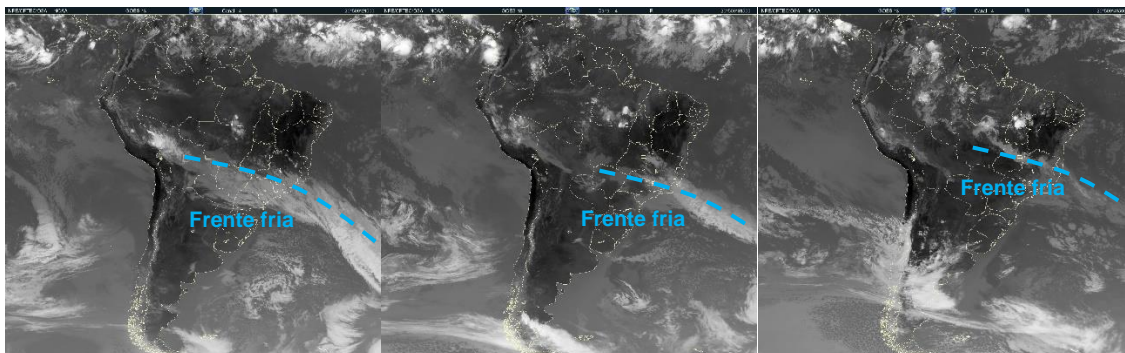
Após tropicalização da massa de ar frio, os padrões médios de temperatura e umidade mensurados experimentaram a habitual oscilação associada ao Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). Entre cristas e vales observados nos gráficos acima, ainda é nítido o comportamento comum de elevação das temperaturas do ar entre todas as Estações Amostrais durante as duas primeiras semanas do mês de setembro de 2015, motivo associado à aproximação da estação sazonal da primavera e o consequente aumento do saldo de radiação solar global.

Em resposta, a umidade relativa média do ar experimentou comportamento decrescente nos valores registrados até o dia 11 de setembro, que vale lembrar foi inclusive o detentor dos maiores valores médios de temperatura do ar (29°C na EA 8) e dos menores valores médios de umidade relativa (44%, também neste posto de mensuração).

No entanto, a partir do dia 12/09 e sobretudo no dia 14/09, nova frente fria atuou sobre o Estado de Minas Gerais, conforme verificado na **figura 48**, o que promoveu o desvio do ritmo com que se manifestavam os tipos de tempo. Entre os dias mencionados e conforme o avanço do sistema instável, a temperatura média do ar, por exemplo, variou de 28°C a 24°C na EA 1 (quintal residencial em bairro peri-urbano), enquanto que a umidade relativa média do ar, por sua vez, experimentou variação de 52% a 65%, respectivamente.

É interessante destacar que somente no período de inverno é que se observou o alcance de sistemas frontais “independentes” até as faixas latitudinais onde se encontra o município de Teófilo Otoni, ainda que em processo avançado de dissipação. No período de verão, tais sistemas estiveram sempre integrados a Zonas de Convergência de Umidade (ZCOU).

Figura 48. Evolução dos sistemas atmosféricos do período entre os dias 12 a 14 de setembro de 2015. Imagens do satélite GOES-13 no canal infravermelho 4, às 15h, e cartas sinóticas da Marinha do Brasil nos respectivos dias e horários. Fonte: CPTEC/INPE; Marinha do Brasil.



A passagem da frente fria mais uma vez deu lugar ao Anticiclone Subpolar do Atlântico Sul (APAS), que atuou de modo a garantir as condições estáveis, frias e úmidas impostas, até o fim do período efetivo de mensuração dos dados, em 16 de setembro de 2015. A umidade relativa média do ar, por exemplo, fora registrada no dia anterior ao recolhimento dos sensores em 61,3% na EA 1 (quintal residencial em bairro peri-urbano), 64,6% na EA 5 (pastagem rural), 63,8% na EA 6 (calha fluvial ocupada), 62,4% na EA 7 (horta em residência peri-urbana) e 59% na EA 8 (quintal residencial em área urbana).

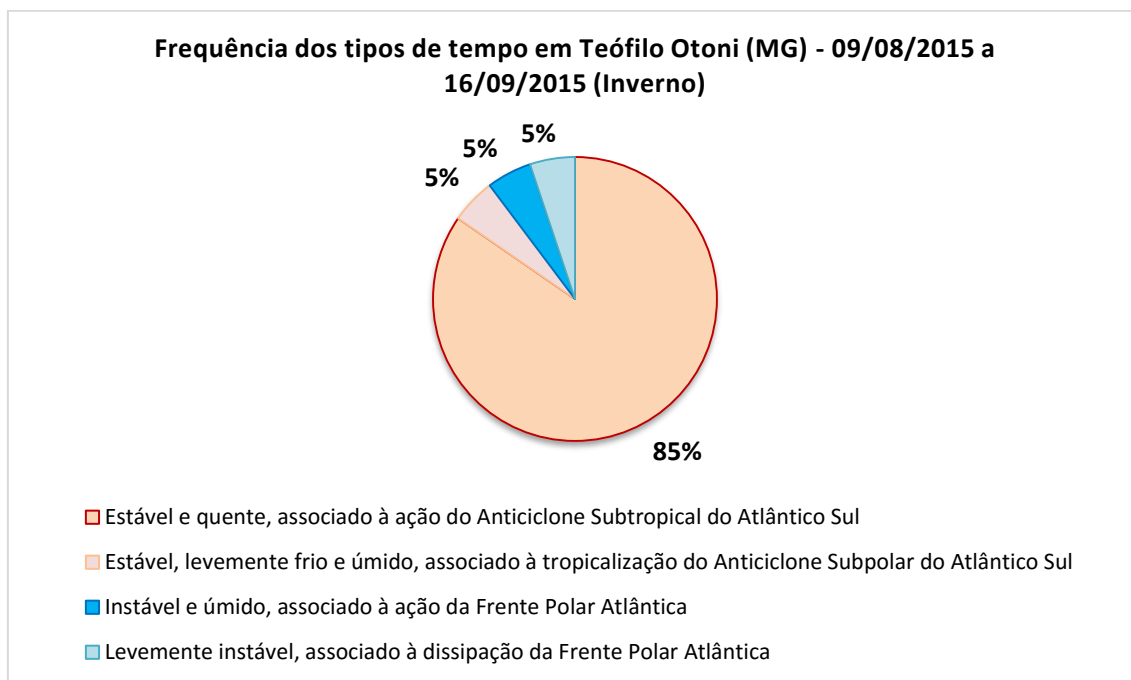
A amplitude hídrica média máxima registrada entre as Estações Amostrais de apenas 5,6% neste dia, reforça o papel dos referidos controles atmosféricos na homogeneização das variáveis mensuradas sobre tipos de tempo instáveis e/ou com origem em condições subpolares. O mesmo aspecto pode ser observado na temperatura média do ar, que variou de 24,2°C na EA 6 a apenas 25,8°C na EA 8.

Em relação à frequência de atuação de cada um dos tipos de tempo observados, por fim, tem-se mais uma vez o ASAS como principal controle sinótico regulador. Conforme observado na **figura 49** a seguir, dos 39 dias corridos de mensuração de dados, 33 deles estiveram sujeitos a tipos de tempo estáveis e quentes, associados à imposição desse sistema de alta pressão, o que correspondeu a quase 85% da série amostral de inverno.

Outros 5% da amostra (ou dois dias), estiveram sujeitos a tipos de tempo estáveis, mas ligeiramente frios e úmidos, em função da imposição do Anticiclone Subpolar do Atlântico Sul (APAS).

Os tipos de tempo eminentemente instáveis estiveram presentes em pouco mais de 10% dos dias de mensuração dos dados de inverno, associados à Frente Polar Atlântica (que garantiu condições temporais instáveis e úmidas) e à sua variação em processo de tropicalização (que manteve as condições de instabilidade temporal até a gradual substituição pelo APAS e ASAS).

Figura 49. Frequência de atuação dos tipos de tempo durante o segundo período de mensuração dos dados de campo (inverno). Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.



Em resumo, se somados todos os tipos de tempo observados durante o período de mensuração de dados desta pesquisa (compreendendo verão e inverno), aproximadamente 82% das situações foram controladas por sistemas atmosféricos de característica temporal estável, isto é, pelo menos 68 dias dos 83 efetivamente mensurados.

Certamente, o breve período de análise não é suficiente para retratar com elevada fidelidade a distribuição temporal dos tipos de tempo no clima de Teófilo Otoni e região, até em função de sua variabilidade natural inter-anual, controlada por mecanismos de escalas superiores e que podem provocar mudanças substanciais na natureza e no ritmo de sucessão dos tipos de tempo. No entanto, a análise sinótica apresentada, em concomitância com a referência bibliográfica regional existente, além de permitir revelar padrão

associado à razoável parte dos anos de 2014 e 2015, funciona como primeiro diagnóstico efetivamente voltado ao município de Teófilo Otoni.

E ainda que diferente da proposta central do tópico, a análise dos dados médios realizada para a aferição dos sistemas sinóticos predominantes permitiu também, e inevitavelmente, que fossem realizadas comparações entre os padrões de distribuição das variáveis temperatura e umidade relativa do ar entre as Estações Amostrais.

Tanto no período de verão, quanto nos meses de inverno, é nítido, por exemplo, que a EA 8 (quintal residencial em área urbana) e a EA 9 (ambiente confinado em área urbana) figuram como postos detentores dos maiores valores médios de temperatura do ar e menores valores médios de umidade relativa do ar. Em contrapartida, na grande maioria das situações verificadas, os dados revelaram a EA 4 (leito fluvial florestal) e a EA 5 (pastagem em área rural) como os postos que apresentaram os menores valores médios de temperatura do ar, bem como os índices higrométricos mais elevados.

No entanto, pautada unicamente em valores médios, a análise não permitiria avaliar de forma satisfatória de que maneira os mecanismos do balanço de radiação, cuja variabilidade se expressa em intervalos de tempo (*time*) muito menores, são responsáveis para que as Estações Amostrais sob mesmo tipo de tempo (*weather*) tenham suas variáveis climáticas individualizadas.

Mais que isso, não seria possível verificar a repercussão espacial do ritmo dos tipos de tempo em cada um dos contextos paisagísticos e, sobretudo, os desvios oriundos da inter-relação sistêmica entre superfície e atmosfera, que carecem de dados meteorológicos em intervalo de tempo pelo menos horário e que muitas vezes são “porta-vozes” dos problemas geográficos (ambientais e sociais) de uma região.

Compreender a dinâmica dos componentes do balanço de energia em variados tipos de tempo e porções do espaço é, sem dúvida, importante passo para isso.

4.4 A variação horária dos elementos climáticos e o suporte à identificação dos problemas geográficos

Diante do conhecimento dos tipos de tempo predominantes em Teófilo Otoni e das demais premissas discutidas nos capítulos anteriores, selecionou-se situações de comportamento horário dos elementos climáticos em variadas Estações Amostrais e sob imposição de diferenciados controles atmosféricos, para composição da análise rítmica do clima. A partir dela será possível verificar a real participação da conformação do relevo, do uso da terra, das coberturas vegetais, dentre outros fatores superficiais em inter-relação com os aspectos sinóticos, no estabelecimento de padrões de origens topo e microclimáticas, imprescindíveis à definição das unidades climáticas municipais e suporte ao ordenamento territorial.

A primeira situação escolhida contempla a variabilidade horária das variáveis climáticas mensuradas entre os dias 27 a 29 de janeiro de 2015, sob atuação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS).

Como visto, a condição de bloqueio atmosférico nesse período foi responsável por configurar tipos de tempo estáveis, com elevadas temperaturas e reduzidos valores médios de umidade relativa do ar em todas as Estações Amostrais. No entanto, a individualização da análise em intervalo de tempo horário revela aspectos intrínsecos às escalas inferiores do clima.

Às 06h da manhã do dia 27 de janeiro de 2015, por exemplo, o valor absoluto de temperatura do ar na EA 8 (quintal residencial em área urbana) fora 4°C mais elevado do que o registrado na EA 5 (pastagem em área rural), em que se amostrou 25°C contra 21°C, respectivamente. A EA 1 e a EA 2 (dispostas em área peri-urbana) tiveram valores aproximados ao registrado na EA 8, registrando 24,2°C e 23,8°C, respectivamente. A EA 4 (leito fluvial vegetado) e a EA 6 (calha fluvial ocupada), por sua vez, apresentaram valores absolutos, neste mesmo horário, mais próximos do que fora registrado na EA5, ao demarcar 21,1°C e 22°C, respectivamente.

Os contrastes térmicos observados constituem-se em produtos do balanço de radiação em tais espaços, isto é, o saldo de energia que permanece no

Sistema Terra-Atmosfera após processos físicos de reflexão, espalhamento e absorção da radiação solar de ondas curtas e da emissão de energia em ondas longas pelas feições superficiais. A EA 8, por exemplo, está localizada em bairro de Teófilo Otoni com elevado adensamento populacional e densidade de área edificada. Além de ruas e becos estreitos, que não favorecem a advecção de ar, os limites entre moradias, na maioria das vezes, não são separados por quintais, áreas verdes ou espaços abertos, mas por muros muito próximos uns dos outros ou pelas próprias paredes das residências vizinhas, que já funcionam como divisão entre uma casa e outra. Resultado teórico disso é a contribuição das formas e da rugosidade urbana para o aprisionamento de calor no período diurno.

A cobertura que revestia a superfície do espaço onde fora instalada a EA 8 também em nada contribuía para o arrefecimento das temperaturas e melhoria nas condições de sensação térmica do microclima criado, o maior dos descontentamentos da população residente, também ouvida nesta pesquisa.

