

**Universidade Federal de Itajubá**  
Instituto de Recursos Naturais



**ENGENHARIA  
AMBIENTAL**

**CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE KÖPPEN E  
DE THORNTHWAITE PARA MINAS GERAIS:  
CENÁRIO ATUAL E PROJEÇÕES FUTURAS**

Gabriela Gonzaga

Outubro de 2017  
Itajubá- MG

# CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE KÖPPEN E DE THORNTHWAITE PARA MINAS GERAIS: CENÁRIO ATUAL E PROJEÇÕES FUTURAS

Gabriela Gonzaga

Monografia submetida à banca examinadora do Trabalho Final de Graduação apresentada à Universidade Federal de Itajubá, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

**Orientadora:** Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Fabrina Bolzan Martins

**Coorientadora:** Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Samia Regina Garcia Calheiros

Itajubá - MG

## **Folha de Aprovação**

*Será fornecida pela banca após a defesa e o aluno deverá fazer uma cópia digital (scanear) e inserir aqui.*

A Deus.  
Aos meus pais, Edson e Vanderléa.

Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas graças a Deus, não sou o que era antes  
(Marthin Luther King).

## RESUMO

Várias regiões do Brasil apresentam-se vulneráveis às mudanças climáticas projetadas para ocorrerem no século XXI, especialmente o estado de Minas Gerais (MG), no qual projeta-se, para o final deste século, um clima mais quente, podendo ter variações de até 5°C no norte do estado. MG apresenta grande representatividade territorial, populacional e econômica no país. Assim, mudanças no clima poderão afetar diretamente a qualidade de vida da população, e a quantidade e a qualidade da produção agropecuária brasileira.

**Objetivo:** Avaliar e comparar as Classificações Climáticas (SCC) de Köppen e de Thornthwaite considerando o clima atual e futuro, usando diferentes projeções de mudanças climáticas para o estado de Minas Gerais. **Justificativa:** Existência de poucos estudos dessa natureza para MG. **Metodologia:** Dados obtidos de 49 estações meteorológicas convencionais do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). De posse dos dados, calculou-se as normais climatológicas provisórias de temperatura do ar e precipitação; efetuou-se o balanço hídrico climatológico baseado nos dados do clima presente (1980 a 2010) e futuro (2011 e 2100), considerando observações, simulações e diferentes projeções de mudanças climáticas integrantes do quinto relatório do IPCC; e aplicou-se as classificações climáticas (SCC) de Köppen adaptado por Alvares et al. (2014) e Thornthwaite adaptado por Camargo (1999). **Resultados:** O SCC de Köppen identificou cinco tipos climáticos para MG, dois temperados quentes (Cwb, Cwa), um tropical (Aw) e dois áridos (BSh e BWh). O SCC de Thornthwaite determinou vinte e cinco tipos climáticos (ArB'2a', B4rB'3a', B4rB'2a', B3rB'4a', B3rB'3a', B3rB'2a', B2rA'a', B2rB'4a', B2rB'3a', B2wA'a', B2wB'4a', B1rA'a', B1rB'4a', B1rB'3a', B1wA'a', B1wB'4a', C2rA'a', C2sA'a', C2wA'a', C2rB'4a', C2wB'4a', C2wB'3a', C1dA'a', C1sA'a', DdA'a'), com predominância do tipo climático megatérmico e mesotérmico superúmido e úmido nas regiões Central, da Mata, Sul, Parnaíba e Centro-Oeste de Minas, e megatérmico e mesotérmico subúmido ou semiárido nas regiões Norte, Noroeste, Jequitinhonha/Mucuri, Rio Doce de MG. **Conclusões:** Independente do SCC, MG apresentou duas características climáticas bem definidas ao longo das projeções: regiões centrais demonstraram conservação dos tipos climáticos atuais, e as regiões nos extremos norte e sul do estado apresentaram forte tendência de elevação de suas temperaturas e diminuição da umidade, passando para tipos climáticos mais quentes e secos.

**Palavras-chave:** Classificação climática, Köppen, Thornthwaite, Minas Gerais.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1</b> - Regiões de planejamento administrativo de Minas Gerais (Minas Gerais, 2016).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 15 |
| <b>Figura 2</b> - Classificação climática de Köppen para Minas Gerais considerando o clima presente (1981-2010). Os pontos indicam a localização das estações meteorológicas. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 27 |
| <b>Figura 3</b> -Distribuição geográfica da Classificação Climática de Köppen para o estado de Minas Gerais a) forçante RCP 2.6 para o período P1; b) forçante RCP 2.6 para o período P2; c) forçante RCP 2.6 para o período P3; d) forçante RCP 4.5 para o período P1; e) forçante RCP 4.5 para o período P2; f) forçante RCP 4.5 para o período P3; g) forçante RCP 6.0 para o período P1; h) forçante RCP 6.0 para o período P2; i) forçante RCP 6.0 para o período P3; j) forçante RCP 8.5 para o período P1; k) forçante RCP 8.5 para o período P2; l) forçante RCP 8.5 para o período P3.....                    | 30 |
| <b>Figura 4</b> - Dendrogramas de dissimilaridade das regiões Central e do Rio Doce de Minas Gerais para a classificação climática segundo Köppen a) Cenário RCP 2.6; b) Cenário RCP 4.5; c) Cenário RCP 6.0; d) Cenário RCP 8.5. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 35 |
| <b>Figura 5</b> - Dendrogramas de dissimilaridade da região da Mata de Minas Gerais para a classificação climática segundo Köppen a) Cenário RCP 2.6; b) Cenário RCP 4.5; c) Cenário RCP 6.0; d) Cenário RCP 8.5.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 36 |
| <b>Figura 6</b> - Dendrogramas de dissimilaridade da região Sul de Minas Gerais para a classificação climática segundo Köppen a) Cenário RCP 2.6; b) Cenário RCP 4.5; c) Cenário RCP 6.0; d) Cenário RCP 8.5. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 37 |
| <b>Figura 7</b> - Dendrogramas de dissimilaridade da região Centro-Oeste de Minas Gerais para a classificação climática segundo Köppen a) Cenário RCP 2.6; b) Cenário RCP 4.5; c) Cenário RCP 6.0; d) Cenário RCP 8.5. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 38 |
| <b>Figura 8</b> - Dendrogramas de dissimilaridade da região Norte de Minas Gerais para a classificação climática segundo Köppen a) Cenário RCP 2.6; b) Cenário RCP 4.5; c) Cenário RCP 6.0; d) Cenário RCP 8.5.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 39 |
| <b>Figura 9</b> - Dendrogramas de dissimilaridade da região Jequitinhonha/Mucuri de Minas Gerais para a classificação climática segundo Köppen a) Cenário RCP 2.6; b) Cenário RCP 4.5; c) Cenário RCP 6.0; d) Cenário RCP 8.5. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 40 |
| <b>Figura 10</b> - Classificação climática de Thornthwaite para Minas Gerais considerando o clima presente (1981-2010). As linhas indicam os limites climáticos para as principais mudanças de temperatura e umidade, indicados pelos climas com fator hídrico B'2a, B'3a' e B'4a'.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 41 |
| <b>Figura 11</b> -Distribuição geográfica da Classificação Climática de Thornthwaite para o estado de Minas Gerais a) Forçante RCP 2.6 para o período PR1, b) forçante RCP 4.5 para o período PR1, c) forçante RCP 6.0 para o período PR1, d) forçante RCP 8.5 para o período PR1, e) forçante RCP 2.6 para o período PR2, f) forçante RCP 4.5 para o período PR2, g) forçante RCP 6.0 para o período PR2, h) forçante RCP 8.5 para o período PR2, i) forçante RCP 2.6 para o período PR3, j) forçante RCP 4.5 para o período PR3, k) forçante RCP 6.0 para o período PR3, l) forçante RCP 8.5 para o período PR1..... | 44 |

|                                                                                                                                                                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 12</b> - Dendrogramas de dissimilaridade das regiões Central e do Rio Doce de Minas Gerais para a classificação climática segundo Thornthwaite a) Cenário RCP 2.6; b) Cenário RCP 4.5; c) Cenário RCP 6.0; d) Cenário RCP 8.5. ....           | 48 |
| <b>Figura 13</b> - Dendrogramas de dissimilaridade da região da Mata de Minas Gerais para a classificação climática segundo Thornthwaite a) Cenário RCP 2.6; b) Cenário RCP 4.5; c) Cenário RCP 6.0; d) Cenário RCP 8.5. ....                           | 49 |
| <b>Figura 14</b> - Dendrogramas de dissimilaridade da região Sul de Minas Gerais para a classificação climática segundo Thornthwaite a) Cenário RCP 2.6; b) Cenário RCP 4.5; c) Cenário RCP 6.0; d) Cenário RCP 8.5. ....                               | 50 |
| <b>Figura 15</b> - Dendrogramas de dissimilaridade das regiões do Triângulo e do Alto Parnaíba de Minas Gerais para a classificação climática segundo Thornthwaite a) Cenário RCP 2.6; b) Cenário RCP 4.5; c) Cenário RCP 6.0; d) Cenário RCP 8.5. .... | 51 |
| <b>Figura 16</b> - Dendrogramas de dissimilaridade da região Centro-Oeste de Minas Gerais para a classificação climática segundo Thornthwaite a) Cenário RCP 2.6; b) Cenário RCP 4.5; c) Cenário RCP 6.0; d) Cenário RCP 8.5. ....                      | 52 |
| <b>Figura 17</b> - Dendrogramas de dissimilaridade da região Noroeste de Minas Gerais para a classificação climática segundo Thornthwaite a) Cenário RCP 2.6; b) Cenário RCP 4.5; c) Cenário RCP 6.0; d) Cenário RCP 8.5. ....                          | 53 |
| <b>Figura 18</b> - Dendrogramas de dissimilaridade da região Norte de Minas Gerais para a classificação climática segundo Thornthwaite a) Cenário RCP 2.6; b) Cenário RCP 4.5; c) Cenário RCP 6.0; d) Cenário RCP 8.5. ....                             | 54 |
| <b>Figura 19</b> - Dendrogramas de dissimilaridade da região do Jequitinhonha/Mucuri de Minas Gerais para a classificação climática segundo Thornthwaite a) Cenário RCP 2.6; b) Cenário RCP 4.5; c) Cenário RCP 6.0; d) Cenário RCP 8.5. ....           | 55 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1</b> - Informações referentes as estações meteorológicas convencionais: número de registro das estações, latitude, longitude, altitude e região pertencente. ....                                                                                                                            | 15 |
| <b>Tabela 2</b> - Relação dos dados válidos das 49 estações meteorológicas convencionais de Minas Gerais.....                                                                                                                                                                                           | 17 |
| <b>Tabela 3</b> - Lista de modelos do conjunto CMIP5 utilizados neste estudo para cada cenário.....                                                                                                                                                                                                     | 20 |
| <b>Tabela 4</b> - Critérios para a Classificação climática de Köppen baseado na simplificação realizada por Alvares et al. (2014) modificada.....                                                                                                                                                       | 23 |
| <b>Tabela 5</b> - Expressões utilizadas na obtenção dos índices da classificação climática de Thornthwaite.....                                                                                                                                                                                         | 24 |
| <b>Tabela 6</b> - Tipos climáticos para o fator hídrico da classificação climática de Thornthwaite, baseado no índice de umidade (lu). ....                                                                                                                                                             | 24 |
| <b>Tabela 7</b> - Subtipos climáticos para o fator hídrico da classificação climática de Thornthwaite, baseado no índice de aridez (la) ou índice hídrico (lh).....                                                                                                                                     | 24 |
| <b>Tabela 8</b> - Tipos climáticos para o fator térmico da classificação climática de Thornthwaite, baseado na evapotranspiração potencial (ETP).....                                                                                                                                                   | 25 |
| <b>Tabela 9</b> - Subtipos climáticos para o fator térmico da classificação climática de Thornthwaite, baseado na evapotranspiração potencial (ETP).....                                                                                                                                                | 25 |
| <b>Tabela 10</b> - Descrição dos tipos climáticos observados na classificação climática de Köppen para o estado de Minas Gerais. ....                                                                                                                                                                   | 27 |
| <b>Tabela 11</b> - Análise de variância (ANOVA) e comparação de médias pelo teste de Tukey para a classificação climática de Köppen, considerando cada estação meteorológica, RCP's (2.6, 4.5, 6.0 e 8.5) para o clima presente (atual) e projeções (P1=2011-2040, P2=2041-2070, P3=2071-2100).....     | 32 |
| <b>Tabela 12</b> - Descrição dos climas identificados pelo método de Thornthwaite para Minas Gerais. ....                                                                                                                                                                                               | 41 |
| <b>Tabela 13</b> - Correspondência dos sistemas de classificação climática de Köppen modificado e de Thornthwaite (1948) para o clima atual do estado de Minas Gerais.....                                                                                                                              | 42 |
| <b>Tabela 14</b> - Análise de variância (ANOVA) e comparação de médias pelo teste de Tukey para a classificação climática de Thornthwaite, considerando cada estação meteorológica, RCP's (2.6, 4.5, 6.0 e 8.5) para o clima presente (atual) e projeções (P1=2011-2040, 2041-2070, P3=2071-2100). .... | 46 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

|         |                                                      |
|---------|------------------------------------------------------|
| ALT     | Alteração do armazenamento                           |
| ARM     | Armazenamento                                        |
| BDMEP   | Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa |
| CAD     | Capacidade de água disponível                        |
| CMIP5   | <i>Couple Model Intercomparison Project Phase 5</i>  |
| DEF     | Deficiência Hídrica                                  |
| ETP     | Evapotranspiração Potencial                          |
| ETR     | Evapotranspiração Real                               |
| EXC     | Excedente Hídrico                                    |
| INMET   | Instituto Nacional de Meteorologia                   |
| IPCC    | <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>     |
| MCGs    | Modelos de Circulação Geral                          |
| NEGACUM | Negativo Acumulado                                   |
| NP      | Normais Provisórias                                  |
| OMM     | Organização Meteorológica Mundial                    |
| P       | Precipitação (mm)                                    |
| PE      | Período presente (período médio de 1980-2010)        |
| P1      | Projeção 1 (2011-2040)                               |
| P2      | Projeção 2 (2041-2070)                               |
| P3      | Projeção 3 (2071-2100)                               |
| RCPs    | <i>Representative Concentration Pathways</i>         |
| TFG     | Trabalho Final de Graduação                          |