Trata-se da ardósia, rocha metamórfica sílico-argilosa bastante utilizada comercialmente como revestimento de pisos e paredes, em função do reduzido custo. Do ponto de vista termodinâmico, o material apresenta baixo índice de reflectância da radiação solar (albedo), em função da pigmentação cinza-escura, que favorece maior absorção de energia em forma de calor se comparada a materiais de colorações mais claras, como coberturas cerâmicas e porcelanatos comumente utilizados como revestimentos residenciais.

Isso se deve ao fato de que a radiação solar que chega à superfície terrestre após processos físicos atmosféricos mencionados contém todas as cores do espectro eletromagnético na faixa do visível e, dessa forma, emite luz na coloração branca. Assim sendo, ao interagir com corpos com colorações mais próximas do branco (como nuvens cumuliformes), a absorção de calor será mínima, ao contrário do que ocorre nos corpos pretos, como o asfalto, cuja cor é resultado da falta parcial ou completa de luz e, portanto, possui maior potencial de absorção de energia (baixo albedo).

Vale ressaltar que a referida propriedade está intimamente relacionada, ainda, com o ângulo de incidência solar, sendo tão mais efetiva quanto mais

perpendicular se der a emissão. No caso de Teófilo Otoni, no solstício de verão, o ângulo é de aproximadamente 84°. Mendonça & Danni-Oliveira (2007) apresentam relação do albedo de variados materiais e revestimentos naturais e urbanos, conforme **figura 50**.

Figura 50. Propriedade de reflectância de luz solar (albedo) de materiais componentes de espaços urbanos e naturais. Adaptado de Mendonça & Danni-Oliveira (2007).

TIPO DE SUPERFÍCIE	ALBEDO (%)		
Solo negro e seco	14	Gramados	15 - 30
Solo negro e úmido	8	Nuvens cumuliformes	70 - 90
Solo nu	7 - 20	Neve recém-caída	80
Areia	15 - 25	Neve caída há dias/semana	50 - 70
Dunas de areia	30 - 60	Gelo	50 - 70
Florestas	3 - 10	Água, altura solar 5 - 30°	6 - 40
Floresta tropical úmida	7 - 15	Água, altura solar > 40°	2 - 4
Floresta decíduifolia	12 - 18	Cidades	14 - 18
Campos naturais	3 - 15	Concreto seco	17 - 27
Savana	16 - 18	Madeira	5 - 20
Campos de cultivos secos	20 - 25	Asfalto	5 - 10
Cana-de-açúcar	15	Terra	31
		Lua	6 - 8

Com a entrada de radiação solar de maneira direta proporcionada pelo ASAS, isto é, sem obstrução da abóboda celeste por nebulosidade, a variação térmica entre Estações Amostrais também fica condicionada ao calor específico dos materiais que compõem os diferentes contextos paisagísticos. Ao receber radiação solar de ondas curtas (ultravioleta), a superfície terrestre se aquece de maneira diferencial e emite radiação de ondas longas (infravermelho), obedecendo à lei de Planck, que estabelece a relação entre a temperatura do corpo emissor e o respectivo comprimento de onda eletromagnética²⁰.

Materiais como o tijolo (sem cobertura em reboco ou pintura) e o concreto (revestimento das edificações onde foram instaladas a EA 8 e EA 1, que não possuem telhado colonial), além de apresentarem albedo não muito elevado, também possuem baixo calor específico. Isto é, ao receber radiação de ondas curtas e armazená-la em forma de calor, as superfícies antropizadas de ambos os espaços se aquecem rapidamente e em ritmo mais acentuado do que o observado nas áreas rurais e florestais. Resultado disso é a elevada amplitude

²⁰ Segundo Vide (1999), elucidando a lei de Planck, quanto maior for a temperatura do corpo emissor, menor será o comprimento de onda da radiação do espectro eletromagnético.

térmica diária mensurada no período de campo, em que a temperatura do ar entre 06h da manhã e 15h da tarde no dia 29 de janeiro de 2015 variou de 24,9°C a 40,5°C no quintal residencial urbano do Bairro Teófilo Rocha (EA 8), amplitude térmica entre a hora mais fria e mais quente do dia de 15,6°C.

Padrão semelhante também é observado no contexto peri-urbano do Bairro Manoel Pimenta (EA 1), em que neste mesmo intervalo de tempo fora registrada amplitude térmica de 15,2°C (23,2°C às 06h e 38,4°C às 15h).

No período noturno, por sua vez, fora observada a rápida e constante redução das temperaturas do ar nas duas Estações Amostrais, razão esta justificada pela baixa capacidade das formas e materiais antropogênicos de armazenar o calor absorvido no período diurno, o que não ocorre, por exemplo, com uma massa d'água, que possui elevada capacidade calorífica (da ordem de 4,19 J/m³, contra 0,28 J/m³ do concreto aerado e 1,37 J/m³ do tijolo comum)²¹ e resguarda o calor absorvido por maior intervalo de tempo.

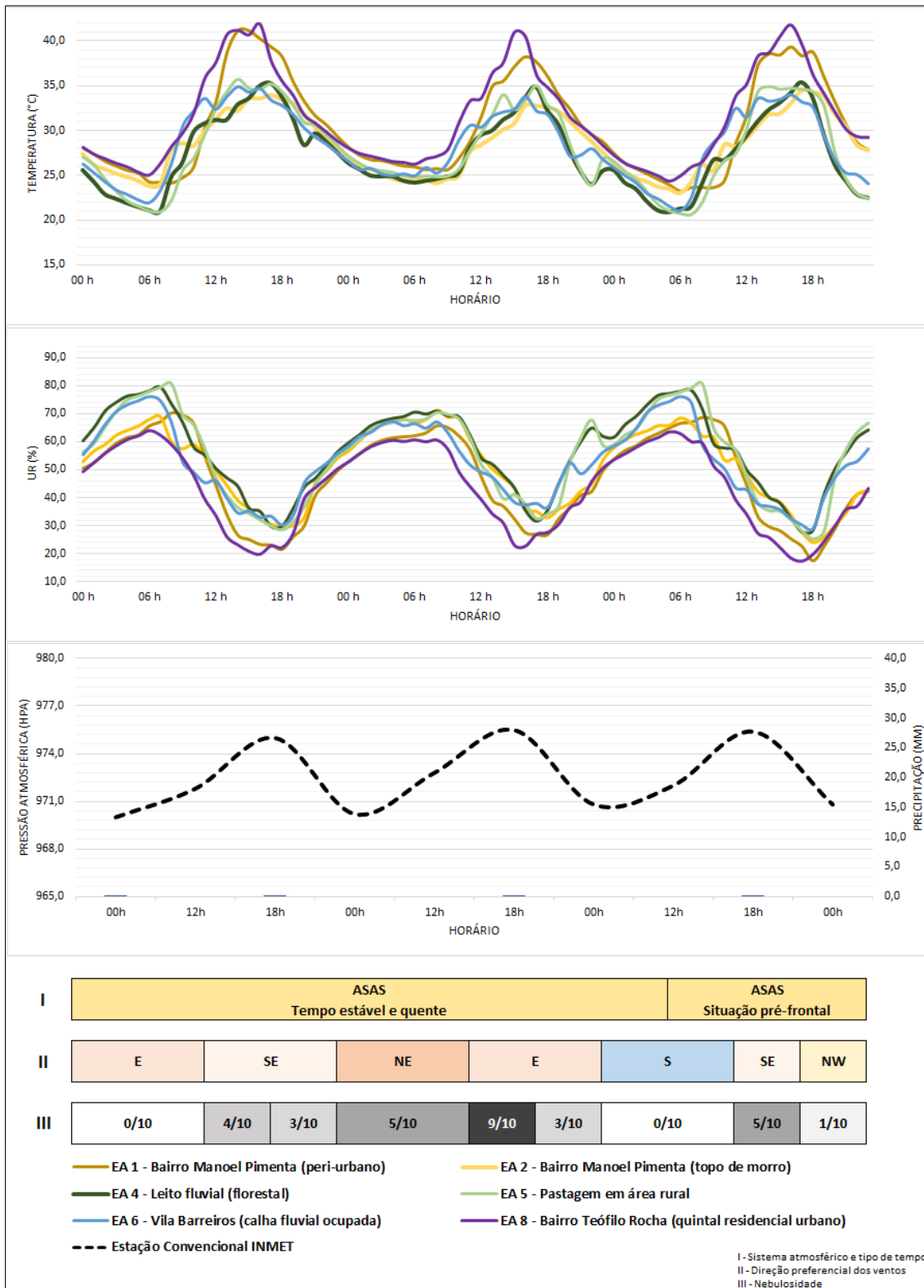
Somado a isso, tem-se ainda a desobstrução do céu noturno, que não oferece resistência à irradiação superficial de ondas longas e permanência da energia no interior da atmosfera urbana (*boundary layer*), consequentemente favorecendo a perda de calor, conforme pode ser observado na prancheta gráfica da análise rítmica do clima (**figura 51**). Ao explorar o produto analítico, além da variabilidade da temperatura do ar nas áreas urbanas mencionadas, observa-se a ausência ou redução geral da nebulosidade sobre Teófilo Otoni durante a atuação do sistema atmosférico de alta pressão (amostrada pela Estação Convencional municipal do INMET), em que somente nas horas de máxima incidência de radiação solar é que se registrou cobertura igual ou superior a 5/10 da abóbada celeste.

A direção preferencial dos ventos, também registrada pela Estação Convencional, na quase totalidade do período obtivera vetor de origem leste, associado à dinâmica de atuação do ASAS e seu movimento de circulação anti-horário, que proporciona advecção de ar de origem oceânica e contribui para a formação de nebulosidade nas primeiras horas do dia. A pressão

²¹ Valores tabelados extraídos de Gartland (2010).

atmosférica registrada entre 970,2 e 975,5 hPa, também acompanha a variabilidade dos demais elementos climáticos, reduzindo-se quando há elevação das temperaturas (aumento do fluxo convectivo).

Figura 51. Análise rítmica horária dos elementos climáticos mensurados nas Estações Amostrais de Teófilo Otoni (MG), entre 27 e 29 de janeiro de 2015. Elaboração autoral.



Outro fator que contribui para a variabilidade térmica e higrométrica observada nos contextos urbanos da EA 1 e EA 8 em relação ao contexto florestal da EA 4, em que se chegou a registrar, no caso da umidade relativa do ar, diferenças horárias de até 15%, às 16h do dia 27 de janeiro de 2015 (20% na EA 8 e 35% na EA 4) é a geomorfologia dos ambientes. No caso das duas primeiras Estações, a altimetria média não ultrapassa 334 metros, enquanto que a EA 4 está localizada em área de cabeceira, distante do nível de base local (Rio Todos os Santos) e a 377 metros acima do nível do mar.

Pensando-se no gradiente térmico vertical teórico de redução da temperatura em 0,65°C a cada 100 metros de altitude, insuficiente seria estabelecer relação que justificasse plenamente a variação dos elementos climáticos observada. No entanto, tanto o Bairro Teófilo Rocha, onde está instalada a EA 8, quanto a porção peri-urbana do Bairro Manoel Pimenta, onde se encontra a EA 1, figuram em contexto de fundo de vale fluvial, que inclusive experimenta recorrente problema de mal cheiro e proliferação de roedores, em função da inadequada infraestrutura de esgotamento sanitário e da proximidade com área de realização de feiras hortifrutigranjeiras, produtoras de resíduos sólidos destinados frequentemente às galerias pluviais.

Como visto no Modelo Digital de Elevação e discutido na caracterização da área de estudo, pontões graníticos e/ou morros com espesso manto de alteração estão dispostos de maneira circundante às planícies do Rio Todos os Santos e de seus afluentes, com diferenças altimétricas comumente superiores a 50 metros. Ainda que não seja suficiente para explicar a variação térmica e higrométrica pelo gradiente barométrico da coluna de ar, a conformação do relevo é suficiente para desencadear, em escala topoclimática, mecanismos de circulação de brisa montanha-vale.

Isso pode ser melhor explicitado se incluído o padrão de variação dos elementos mensurados no topo de morro do Bairro Manoel Pimenta onde esteve instalada a EA 2, localizada a 359 metros de altitude. Enquanto a EA 1, EA 8 e até mesmo EA 4 e EA 5, registravam temperaturas superiores aos 35,2°C às 17h do dia 27 de janeiro de 2015, a EA 2 registrou exatos 34°C neste mesmo horário. Isso ocorre porque ao se aquecer durante o período

diurno, sob incidência de radiação solar, o ar em expansão no fundo de vale é comprimido lateralmente pelas encostas íngremes e forçado a subi-las, por processo anabático (fluxo quente). No período noturno, por outro lado, à medida que os topos de morro perdem calor por irradiação infravermelha, o ar mais frio e denso tende a escoar em direção ao fundo de vale, por padrão catabático, resultando no arrefecimento das temperaturas nos patamares altimétricos menos elevados e na ascendência do ar quente instalado.

Resultado disso na prática, sob tipo de tempo estável, é a existência de temperaturas semelhantes ou mais elevadas na EA 2 em comparação com os postos de maior adensamento urbano (como a EA 1 ou a EA 8) somente durante as noites e madrugadas. Às 21h do dia 29 de janeiro de 2015, por exemplo, a Estação Amostral no topo de morro urbano (EA 2) registrou 30,5°C, contra 30,6°C na EA 1 e 30,1°C na EA 8. Ademais, à exceção de um único registro em situação pré-frontal, em nenhum outro momento da série histórica horária mensurada, a temperatura do ar na EA 2 foi superior a 34,5°C. E a amplitude térmica nesta Estação Amostral também não foi superior a 11,5°C, o que permite inferir a participação dos topos de morro em Teófilo Otoni como pequenos núcleos de arrefecimento no interior do tecido urbano da cidade.

Outro importante aspecto ainda a ser abordado é, sem dúvida, a participação da vegetação na configuração de diferentes campos térmicos e higrométricos nos contextos paisagísticos avaliados. Isso porque, a despeito das áreas rurais e florestais apresentarem reduzido albedo e no caso da EA 5 (pastagem), baixo patamar altimétrico, os valores horários de temperatura e umidade relativa do ar, em muito se diferenciaram daqueles registrados em áreas urbanas.

Em primeiro lugar, a evapotranspiração realizada pelas espécies vegetais, definida por Ometto (1981) como o somatório da transpiração da planta com a evaporação da água em superfície, funciona como importante mecanismo de saturação hídrica do ar e conseqüente elevação da umidade relativa. Na quase totalidade dos casos observados, a variável se mostrou mais elevada nas áreas florestais (EA 4) e pastagens rurais (EA 5) durante as horas de máxima incidência de radiação solar, do que nos postos de mensuração localizados em áreas urbanas ou peri-urbanas. Às 15 horas do dia 28 de janeiro do mesmo

ano, por exemplo, a diferença entre a umidade relativa mensurada no leito fluvial florestal (EA 4) e no quintal residencial urbano do Bairro Teófilo Rocha (EA 8) alcançou mais de 20%, ao registrar 44% no primeiro posto e 23% na área mais densamente antropizada.

Do ponto de vista térmico, a EA 4, juntamente da EA 6 (calha fluvial ocupada na Vila Barreiros) foi ainda a que apresentou as menores amplitudes sob atuação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, variando de 21°C às 05h da manhã do dia 29/01, a 35,4°C às 17h da tarde ($\Delta = 14,4^{\circ}\text{C}$). A EA 8, neste mesmo dia, que vale lembrar, estava sob situação pré-frontal, registrou amplitude térmica de expressivos 17,5°C, justificada pelas propriedades físicas de absorção de calor das formas urbanas e pela ausência de vegetação arbórea na área circundante.

Na EA 4, por outro lado, a presença de mata ciliar e espécies secundárias de porte arbóreo-arbustivo oferecem “barreira” à entrada de radiação solar de maneira direta. Isto é, a cobertura do dossel vegetal proporcionada pela copa das árvores somente permite a entrada de radiação de maneira difusa, o que diminui o saldo de calor sensível que chega à superfície recoberta por serrapilheira e/ou capim-limão (reduzida capacidade calorífica). Além do mais, a pigmentação esverdeada das folhas e o mecanismo de fotossíntese absorvem grande parte da energia na camada superior do dossel (limite da *canopy layer*), reduzindo ainda mais a elevação das temperaturas no interior do fragmento florestal. Este último ainda oferece obstáculo ao transporte horizontal de ar, resultando em ligeiro confinamento do calor e umidade em escala microclimática.

Há de se destacar também o papel do calor latente nos ambientes vegetacionais, que diferentemente das áreas urbanas muito impermeabilizadas (em que seu saldo é reduzido), em muito contribuem para a elevação da umidade relativa do ar e diminuição das temperaturas. Segundo Barry & Chorley (2013), a mudança de estado físico da água exige gasto de energia suficiente para superar as atrações intermoleculares da partícula de água. Ao realiza-lo, há um consumo de calor sensível do ambiente e armazenamento

desta energia na forma de calor latente, processo que conseqüentemente resulta no resfriamento do ar.

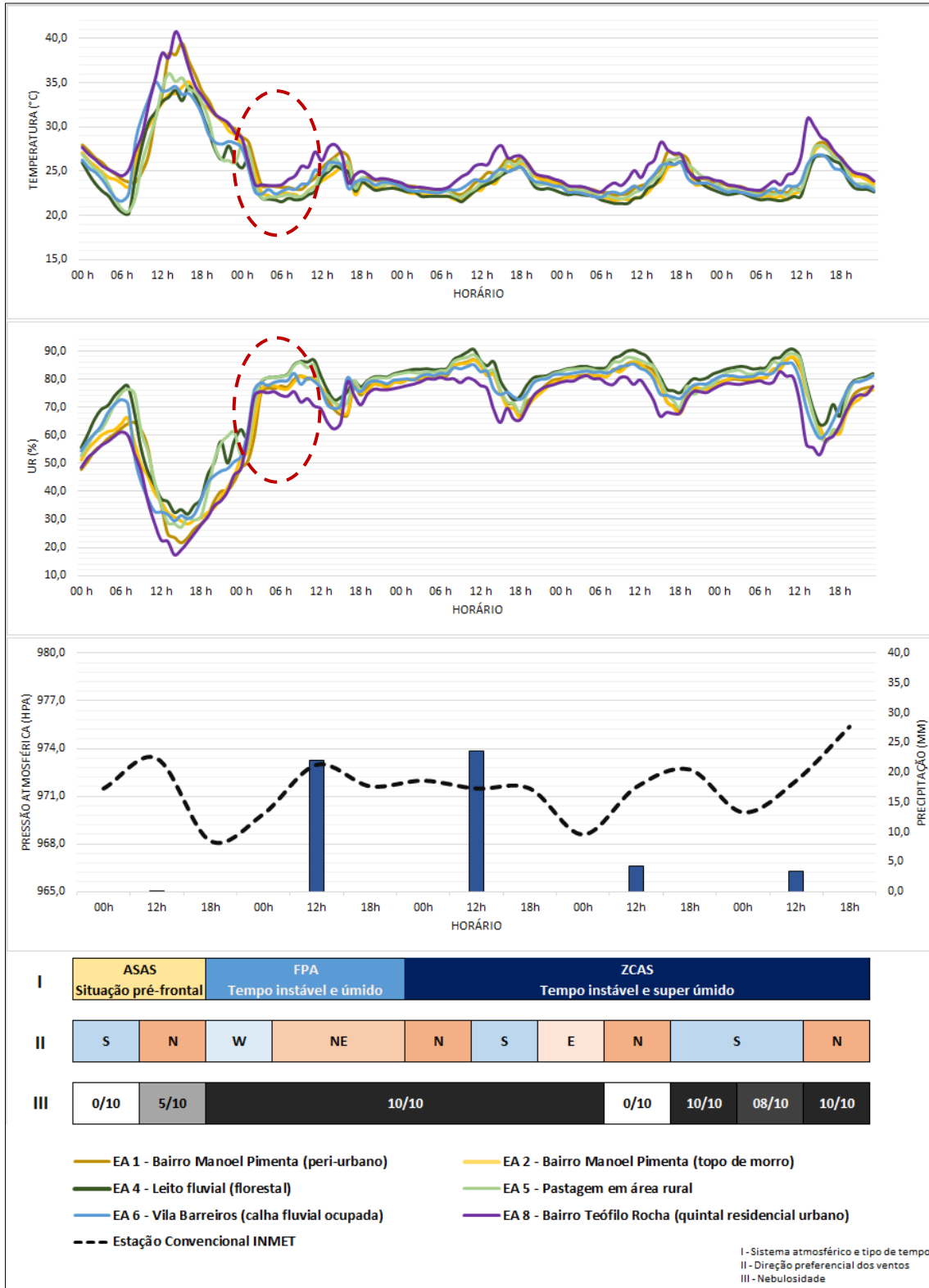
Ao evapotranspirar, portanto, as espécies vegetais, além de inserirem maior volume de água na atmosfera, estão constantemente retirando calor sensível do ambiente, tendo como resultado observado em campo nos dados da EA 4 e EA 5, o ligeiro atraso no aquecimento superficial quando comparado às demais estações, sobretudo à EA 8. Somado a isso, tem-se o fato de que o ar saturado por umidade provoca ainda a diminuição da pressão interna de saturação, o que resulta na diminuição das temperaturas quanto maior for a umidade relativa do ar observada. No caso da EA 6 (calha fluvial ocupada na Vila Barreiros), cujo padrão de variação horário-diário da temperatura e umidade relativa do ar se mostrou bastante semelhante ao observado nas porções territoriais florestais e nas pastagens, mesmo localizada em área peri-urbana, tem-se o contexto geomorfológico e vegetacional como principal contribuinte.

Tal afirmação se deve ao fato de que a EA 6 é majoritariamente a que se encontra no mais entalhado dos vales fluviais e, portanto, fica sujeita à circulação de encosta e ao transporte horizontal de umidade. Não fosse o fato de que a posição de instalação do sensor também permite experimentar condições impostas pela proximidade com materiais urbanos (que contribuem para o aumento do saldo de calor sensível de origem antropogênica, aqui percebido pelo rápido padrão de aquecimento nas primeiras horas do dia), sua variação térmica e hídrica seria de fato muito próxima à observada na EA 4 e EA 5. A maior temperatura do ar registrada no período, por exemplo, sequer foi superior a 34,9°C (mensurada às 14h do dia 27/01), assim como a umidade relativa não foi menor do que 29% (aferida às 18h do dia 29 do mesmo mês).

O motivo disso está relacionado ao constante arrefecimento topoclimático criado pela advecção de ar das cabeceiras de drenagem e a aceleração da remoção do calor pelo atrito do vento com a superfície, que impede a formação de núcleos de aquecimento mesmo em condições de estabilidade temporal. No entanto, apesar do conforto térmico inclusive relatado pelos moradores locais, o convívio com esses espaços incorre também na experimentação de impactos negativos decorrentes de desvios rítmicos, como por exemplo, oriundos dos

episódios de precipitação concentrada, melhor analisados a partir da prancheta de análise rítmica construída para a imposição de tipos de tempo instáveis de verão, predominantes entre os dias 04 a 08 de fevereiro de 2015 (**figura 52**).

Figura 52. Análise rítmica horária dos elementos climáticos mensurados nas Estações Amostrais de Teófilo Otoni (MG), entre 04 e 08 de fevereiro de 2015. Elaboração autoral.



O período selecionado se inicia com a permanência da situação de bloqueio atmosférico imposto pela atuação do ASAS, cuja frequência de atuação já alcançava 19 dias ininterruptos. Se analisada desde o início das mensurações a campo, em que também foram observadas rápidas e fracas atuações de linhas de instabilidade, o bloqueio atmosférico regional foi suficiente para estabelecer verdadeira situação de veranico²² no município de Teófilo Otoni, não tendo sido mensurado pela Estação Convencional do INMET qualquer registro de precipitação pluviométrica em 35 dias de análise (31/12/2014 a 03/02/2015).

No entanto, entre a meia noite (00h) e as 02h do dia 05 de fevereiro de 2015, com a entrada da Frente Polar Atlântica e rompimento do ritmo de sucessão dos tipos de tempo estáveis²³, todas as Estações Amostrais registraram queda abrupta das temperaturas do ar e conseqüente elevação da umidade relativa. Nestas duas horas de diferença, a EA 8 (quintal residencial em área urbana do Bairro Teófilo Rocha), decresceu de 28,7°C a 23,5°C, resfriamento, portanto, de 5,2°C. Mesmo o fragmento florestal (EA 4) e a área de pastagem (EA 5) experimentaram rápida queda nos valores térmicos sob instabilidade temporal, ao registrar neste mesmo intervalo horário, resfriamento de 2,1°C e 4,3°C.

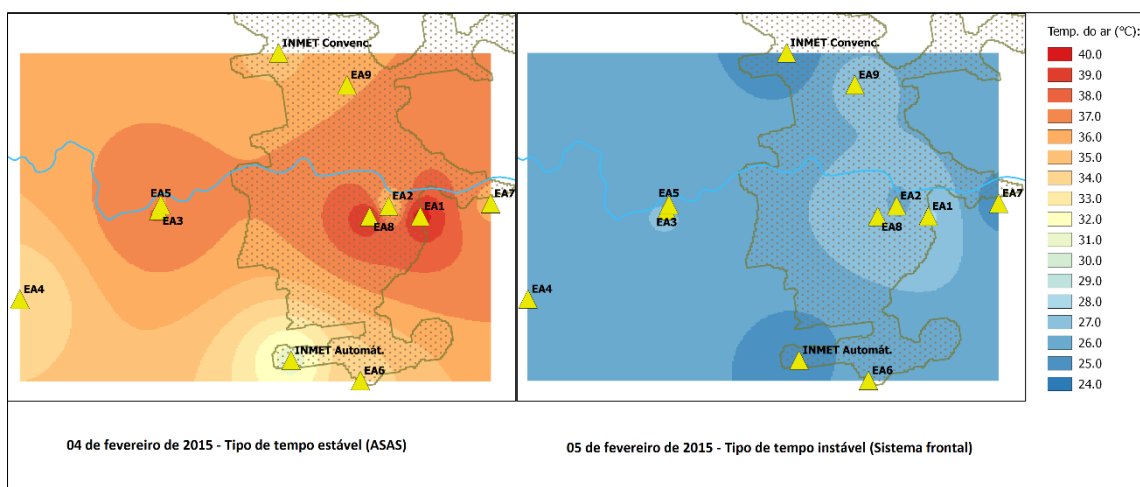
A repercussão espacial diferencial da temperatura existente entre os dois tipos de tempo se torna nítida quando interpolados os valores horários mensurados em todas as Estações Amostrais e oficiais do INMET nos dias 04 (condições de estabilidade) e 05 (condições de instabilidade) de fevereiro de 2015, às 15 horas da tarde, conforme pode ser visualizado na **figura 53**.

As isolinhas de distribuição da temperatura horária absoluta, que sob atuação do ASAS registravam mais de 39°C na EA 1 (área peri-urbana do Bairro Manoel Pimenta) e na EA 8 e menos de 32°C na Estação Automática do INMET (disposta em cota altimétrica 140 metros mais elevada), durante a atuação da Frente Polar Atlântica não registraram variação superior a 3°C entre os diferentes contextos paisagísticos.

²² Na ótica agrícola, é entendido como o fenômeno que se caracteriza pelo estabelecimento de extensos períodos de interrupção da precipitação durante a estação habitualmente chuvosa (CARVALHO *et. al.* 2000).

²³ Desvio rítmico sinalizado em circunferência vermelha pontilhada na prancheta gráfica.

Figura 53. Variação da temperatura do ar em Teófilo Otoni, registrada às 15h dos dias 04 e 05 de fevereiro de 2015. Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.