## SUMÁRIO

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUÇÃO .....                                          | 11 |
| 2. OBJETIVOS .....                                           | 13 |
| 2.1. OBJETIVO GERAL .....                                    | 13 |
| 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                             | 14 |
| 3. DADOS E METODOLOGIA .....                                 | 14 |
| 3.1. ÁREA DE ESTUDO E DADOS .....                            | 14 |
| 3.2. BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO ..... | 20 |
| 3.3. METODOLOGIA DAS CLASSIFICAÇÕES CLIMÁTICAS .....         | 22 |
| 3.3.1. Classificação climática de Köppen .....               | 22 |
| 3.3.2. Classificação Climática de Thornthwaite .....         | 24 |
| 3.4. MAPEAMENTO E TESTES ESTATÍSTICOS .....                  | 26 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                              | 27 |
| 4.1. CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA SEGUNDO KÖPPEN .....            | 27 |
| 4.2. CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE THORNTHWAITE .....           | 40 |
| 5. CONCLUSÃO .....                                           | 56 |
| REFERÊNCIAS .....                                            | 57 |
| ANEXOS .....                                                 | 61 |

## 1. INTRODUÇÃO

Clima pode ser entendido como as condições atmosféricas médias em uma região, e sua importância associa-se às atividades humanas, principalmente aquelas ligadas à agricultura, que dependem especialmente da disponibilidade hídrica regional (ROLIM et al., 2007). Neste sentido, entender o clima e suas variações tem sido alvo de muitos estudos, a fim de facilitar a vida das populações.

Segundo Nóbrega (2010), as inúmeras variações no clima geraram a necessidade de subdividir as grandes regiões climáticas com base na temperatura, precipitação e suas relações com fatores meteorológicos, especialmente com a latitude. Tal subdivisão se deu por meio dos Sistemas de Classificação Climática (SCC), que apesar de controversos por alguns autores, têm por objetivo unir áreas ou regiões homogêneas segundo suas características climáticas e biogeográficas e facilitar a visualização da distribuição espacial do clima, sendo realizado de acordo com critérios do classificador e da metodologia da classificação (CUNHA e MARTINS, 2009; VAREJÃO-SILVA e CEBALLOS, 1982). Desta maneira, os SCC resultam na simplificação dos dados climáticos, com aplicabilidade em diferentes escalas (macroescala, mesoescala e microescala) (NÓBREGA, 2010) e áreas como: zoneamento agroclimático (ALVARES et al., 2014), zoneamento de espécies florestais (ARAÚJO et al., 2012; GONÇALVES et al., 2013) e risco de doença em espécies florestais (SILVA et al., 2013). Dentre os SCC mais utilizados, são o de Köppen e o de Thornthwaite.

O SCC de Köppen é considerado a primeira classificação climática do mundo, desenvolvida pelo cientista alemão Wladimir Köppen (1846-1940) em 1900 (KOTTEK et al., 2006; ALVARES et al., 2014). Como um fisiologista de plantas, Köppen percebeu que a vegetação era um excelente indicador climático (KOTTEK et al., 2006), tendo em vista que grupos distintos de vegetação tendem a se desenvolver diferentemente em condições climáticas específicas, que dificilmente pode ser adequado para outro grupo de vegetação (NÓBREGA, 2010). Desta maneira, o SCC de Köppen relaciona dados médios anuais e mensais de temperatura do ar e precipitação com a vegetação na definição dos

limites climáticos (CUNHA e MARTINS, 2009). É conhecido pela simplicidade, aplicabilidade e facilidade de interpretação dos resultados (VIANELLO e ALVES, 2000), sendo considerado o SCC mais abrangente e largamente utilizado, em sua forma original ou com modificações (ROLIM et al., 2007; ALVARES et al., 2014). Entre os setores de maior interesse neste SCC, cita-se: arquitetura, agronomia, botânica, engenharia civil, hidrologia, geologia e geografia (CUNHA e MARTINS, 2009). No Brasil, a utilização do SCC de Köppen é comum pelo Instituto de Geografia e Estatística (IBGE) e outros órgãos estaduais ou estatais, como o Instituto Estadual de Florestas (IEF), a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) e a Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais (EMATER).

O SCC de Thornthwaite foi proposto por Charles Warren Thornthwaite em 1948 e utiliza as características da vegetação, mas, diferentemente do SCC de Köppen, somente como instrumento no cálculo da evapotranspiração potencial (ETP) (FABRES, 2009; ROLIM et al., 2007; NÓBREGA, 2010). O SCC de Thornthwaite utiliza extratos do balanço hídrico climatológico (BHC) em bases mensais e valores médios mensais de temperatura do ar e da precipitação (ROLIM et al., 2007; NÓBREGA, 2010).

A vantagem do SCC de Thornthwaite, comparada ao SCC de Köppen, é a maior sensibilidade na definição dos limites climáticos, uma vez que detecta pequenas variações espaciais com maior eficiência (CUNHA e MARTINS, 2009). Este fato pode ser atribuído a maior quantidade de variáveis consideradas nas delimitações dos limites climáticos (ROLIM et al., 2007). Por outro lado, uma desvantagem do SCC de Thornthwaite é a menor simplicidade de sua aplicação, devido à necessidade de calcular a ETP e de determinar os extratos do BHC (FABRES, 2009).

Independentemente do SCC, as aplicações são variadas e fundamentais para visualizar, mesmo a grosso modo, tendências climáticas, como, por exemplo, a diminuição do *permafrost*<sup>1</sup> em altas latitudes ou o aumento de zonas de aridez (RUBEL e KOTTEK, 2010). Por esta razão, é altamente recomendável que os SCC sejam constantemente atualizados, no que se refere às alterações nos campos médios sazonais e de variabilidade, principalmente na precipitação

---

<sup>1</sup>*Permafrost* se refere a uma área com solo permanentemente congelado (Cambridge Dictionary, 2017).

e na temperatura do ar, projetados para ocorrerem ao longo do século XXI (TORRESeMARENGO, 2014; SANTOS et al., 2017).

Nesse sentido, várias regiões do Brasil apresentam-se vulneráveis às mudanças climáticas projetadas para ocorrerem no século XXI (TORRES et al., 2012; TORRES e MARENGO, 2014), especialmente o estado de Minas Gerais (MG), no qual projeta-se, para o final deste século, um clima mais quente, podendo ter variações de até 5°C no norte de MG (SANTOS et al., 2017). Já a variação na precipitação apresenta tendências heterogêneas, com projeções de redução de chuvas nas regiões norte de MG e um aumento de precipitação na parte central e no sul do estado (FEAM, 2011; IPCC, 2014).

MG é o estado brasileiro com maior quantidade de municípios (853 municípios), o segundo mais populoso (20.997.560 habitantes) e o quarto maior em extensão territorial (586.521,235 km<sup>2</sup> de área) (IBGE, 2016), apresentando cerca de 1/3 do produto interno bruto (PIB) dependente do setor agrícola. Por esses motivos, mudanças no clima deste estado poderão afetar diretamente a qualidade de vida da população, e a quantidade e a qualidade da produção agropecuária brasileira. Nesse contexto, esforços devem ser realizados no sentido de avaliar e comparar os SCC's para MG considerando o clima atual, assim como verificar as possíveis alterações nos SCC em decorrência das projeções de mudanças climáticas. Salienta-se que existem poucos estudos dessa natureza para MG, como os de Sá Junior (2009) e Reboita et al., (2015). No entanto, esses estudos consideram apenas o clima atual e não realizam a comparação entre os dois SCC, o que constitui a importância para a realização deste Trabalho Final de Graduação (TFG).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

O objetivo geral deste TFG foi aplicar, avaliar e comparar as Classificações Climáticas de Köppen e de Thornthwaite considerando o clima

atual e futuro, usando diferentes projeções de mudanças climáticas para o estado de Minas Gerais.

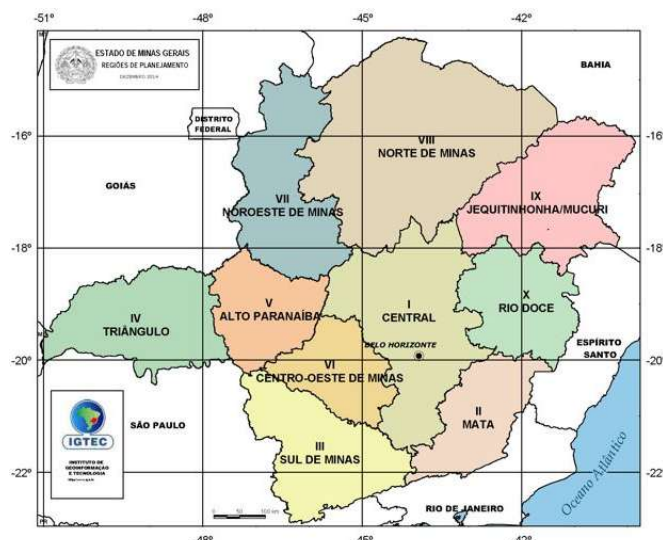
## **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Calcular as normais climatológicas provisórias de temperatura do ar e precipitação para todas as estações meteorológicas convencionais localizadas em Minas Gerais;
- Efetuar o balanço hídrico climatológico baseado nos dados do clima presente (período médio de 1980 a 2010) e futuro (período entre 2011 e 2100), considerando observações, simulações e diferentes projeções de mudanças climáticas integrantes do quinto relatório do IPCC; e
- Aplicar as classificações climáticas de Köppen adaptado por Alvares et al. (2014) e Thornthwaite adaptado por Camargo (1999) para cada uma das estações meteorológicas de Minas Gerais, considerando o clima atual e futuro.

## **3. DADOS E METODOLOGIA**

### **3.1. ÁREA DE ESTUDO E DADOS**

Em decorrência da extensa área territorial de Minas Gerais e por apresentar características climáticas distintas, optou-se por dividir o estado em 10 regiões (Figura 1) segundo regiões de planejamento administrativo definidas pelo Governo do Estado de Minas Gerais (MINAS GERAIS, 2016): Região I (Central); Região II (Mata); Região III (Sul de Minas); Região IV (Triângulo); Região V (Alto Parnaíba); Região VI (Centro-Oeste de Minas); Região VII (Noroeste de Minas); Região VIII (Norte de Minas); Região IX (Vales dos Jequitinhonha/Mucuri); e Região X (Rio Doce).



**Figura 1** - Regiões de planejamento administrativo de Minas Gerais (Minas Gerais, 2016).

Para aplicar os SCC's para o clima presente (1981-2010), foram obtidos dados a partir de 49 estações meteorológicas convencionais (Tabela 1), pertencentes ao Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Foram extraídos dados diários de precipitação acumulada (mm), temperatura máxima e mínima do ar (°C).

**Tabela 1** - Informações referentes as estações meteorológicas convencionais: número de registro das estações, latitude, longitude, altitude e região pertencente.