O maior déficit térmico observado na EA 8 durante a transição dos tipos de tempo está relacionado à baixa capacidade dos materiais componentes do tecido urbano em conservar, por extenso período de tempo, o calor adquirido durante o período diurno, ao passo que nas áreas rurais e florestais, cujo saldo de umidade e calor latente já se encontrava mais elevado, a imposição do ar frio do sistema frontal foi eficiente no que tange à elevação da saturação hídrica do ar. Isso porque, às 11h da manhã desse mesmo dia 05/02, por exemplo, os valores de umidade relativa na EA 4 e na EA 5 chegaram a alcançar 87% e 85%, respectivamente, permanecendo acima do índice de 90%, neste mesmo horário, pelos próximos três dias.

O motivo disso está relacionado à entrada do sistema frontal e seu posterior desenvolvimento para a Zona de Convergência do Atlântico Sul. Em um primeiro momento, a FPA, que se caracteriza enquanto zona depressionária de ar frio que delimita a descontinuidade térmica existente entre duas massas de características diferentes (tropical e sub-polar), ao deslocar-se sentido SW-NE e encontrar-se com o ASAS, força a ascendência do ar quente ali estagnado e provoca sua condensação. A prancheta de análise construída inclusive dispõe a presença, em elevado número de casos, da direção preferencial dos ventos associada a vetores de origem sul e oeste.

Com base nisso e no elevado *input* de radiação solar durante o verão (que alimenta os fluxos convectivos de superfície), a energia retirada do ambiente

para transformação do calor sensível em calor latente é novamente liberada na atmosfera, o que resulta em novo pulso de aquecimento do ar em expansão e no maior desenvolvimento vertical da nebulosidade.

Do sistema anticiclônico à atuação da ZCAS, o recobrimento da abóbada celeste observada pela Estação Convencional do INMET variou de até 5/10 de obstrução até a completa “barreira” à entrada de radiação solar direta (10/10 de recobrimento da atmosfera local), permanecendo assim por dois dias ininterruptos.

Tal padrão, além de garantir menores contrastes térmicos e higrométricos entre as Estações Amostrais (que com a ausência de radiação solar no período noturno, chegaram a registrar diferença horária entre posto mais quente e mais frio de apenas 0,8°C – 22,2°C na EA 4 e 23°C na EA 8) foi suficiente também para desencadear processo meteórico, cujo registro oficial do município apontou precipitação diária acumulada de 22 mm no dia 05/02, 23,5 mm no dia seguinte e outros 7,7 mm durante os dias 07 e 08/02.

Se por um lado o desvio rítmico foi responsável por impacto positivo oriundo da quebra da situação de veranico imposta, resultando no início da reposição hídrica do solo, aumento das vazões fluviais e atenuação do calor e da má sensação térmica, a continuidade da chuva também resultou, mais uma vez, em recorrente problema histórico do município.

Apesar da Estação Convencional do INMET, localizada no setor norte de Teófilo Otoni, registrar apenas 1,9 mm de chuva durante o dia 09 de fevereiro de 2015, o impacto cumulativo também tem de ser observado. E a mídia revela que de fato isso foi suficiente para provocar o extravasamento dos leitos canalizados do Rio Todos os Santos, que em interação com o acelerado escoamento superficial das águas pluviais que descem as vertentes impermeabilizadas, foi responsável pela ocorrência de enchentes, alagamentos, interrupção das vias e danos ao patrimônio privado, como aponta matéria de jornal regional, datada de 09/02/2015 (**figura 54**).

Figura 54. Matéria do jornal “Aconteceu no Vale”, destacando, com algum sensacionalismo, os efeitos provocados pela chuva em Teófilo Otoni (MG). Disponível em <http://aconteceunovale.com.br/portal/?p=52255>. Acesso: 06 de maio de 2016.

CHUVA FORTE PROVOCA ALAGAMENTOS EM TEÓFILO OTONI

🕒 9 de fevereiro de 2015 📁 Vale do Mucuri 💬 Deixe um Comentário



No dia seguinte ao impacto registrado, ainda foram mensurados pela estação oficial 40 mm de precipitação acumulada, que muito provavelmente estendeu a duração dos problemas resultantes e o montante logístico e financeiro necessário para controle da situação, que nada mais é do que produto da sucessão habitual dos tipos de tempo de Teófilo Otoni em inter-relação com o desordenamento urbano e infraestrutura precária.

O poder público talvez não conheça de fato o ritmo e a sazonalidade com que se manifestam determinados tipos de tempo, mas a ausência de ações planejadas e incentivos à pesquisa prorrogarão os impactos negativos observados. Quando parte da população municipal manifesta indignação com o problema recorrente, ainda que baseada em argumentos do tipo senso comum, como por exemplo a máxima de que “basta chover em Teófilo Otoni que a cidade se enche d’água”, pelo visto, parece não estar de todo errada.

A última série de dados selecionada para a composição da análise rítmica do clima diz respeito ao período de inverno de 2015, especificamente mensurado entre os dias 28, 29 e 30 de agosto.

Em razão da logística necessária para a realização do segundo trabalho de campo, como já discutido no capítulo metodológico, nem todas as Estações Amostrais utilizadas no verão puderam ser reaproveitadas no inverno. A EA 2 (topo de morro em área urbana do Bairro Manoel Pimenta) e a EA 4 (leito fluvial florestado), cujos aspectos topo e microclimáticos responsáveis pela configuração de seus característicos campos térmicos e higrométricos do ar foram conhecidos nas análises rítmicas de verão, não foram novamente instaladas.

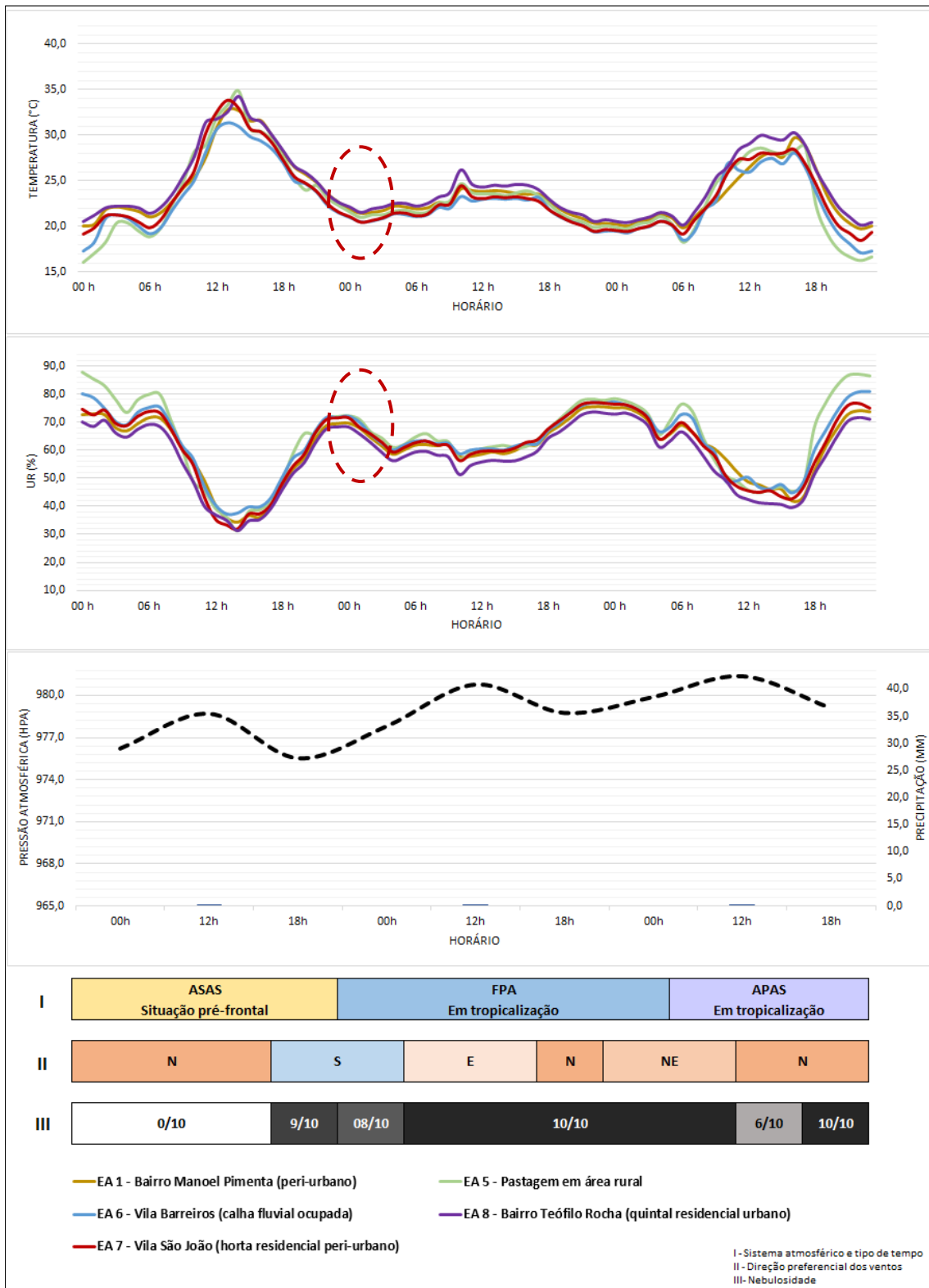
Em contrapartida, incluiu-se neste momento, os dados horários da EA 7 (horta residencial em bairro peri-urbano), que em linhas gerais, apresentaram padrão de comportamento térmico localizado entre o observado na EA 1 e o observado na EA 6, ao registrar, por exemplo, 20,1°C às 20h da noite de 30/08, contra 21,4°C no Bairro Manoel Pimenta e 19,2°C na calha fluvial ocupada da Vila Barreiros, sob atuação do Anticiclone Subpolar do Atlântico Sul.

Apesar de se localizarem em altitude média de apenas 328 metros, as habitações circundantes do local de instalação da EA 7 apresentam, em sua maioria, revestimento reboco e pintura em tonalidades de cores claras, o que favorece a reflectância da luz solar e a redução na absorção de energia. Os espaços entre edificação e outra, até pela localização do bairro em área peri-urbana, de menor adensamento populacional, contemplam quintais, terrenos baldios com presença de vegetação (além de hortas tradicionais como a em questão), que permitem a advecção de ar e o transporte de umidade.

Somado a isso, tem-se o escoamento catabático proporcionado pelas vertentes limítrofes de sudeste, cuja altimetria ultrapassa os 480 metros de elevação, em direção à planície do Rio Todos os Santos (não muito distante da EA 7, disposta a pouco mais de 325 metros). À medida que se resfriam, os topos de morro desencadeiam a subsidência do ar frio e conseqüentemente provocam a diminuição das temperaturas da Estação Amostral principalmente durante as madrugadas.

A **figura 55**, por exemplo, revela que a 01h do dia 29 de agosto de 2015, a temperatura do ar registrada na EA 7 foi inferior até mesmo que os valores registrados na pastagem rural (EA 5), respectivamente de 20,5°C e 21°C.

Figura 55. Análise rítmica horária dos elementos climáticos mensurados nas Estações Amostrais de Teófilo Otoni (MG), entre 28 e 30 de agosto de 2015. Elaboração autoral.



É interessante observar que a substituição do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, que ditava tipo de tempo estável por pelo menos 20 dias consecutivos (desde o início das mensurações a campo em 09/08, até o desvio rítmico observado), por sistema frontal de origem sub-polar, resultou na relativa homogeneização das temperaturas e dos valores de umidade relativa do ar entre todas as Estações Amostrais, semelhante ao que fora observado quando da atuação da ZCAS no período de verão.

Em primeiro momento, a imposição do ar frio e mais denso (menor grau de agitação das moléculas), força a ascendência do ar quente tropical outrora instalado. Posteriormente, o elevado albedo da nebulosidade crescente (que atingiu mais de 8/10 de recobrimento da abóbada celeste logo no primeiro dia do período sob análise) participa de modo a refletir grande parte da radiação de ondas curtas que poderia chegar à superfície terrestre. Somado a isso, tem-se ainda a redução do saldo energético global para a latitude de Teófilo Otoni, em função da inclinação do ângulo de incidência da radiação solar no inverno.

Resultado desse arranjo de fatores é que a temperatura do ar sob instabilidade temporal sequer ultrapassou pouco mais de 30°C (registrando especificamente 30,3°C, às 16h do dia 30/08, na EA 8). A umidade relativa do ar, por sua vez, também não apresentou valores abaixo de 40%, registrados novamente às 16h do mesmo dia, na EA 8.

É muito importante lembrar que a cobertura em ardósia do quintal onde fora instalada a Estação Amostrai do Bairro Teófilo Rocha no período de verão foi substituída por piso cerâmico de coloração clara. Com isto, além do aumento da reflectância da luz solar, o calor específico do revestimento utilizado também se tornou maior, o que resultou na diminuição do contraste térmico com as demais Estações, na reconfiguração do microclima criado e em melhorias no conforto térmico dos moradores do espaço urbano, o que não invalida também, a inferência de que a porção territorial sob investigação, de fato funciona como núcleo de concentração de calor no município, que se estende, pela influência do relevo, até as escalas topoclimáticas.

Por fim, com a tropicalização do APAS que substituiu o sistema frontal, a elevação do saldo de radiação solar global com a chegada da primavera e o

suposto retorno de condições temporais estáveis (evidenciadas não mais por observações empíricas, mas por registros jornalísticos), impactos negativos também recorrentes foram observados.

Trata-se primeiramente da estiagem prolongada na região, apontada pela Câmara de Dirigentes Lojistas (CDL) de Teófilo Otoni, em reportagem datada de 19 de outubro de 2015²⁴. A preocupação com a falta d'água é destacada tanto no que tange ao abastecimento público, quanto ao setor produtivo, muito dependente de insumos hídricos. Inclusive é evidenciada pela fala de um dos prefeitos das cidades componentes da região nordeste de Minas Gerais, a necessidade de pensar mecanismos de aproveitamento da água pluvial, que ironicamente, como visto nos episódios de instabilidade temporal e precipitação da presente pesquisa, são vistas apenas escoando superficialmente em meio ao tecido impermeabilizado e resultando nos impactos mencionados.

Como consequência, o retorno dos tipos de tempo estáveis também desperta a atenção das autoridades quanto aos incêndios florestais, em que reportagem do portal de notícias R7, datada de 26 de outubro de 2015, destaca as ações da Diretoria de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais e Eventos Críticos da Semad, no sentido de controlar o problema em meio à escassez hídrica e à falta de recursos governamentais, conforme **figura 56**.

Figura 56. Reportagem do portal de notícias R7, destacando a elevação do número de incêndios florestais em Minas Gerais, em função do tempo seco. Disponível em <http://noticias.r7.com/minas-gerais/minas-registra-recorde-de-incendios-florestais-no-mes-de-outubro-26102015>. Acesso: 06 de maio de 2016.

Minas registra recorde de incêndios florestais no mês de outubro

Até sexta-feira (23), o Estado já tinha registrado 3.566 focos de incêndio este mês

Na ocasião, uma das regiões mais críticas do Estado foi a Área de Preservação Ambiental (APA) Alto Mucuri, inserida na extensão territorial do município de Teófilo Otoni e ausente, por exemplo, de um plano diretor.

²⁴ “Seca põe 113 cidades de Minas em emergência”. Disponível em <http://cdlto.com.br/novo/news-posts/seca-poe-113-cidades-de-minas-em-emergencia/>. Acesso em 06 de maio de 2016.

4.5 O esforço de síntese: as unidades climáticas naturais e urbanas

Conforme elucidado no capítulo metodológico, a presente pesquisa propõe, como esforço final, a síntese dos aspectos climáticos avaliados em decomposição escalar, em unidades climáticas naturais e urbanas.

A inter-relação sistêmica entre os fatores morfológicos, o uso e a ocupação da terra e a distribuição espacial das variáveis temperatura e umidade relativa do ar, além de fornecer subsídios analíticos utilizados para avaliação do clima em cada uma das escalas apresentadas, permitirão o alcance da premissa de unidade climática, onde as condições habituais, estados médios e desvios rítmicos do clima de Teófilo Otoni estarão espacializados em porções territoriais homogêneas.

De posse da carta de unidades climáticas, o poder público poderá incorporar ferramenta produzida com rigor técnico e científico à proposição de políticas e instrumentos que visem o controle dos impactos ambientais e sociais históricos e recorrentes avaliados nesta pesquisa e que possuem fundamento territorial, ou seja, habitualmente se manifestam dentro de porções espaciais singulares, o que permite a identificação de potencialidades e limitações de uso.

Para tanto, o passo inicial para composição da carta de unidades climáticas fora a interpolação dos valores médios de temperatura e umidade relativa do ar individualizados sob condições de tipo de tempo estáveis e instáveis, cuja análise sinótica garantiu o suporte necessário.

No sentido do alcance da premissa de síntese, tornou-se necessário garantir a maior fidelidade possível dos resultados interpolados às escalas topo e mesoclimáticas organizadas na área de estudo. Isto é, foram removidas da interpolação todas as Estações Amostrais que pudessem enviesar o modelo por refletirem condições médias de gênese microclimática.

Dessa forma, diferentemente da interpolação realizada durante a análise rítmica do clima, que se preocupou com a distribuição horária da temperatura e umidade do ar em cada uma das Estações Amostrais para fins comparativos, neste momento, a relevância da estação para o reflexo do clima produzido em escala superior ao microclima é que foi critério de seleção.

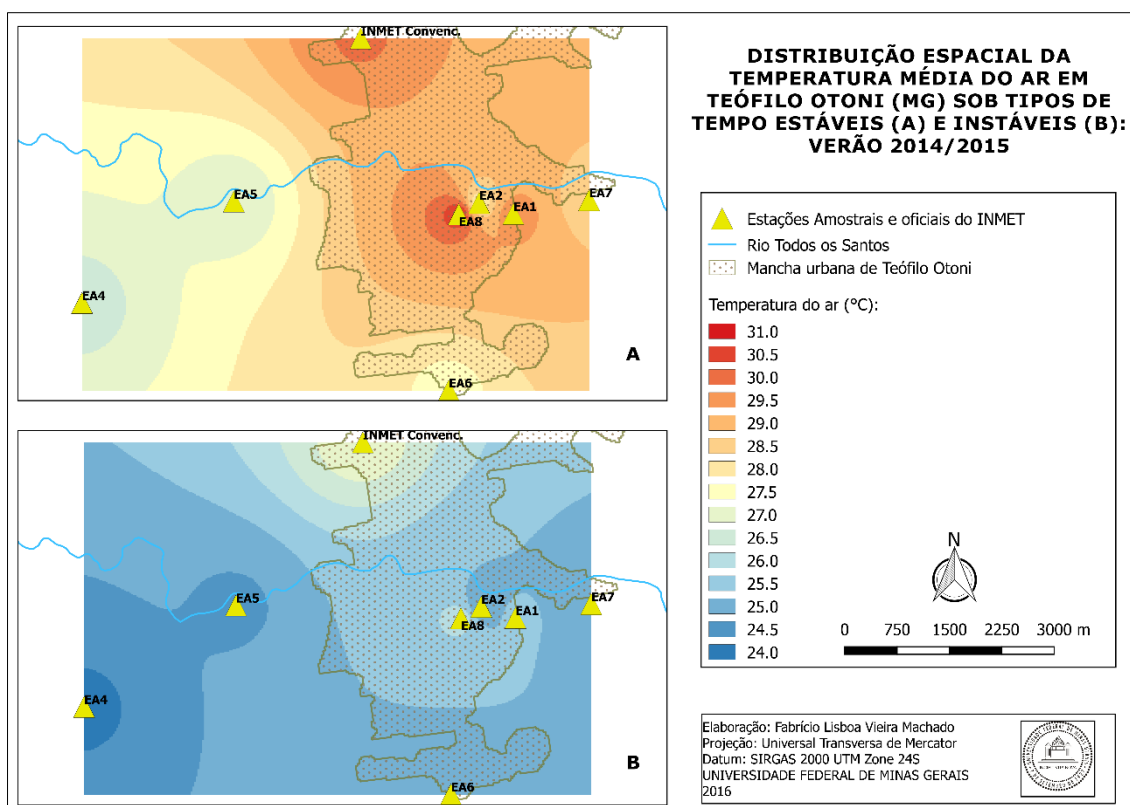
Assim sendo, a EA 3 (residência em vertente de área rural) e a EA 9 (ambiente confinado em residência urbana) não tiveram seus dados inseridos no modelo, assim como a Estação Automática do INMET, que por outro lado, apresentou falhas na mensuração dos dados horários de fevereiro de 2015.

É importante justificar também que como o período de mensuração de inverno não pôde contar com todas as Estações Amostrais utilizadas no período de verão, o cálculo das variáveis médias em condições de tempo estável e instável foi baseado somente nos dados horários do primeiro trabalho de campo, o que prejudicou em parte o resultado final da interpolação, haja vista as especificidades dos sistemas atmosféricos de inverno não contemplados mesmo com a variada gama de tipos de tempo observados no verão.

Conforme **figura 57** a seguir, mesmo sob condições médias de instabilidade temporal, a EA 8 (quintal residencial urbano) e a Estação Convencional do INMET funcionaram como possíveis núcleos de calor urbanos, haja vista a concentração de formas e materiais que compõem os contextos paisagísticos e contribuem para o saldo de calor sensível elevado (como visto, o baixo calor específico do concreto e dos revestimentos em tijolo, a distribuição espaçada de vegetação de baixo porte e a elevada densidade de área edificada ao redor dos postos de mensuração).

As duas estações foram as únicas que mesmo sob condições médias instáveis apresentaram distribuição das isotermas superior à faixa de 26°C. Sob condições médias de estabilidade temporal as duas estações tiveram seus registros inseridos nas isotermas de 29°C a 30°C.

Figura 57. Distribuição da temperatura média do ar entre Estações Amostrais de Teófilo Otoni (MG) no período de verão de 2014/2015. Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.



O mesmo fato também é verificado na distribuição das isolinhas médias de umidade relativa do ar, em que mesmo sob atuação dos tipos de tempo predominantemente instáveis e a relativa homogeneidade imposta pelo ar frio, os valores médios estimados para a Estação Amostral 8 e para a Estação Convencional do INMET não ultrapassaram 65% (contra pelo menos 70% dos demais postos de mensuração), conforme revela **figura 58**.

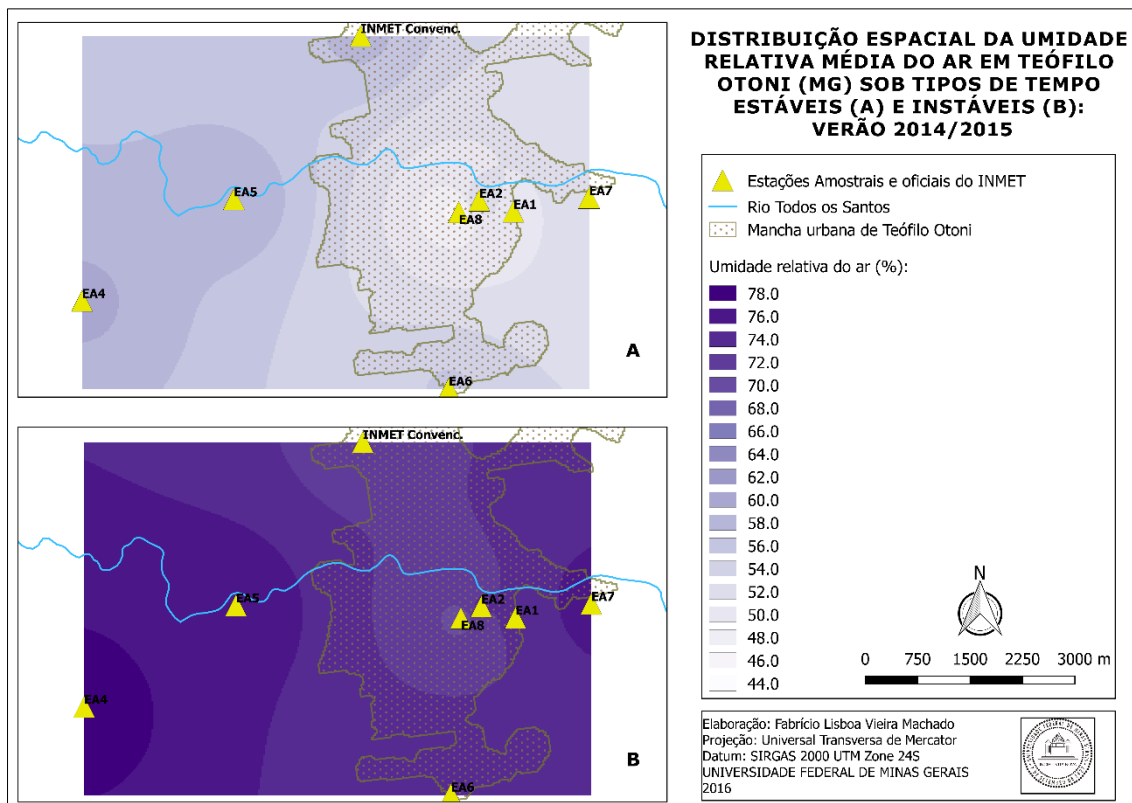
A EA 4 (leito fluvial florestado) e a EA 5 (pastagem em área rural), entretanto, apresentaram faixas térmicas sempre inferiores aos 26,5°C, mesmo no modelo calculado a partir de dados mensurados em dias sob atuação de condições atmosféricas estáveis. A distribuição da umidade relativa do ar, conseqüentemente, também fora estimada em maior proporção para os contextos paisagísticos das referidas estações, cujos valores oscilaram entre 76% e 78%, em condições de instabilidade temporal.

O motivo certamente está relacionado ao distanciamento das áreas em relação ao centro urbano de Teófilo Otoni, à presença de vegetação de porte arbustivo e arbóreo, que colaboram para a maior saturação hídrica do ar (em detrimento

à quase totalidade de materiais de origem antrópica que revestem o solo do núcleo central e armazenam calor) e no caso da EA 4, ao patamar altimétrico elevado (377 metros) em que se encontrava instalada, o que contribui parcialmente para a diminuição da temperatura em função do gradiente barométrico do ar, se comparada às demais estações.

Mesmo com tipos de uso da terra em parte semelhantes, as duas últimas estações se diferem substancialmente pela condição morfológica em que se inserem e pelo padrão de circulação dos ventos consequente. Não obstante a diferença altimétrica de 52 metros, a EA 5 está localizada em planície fluvial de grande extensão territorial (nível de base local) e muito susceptível à advecção de ar catabático que desce as encostas elevadas onde se insere a EA 4 no período noturno. Isso é válido inclusive para a planície fluvial em área urbana, que como visto, também experimentou forte perda de radiação infravermelha.

Figura 58. Distribuição da umidade relativa média do ar entre Estações Amostrais de Teófilo Otoni (MG) no período de verão de 2014/2015. Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.



Fato é que tais mecanismos, apesar de possuírem individualizações de origem topoclimática à cada pequeno vale fluvial formado, também estão sujeitos a padrões de circulação que particularizam o vento regional em duas grandes

unidades mesoclimáticas naturais, associadas necessariamente às colinas convexas em “elevado” patamar altimétrico e ao fundo de vale fluvial do Todos os Santos e principais afluentes.