(Continua)

| Cidade                   | Região                  | Código | Latitude | Longitude | Altitude | Nº Estação |
|--------------------------|-------------------------|--------|----------|-----------|----------|------------|
| Aimorés                  | X Rio Doce              | 83595  | -19,49   | -41,07    | 82,74    | 1          |
| Araçuaí*                 | IX Jequitinhonha/Mucuri | 83442  | -16,83   | -42,05    | 289      | 2          |
| Araxá                    | V Alto Paranaíba        | 83579  | -19,6    | -46,94    | 1023,61  | 3          |
| Arinos                   | VII Noroeste            | 83384  | -15,91   | -46,10    | 519      | 4          |
| Bambuí                   | VI Centro-Oeste         | 83582  | -20,03   | -45,00    | 661,27   | 5          |
| Barbacena                | I Central               | 83689  | -21,25   | -43,76    | 1126     | 6          |
| Belo Horizonte           | I Central               | 83587  | -19,93   | -43,93    | 915      | 7          |
| Bom Despacho             | VI Centro-Oeste         | 83533  | -19,68   | -45,36    | 695      | 8          |
| Conceição do Mato Dentro | I Central               | 83589  | -19,02   | -43,43    | 652      | 9          |
| Caparaó                  | II Mata                 | 83639  | -20,51   | -41,90    | 843,18   | 10         |
| Capinópolis              | IV Triângulo            | 83514  | -18,71   | -49,55    | 620,6    | 11         |

**Tabela 1** - Informações referentes as estações meteorológicas convencionais: número de registro das estações, latitude, longitude, altitude e região pertencente.

(Continuação)

| Cidade                   |      | Região               | Código | Latitude | Longitude | Altitude | Nº Estação |
|--------------------------|------|----------------------|--------|----------|-----------|----------|------------|
| Caratinga                | X    | Rio Doce             | 83592  | -19,73   | -42,13    | 609,65   | 12         |
| Carbonita                | IX   | Jequitinhonha/Mucuri | 83485  | -17,53   | -43,00    | 736,38   | 13         |
| Coronel Pacheco          | II   | Mata                 | 83037  | -21,55   | -43,26    | 435      | 14         |
| Curvelo                  | I    | Central              | 83536  | -18,75   | -44,45    | 672      | 15         |
| Diamantina               | I    | Central              | 83538  | -18,23   | -43,64    | 1296,12  | 16         |
| Divinópolis              | VI   | Centro-Oeste         | 83635  | -20,17   | -44,87    | 788,35   | 17         |
| Espinosa                 | VIII | Norte                | 83338  | -14,91   | -42,80    | 569,64   | 18         |
| Florestal                | I    | Central              | 83581  | -19,88   | -44,41    | 760      | 19         |
| Formoso                  | VII  | Noroeste             | 83334  | -14,93   | -46,25    | 840      | 20         |
| Frutal                   | IV   | Triângulo            | 83574  | -20,03   | -48,93    | 543,67   | 21         |
| Ibirité                  | I    | Central              | 83632  | -20,01   | -44,05    | 814,54   | 22         |
| Itamarandiba             | IX   | Jequitinhonha/Mucuri | 83488  | -17,85   | -42,85    | 914      | 23         |
| Ituiutaba                | IV   | Triângulo            | 83521  | -18,95   | -49,52    | 560      | 24         |
| Janaúba*                 | VIII | Norte                | 83395  | -15,8    | -43,29    | 516      | 25         |
| Januária                 | VIII | Norte                | 83386  | -15,45   | -44,00    | 473,71   | 26         |
| João Monlevade           | I    | Central              | 83591  | -19,83   | -43,11    | 859,84   | 27         |
| João Pinheiro            | VII  | Noroeste             | 83481  | -17,73   | -46,17    | 760,36   | 28         |
| Juiz de Fora             | II   | Mata                 | 83692  | -21,76   | -43,36    | 939,96   | 29         |
| Juramento*               | VIII | Norte                | 83452  | -16,77   | -43,66    | 648      | 30         |
| Lambari                  | III  | Sul de Minas         | 83032  | -21,94   | -45,31    | 878,45   | 31         |
| Lavras                   | III  | Sul de Minas         | 83687  | -21,75   | -45,00    | 918,84   | 32         |
| Machado                  | III  | Sul de Minas         | 83683  | -21,68   | -45,94    | 873,35   | 33         |
| Maria da Fé              | III  | Sul de Minas         | 83015  | -22,31   | -45,37    | 1276,33  | 34         |
| Moçambinho               | VIII | Norte                | 83389  | -15,08   | -44,01    | 452      | 35         |
| Monte Azul               | VIII | Norte                | 83388  | -15,16   | -42,86    | 625      | 36         |
| Montes Claros            | VIII | Norte                | 83437  | -16,68   | -43,84    | 652      | 37         |
| Oliveira                 | VI   | Centro-Oeste         | 83637  | -20,68   | -44,81    | 966,5    | 38         |
| Paracatu                 | VII  | Noroeste             | 83479  | -17,24   | -46,88    | 712      | 39         |
| Passa Quatro             | III  | Sul de Minas         | 83737  | -22,38   | -44,96    | 920      | 40         |
| Patos de Minas           | V    | Alto Paranaíba       | 83531  | -18,51   | -46,43    | 940,28   | 41         |
| Pedra Azul               | IX   | Jequitinhonha/Mucuri | 83393  | -16      | -41,28    | 648,91   | 42         |
| Pirapora                 | VIII | Norte                | 83483  | -17,35   | -44,91    | 505,24   | 43         |
| Poços de Caldas          | III  | Sul de Minas         | 83681  | -21,91   | -46,38    | 1150     | 44         |
| Pompeu                   | I    | Central              | 83570  | -19,21   | -45,00    | 690,91   | 45         |
| Salinas                  | VIII | Norte                | 83441  | -16,15   | -42,28    | 471,32   | 46         |
| São Lourenço             | III  | Sul de Minas         | 83736  | -22,1    | -45,01    | 953,2    | 47         |
| São Sebastião do Paraíso | III  | Sul de Minas         | 83631  | -20,91   | -47,11    | 820      | 48         |
| Sete Lagoas              | I    | Central              | 83586  | -19,46   | -44,25    | 732      | 49         |
| Uberaba                  | IV   | Triângulo            | 83577  | -19,73   | -47,95    | 737      | 50         |
| Unai                     | VII  | Noroeste             | 83428  | -16,36   | -46,88    | 460      | 51         |
| Viçosa                   | II   | Mata                 | 83642  | -20,76   | -42,86    | 712,2    | 52         |

Observação: \* Estações com dados insuficientes para o estudo (<10 anos, WMO, 1989).

Em conformidade com Santos (2014), como o período de dados entre as estações não foi o mesmo, buscou-se obter uma série de dados válidos com valores ininterruptos mais próximos de 30 anos, priorizando os dados mais recentes e dentro do período estudado (Tabela 2).

**Tabela 2 - Relação dos dados válidos das 49 estações meteorológicas convencionais de Minas Gerais.**

(Continua)

| Estação            | Temperatura |                                                         |            | Precipitação |                                                    |            |
|--------------------|-------------|---------------------------------------------------------|------------|--------------|----------------------------------------------------|------------|
|                    | Período     | Anos sem dados                                          | Nº de anos | Período      | Anos sem dados                                     | Nº de anos |
| Aimorés            | 1981-2011   | 1984                                                    | 30         | 1979-2011    | 1985-1983                                          | 30         |
| Araxá              | 1978-2011   | 2009, 1990-1989, 1985                                   | 30         | 1981-2011    | 1985                                               | 30         |
| Arinos             | 1978-2011   | 1998, 1990, 1985-1981                                   | 27         | 1978-2011    | 1998, 1990, 1985-1983                              | 29         |
| BambuÍ             | 1975-2011   | 1987, 1985-1981, 1976                                   | 30         | 1979-2011    | 1987, 1985-1984                                    | 30         |
| Barbacena          | 1976-2011   | 1998, 1989-1986, 1981                                   | 30         | 1977-2011    | 1998, 1989-1986                                    | 30         |
| Belo Horizonte     | 1978-2011   | 1987, 1985-1984, 1980                                   | 30         | 1978-2011    | 1987, 1985-1984, 1980                              | 30         |
| Bom Despacho       | 1980-2011   | 2010, 1985, 1983                                        | 29         | 1980-2011    | 1985, 1983                                         | 30         |
| Campo do M. Dentro | 1975-2011   | 1990-1987, 1985, 1980-1979                              | 30         | 1975-2011    | 1990, 1988, 1985-1983, 1979                        | 30         |
| Caparaó            | 1973-2011   | 1997-1985                                               | 26         | 1973-2011    | 1997-1983                                          | 24         |
| Capinópolis        | 1975-2011   | 1992, 1989-1987, 1980-1978                              | 30         | 1975-2011    | 1992, 1989-1987, 1985-1983                         | 30         |
| Caratinga          | 1975-2011   | 1994, 1990-1988, 1985-1984, 1976                        | 30         | 1975-2011    | 1994, 1990-1988, 1985-1983                         | 30         |
| Carbonita          | 1982-2011   | 1992-1990, 1988                                         | 26         | 1982-2011    | 1992-1990, 1988                                    | 26         |
| Coronel Pacheco    | 1973-2007   | 1998, 1994-1993, 1989-1988                              | 30         | 1973-2008    | 1998, 1994-1993, 1989-1988, 1979                   | 30         |
| Curvelo            | 1974-2010   | 2002-2001, 1992-1991, 1985, 1977-1976                   | 30         | 1973-2010    | 2002-2001, 1992-1991, 1985-1984, 1977-1976         | 30         |
| Diamantina         | 1976-2011   | 1989, 1986-1982                                         | 30         | 1977-2011    | 1989, 1986-1983                                    | 30         |
| Divinópolis        | 1996-2011   | 1997                                                    | 14         | 1996-2011    | 1997                                               | 14         |
| Espinosa           | 1976-2011   | 1998, 1990-1988, 1982-1981                              | 30         | 1978-2011    | 1998, 1990-1988                                    | 30         |
| Florestal          | 1972-2011   | 1986-1985                                               | 28         | 1974-2011    | 2009, 2006, 2003-2002, 1986-1983                   | 30         |
| Formoso            | 1979-2011   | 1998, 1992-1988, 1984-1981                              | 23         | 1977-2011    | 1998, 1992-1988, 1981                              | 28         |
| Frutal             | 1972-2010   | 2009, 1991-1985, 1983-1982, 1980-1978, 1973             | 25         | 1972-2011    | 2009, 1991-1983, 1981-1978                         | 26         |
| Ibirité            | 1972-2011   | 2006, 2002, 2000-1994, 1990-1988, 1985, 1980-1978, 1974 | 23         | 1972-2011    | 2002, 2000-1996, 1990-1988, 1985, 1980-1978, 1974  | 26         |
| Itamarandiba       | 1975-2011   | 2003, 1992, 1990-1986                                   | 30         | 1975-2011    | 2003, 1992, 1990-1986                              | 30         |
| Ituiutaba          | 1980-2011   | 2002, 1990-1989, 1987-1985, 1983-1981                   | 23         | 1980-2011    | 2002, 1990-1989, 1987-1985, 1983-1981              | 23         |
| Januária           | 1980-2011   | 1998, 1989, 1987-1985, 1983                             | 26         | 1976-2011    | 1998, 1989, 1987-1985, 1983                        | 30         |
| Joao Monlevade     | 1972-2011   | 2010-2002, 1993-1990, 1985                              | 26         | 1974-2011    | 2003-2002, 1993-1990, 1983, 1979                   | 30         |
| João Pinheiro      | 1973-2011   | 1998, 1996, 1992, 1989-1987, 1979, 1977-1974            | 28         | 1973-2011    | 1996, 1992, 1989, 1987, 1979, 1977-1974            | 30         |
| Juiz de Fora       | 1978-2011   | 1992, 1990, 1988, 1986                                  | 30         | 1978-2011    | 1992, 1990, 1988, 1986                             | 30         |
| Lambari            | 1977-2005   | 2002, 1998, 1990-1988, 1986, 1982-1980                  | 20         | 1977-2011    | 2006, 2002, 1998, 1990-1988, 1986, 1982-1980       | 25         |
| Lavras             | 1977-2011   | 1992, 1990, 1987-1985                                   | 30         | 1977-2011    | 1992, 1990, 1987-1985                              | 30         |
| Machado            | 1976-2011   | 1997, 1990-1986                                         | 30         | 1976-2011    | 1997, 1990-1986                                    | 30         |
| Maria da Fé        | 1977-2011   | 2003-2001, 1998, 1991-1988, 1986-1984                   | 24         | 1977-2011    | 2002-2001, 1998, 1991-1988, 1986                   | 27         |
| Moçambinho         | 1976-2011   | 1998, 1990-1989, 1985-1983, 1978-1977                   | 28         | 1976-2011    | 1998, 1990-1989, 1985-1983                         | 30         |
| Monte Azul         | 1975-2011   | 2008, 1998, 1989-1987, 1985, 1983, 1977                 | 29         | 1976-2011    | 1998, 1989-1987, 1985, 1983                        | 30         |
| Montes Claros      | 1973-2011   | 1990, 1988-1979                                         | 28         | 1974-2011    | 1990, 1988-1983, 1979                              | 30         |
| Oliveira           | 1972-2011   | 2002, 2000, 1997, 1994-1988, 1986-1979                  | 22         | 1972-2011    | 2010, 2002, 2000, 1997, 1994-1988, 1986-1985, 1983 | 26         |
| Paracatu           | 1974-2011   | 1992, 1988-1981, 1979-1978, 1976                        | 27         | 1975-2011    | 1992, 1988-1985, 1979, 1976                        | 30         |
| Passa Quatro       | 1972-2011   | 2005, 2002, 1989-1984, 1979, 1976                       | 30         | 1973-2011    | 2002, 1989-1984, 1979, 1976                        | 30         |
| Patos de Minas     | 1977-2011   | 1990-1987, 1985                                         | 30         | 1975-2011    | 1990-1987, 1985-1983                               | 30         |
| Pedra Azul         | 1973-2011   | 1998, 1990, 1987-1983, 1981, 1979                       | 30         | 1976-2011    | 1998, 1990, 1987-1985, 1983                        | 30         |
| Pirapora           | 1977-2011   | 1988-1986, 1983, 1978                                   | 30         | 1979-2011    | 1988-1986                                          | 30         |