É necessário destacar também, que tanto no modelo de distribuição da temperatura, quanto da umidade relativa do ar, a Estação Amostral 2 (topo de morro em área urbana), localizada a 359 metros de altitude, apresentou comportamento diferenciado das demais estações em área eminentemente urbana. Isto é, mesmo com a elevada proximidade das regiões centrais da cidade, onde estão concentradas as isolinhas com maior valor de temperatura e menor valor de umidade, a EA 2 apresentou padrão inverso, tanto sob tipos de tempo estáveis, quanto instáveis.

Tal constatação leva a crer, que apesar da diferença entre as cotas altimétricas das estações não serem tão significativas, os topos de morro inseridos em contextos urbanos de Teófilo Otoni de fato funcionam como núcleos de arrefecimento, sobretudo em condições estáveis e quentes. Certamente, novas pesquisas voltadas a este foco poderão refinar os resultados e considerações aqui apresentadas, mas *a priori*, os topos de morro podem ser configurados como unidades topoclimáticas do município, tanto em áreas urbanas (que inclusive resguardam porções espaçadas de vegetação), quanto em áreas rurais e florestais (quando se apresentam em cotas altimétricas muito superiores e com densos fragmentos de fitofisionomias de porte arbóreo).

Assim sendo, a presente pesquisa apresenta a descrição, o mapeamento (**figura 59**) e o resumo com as características gerais (**quadro 4**) das unidades climáticas naturais e urbanas de Teófilo Otoni como esforço final de síntese e como sugestão técnica ao melhor ordenamento territorial do município. Tais unidades, apesar de tentativa cartográfica de atribuir “limites” ao comportamento de sistema tão dinâmico como o clima, representam a síntese da sucessão habitual dos tipos de tempo individualizada aos contextos micro escalares representativos de cada Estação Amostral.

Nada mais são do que a abstração e inter-relação dos dados de natureza quantitativa, dos controles atmosféricos e tipos de tempo associados, dos distintos tipos de uso e ocupação da terra, patamares altimétricos e modelados

do terreno, dos impactos sociais e ambientais avaliados e, sem dúvida, do empirismo do pesquisador que cresceu e conviveu *in loco* com o que hoje assim delimita:

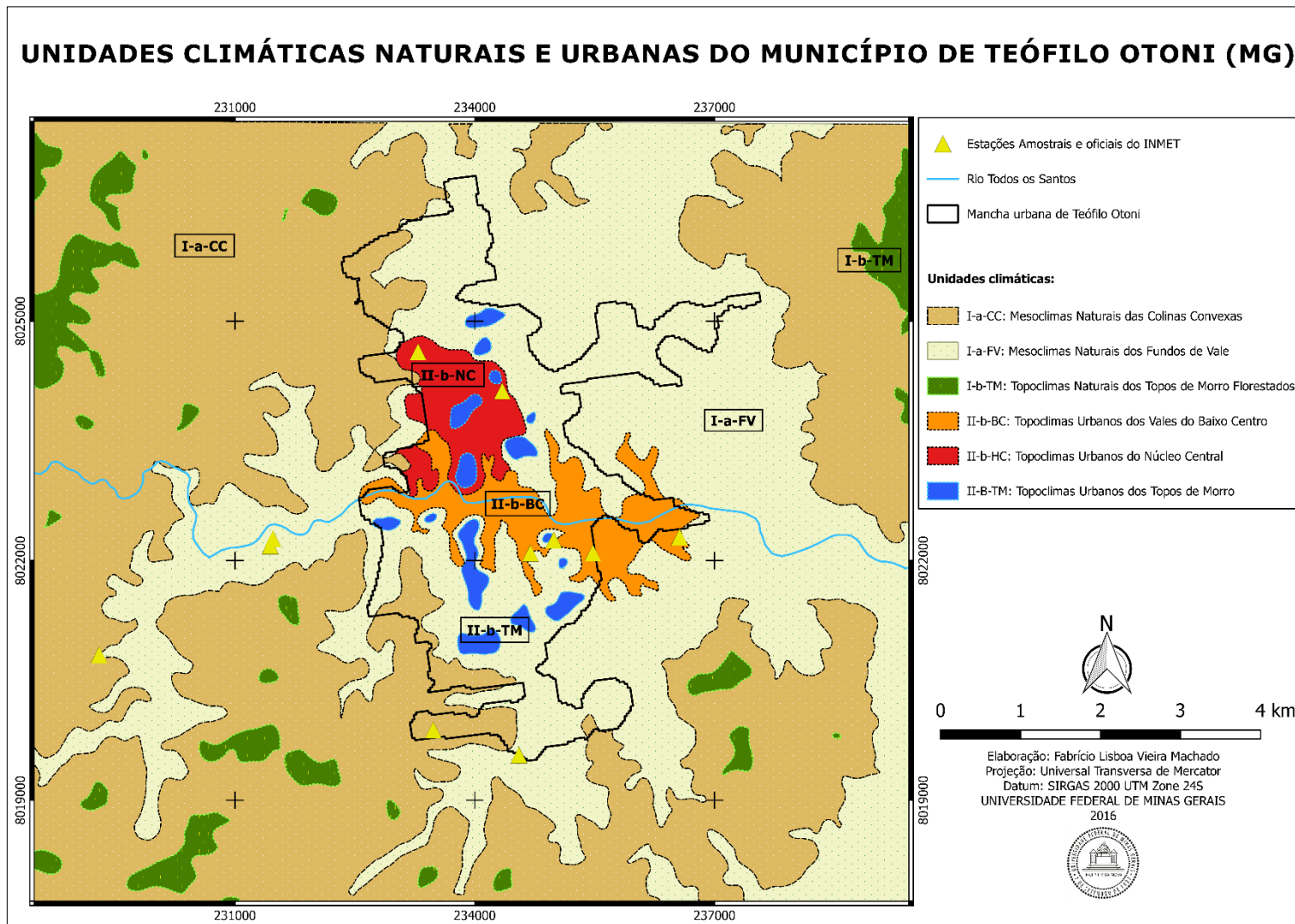
- i. Unidade Mesoclimática Natural das Colinas Convexas (I-a-CC): unidade controlada pelo fator relevo (morfologia e patamar altimétrico), sendo caracterizada pela maior saturação hídrica do ar e por isolinhas térmicas de menor valor. Associada a paisagens formadas por colinas convexas em patamares altimétricos elevados para a área de estudo, com presença espaçada de feições vegetacionais de porte arbóreo denso. Em função do relevo movimentado e dos possíveis impactos oriundos da relação com diferentes tipos de tempo, os usos são limitados à pastagem de gado nas áreas descampadas e já impactadas, além de práticas agrícolas sustentáveis;
- ii. Unidade Mesoclimática Natural dos Fundos de Vale (I-a-FV): unidade também controlada predominantemente pelo fator relevo, sobretudo em função dos padrões catabáticos e anabáticos de circulação associados aos fundos de vale em que se encontram (em patamar inferior aos 390 metros de altitude), o que promove a configuração de elevadas amplitudes térmicas sob tipos de tempo estáveis. Deve-se atentar à ocupação das planícies fluviais em função do extravasamento do leito em episódios de precipitação concentrada, histórica fonte de impactos negativos no município;
- iii. Unidade Topoclimática Natural dos Topos de Morro Florestados (I-b-TM): organização de escala topoclimática, condicionada pelas maiores cotas altimétricas observadas na área de estudo (acima de 525 metros) e com predomínio de fitofisionomias de porte arbóreo denso, que possibilitam homogeneidade nos valores de temperatura e umidade ao longo do dia (conservação da umidade e saturação hídrica do ar). Recomenda-se destinação à proteção e conservação integral, dada a elevada declividade das áreas e a presença de resquícios de espécies de fauna e flora associados ao bioma Mata Atlântica;

- iv. Unidade Topoclimática Urbana dos Vales do Baixo Centro (II-b-BC): unidade climática consideravelmente modulada pela participação dos componentes antrópicos do balanço de energia nas planícies fluviais do baixo centro do município, onde são observadas médias elevadas de temperatura do ar e baixos valores médios de umidade relativa. Formação de núcleos de calor sob tipos de tempo estáveis. Historicamente, trata-se da área mais sujeita a impactos advindos da interação urbana com o canal hidrometeorológico do clima, em função da má ocupação do espaço. Recomenda-se execução de projetos para desapropriação das moradias e realojamento das famílias inseridas nas calhas fluviais e áreas de risco;

- v. Unidade Topoclimática Urbana do Núcleo Central Municipal (II-b-NC): unidade climática majoritariamente controlada pelos componentes urbanos do balanço de energia, em função do agrupamento de formas e materiais antrópicos que revestem a superfície do núcleo central do município. Episódios de formação de núcleos de calor mesmo sob condições de instabilidade temporal. Recomenda-se o incentivo a programas de plantio de árvores de porte arbóreo denso, para aumento do saldo de umidade e calor latente de evaporação, e consequente amenização dos episódios de ocorrência de forte desconforto térmico advindos dos tipos de tempo estáveis;

- vi. Unidade Topoclimática Urbana dos Topos de Morro (II-b-TM): organização de escala topoclimática que comumente funciona como núcleo de arrefecimento no interior da área urbana, haja vista as cotas altimétricas pelo menos 60 metros mais elevadas que a planície onde se desenvolveu o baixo centro da cidade. Áreas sujeitas a movimentos de massa em episódios de precipitação pluvial concentrada e ao aquecimento noturno pela ascensão anabática do ar.

Figura 59. Carta de unidades climáticas naturais e urbanas do município de Teófilo Otoni (MG). Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.



Quadro 4. Síntese das características gerais das unidades climáticas naturais e urbanas do município de Teófilo Otoni (MG). Elaboração: Fabrício Lisboa Vieira Machado.

Organização escalar	Tipologia	Unidade Climática	Patamar altimétrico	Isotermas médias*	Isoígras médias*	Descrição	Destinações de uso
Mesoclimática	Natural	I-a-CC	390 - 525 metros de altitude	24°C - 28°C	52% - 78%	Unidade climática controlada pelo fator relevo (morfologia e patamar altimétrico), sendo caracterizada pela maior saturação hídrica do ar e pelas isolinhas térmicas de menor valor. Associada a paisagens formadas por colinas convexas em patamares altimétricos elevados para a área de estudo, com presença espaçada de feições vegetacionais de porte arbóreo denso.	Pastagem de gado com manejo nas áreas descampadas e práticas agrícolas sustentáveis, adaptadas ao relevo movimentado.
		I-a-FV	< 390 metros de altitude	24,5°C - 30°C	48% - 76%	Unidade climática também controlada predominantemente pelo fator relevo, sobretudo em função dos padrões catabáticos e anabáticos de circulação associados aos fundos de vale em que se encontram, o que promove a configuração de elevadas amplitudes térmicas sob tipos de tempo estáveis.	Desocupação das vertentes e terraços fluviais: extravasamento do leito fluvial em episódios de precipitação concentrada.
Topoclimática	Urbana	I-b-TM	> 525 metros de altitude	24°C - 27°C	54% - 78%	Unidade de organização topoclimática, condicionada pelas maiores cotas altimétricas observadas na área de estudo (topos de morro) e com predomínio de fitofisionomias de porte arbóreo denso, que possibilitam homogeneidade nos valores de temperatura e umidade ao longo do dia (conservação da umidade).	Proteção e conservação integral, dada a elevada declividade e presença de resquícios da Mata Atlântica.
		II-b-BC	< 330 metros de altitude	25,5°C - 30,5°C	46% - 72%	Unidade climática consideravelmente modulada pela participação dos componentes antrópicos do balanço de energia nas planícies fluviais do baixo centro do município, onde são observadas médias elevadas de temperatura do ar e baixos valores médios de umidade relativa. Formação de núcleos de calor sob tipos de tempo estáveis.	Desapropriação das moradias inseridas nas calhas fluviais, susceptíveis a impactos negativos advindos da interação com o canal higrometeorológico.
		II-b-NC	330 - 390 metros de altitude	26°C - 31°C	44% - 72%	Unidade climática majoritariamente controlada pelos componentes urbanos do balanço de energia, em função do agrupamento de formas e materiais antrópicos que revestem a superfície do núcleo central do município. Episódios de formação de núcleos de calor mesmo sob condições de instabilidade temporal.	Incentivo a programas de plantio de árvores de porte arbóreo denso: ocorrência de forte desconforto térmico sob tipos de tempo estáveis.
	II-b-TM	345 - 420 metros de altitude	25,5°C - 29°C	48% - 72%	Unidade de organização topoclimática que comumente funciona como núcleo de arrefecimento no interior da área urbana, haja vista as cotas altimétricas pelo menos 60 metros mais elevadas (topos de morro) que a planície onde se desenvolveu o baixo centro da cidade.	Instalações urbanas em conformidade ao terreno: movimentos de massa em episódios de precipitação pluvial concentrada.	

* Consideradas condições sinóticas estáveis e instáveis.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme procurou-se demonstrar, a presente pesquisa se debruçou sobre a premissa da decomposição escalar necessária ao estudo geográfico dos climas de Teófilo Otoni (MG), de modo a subsidiar a produção de documento síntese que pudesse orientar pesquisadores e gestores públicos quanto à inter-relação existente entre os fatores e elementos climáticos com os impactos ambientais e sociais historicamente recorrentes.

A princípio, verificou-se, inclusive do ponto de vista estatístico, a inserção do município em clima regional associado à borda leste da Serra do Espinhaço, em que a participação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul foi responsável pela configuração predominantemente de tipos de tempo quentes e estáveis, observados empiricamente em pelo menos 82% das situações.

Há de se concordar, contudo, que o resultado verificado é apenas uma amostra do ritmo de sucessão habitual dos tipos de tempo em Teófilo Otoni, cuja variabilidade interanual está amarrada necessariamente a mecanismos de escalas superiores e mutáveis em amplo espaço temporal, conforme avaliado na série histórica de dados meteorológicos do município desde o ano de 1961.