**Tabela 2** - Relação dos dados válidos das 49 estações meteorológicas convencionais de Minas Gerais.

(Continuação)

| Estação           | Temperatura |                                              |            | Precipitação |                                              |            |
|-------------------|-------------|----------------------------------------------|------------|--------------|----------------------------------------------|------------|
|                   | Período     | Anos sem dados                               | Nº de anos | Período      | Anos sem dados                               | Nº de anos |
| Poços de Caldas   | 1973-2011   | 2000, 1997, 1995, 1991-1987, 1980            | 30         | 1979-2011    | 1997, 1995, 1991-1987, 1980                  | 25         |
| Pompeu            | 1979-2011   | 1988-1987, 1985                              | 30         | 1977-2011    | 1988-1987, 1985-1983                         | 30         |
| Salinas           | 1978-2011   | 1990-1988, 1986                              | 30         | 1978-2011    | 1990-1988, 1986                              | 30         |
| São Lourenço      | 1977-2011   | 1988, 1985-1984, 1980-1979                   | 30         | 1978-2011    | 1988, 1985-1984, 1980                        | 30         |
| São S. do Paraíso | 1981-2010   | 2003-2002, 1997, 1990-1989, 1987, 1985, 1983 | 22         | 1981-2010    | 2003-2002, 1997, 1990-1989, 1987, 1985, 1983 | 22         |
| Sete Lagoas       | 1972-2011   | 1992-1987, 1985-1983, 1974                   | 30         | 1973-2011    | 1992-1987, 1985-1983                         | 30         |
| Uberaba           | 1977-2011   | 1988-1984                                    | 30         | 1976-2011    | 1988-1983                                    | 30         |
| Unai              | 1979-2011   | 1998, 1990, 1985                             | 30         | 1979-2011    | 1998, 1990, 1985                             | 30         |
| Viçosa            | 1974-2011   | 1997, 1990-1984                              | 30         | 1974-2011    | 1997, 1990-1984                              | 30         |

Observações: \* Foram excluídos os anos com mais de 3 meses de dados faltantes (Organização Meteorológica Mundial – WMO, 1989).

Para aplicar os SCC's para o clima presente (1981-2010) foi necessário utilizar as normais provisórias (NP), uma vez que em MG não são todas as estações que possuem dados ininterruptos durante o período de 30 anos (Tabela 2).

As NP são médias referentes a um curto período, baseadas em observações diárias, que se estendem interruptamente ao longo de um período de pelo menos 10 anos (SUGAHARA, 1999; WMO, 1989).

Para o cálculo da NP seguiu as recomendações da OMM (1989) estabelecidas no Documento Técnico OMM/TD-N° 341:

$$\bar{T}_x = \frac{\sum_{i=1}^n T_x}{N} \quad (1)$$

$$\bar{T}_n = \frac{\sum_{i=1}^n T_n}{N} \quad (2)$$

$$\bar{T}_m = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{T_x - T_n}{2}}{N} \quad (3)$$

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_m}{N} \quad (4)$$

Em que:  $\bar{T}_x$  é a temperatura máxima normal do i-ésimo mês (°C);  $T_x$  é a temperatura máxima diária do ar (°C);  $\bar{T}_n$  é a temperatura mínima normal do i-ésimo mês (°C);  $T_n$  é a temperatura mínima diária do ar (°C);  $\bar{T}_m$  é a temperatura média normal do i-ésimo mês (°C);  $\bar{P}$  é a normal de precipitação mensal acumulada (mm mês<sup>-1</sup>);  $P_m$  é a precipitação acumulada do i-ésimo mês (mm mês<sup>-1</sup>).

Para aplicar os SCC's para o clima futuro (Projeção 1 - P1=2011-2040, Projeção 2 - P2=2041-2070, Projeção 3 - P3=2071-2100), os dados utilizados foram obtidos do conjunto de 24 Modelos de Circulação Geral (MCG) (Tabela 3) que fazem parte do *Couple Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5), e foram desenvolvidos pelo *Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison* e disponibilizados pelo *Earth System Grid data portal* (TAYLOR et al., 2012). As variáveis utilizadas foram as médias mensais de precipitação e temperatura do ar próxima à superfície terrestre, simuladas para o período de 1971-2000 e projetadas para os três períodos futuros (P1, P2 e P3).

Para as projeções climáticas do CMIP5 são utilizadas as forçantes denominadas *Representative Concentration Pathways* (RCPs), que correspondem aos valores mais próximos de uma forçante radiativa aproximada para o final do século XXI de 2.6, 4.5, 6.0 e 8.5 Wm<sup>-2</sup> (equivalente a 490, 650,

850 e 1370 ppm de CO<sub>2</sub>, respectivamente), variando do cenário mais otimista (RCP 2.6) ao pessimista (RCP 8.5) (VAN VUUREN et al., 2011).

**Tabela 3** - Lista de modelos do conjunto CMIP5 utilizados neste estudo para cada cenário.

| RCP | Forçante radioativa (Wm <sup>-2</sup> ) | Concentração de CO <sub>2</sub> equivalente (ppm) | Modelos                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-----|-----------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2.6 | 2,6                                     | 490                                               | FGOALS-g2, BCC-CSM1-1, CanESM2, MIROC-ESM, FIO-ESM, MIROC-ESM-CHEM, GFDL-CM3, GFDLESM2G, Giss-E2-R, GFDL-ESM2M, IPSL-CM5A-LR, NorESM1-M, CSIRO-Mk3-6-0, MPI-ESM-LR, CNRMCM5, MIROC5, IPSL-CM5A-MR, HadGEM2-ES, ECEARTH, MRI-CGCM3, CCSM4                                  |
| 4.5 | 4,5                                     | 650                                               | FGOALS-g2, BCC-CSM1-1, CanESM2, MIROC-ESM, FIO-ESM, MIROC-ESM-CHEM, GFDL-CM3, GFDL-ESM2G, Giss-E2-R, GFDL-ESM2M, IPSL-CM5A-LR, NorESM1-M, CSIRO-Mk3-6-0, MPI-ESM-LR, INMCM4, CNRM-CM5, MIROC5, IPSL-CM5A-MR, HadGEM2-CC, HadGEM2-ES, ACCES 1.0, ECEARTH, MRI-CGCM3, CCSM4 |
| 6.0 | 6,0                                     | 850                                               | BCC-CSM1-1, MIROC-ESM, FIO-ESM, MIROC-ESM-CHEM, GFDL-CM3, GFDL-ESM2G, Giss-E2-R, GFDL-ESM2M, IPSL-CM5A-LR, NorESM1-M, CSIRO-Mk3-6-0, MIROC5, HadGEM2-ES, MRI-CGCM3, CCSM4                                                                                                 |
| 8.5 | 8,5                                     | 1370                                              | FGOALS-g2, BCC-CSM1-1, CanESM2, MIROC-ESM, FIO-ESM, MIROC-ESM-CHEM, GFDL-CM3, Giss-E2-R, GFDL-ESM2M, IPSL-CM5A-LR, NorESM1-M, CSIRO-Mk3-6-0, MPI-ESM-LR, INMCM4, CNRM-CM5, MIROC5, IPSL-CM5A-MR, HadGEM2-CC, HadGEM2-ES, ACCES 1.0, ECEARTH, MRI-CGCM3, CCSM4             |

Observações: Resolução horizontal aproximada dos modelos (Lat/Lon): \*<sup>1</sup>(3.1° x 2.8°), \*<sup>2</sup>(2.8° x 2.8°), \*<sup>3</sup>(2.0° x 2.5°), \*<sup>4</sup>(1.9° x 3.8°), \*<sup>5</sup>(1.9° x 2.5°), \*<sup>6</sup>(1.9° x 1.9°), \*<sup>7</sup>(1.4° x 1.4°), \*<sup>8</sup>(1.3° x 2.5°), \*<sup>9</sup>(1.3° x 1.9°), \*<sup>10</sup>(1.1° x 1.1°), \*<sup>11</sup>(0.9° x 1.3°), \*<sup>12</sup>(1.5° x 2.0°). Fonte: Adaptado de Torres, 2014 e Santos et al., 2017.

### 3.2. BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO

O SCC de Thornthwaite requer dados oriundos do extrato do balanço hídrico climatológico (BHC). Neste estudo, utilizou-se para o cálculo do BHC o método proposto por Thornthwaite e Mather (1955, 1957) simplificado por Pereira (2005), o qual fornece a quantidade de água armazenada no solo, evapotranspiração real (ETR), deficiência (DEF) e excedente hídrico (EXC) em nível regional (SENTELHAS et al., 2008). Este método requer como dado de entrada as médias climáticas mensais de precipitação e temperatura do ar, evapotranspiração potencial (ETP) mensal e o valor de Capacidade de Água Disponível (CAD).

Devido a inexistência de medidas de ETP para as 49 estações meteorológicas de MG (Tabela 2), foi necessário estimar essa variável através do método proposto por Thornthwaite (1948). Este método apresenta bons resultados para a área de estudo (SANTOS et al., 2017), além de ser o método de estimativa de ETP mais utilizado para estudos de balanços hídricos climatológicos (SENTELHAS et al., 2008). A fórmula de ETP é dada por Allen et al. (1998).

$$ETP_i = 16 \left( 10 \frac{\bar{T}_m}{I} \right)^a, \text{ quando } 0 \leq \bar{T}_m < 26,5 \quad (5)$$

$$ETP_i = -415,85 + 32,24 \bar{T}_m - 0,43 \bar{T}_m^2; \text{ quando } \bar{T}_m \geq 26,5 \quad (6)$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left( \frac{\bar{T}_m}{5} \right)^{1,514} \quad (7)$$

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1,7912 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0,49239 \quad (8)$$

$$N = \frac{2}{15} \cdot ar \cos[-1 \cdot (tg \phi \cdot tg \delta)] \quad (9)$$

$$C_i = \frac{N}{12} \cdot \frac{NDP_i}{30} \quad (10)$$

$$ETP = ETP_i \cdot C_i \quad (11)$$

Em que:  $ETP_i$  é a Evapotranspiração potencial não corrigida para o *i*-ésimo mês considerado ( $i=1$  à 12) ( $\text{mm mês}^{-1}$ );  $ETP$  é a Evapotranspiração potencial corrigida para o *i*-ésimo mês considerado ( $\text{mm mês}^{-1}$ );  $\bar{T}_m$  é a temperatura média normal do ar do *i*-ésimo mês;  $I$  é o índice anual de calor;  $C_i$  é o fator de correção;  $NDP_i$  é o número de dias do *i*-ésimo mês;  $N_i$  é o fotoperíodo do 15º dia do *i*-ésimo mês, considerado representativo da média mensal;  $\phi$  é a latitude e  $\delta_i$  é a declinação solar do 15º dia do *i*-ésimo mês, os quais foram obtidos para cada estação meteorológica.

A CAD considerada foi de 100 mm, em função de ser o valor utilizado em estudos climatológicos (SENTELHAS et al., 2008; VIANELLO e ALVES, 2012).

### 3.3. METODOLOGIA DAS CLASSIFICAÇÕES CLIMÁTICAS

#### 3.3.1. Classificação climática de Köppen

De posse dos dados mensais das NP calculadas para precipitação (mm) e temperatura média do ar (°C), obtida pela média aritmética das temperaturas mínimas e máximas, realizou-se a Classificação Climática de Köppen, proposta por Köppen (1936), e revisada por Kottek et al. (2006) e Rubel e Kottek (2010) e simplificada por Alvares et al. (2014). Segundo esta classificação, os tipos climáticos são simbolizados por duas ou três letras. A primeira indica a zona climática, sendo definida pela temperatura do mês mais frio e precipitação. A segunda considera a distribuição sazonal da precipitação, e a terceira considera a variação sazonal da temperatura do mês mais quente. As zonas climáticas, as descrições, os símbolos e os critérios para a classificação climática de Köppen são apresentados na Tabela 4. Esta tabela foi construída com base na tabela proposta por Alvares et al. (2014), a qual altera o valor de referência para a precipitação do mês mais seco ( $R_{DRY}$ ) de 60mm para 40mm, prevenindo assim a exclusão de áreas semelhantes.

Para o grupo B (árido, semiárido e desértico) o limiar da precipitação ( $P_{limiar}$ ) é obtido pela equação 12 (KOTTEK et al., 2006):

$$P_{limiar} = \begin{cases} 2 \cdot Ta, & \text{Pelo menos 2/3 da } Pa \text{ ocorre no inverno} \\ (2 \cdot Ta) + 28, & \text{Pelo menos 2/3 da } Pa \text{ ocorre no verão} \\ (2 \cdot Ta) + 14, & \text{Caso contrário} \end{cases} \quad (12)$$

Sendo  $Ta$  = temperatura média anual (°C),  $Pa$  = precipitação acumulada anual (mm).

**Tabela 4 - Critérios para a Classificação climática de Köppen baseado na simplificação realizada por Alvares et al. (2014) modificada.**

| Temperatura       |                                   | Precipitação   |                                          |                                         |                                                           | Clima                                       | Símbolo                            |     |
|-------------------|-----------------------------------|----------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------|-----|
| T <sub>COLD</sub> | T <sub>HOT</sub>                  | T <sub>a</sub> | P <sub>M</sub>                           | P <sub>a</sub>                          |                                                           |                                             |                                    |     |
| ≥ 18°C            |                                   | ≥ 18°C         | P <sub>DRY</sub> ≥ 60mm                  | ≥ 25 (100- R <sub>DRY</sub> )           | A<br><br>(megatérnico ou tropical)                        | f (sem estação seca definida)               | Af                                 |     |
|                   |                                   |                |                                          | < 25 (100- R <sub>SDRY</sub> )          |                                                           | m (monçônico)                               | Am                                 |     |
|                   |                                   |                |                                          | < 25 (100- R <sub>WDRY</sub> )          |                                                           | s (com seca no verão)                       | As                                 |     |
|                   |                                   |                | P <sub>DRY</sub> < 60mm                  | ≥ 5*PLIMIAIR &                          |                                                           | w (com seca no inverno)                     | Aw                                 |     |
|                   |                                   |                | < 18°C                                   | < 10*PLIMIAR                            |                                                           | h (baixa latitude e altitude)               | BSh                                |     |
| ≥ -3°C <& 18°C    | ≥ 22°C                            | ≥ 18°C         |                                          | < 10*PLIMIAR                            | B<br><br>(árido)                                          | (semiárido ou estepe)                       | k (média latitude e alta altitude) | BSk |
|                   |                                   |                |                                          | < 18°C                                  |                                                           | W                                           | h (baixa latitude e altitude)      | BWh |
|                   |                                   |                |                                          | ≥ 18°C                                  |                                                           | (árido ou desértico)                        | k (média latitude e alta altitude) | BWk |
|                   |                                   |                |                                          | < 18°C                                  |                                                           | f                                           | a (com verão quente)               | Cfa |
|                   |                                   |                |                                          |                                         |                                                           | (clima oceânico; sem estação seca definida) | b (com verão temperado)            | Cfb |
| ≥ -38°C &< 18°C   | < 22°C & T <sub>M10</sub> ≥ 4     |                | P <sub>DRY</sub> < 60mm                  |                                         | C<br><br>(mesotérnico ou temperado quente ou subtropical) | c (com verão curto e frio)                  | Cfc                                |     |
| ≥ -38°C &< 18°C   | < 22°C & T <sub>M10</sub> < 4     |                | P <sub>SWET</sub> ≥ 10*P <sub>WDRY</sub> | w                                       |                                                           | a (e verão quente)                          | Cwa                                |     |
| ≥ -38°C &< 18°C   | < 22°C & 1 ≤ T <sub>M10</sub> < 4 |                |                                          | (com seca no inverno)                   |                                                           | b (e verão temperado)                       | Cwb                                |     |
| ≥ -38°C &< 18°C   | < 22°C & T <sub>M10</sub> ≥ 4     |                | P <sub>DRY</sub> < 60mm                  | s                                       |                                                           | c (e verão curto e frio)                    | Cwc                                |     |
| ≥ -38°C &< 18°C   | < 22°C & 1 ≤ T <sub>M10</sub> < 4 |                | P <sub>WWET</sub> ≥ 3*P <sub>SDRY</sub>  | (com seca no verão)                     |                                                           | a (e quente)                                | Csa                                |     |
| ≥ -38°C &< 18°C   | < 22°C & T <sub>M10</sub> ≥ 4     |                | P <sub>SWET</sub> ≥ 10*P <sub>WDRY</sub> |                                         |                                                           | b (e temperado)                             | Csb                                |     |
| ≥ -38°C &< -3°C   | < 22°C & 1 ≤ T <sub>M10</sub> < 4 |                | P <sub>DRY</sub> > 60mm                  |                                         |                                                           | c (e verão curto e frio)                    | Csc                                |     |
| < -38°C &< -3°C   | ≥ 22°C                            | ≥ 18°C         |                                          | < 22°C & T <sub>M10</sub> ≥ 4           | D<br><br>(microtérnico ou temperado frio ou continental)  | f                                           | a (com verão quente)               | Dfa |
|                   |                                   |                |                                          | < 22°C & T <sub>M10</sub> < 4           |                                                           | (sem estão seca definida)                   | b (com verão temperado)            | Dfb |
|                   |                                   |                |                                          |                                         |                                                           | c (com verão curto e frio)                  | d (com inverno muito frio)         | Dfc |
|                   |                                   |                | P <sub>DRY</sub> < 60mm                  | a (com verão quente)                    |                                                           | a (com verão quente)                        | Dfd                                |     |
|                   |                                   |                | P <sub>SWET</sub> ≥ 10*P <sub>WDRY</sub> | b (e verão temperado)                   |                                                           | b (e verão temperado)                       | Dwa                                |     |
| ≥ -38°C &< -3°C   | < 22°C & 1 ≤ T <sub>M10</sub> < 4 |                |                                          |                                         | (com seca no inverno)                                     | c (e verão curto e frio)                    | Dwb                                |     |
| < -38°C &< -3°C   | ≥ 22°C                            | ≥ 18°C         |                                          | < 22°C & T <sub>M10</sub> ≥ 4           | D<br><br>(microtérnico ou temperado frio ou continental)  |                                             | d (e inverno muito frio)           | Dwc |
|                   |                                   |                |                                          | < 22°C & T <sub>M10</sub> < 4           |                                                           | a (e quente)                                | d (e inverno muito frio)           | Dwd |
|                   |                                   |                |                                          |                                         |                                                           | b (e temperado)                             | a (e quente)                       | Dsa |
|                   |                                   |                | P <sub>DRY</sub> < 40mm                  | R <sub>WWET</sub> ≥ 3*R <sub>SDRY</sub> |                                                           | s                                           | b (e temperado)                    | Dsb |
|                   |                                   |                | R <sub>SWET</sub> ≥ 10*R <sub>WDRY</sub> | < 22°C & 1 ≤ T <sub>M10</sub> < 4       |                                                           | (com seca no verão)                         | c (e verão curto e frio)           | Dsc |
| ≥ -38°C &< -3°C   | < 10 & ≥ 0°C                      |                |                                          |                                         |                                                           | d (e inverno muito frio)                    | Dsd                                |     |
| < -38°C &< -3°C   | < 0°C                             |                |                                          |                                         | E<br><br>(glacial ou polar)                               |                                             | T (tundra)                         | ET  |
|                   |                                   |                |                                          |                                         |                                                           | F (polar)                                   | EF                                 |     |

### 3.3.2. Classificação Climática de Thornthwaite

Neste estudo foi utilizada a Classificação Climática de Thornthwaite adaptada por Camargo (1999), a qual baseia-se em índices calculados dos valores extraídos do extrato do BHC: índice hídrico (Ih), índice de aridez (Ia) e índice de umidade (Iu) (Tabela 5). Com esses índices se aplica o SCC de Thornthwaite através da determinação dos tipos (primeira letra da classificação) e subtipos climáticos (segunda letra da classificação) para cada fator separadamente – fator hídrico (Tabelas 6 e 7) e fator térmico (Tabelas 8 e 9).

**Tabela 5** - Expressões utilizadas na obtenção dos índices da classificação climática de Thornthwaite.

| Índice                 | Expressão            |
|------------------------|----------------------|
| Índice Hídrico (Ih)    | $Ih = (EXC/ETP)*100$ |
| Índice de Aridez (Ia)  | $Ia = (DEF/ETP)*100$ |
| Índice de Umidade (Iu) | $Iu = Ih - 0,6*Ia$   |

EXC = excedente hídrico (mm); DEF = deficiência hídrica (mm); ETP = evapotranspiração potencial (mm).

Quanto ao fator hídrico, o tipo climático é representado pelo Iu (Tabela 6), enquanto que o subtipo climático é determinado pelo Ia ou Ih (Tabela 7).

**Tabela 6** - Tipos climáticos para o fator hídrico da classificação climática de Thornthwaite, baseado no índice de umidade (Iu).

| Tipo climático hídrico | Símbolo | Classificação       |
|------------------------|---------|---------------------|
| Superúmido             | A       | $Iu \geq 100$       |
| Úmido                  | B4      | $80 \leq Iu < 100$  |
| Úmido                  | B3      | $60 \leq Iu < 80$   |
| Úmido                  | B2      | $40 \leq Iu < 60$   |
| Úmido                  | B1      | $20 \leq Iu < 40$   |
| Subúmido               | C2      | $0 \leq Iu < 20$    |
| Subúmido seco          | C1      | $-20 \leq Iu < 0$   |
| Semiárido              | D       | $-40 \leq Iu < -20$ |
| Árido                  | E       | $-60 \leq Iu < -40$ |

**Tabela 7** - Subtipos climáticos para o fator hídrico da classificação climática de Thornthwaite, baseado no índice de aridez (Ia) ou índice hídrico (Ih).

| Para climas úmidos (A, B, C2) – utiliza o Ia |         |                       |
|----------------------------------------------|---------|-----------------------|
| Subtipo climático hídrico                    | Símbolo | Índice de aridez (Ia) |
| Sem ou com pequena deficiência hídrica       | r       | $0 \leq Ia < 16,7$    |
| Deficiência hídrica moderada no verão        | s       | $16,7 \leq Ia < 33,3$ |
| Deficiência hídrica moderada no inverno      | w       | $16,7 \leq Ia < 33,3$ |
| Grande deficiência hídrica no verão          | s2      | $Ia \geq 33,3$        |
| Grande deficiência hídrica no inverno        | w2      | $Ia \geq 33,3$        |
| Para climas secos (C1, D E) – utiliza o Ih   |         |                       |
| Subtipo climático hídrico                    | Símbolo | Índice hídrico (Ih)   |
| Excedente hídrico pequeno ou nulo            | d       | $0 \leq Ih < 10$      |
| Excedente hídrico moderado no verão          | s       | $10 \leq Ih < 20$     |
| Excedente hídrico moderado no inverno        | w       | $10 \leq Ih < 20$     |
| Grande excedente hídrico no verão            | s2      | $Ih \geq 20$          |
| Grande excedente hídrico no inverno          | w2      | $Ih \geq 20$          |

No que tange o fator térmico, os tipos climáticos foram determinados a partir da ETP (Tabela 8), e os subtipos climáticos são baseados na relação entre somatório da ETP nos meses do verão (D, J, F) e a ETP anual (equação 13) (Tabela 9).

$$SCT = \frac{ETP_{Ver\tilde{a}o}}{ETP_{Anual}} \times 100 \quad (13)$$

Em que:  $SCT$  é o subtipo climático térmico;  $ETP_{Ver\tilde{a}o}$  é a evapotranspiração potencial no verão;  $ETP_{Anual}$  é a evapotranspiração potencial anual.