Ainda assim, a presente pesquisa fora a primeira observação sistemática do clima realizada em região carente de produções bibliográficas, recursos financeiros e políticas públicas voltadas ao planejamento efetivo e à sua execução, fato destacado ao longo do trabalho e que corrobora com a gênese dos impactos negativos decorrentes da relação clima e paisagem vivenciados pela população.

Ao constatar, por exemplo, o desenvolvimento de núcleos térmicos nas áreas mais densamente ocupadas do município²⁵, onde as temperaturas médias alcançaram 29,9°C e a máxima absoluta registrada ultrapassou expressivos 43°C, a presente pesquisa destaca a necessidade do correto ordenamento territorial municipal, com a promoção de Plano Diretor que zele pela

²⁵ Situação observada, de maneira pontual, também sob tipos de tempo instáveis. Na grande maioria dos casos, os resultados corroboraram com o verificado por Tarifa & Armani (2001), quando registraram a imposição de mecanismos naturais frente à produção de climas urbanos.

substituição de formas e equipamentos urbanos com propriedades físicas de retenção da radiação e aprisionamento do calor nas áreas destacadas, por feições vegetacionais produtoras de sombreamento e umidade, variável que inclusive registrou linearidade de decrescimento da ordem de 11% entre 1961 a 2013, em escala local.

A participação de sistemas instáveis de nível superior se mostrou o principal mecanismo produtor de pluviosidade concentrada no município, que historicamente observa os mais severos impactos advindos do canal hidrometeorológico, como enchentes e movimentos de massa, fato consubstanciado pela análise rítmica do clima e a identificação dos desvios.

Conforme visto, o período recente tem apresentado, ainda, maior variabilidade dos totais anuais precipitados e intensificação dos volumes, que no ano de 2005 chegou a experimentar total 74% superior à Normal Climatológica para Teófilo Otoni (1673,7 mm contra 959,1 mm), acompanhado de danos ao patrimônio público e privado em função do mal-uso do espaço urbano.

Ainda que de maneira incipiente, a presente pesquisa ainda identificou a recorrência de veranicos cada vez mais extensos, tal como o observado no trimestre de verão entre os anos de 2014 e 2015 (35 dias), condição desfavorável ao regime de vazões para o abastecimento público municipal, à dispersão de poluentes atmosféricos, à manutenção dos sistemas ecológicos e ao controle de queimadas.

Por fim, ainda que respondidas muitas questões, não se espera que a presente pesquisa seja tomada como “paradigma climático” para o município e base imutável para a formulação de programas e projetos governamentais, mas como ponto de partida para novas contribuições acadêmicas, afinal, o progresso científico se dá por tentativa e erro, conjecturas e refutações.

Os próprios métodos e técnicas aqui empregados em muito podem ser aprimorados, o que possivelmente resultará em cenário mais detalhado do(s) clima(s) produzido(s) pelo município e/ou nele(s) inserido, reforçando a importância da continuidade da pesquisa científica climatológica nesta região.

Apesar disso, espera-se que os esforços aqui dispendidos possam servir como primeiro suporte à tomada de decisão por parte dos gestores públicos, levando em consideração a análise sistêmica dos componentes espaciais apresentados e a avaliação integrada da paisagem.

O clima não é objeto estático e o espaço não é imutável. Conhecer e respeitar a repercussão diferencial de sua dinâmica nas distintas porções superficiais parece ser caminho seguro à mitigação de impactos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M. L. **Climatologia da estação chuvosa de Minas Gerais: de Nimer (1977) à Zona de Convergência do Atlântico Sul.** Revista GEONOMOS, v.6(2), pg. 17-22. Belo Horizonte, 1998.

AB'SÁBER, A. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas.** 4ed. Editora: Ateliê Editorial, 2007.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements.** FAO Irrigation and drainage, Paper 56. Food and Agriculture Organization, Rome, 1998.

ALMEIDA, L. G. F. **Caracterização do solo com diferentes usos e composições florísticas no vale do Mucuri – MG.** Dissertação (mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Diamantina, 2009.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil.** Meteorologische Zeitschrift, v. 22, v. 6, p. 711–728. Alemanha, 2013.

ALVES, J. M. B.; FERREIRA, F. F.; CAMPOS, J. N. **Movimento vertical e índices atmosféricos associados às células de Hadley e Walker em anos de contrastes climáticos: relação com chuvas no setor norte do nordeste do Brasil - SNNB.** Revista Brasileira de Meteorologia, v.20, n.1, pág. 15-36, 2005.

ARMANI, G. **Interações entre atmosfera e a superfície terrestre: variações da temperatura e umidade na bacia B do Núcleo Cunha (IF) – SP.** Dissertação (mestrado em Geografia). Departamento de Geografia. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo, 2004.

ASSIS, E. S. **A abordagem do clima urbano e aplicações no planejamento da cidade: reflexões sobre uma trajetória.** ENCAC – ELACAC. Maceió, 2005.

ASSIS, W. L. **Estudos Preliminares para um programa de diagnóstico de ilhas de calor para a mancha urbana de Belo Horizonte.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia). Departamento de Geografia. Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 1997.

_____. **Análise do campo térmico e hídrico em Belo Horizonte.** Dissertação (Mestrado em Geografia), Departamento de Geografia. Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2001.

_____. **Variações temporais e espaciais da precipitação em áreas urbanas: estudo de caso na região oeste do município de Belo Horizonte.** Revista GeoSul, v.24, n.48, pág. 177-196. Florianópolis, 2009.

_____. **O sistema clima urbano do município de Belo Horizonte na perspectiva tèmoro-espacial.** Tese (doutorado em Geografia),

Departamento de Geografia. Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010.

ASSIS, W. L.; PARIZZI, M. G.; RIBEIRO, S. M. **Identificação dos sistemas atmosféricos responsáveis por inundações e deslizamentos no município de Belo Horizonte**: análise dos períodos chuvosos de 2011-2012 e 2012-2013. Revista Geografias, vol. 9, n. 2. Belo Horizonte, 2013.

AZEVEDO, T. R. **O fluxo de calor gerado pelas atividades humanas**. In: TARIFA, J. R. & AZEVEDO, T. R. Os climas na cidade de São Paulo: teoria e prática. Revista GeoUSP. Volume 4. 2001.

_____. **Distribuição espacial da ocorrência dos maiores totais diários de precipitação na RMSP e arredores, em função da intensidade relativa da atividade urbana**. Revista GEOUSP – Espaço e Tempo, nº 12. São Paulo, 2002.

BARBOSA, J. P. M. **Utilização de método de interpolação para análise e espacialização de dados climáticos: o SIG como ferramenta**. Revista Caminhos de Geografia, v.9, n.17, p. 85-96. Uberlândia, 2006.

BARRY R. G. & CHORLEY R. J. **Atmosfera tempo e clima**. Porto Alegre: Bookman, ed.9, 2013.

BASTOS, C. & FERREIRA, N. **Análise Climatológica da Alta Subtropical do Atlântico Sul**. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 11. Rio de Janeiro, 2000. Anais. Rio de Janeiro: SBMET, 2000.

BERTRAND, G. **Paisagem e geografia física global: esboço metodológico**. Caderno de Ciências da Terra, n. 13, 1972.

CARACRISTI, I. **A natureza complexa da *poiésis* climática: contribuições teóricas ao estudo geográfico do clima**. Tese (doutorado em Geografia). Departamento de Geografia. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

CARMO, A. M. R. **Sucessão e encadeamento de tipos de tempo e repercussão espacial da temperatura e umidade do ar em Belo Horizonte e municípios limítrofes no período ente 26/10 a 25/11/2012**. Monografia (Graduação em Geografia). Departamento de Geografia. Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2013.

CARVALHO, D. F.; FARIA, R. A.; SOUSA, S. A. V.; BORGES, H. Q. **Espacialização do período de veranico para diferentes níveis de perda de produção na cultura do milho, na bacia do Rio Verde Grande, MG**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, vol. 4, n. 2, pág. 172-176. Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande, 2000.

CASTRO, I. E. **O problema da escala**, 1995. In: Geografia: Conceitos e Temas. CASTRO, I. E.; GOMES, P. C. C.; CORRÊA, R. L. (Org.). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J. F.; JUSTI DA SILVA, M. G. A.; DIAS, M. A. F. S. (org.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

CHAO, R.; YAN-YUNG, E; KATZSCHNER, L. **Urban climatic map studies: a review**. International Journal of Climatology, vol. 31, issue 15, pág. 2213-2233. Royal Meteorological Society, 2010.

COELHO, C. W. G. A. **Estudo da variabilidade espacial das chuvas em Belo Horizonte a partir da expansão da rede pluviométrica**: uma análise qualitativa; 123 f; Dissertação (Mestrado em Geografia). Departamento de Geografia. Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2006.

CONTI, J. B. **As escalas do clima**. São Paulo: Departamento de Geografia. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo, 1995. Apostila de curso.

DORNELAS, K. D. S.; SILVA, C. L.; OLIVEIRA, C. A. S. **Coefficientes médios da equação de Angström-Prescott, radiação solar e evapotranspiração de referência em Brasília**. Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira, vol. 41, n. 8, pág. 1213-1219. Brasília, 2006.

DREW, D. **Processos interativos homem - meio ambiente**. São Paulo: Difusão Editorial, 1986.

FERNANDES, M. **Minas Gerais**: caracterização de unidades de paisagem. Emater-MG, 92p. Belo Horizonte, 2013.

FERREIRA, C. **Aplicação da lógica nebulosa (fuzzy cluster) na definição de unidades climáticas**: estudo de caso na bacia do rio Paraíbuna – MG/RJ. Revista Brasileira de Climatologia. Ano 8, v.10, 2012

FERREIRA, V. O. **Eventos pluviais concentrados em Belo Horizonte – MG**: caracterização genética e impactos físico-ambientais. Dissertação (mestrado em Geografia e Análise Ambiental). Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 1996.

FERREIRA, V. O. & MENDES SILVA, M. **O clima da bacia do rio Jequitinhonha, em Minas Gerais**: subsídios para a gestão de recursos hídricos. Revista Brasileira de Geografia Física, vol. 5, pág. 302-319, 2012.

FIALHO, E. S. **Ilha de calor em cidade de pequeno porte**: caso de Viçosa, na Zona da Mata Mineira. Tese (doutorado em Geografia). Departamento de Geografia. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo, 2009.

_____. **Unidades climáticas urbanas**: o caso da Ilha do Governador – RJ. Revista de Ciências Humanas, vol. 10, nº 1, pág. 26-46, 2010.

FRANCA, R. R. **Anticiclones e umidade relativa do ar**: um estudo sobre o clima de Belo Horizonte. Dissertação (Mestrado em Geografia). Departamento de Geografia. Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2009.

FRANCISCO, R. C. A. **Clima urbano**: um estudo aplicado a Belo Horizonte. Dissertação (Mestrado em Geografia). Departamento de Geografia. Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2012.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. São Paulo: Oficina de textos, 2010.

GEIGER, R. **Manual de microclimatologia**: o clima da camada de ar junto ao solo. São Paulo: Ed. Fundação Calouste Gulbenkian, 1961.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010** - Características da população e dos domicílios: resultados do universo. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.

JAKOB, A. A. E.; YOUNG, A. F. **O uso de métodos de interpolação espacial de dados nas análises sociodemográficas**. XV Encontro Nacional de Estudos Populacionais. Caxambu, 2006.

JARDIM, C. H. **Proposta de síntese climática a partir do comportamento térmico e higrométrico do ar em áreas urbanas**. 338f. Tese (doutorado em Geografia). Instituto de Geociências, UNICAMP. Campinas, 2007.

JORNAL ESTADO DE MINAS (Portal eletrônico). **Seca e falta de recursos agravam a situação nas favelas do Jequitinhonha**. Disponível em <http://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2015/06/29/interna_gerais,662851/seca-e-falta-de-recursos-agravam-a-situacao-nas-favelas-do-jequitinho.shtml>. Acesso em 14 de fevereiro de 2016.

LANDSBERG, H. E. **O clima das cidades**. Revista do Departamento de Geografia, v.16, pág. 95-111, 2006.

LEÃO, M. S. **Diagnóstico climático e estudo das variações termo-higrométricas do Município de Sete Lagoas – MG**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Departamento de Geografia. Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008.

LIMA, C. B.; SANTOS, R. F.; SIQUEIRA, J. **Análise da variação das temperaturas mínimas para Cascavel - PR**. Revista Acta Iguazu, vol. 1, n. 3, pág. 15-32. Cascavel, 2012.

LOMBARDO, M. A. **Análise das mudanças climáticas nas metrópoles: o exemplo de São Paulo e Lisboa**. In: CORTEZ, A.T.C. & ORTIGOZA, S. A. G. (org.). Da produção ao consumo: impactos socioambientais no espaço urbano [online]. São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009.

LOPES, L. C. S. & JARDIM, C. H. **Variações de temperatura e umidade relativa do ar em área urbana e rural durante o segmento temporal de inverno de 2011 em Contagem e Betim (MG)**. Revista ACTA Geográfica, Ed. Especial, pág. 205-221. Boa Vista, 2012.

LUCAS, T. P. B. **Chuvas persistentes e ação da zona de convergência do atlântico sul na região metropolitana de Belo Horizonte**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Departamento de Geografia. Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2007.

MACHADO, F. L. V. & JARDIM, C. H. **Indicadores climáticos de degradação ambiental em áreas urbanas:** o Aglomerado da Serra em Belo Horizonte. 2014. In: SILVA, C. A.; FIALHO, E. S.; STEINKE, E. T. Experimentos em Climatologia Geográfica. Dourados: Ed. UFGD, 2014.

MACHADO, L. A. & ASSIS, W. L. **Implicações da verticalização na circulação atmosférica local:** o caso do município de Nova Lima/MG – Brasil. 2014. In: SILVA, C. A.; FIALHO, E. S.; STEINKE, E. T. Experimentos em Climatologia Geográfica. Dourados: Ed. UFGD, 2014.