**Tabela 8** - Tipos climáticos para o fator térmico da classificação climática de Thornthwaite, baseado na evapotranspiração potencial (ETP).

| Tipo climático térmico | Símbolo | Classificação         |
|------------------------|---------|-----------------------|
| Megatérmico            | A'      | $ETP \geq 1140$       |
| Mesotérmico            | B'4     | $1140 > ETP \geq 997$ |
| Mesotérmico            | B'3     | $997 > ETP \geq 885$  |
| Mesotérmico            | B'2     | $885 > ETP \geq 712$  |
| Mesotérmico            | B'1     | $712 > ETP \geq 570$  |
| Microtérmico           | C'2     | $570 > ETP \geq 427$  |
| Microtérmico           | C'1     | $427 > ETP \geq 285$  |
| Tundra                 | D'      | $285 > ETP \geq 142$  |
| Gelo perpétuo          | E'      | $ETP < 142$           |

**Tabela 9** - Subtipos climáticos para o fator térmico da classificação climática de Thornthwaite, baseado na evapotranspiração potencial (ETP).

| Subtipos climáticos térmicos | Classificação                     |
|------------------------------|-----------------------------------|
| a'                           | SCT < 48%                         |
| b'4                          | $48\% \leq \text{SCT} < 51,9\%$   |
| b'3                          | $51,9\% \leq \text{SCT} < 56,3\%$ |
| b'2                          | $56,3\% \leq \text{SCT} < 61,6\%$ |
| b'1                          | $61,6\% \leq \text{SCT} < 68\%$   |
| c'2                          | $68\% \leq \text{SCT} < 76,3\%$   |
| c'1                          | $76,3\% \leq \text{SCT} < 88\%$   |
| d                            | SCT > 88%                         |

### 3.4. MAPEAMENTO E TESTES ESTATÍSTICOS

Uma vez obtidas as classificações climáticas para o clima presente (1980 – 2010) e futuro (P1=2011-2040, P2=2041-2070, P3=2071-2100), considerando os cenários RPC 2.6, 4.5, 6.0 e 8.5, esses dados foram espacializados para uma grade regular cobrindo todo o estado de Minas Gerais utilizando-se o método Ordinary Krigging (WICKHAM, 2014) implementado no *software* R. Os mapas climáticos foram construídos através do *software* GrADS (*Grid Analysis and Display System*) (SCC de Koppén) e ArcGIS 10.3 (SCC de Thornthwaite).

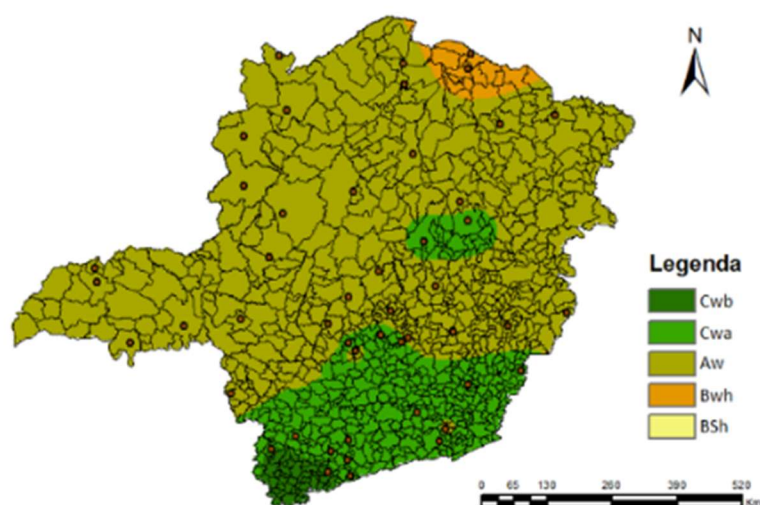
Os dados das classificações climáticas foram submetidos à análise de variância (ANOVA) seguida de comparação de médias pelo teste Tukey a 5%. Para proceder a ANOVA, os dados foram analisados segundo um delineamento em blocos ao acaso, organizado em esquema fatorial (49x4) com três blocos por tratamento. Cada tratamento constituiu da combinação dos 49 níveis do fator A e os 4 níveis do fator D, sendo que o fator A representa as 49 estações meteorológicas convencionais (ou cidades), e o fator D representa os quatro cenários de mudanças climáticas (RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 e RCP 8.5). Consideraram-se como blocos as três projeções, sendo P1 (2011-2040), P2 (2041-2070) e P3 (2071-2100). Os testes foram realizados através do *software* SISVAR® versão 5.6 (FERREIRA, 2011).

Adicionalmente como análise complementar, construiu-se dendogramas por meio do aplicativo do Excel, XLSTAT 2016 para melhor visualização e comparação entre os tipos climáticos, cidades, cenários e projeções pelo método de *Cluster* (agrupamentos). Este método possibilita a aferição das distâncias euclidianas entre os tratamentos. Entende-se distância euclidiana como o nível de dissimilaridade entre os tratamentos.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA SEGUNDO KÖPPEN

Segundo a classificação climática de Köppen, considerando o clima presente (1981-2010), Minas Gerais apresenta cinco tipos climáticos, sendo dois temperados quentes (Cwb e Cwa), um tropical (Aw), e dois áridos (BSh e BWh) (Figura 2; Anexo 1), corroborando com os resultados observados por Reboita et al., (2015), e diferente do relatado por Sá Junior (2009) e Ávila et al. (2014), que não observaram a ocorrência do clima BWh, mas indicaram a ocorrência dos climas Cwa, Cwb, BSh e Aw. Ademais, Tonietto et al. (2006) também observaram os climas Aw, Cwa e Cwb, porém, além de não identificarem os climas BSh e BWh, identificaram o clima BSw. Convém salientar que, de acordo com a classificação de Köppen revisada por Alvares et al. (2014), o clima BSw detectado por Tonietto et al., (2006) não é passível de classificação.



**Figura 2** - Classificação climática de Köppen para Minas Gerais considerando o clima presente (1981-2010). Os pontos indicam a localização das estações meteorológicas.

Para melhor detalhamento, na Tabela 10 são descritos os tipos climáticos observados neste estudo.

**Tabela 10** - Descrição dos tipos climáticos observados na classificação climática de Köppen para o estado de Minas Gerais.

| Classificação climática de Köppen | Descrição |
|-----------------------------------|-----------|
|-----------------------------------|-----------|

---

|     |                                                                                                                                                                                         |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Aw  | Megatérmico ou tropical com inverno seco e verão chuvoso (Clima de savana). A temperatura média do mês mais frio é superior a 18°C. A precipitação do mês mais seco é inferior a 60 mm. |
| BSh | Clima de estepe (semiárido), com temperatura média anual superior a 18°C (seco e muito quente).                                                                                         |
| BWh | Clima desértico (árido), com temperatura média anual superior a 18°C (seco e muito quente).                                                                                             |
| Cwa | Clima temperado quente (subtropical), com inverno seco e verão chuvoso. A temperatura do mês mais frio é inferior a 18°C e a do mês mais quente, superior a 22°C.                       |
| Cwb | Clima temperado quente (subtropical), também chamado de subtropical de altitude. A temperatura do mês mais frio é inferior a 18°C e a do mês mais quente, inferior a 22°C.              |

---

No clima presente, observa-se a predominância dos climas Aw e Cwa, tropical e temperado quente ambos com seca no inverno (Figura 2, Anexo 1). O clima Aw predomina nas regiões Central, Triângulo, Alto Parnaíba, Noroeste, Norte, Jequitinhonha e Rio Doce, enquanto que o clima Cwa prevalece nas regiões da Mata e Sul.

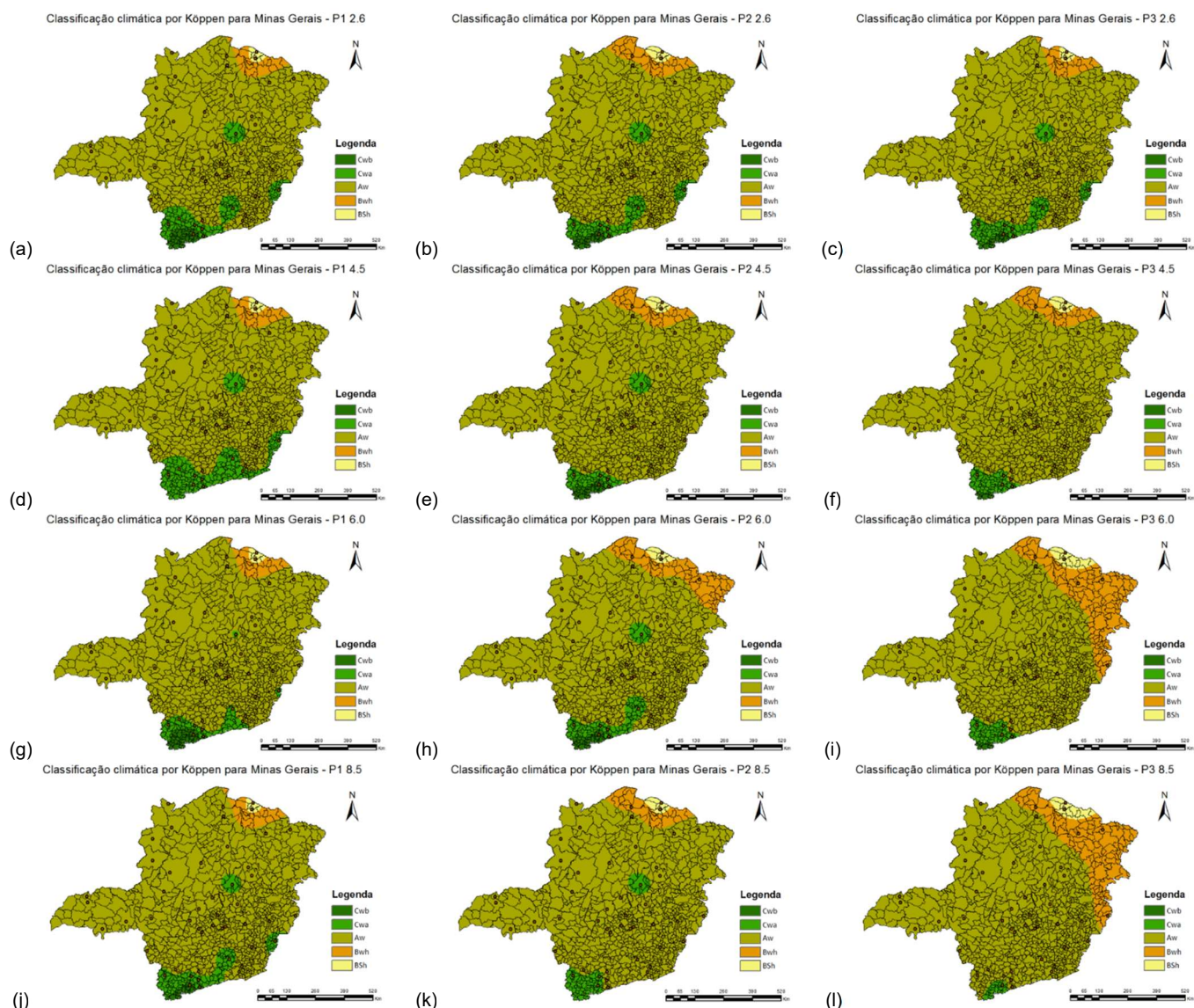
O clima mineiro é fortemente influenciado pelo relevo, o que contribui para a formação de microclimas dentro de mesmas regiões (ÁVILA et al., 2014). A região Sul, por exemplo, conhecida por suas montanhas, apresentou nas cidades de maior altitude (Maria da fé e Poços de Caldas com 1276,33 m e 1150 m de altitude, respectivamente) clima de temperatura mais amena (Cwb), enquanto a cidade de menor altitude (São Sebastião do Paraíso com 820 m de altitude) apresentou clima com temperaturas mais elevadas (Aw).

Essa diferenciação climática observada para MG, considerando o clima presente, ocorre devido a variação espacial e temporal da precipitação, temperaturas mínimas, médias e máximas, atividades convectivas locais e a atuação dos sistemas de Monção Sul-Americana (MSA) (REBOITA et al., 2015), sendo responsável pelo clima típico de moção (inverno seco e verão chuvoso). O MSA é composto pela atuação de vários sistemas atmosféricos (REBOITA et al., 2010, 2015): Jatos de Baixos Níveis (JBN), os quais transportam umidade e calor da região Amazônica para a região sudeste do Brasil, Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), que transporta calor e umidade do oceano Atlântico para o continente, Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que

é uma banda de nebulosidade que se estende da Amazônia ao sudeste do Brasil chegando ao oceano Atlântico, por exemplo. Além disso, a entrada de frentes frias, principalmente na porção sul de MG, reduz as temperaturas no inverno e atua na ocorrência de clima temperado (Cwa e Cwb) (ALVARES et al., 2014).

Com relação ao clima futuro (P1, P2 e P3), foram verificadas mudanças na classificação climática de Koppen (Figura 3). De uma maneira geral, o aumento crescente e gradual projetado na temperatura do ar, chegando à 5°C (P3) para algumas localidades de MG (SANTOS et al., 2017), impactará no aumento da prevalência de climas mais quentes, mesmo no cenário mais brando (RCP2.6) (Figura 3a). Ao contrário da temperatura do ar, a precipitação não apresenta tendências evidentes de aumento, sendo projetado para MG aumento de extremos, com chuvas acima da média nos meses de verão, principalmente em janeiro, e diminuição no fim do inverno e na primavera (SANTOS et al., 2017). Essa tendência heterogênea afeta diretamente no aparecimento, assim como no aumento de climas BSh e BWh (áridos), respectivamente, principalmente nas regiões Norte e dos Vales de Jequitinhonha e Mucuri nos RCP's 2.6, 4.5, 6.0 e 8.5 (Figura 3).

Do clima presente (Figura 2) para a P1 (2011-2040) (Figura 3) houve um aumento considerável de áreas classificadas como Aw (quente), redução das áreas classificadas, principalmente, como Cwb (temperaturas mais brandas), além do surgimento de áreas de clima BSh (semiárido característico de estepe). Na P2 (2041-2070) e P3 (2071-2100), exceto para RCP 2.6, houve crescimento das áreas classificadas como BWh e BSh, e redução significativa das áreas classificadas como Cwb e Cwa (Figura 3a, 3b e 3c).



**Figura 3** -Distribuição geográfica da Classificação Climática de Köppen para o estado de Minas Gerais a) forçante RCP 2.6 para o período P1; b) forçante RCP 2.6 para o período P2; c) forçante RCP 2.6 para o período P3; d) forçante RCP 4.5 para o período P1; e) forçante RCP 4.5 para o período P2; f) forçante RCP 4.5 para o período P3; g) forçante RCP 6.0 para o período P1; h) forçante RCP 6.0 para o período P2; i) forçante RCP 6.0 para o período P3; j) forçante RCP 8.5 para o período P1; k) forçante RCP 8.5 para o período P2; l) forçante RCP 8.5 para o período P3.

Pela ANOVA (Tabela 11) foi possível verificar o comportamento da classificação climática ao longo das projeções (denominadas de blocos) para cada estação meteorológica (denominada FATOR A) e RCP (denominado FATOR D). Essas denominações foram dadas para a realização da ANOVA (STORCK et al., 2011). Observou-se que as regiões Central (I), Sul (III), Triângulo (IV), Alto Parnaíba (V), Centro-Oeste (VI), Noroeste de Minas (VII), Norte de Minas (VIII), e Rio Doce (X) apresentaram variância não significativa entre as classificações climáticas entre os RCP's e projeções. Isto significa que,

de maneira geral, não há mudança das classificações climáticas, ou as mudanças são praticamente desprezíveis ao longo das projeções. Como exemplo, nas regiões Central e Rio Doce, as cidades de Belo Horizonte, Conceição do Mato Dentro, Curvelo, João Molevade, Pompeu, Sete Lagoas e Caratinga apresentam classificação Aw para o clima presente e mantém essa classificação até a P3 no RCP 8.5. Do contrário, as cidades de Florestal e Ibirité já apresentam modificação na classificação climática de Cwa (temperado quente) para Aw (tropical) já na P1 e RCP 2.6, enfatizado pelo aumento projetado de temperatura do ar (SANTOS et al., 2017) (Tabela 11) e essa classificação se mantém constante até o P3. Diamantina e Aimorés apresentam padrão análogo a Florestal e Ibirité de prevalência de clima mais quente e seco, porém, essa mudança só ocorrerá no final do século XXI (P3).

**Tabela 11** - Análise de variância (ANOVA) e comparação de médias pelo teste de Tukey para a classificação climática de Köppen, considerando cada estação meteorológica, RCP's (2.6, 4.5, 6.0 e 8.5) para o clima presente (atual) e projeções (P1=2011-2040, P2=2041-2070, P3=2071-2100).

(Continua)

|        |         |                          | FATOR D  |       |    |         |     |     |    |         |     |     |    |         |     |     |    |         |     |     |    |
|--------|---------|--------------------------|----------|-------|----|---------|-----|-----|----|---------|-----|-----|----|---------|-----|-----|----|---------|-----|-----|----|
| REGIÃO | FATOR A |                          | ANOVA    | ATUAL |    | RCP 2.6 |     |     |    | RCP 4.5 |     |     |    | RCP 6.0 |     |     |    | RCP 8.5 |     |     |    |
|        | N°      | CIDADE                   |          | BLOCO | T  | BLOCO   |     |     | T  | BLOCO   |     |     | T  | BLOCO   |     |     | T  | BLOCO   |     |     | T  |
|        |         |                          |          |       |    | P1      | P2  | P3  |    | P1      | P2  | P3  |    | P1      | P2  | P3  |    | P1      | P2  | P3  |    |
| I e X  | 1       | Barbacena                | 0,0716** | Cwa   | -  | Cwa     | Cwa | Cwa | -  | Cwa     | Aw  | Aw  | -  | Cwa     | Cwa | Aw  | -  | Cwa     | Aw  | Aw  | -  |
|        | 2       | Belo Horizonte           |          | Aw    | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  |
|        | 3       | Conceição do Mato Dentro |          | Aw    | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  |
|        | 4       | Curvelo                  |          | Aw    | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  |
|        | 5       | Diamantina               |          | Cwa   | -  | Cwa     | Cwa | Cwa | -  | Cwa     | Cwa | Aw  | -  | Cwa     | Cwa | Aw  | -  | Cwa     | Cwa | Aw  | -  |
|        | 6       | Florestal                |          | Cwa   | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  |
|        | 7       | Ibirité                  |          | Cwa   | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  |
|        | 8       | João Monlevade           |          | Aw    | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  |
|        | 9       | Pompeu                   |          | Aw    | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  |
|        | 10      | Sete Lagoas              |          | Aw    | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  |
|        | 11      | Aimorés                  |          | Aw    | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | BWh | -  | Aw      | Aw  | BWh | -  |
|        | 12      | Caratinga                |          | Aw    | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  |
| II     | 1       | Caparaó                  | 0,0011*  | Cwa   | Aa | Cwa     | Cwa | Cwa | Aa | Cwa     | Aw  | Aw  | Ab | Cwa     | Aw  | Aw  | Ab | Cwa     | Aw  | Aw  | Ab |
|        | 2       | Coronel Pacheco          |          | Aw    | Ba | Aw      | Aw  | Aw  | Ba | Aw      | Aw  | Aw  | Aa | Aw      | Aw  | Aw  | Aa | Aw      | Aw  | Aw  | Aa |
|        | 3       | Juiz de Fora             |          | Cwa   | Aa | Aw      | Aw  | Aw  | Bb | Cwa     | Aw  | Aw  | Ab | Cwa     | Aw  | Aw  | Ab | Aw      | Aw  | Aw  | Ab |
|        | 4       | Viçosa                   |          | Cwa   | Aa | Aw      | Aw  | Aw  | Bb | Aw      | Aw  | Aw  | Ab | Aw      | Aw  | Aw  | Ab | Aw      | Aw  | Aw  | Ab |
| III    | 1       | Lambari                  | 0,2111** | Cwa   | -  | Cwa     | Cwa | Cwa | -  | Cwa     | Cwa | Cwa | -  | Cwa     | Cwa | Cwa | -  | Cwa     | Cwa | Aw  | -  |
|        | 2       | Lavras                   |          | Cwa   | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  |
|        | 3       | Machado                  |          | Cwa   | -  | Cwa     | Aw  | Aw  | -  | Cwa     | Aw  | Aw  | -  | Cwa     | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  |
|        | 4       | Maria da Fé              |          | Cwb   | -  | Cwb     | Cwb | Cwb | -  | Cwa     | Cwb | Cwa | -  | Cwb     | Cwb | Cwa | -  | Cwb     | Cwa | Cwa | -  |
|        | 5       | Passa Quatro             |          | Cwa   | -  | Cwa     | Cwa | Cwa | -  | Cwa     | Cwa | Cwa | -  | Cwa     | Cwa | Cwa | -  | Cwa     | Aw  | Aw  | -  |
|        | 6       | Poços de Caldas          |          | Cwb   | -  | Cwa     | Cwa | Cwa | -  | Cwa     | Cwa | Cwa | -  | Cwa     | Cwa | Cwa | -  | Cwa     | Cwa | Aw  | -  |
|        | 7       | São Lourenço             |          | Cwa   | -  | Cwa     | Cwa | Cwa | -  | Cwa     | Cwa | Aw  | -  | Cwa     | Cwa | Aw  | -  | Cwa     | Aw  | Aw  | -  |
|        | 8       | São Sebastião do Paraíso |          | Aw    | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  |

**Tabela 11** -Análise de variância (ANOVA) e comparação de médias pelo teste de Tukey para a classificação climática de Köppen, considerando cada estação meteorológica, RCP's (2.6, 4.5, 6.0 e 8.5) para o clima presente (atual) e projeções (P1=2011-2040, P2=2041-2070, P3=2071-2100).

(Continuação)

|        |         |                |                                                                       | FATOR D |    |         |     |     |    |         |     |     |    |         |     |     |    |         |     |     |     |
|--------|---------|----------------|-----------------------------------------------------------------------|---------|----|---------|-----|-----|----|---------|-----|-----|----|---------|-----|-----|----|---------|-----|-----|-----|
| REGIÃO | FATOR A |                | ANOVA                                                                 | ATUAL   |    | RCP 2.6 |     |     |    | RCP 4.5 |     |     |    | RCP 6.0 |     |     |    | RCP 8.5 |     |     |     |
|        | Nº      | CIDADE         |                                                                       | BLOCO   | T  | BLOCO   |     |     | T  | BLOCO   |     |     | T  | BLOCO   |     |     | T  | BLOCO   |     |     | T   |
|        |         |                |                                                                       |         |    | P1      | P2  | P3  |    | P1      | P2  | P3  |    | P1      | P2  | P3  |    | P1      | P2  | P3  |     |
| IV e V | 1       | Capinópolis    | Todos as classificações são iguais, independente do cenário ou cidade | Aw      | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -   |
|        | 2       | Frutal         |                                                                       | Aw      | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -   |
|        | 3       | Ituiutaba      |                                                                       | Aw      | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -   |
|        | 4       | Uberaba        |                                                                       | Aw      | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -   |
|        | 5       | Araxá          |                                                                       | Aw      | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -   |
|        | 6       | Patos de Minas |                                                                       | Aw      | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -   |
| VI     | 1       | BambuÍ         | 0,3349**                                                              | Cwa     | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -   |
|        | 2       | Bom Despacho   |                                                                       | Aw      | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -   |
|        | 3       | Divinópolis    |                                                                       | Aw      | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -   |
|        | 4       | Oliveira       |                                                                       | Cwa     | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | -   | -   |
| VII    | 1       | Arinos         | Todos as classificações são iguais, independente do cenário ou cidade | Aw      | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -   |
|        | 2       | Formoso        |                                                                       | Aw      | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -   |
|        | 3       | João Pinheiro  |                                                                       | Aw      | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -   |
|        | 4       | Paracatu       |                                                                       | Aw      | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -   |
|        | 5       | UnaÍ           |                                                                       | Aw      | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -   |
| VIII   | 1       | Espinosa       | 0,5581**                                                              | BSh     | -  | BSh     | BSh | BSh | -  | BSh     | BSh | BSh | -  | BSh     | BSh | BSh | -  | BSh     | BSh | BSh | -   |
|        | 2       | Januária       |                                                                       | Aw      | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -   |
|        | 3       | Moçambinho     |                                                                       | Aw      | -  | Aw      | BWh | Aw  | -  | Aw      | BWh | BWh | -  | Aw      | BWh | BWh | -  | Aw      | BWh | BWh | -   |
|        | 4       | Monte Azul     |                                                                       | BWh     | -  | BSh     | BSh | BSh | -  | BSh     | BSh | BSh | -  | BSh     | BSh | BSh | -  | BSh     | BSh | BSh | -   |
|        | 5       | Montes Claros  |                                                                       | Aw      | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -   |
|        | 6       | Pirapora       |                                                                       | Aw      | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -   |
|        | 7       | Salinas        |                                                                       | Aw      | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | Aw  | -  | Aw      | Aw  | BWh | -  | Aw      | Aw  | BWh | -   |
| IX     | 1       | Carbonita      | 0,0037*                                                               | Aw      | Ba | Aw      | Aw  | Aw  | Aa | Aw      | Aw  | Aw  | Aa | Aw      | Aw  | Aw  | Aa | Aw      | Aw  | Aw  | Aa  |
|        | 2       | Itamarandiba   |                                                                       | Cwa     | Aa | Aw      | Aw  | Aw  | Ab | Aw      | Aw  | Aw  | Ab | Aw      | Aw  | Aw  | Ab | Aw      | Aw  | Aw  | Ab  |
|        | 3       | Pedra Azul     |                                                                       | Aw      | Ba | Aw      | Aw  | Aw  | Aa | Aw      | Aw  | Aw  | Aa | Aw      | BWh | BWh | Bb | Aw      | Aw  | BWh | Aab |

FATOR A = Estações meteorológicas; FATOR D = Cenários (RCP's); BLOCO = Projeções; ANOVA = probabilidade do teste F da ANOVA; \*\* = não significativo pelo teste F; \* = significativo pelo teste F, ambos a 5% de probabilidade; T= Resultado do teste de Tukey; - = Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na linha, para os RCP's, e maiúsculas na coluna, para as estações meteorológicas, não diferem entre si pelo teste Tukey ( $\alpha=0,05$ ). O teste de Tukey só foi aplicado nos casos em que o teste F foi significativo.