MAGALHÃES JR., A. & MOREIRA, P. F. **Eventos de desequilíbrio morfodinâmico na evolução morfológica de Minas Gerais:** o caso de Teófilo Otoni/Caraí - região nordeste do Estado. Revista GEONOMOS, v.6 (2): pg. 23-32. Belo Horizonte, 1998.

MANTUA, N. J.; HARE, S. R.; ZHANG, Y.; WALLACE, J. M.; FRANCIS, R. C. **A Pacific interdecadal climate oscillation climate oscillation with impacts on salmon products.** Bulletin of the American Meteorological Society, v.78, pág. 1069-1079, 1997.

MARENGO, J. A. & OLIVEIRA, G. S. **Impactos do fenômeno La Niña no tempo e clima do Brasil:** Desenvolvimento e intensificação do La Niña 1988/1989. Anais do X Congresso Brasileiro de Meteorologia. Brasília, 1998.

MENDES SILVA, M. **Análise comparativa do clima de Araçuaí, Pedra Azul e Itamarandiba, na porção mineira da bacia do rio Jequitinhonha.** Monografia (Trabalho de Conclusão Curso de Bacharel em Geografia). 69f. Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2010.

MENDES SILVA, M. & FERREIRA, V. **Estação chuvosa e ocorrência de veranicos em Araçuaí, Itamarandiba e Pedra Azul, na porção mineira da bacia do rio Jequitinhonha.** Revista Brasileira de Geografia Física, vol. 4, pág. 1068-1081, 2011.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil.** São Paulo: Oficina de Texto, 2007. 206 p.

MONTEIRO, C. A. F. **A Frente Polar Atlântica e as chuvas de inverno na fachada sul-oriental do Brasil oriental:** contribuição metodológica à análise rítmica dos tipos de tempo no Brasil. Tese (doutorado em Geografia). Série Teses e Monografias, nº1, São Paulo: IGEOUSP, 1969.

_____. **Análise rítmica em climatologia:** problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho. Climatologia, São Paulo, n.1, 1971.

_____. **Teoria e clima urbano.** São Paulo: IG06-USP. Série Teses e Monografias, n.25, 1976.

_____. **Adentrar a cidade para tomar-lhe a temperatura.** Revista GEOSUL, nº 9, ano V, 1990.

_____. **Derivações antropogenéticas dos geossistemas terrestres no Brasil e alterações climáticas:** Perspectivas urbanas e agrárias

ao problema da elaboração de modelos de avaliação, 1978. In: Revista RA'EGA, n.9, Curitiba, 2001.

_____. **Geossistemas: a história de uma procura.** São Paulo: Contexto, 2001.

_____. **Teoria e clima urbano: um projeto e seus caminhos,** 2003. In: MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. Clima urbano. São Paulo: Ed. Contexto, 2003.

MORAIS, L. **Uma mulher em defesa do Mucuri.** Revista Ecológico. Ed. 42. A sustentabilidade no feminino. Belo Horizonte, 2012.

MOREIRA, A. A. M. **A influência da circulação de macro-escala sobre o clima de Belo Horizonte:** estudo sobre as possíveis influências do fenômeno El Niño sobre o clima local. 186p. Dissertação (Mestrado em Geografia), Departamento de Geografia. Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1999.

MOREIRA, J. L. B. **Estudo da distribuição espacial das chuvas em Belo Horizonte e em seu entorno.** Dissertação (Mestrado em Geografia). Departamento de Geografia. Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais, 2002.

NÓBREGA, R. S. **Um pensamento crítico sobre classificações climáticas:** de Köppen até Strahler. Pernambuco: Revista Brasileira de Geografia Física, UFPE, 2010.

NIMER, E. **Circulação atmosférica do Brasil.** Revista Brasileira de Geografia. nº.3, ano XXVIII, pg. 232 – 250, 1966.

OKE, T. R. **The distinction between canopy and boundary layer urban heat island.** Atmosphere, 14:4, pg. 268-277. University of British Columbia, Vancouver, 1976.

_____. **Boundary layer climates.** London and New York: Ed. Methuen, 1978.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal.** São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1981.

PÉDÉLABORDE, P. **Introduction à l'étude scientifique du climat.** Centre de Documentation Universitaire, 1959.

OLIVEIRA, G. S; SATYAMURTY, P. **O El Nino de 1997/98:** evolução e impactos no Brasil. Anais do X Congresso Brasileiro de Meteorologia. Brasília, 1998.

RAMOS, A. M.; SANTOS, L. A. R.; FORTES, L. T. G. **Normais climatológicas do Brasil 1961-1990.** Brasília: INMET, 2009.

RIBEIRO, A.G. **As escalas do clima.** Boletim de Geografia Teorética, 23(45-46):288-294, Rio Claro, 1993.

SANT'ANNA NETO, J. L. **Clima e organização do espaço**. Boletim de Geografia. v.16, nº1. Universidade Estadual de Maringá, 1998.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Fiscalização investiga desmatamentos ilegais no Nordeste de MG**. Portal Meio Ambiente MG. Assessoria de Comunicação, Abril, 2015.

SILVA, E. N. & RIBEIRO, H. **Alterações microclimáticas em ambientes de favela: Metodologia de avaliação empregada na favela de Paraisópolis – São Paulo**. Revista GEOUSP - Espaço e Tempo. n.18, p. 171-186. São Paulo, 2005.

SORRE, M. **Adaptação ao Meio Climático e Biossocial**: geografia psicológica (1951). In: MEGALE, J. F. (org.) Max Sorre: geografia. São Paulo: Ática, p.30 – 86. (Série Grandes Cientistas Sociais), 1984.

SOTCHAVA, V. B. **O estudo dos geossistemas**. Métodos em Questão. São Paulo, n. 6, 1977.

TARIFA, J. R. & ARMANI, G. **Os climas naturais**. In: TARIFA, J. R. & AZEVEDO, T. R. (Org.). Os climas na cidade de São Paulo: teoria e prática. São Paulo: GEOUSP, 2001.

TARIFA, J. R. **Os climas nos maciços litorâneos da Jureia-Itains**: um ensaio de ritmanálise. Tese (livre-docência). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo, 2002.

TAVARES, A. C. **O clima local de Campinas**: introdução ao estudo do clima urbano. Dissertação (mestrado em Geografia). Departamento de Geografia. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo, 1974.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Superintendência de Recursos Naturais e Meio ambiente. Diretoria Técnica, 1977.

TUBELIS, A. & NASCIMENTO, F. J. L. **Meteorologia Descritiva**: fundamentos e aplicações brasileiras. São Paulo: Nobel, 1984.

ULMMO, J. **La pensée scientifique moderne**. Paris, Flammarion, 1969.

VIDE, J. M. **Fundamentos de climatologia analítica**. Madrid: Sínteses, 1999.

VILELA, J. A. **Variáveis do clima urbano**: análise da situação atual e prognósticos para a região do bairro Belvedere III, Belo Horizonte, MG. Dissertação (mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Escola de Arquitetura. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2007.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Variáveis embutidas no modelo *Fuzzy partitioning*²⁶.

ID	Estação	Período	Precipitação acumulada (mm)	Temperatura média compensada (°C)	Umidade relativa do ar (%)
1	Araçuaí	Úmido	152,3	25,694	72,726
1	Araçuaí	Seco	8,93	23,204	62,911
2	Caratinga	Úmido	191,3	22,967	77,727
2	Caratinga	Seco	23,17	19,133	73,094
3	Caravelas	Úmido	145,83	25,433	81,467
3	Caravelas	Seco	76,37	22,3	81,433
4	Diamantina	Úmido	230,2	19,903	80,113
4	Diamantina	Seco	18,6	16,906	69,215
5	Itamarandiba	Úmido	202,9	21,518	81,005
5	Itamarandiba	Seco	15,9	17,818	74,159
6	Montes Claros	Úmido	215,7	23,267	67,861
6	Montes Claros	Seco	8,83	21,167	58,818
7	Pedra Azul	Úmido	153,37	23,775	73,957
7	Pedra Azul	Seco	15,37	20,453	70,868
8	Salinas	Úmido	143,9	24,696	75,766
8	Salinas	Seco	18,43	22,045	60,599
9	Teófilo Otoni	Úmido	160,5	24,567	74,439
9	Teófilo Otoni	Seco	24,7	20,667	73,481

²⁶ A normalização dos dados fora realizada dentro do próprio pacote estatístico utilizado.

APÊNDICE B – Registros fotográficos dos impactos ambientais e sociais associados a eventos pluviométricos concentrados em Teófilo Otoni (MG), entre os anos de 2006 e 2010. Fonte: Wesley Santos Vieira (familiar do pesquisador).





APÊNDICE C – Sucessão diária dos sistemas sinóticos e tipos de tempo predominantes no primeiro período de mensuração dos dados.

Encadeamento dos tipos de tempo em Teófilo Otoni (MG) - 31/12/2014 a 12/02/2015 (Verão)		
Dia	Sistema sinótico	Condição temporal
31/dez	LI/ASAS	Levemente instável e quente
01/jan	ASAS	Estável e quente
02/jan	ASAS	Estável e quente
03/jan	ASAS	Estável e quente
04/jan	ASAS	Estável e levemente úmido (oceano)
05/jan	LI/ASAS	Levemente instável e quente
06/jan	LI	Levemente instável e úmido
07/jan	ASAS	Estável e quente
08/jan	ASAS	Estável e quente
09/jan	ASAS	Estável e quente
10/jan	ASAS	Estável e quente
11/jan	ASAS	Estável e levemente úmido (oceano)
12/jan	ASAS	Estável e quente
13/jan	ASAS	Estável e quente
14/jan	ASAS	Estável e quente
15/jan	LI	Levemente instável e úmido
16/jan	ASAS	Estável e quente
17/jan	ASAS	Estável e quente
18/jan	ASAS	Estável e quente
19/jan	ASAS	Estável e quente
20/jan	ASAS	Estável e quente
21/jan	ASAS	Estável e quente
22/jan	ASAS	Estável e quente
23/jan	ASAS	Estável e quente
24/jan	ASAS	Estável e levemente úmido (oceano)
25/jan	ASAS	Estável e quente
26/jan	ASAS	Estável e quente
27/jan	ASAS	Estável e quente
28/jan	ASAS	Estável e quente
29/jan	ASAS	Estável e quente
30/jan	ASAS	Situação pré-frontal muito quente
31/jan	ASAS	Situação pré-frontal muito quente
01/fev	ASAS	Situação pré-frontal muito quente
02/fev	ASAS	Situação pré-frontal muito quente
03/fev	ASAS	Situação pré-frontal muito quente
04/fev	FPA	Instabilidade temporal com tempo muito úmido
05/fev	FPA	Instabilidade temporal com tempo muito úmido
06/fev	ZCAS	Instabilidade temporal com tempo super úmido
07/fev	ZCAS	Instabilidade temporal com tempo super úmido

08/fev	ZCAS	Instabilidade temporal com tempo super úmido
09/fev	FPA em tropicalização	Instabilidade temporal em dissipação
10/fev	FPA em tropicalização	Instabilidade temporal em dissipação
11/fev	ASAS	Estável e quente
12/fev	ASAS	Estável e quente

APÊNDICE D – Sucessão diária dos sistemas sinóticos e tipos de tempo predominantes no segundo período de mensuração dos dados.

Encadeamento dos tipos de tempo em Teófilo Otoni (MG) - 09/08/2015 a 16/09/2015 (Inverno)		
Dia	Sistema sinótico	Condição temporal
09/ago	ASAS	Estável e úmido (nebulosidade oceânica)
10/ago	ASAS	Estável e úmido (nebulosidade oceânica)
11/ago	ASAS	Estável e úmido (nebulosidade oceânica)
12/ago	ASAS	Estável e úmido (nebulosidade oceânica)
13/ago	ASAS	Estável e úmido (nebulosidade oceânica)
14/ago	ASAS	Estável e úmido (nebulosidade oceânica)
15/ago	ASAS	Estável e úmido (nebulosidade oceânica)
16/ago	ASAS	Estável e úmido (nebulosidade oceânica)
17/ago	ASAS	Estável e úmido (nebulosidade oceânica)
18/ago	ASAS	Estável e úmido (nebulosidade oceânica)
19/ago	ASAS	Estável e levemente quente
20/ago	ASAS	Estável e levemente quente
21/ago	ASAS	Estável e levemente quente
22/ago	ASAS	Estável e úmido (nebulosidade oceânica)
23/ago	ASAS	Estável e úmido (nebulosidade oceânica)
24/ago	ASAS	Estável e levemente quente
25/ago	ASAS	Estável e levemente quente
26/ago	ASAS	Estável e levemente quente
27/ago	ASAS	Estável e levemente quente
28/ago	ASAS	Situação pré-frontal muito quente
29/ago	FPA em tropicalização	Instabilidade temporal em dissipação
30/ago	APAS em tropicalização	Levemente instável e úmido
31/ago	ASAS	Estável e quente
01/set	ASAS	Estável e quente
02/set	ASAS	Estável e quente
03/set	ASAS	Estável e quente
04/set	ASAS	Estável e quente
05/set	ASAS	Estável e quente
06/set	ASAS	Estável e quente
07/set	ASAS	Estável e quente
08/set	ASAS	Situação pré-frontal muito quente
09/set	ASAS	Situação pré-frontal muito quente

10/set	ASAS	Situação pré-frontal muito quente
11/set	ASAS	Situação pré-frontal muito quente
12/set	ASAS	Situação pré-frontal muito quente
13/set	FPA	Instabilidade temporal com tempo úmido
14/set	FPA	Instabilidade temporal com tempo úmido
15/set	FPA em tropicalização	Instabilidade temporal em dissipação
16/set	APAS em tropicalização	Levemente instável e úmido