Salienta-se, que as regiões do Triângulo (IV), do Alto Parnaíba (V), e Norte de Minas (VII) não apresentaram nenhuma diferença na classificação climática de Köppen independentemente da estação meteorológica, RCP e projeção, não sendo possível aplicar a ANOVA para estas regiões. Isso significa que para as três regiões (IV, V e VII) há prevalência do clima Aw no clima presente até final do século XXI.

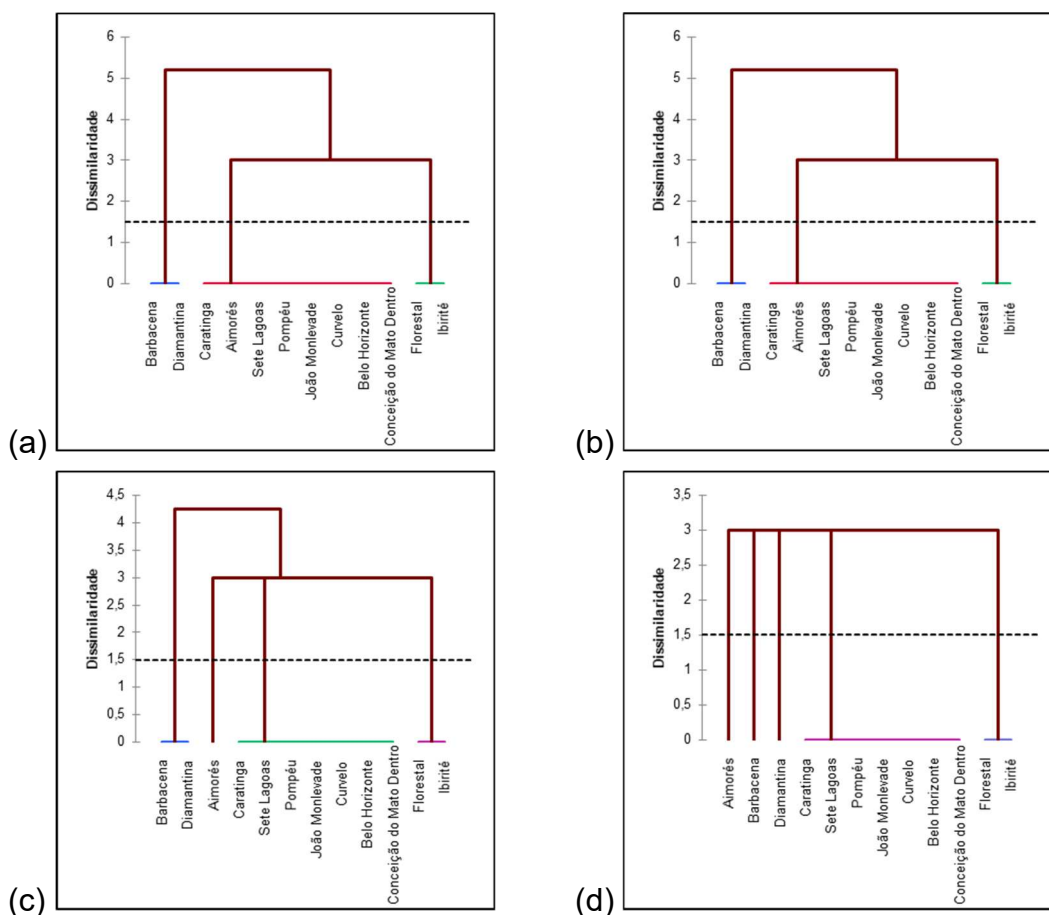
Quanto às regiões da Mata (II) e Vales do Jequitinhonha/Mucuri (IX), observou-se variância significativa entre as classificações, com tendência análoga às demais regiões com intensificação da temperatura do ar e redução da precipitação. Como exemplo, na região II houve tendência de alteração de climas classificados como Cwa (clima presente) para Aw já na P1, e na região IX, como exemplo Pedra Azul, tendência de alteração de clima classificado como Aw (clima presente) para BWh. Diante do exposto, infere-se que a maioria das regiões apresentou variância não significativa devido a baixa sensibilidade da classificação climática de Köppen às variações climáticas locais. O método de Köppen não se mostrou sensível o suficiente para identificar as possíveis alterações projetadas para ocorrerem ao longo do século XXI em MG.

Adicionalmente, pelos dendrogramas elaborados pela análise de *cluster* as regiões Central e Rio Doce foram agrupadas em um mesmo *cluster* (Figura 4), sendo duas regiões vizinhas geograficamente e homogêneas climaticamente.

Algumas estações meteorológicas tendem a se comportar de maneira semelhante. As cidades de Caratinga, Sete Lagoas, Pompéu, João Monlevade, Curvelo, Belo Horizonte e Conceição do Mato Dentro, por exemplo, compartilham do mesmo *cluster*, independentemente do RCP (Figura 4). Estas estações não apresentaram diferenças na classificação climática diante das diferentes forçantes climáticas ao longo das projeções (P1, P2 e P3). De fato, ao analisar o Anexo 1 e a Figura 4, verifica-se que o *cluster* formado por essas cidades tendem a manter a classificação Aw. Desta maneira, pode-se inferir que tais cidades são menos suscetíveis às mudanças no clima.

Ainda na Figura 4, observou-se que o *cluster* formado por Florestal e Ibirité é comum em todos os cenários. Pelos resultados do Anexo 1 se verificou que ambas as cidades são classificadas atualmente por Cwa, mas logo na primeira projeção no cenário mais otimista (RCP 2.6), há mudança do clima para Aw. Esta é uma forte evidência de que tais cidades têm grande probabilidade de apresentarem climas mais quentes em poucas décadas.

As demais cidades das regiões Central e do Rio Doce de MG (Figura 4) (Barbacena, Diamantina e Aimorés) apresentaram maior ou menor dissimilaridade às demais cidades de acordo com os RCP's. Barbacena e Diamantina, classificadas atualmente pelo clima Cwa, possivelmente sofrerão mudanças em seus climas caso os piores cenários se confirmem (RCP 6.0 e 8.5). Quanto a Aimorés, classificada atualmente com o clima de savana (Aw), tende a permanecer com essa classificação, exceto para a P3 nos piores cenários (RCP 6.0 e 8.5), passando para o clima desértico (BWh). Nas regiões Central e Rio Doce, verificou-se duas tendências claras: primeiro: permanecer com a mesma classificação do clima presente; segundo: mudanças para climas mais quentes e secos, corroborando com as projeções verificadas por Santos et al., (2017) e Torres e Marengo (2014) para MG.



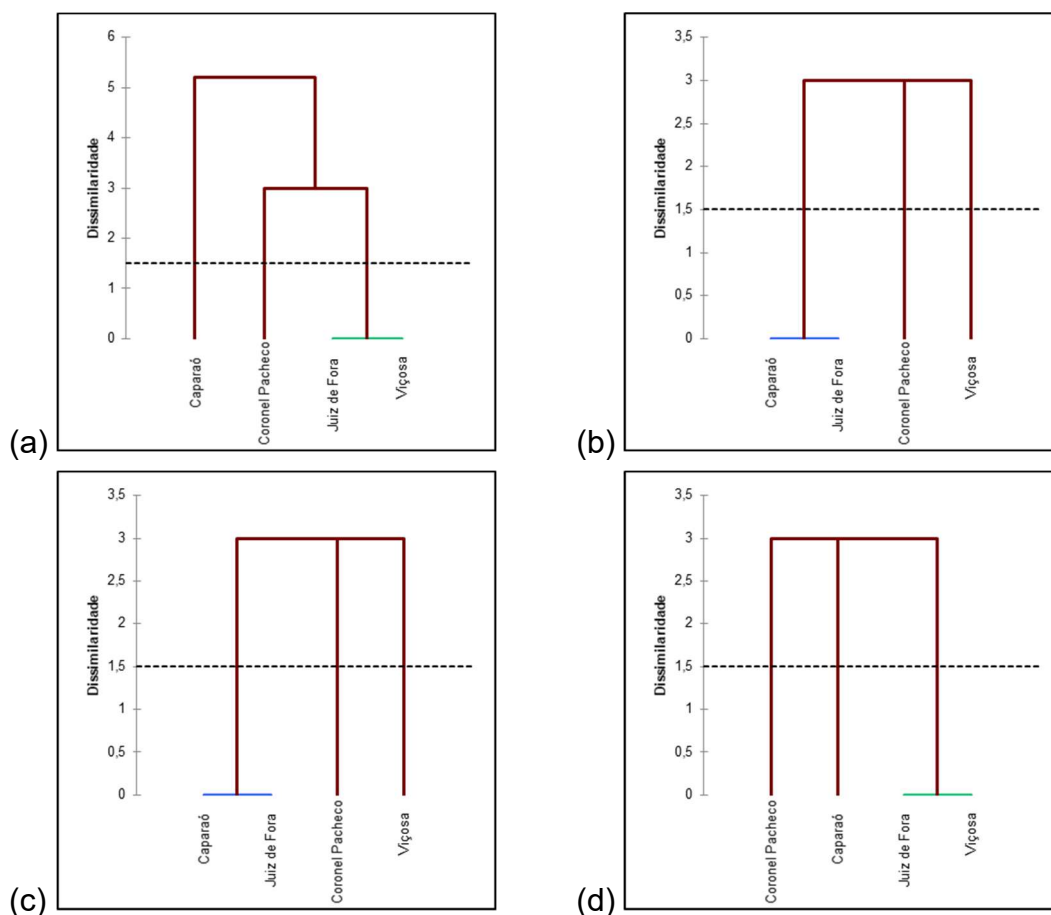
**Figura 4** - Dendrogramas de dissimilaridade das regiões Central e do Rio Doce de Minas Gerais para a classificação climática segundo Köppen a) Cenário RCP 2.6; b) Cenário RCP 4.5; c) Cenário RCP 6.0; d) Cenário RCP 8.5.

Os dendrogramas de dissimilaridade da região da Mata (Figura 5) apresentaram agrupamento para Juiz de Fora e Viçosa nos cenários RCP 2.6 e 8.5,

corroborando com o Anexo 1, no qual projeta-se alteração do clima Cwa para Aw. Porém, Caparaó apresentou maior similaridade à Juiz de Fora nos RCP 4.5 e 6.0 (Figura 4b e 4c). Isso se deve à primeira projeção, onde nesses cenários, Juiz de Fora tendeu a manter sua classificação climática atual (Cwa), semelhante a Caparaó.

Coronel Pacheco apresenta dissimilaridade em relação às demais estações meteorológicas em todos os RCP's, mantendo a mesma classificação do clima presente (Aw).

A maior mudança entre as estações meteorológicas desta região ocorre principalmente na P1, pois a partir da P2 o clima permanece constante e classificado como Aw. Desta maneira, as prováveis mudanças projetadas para esta região ocorrerão nos próximos 30 anos.



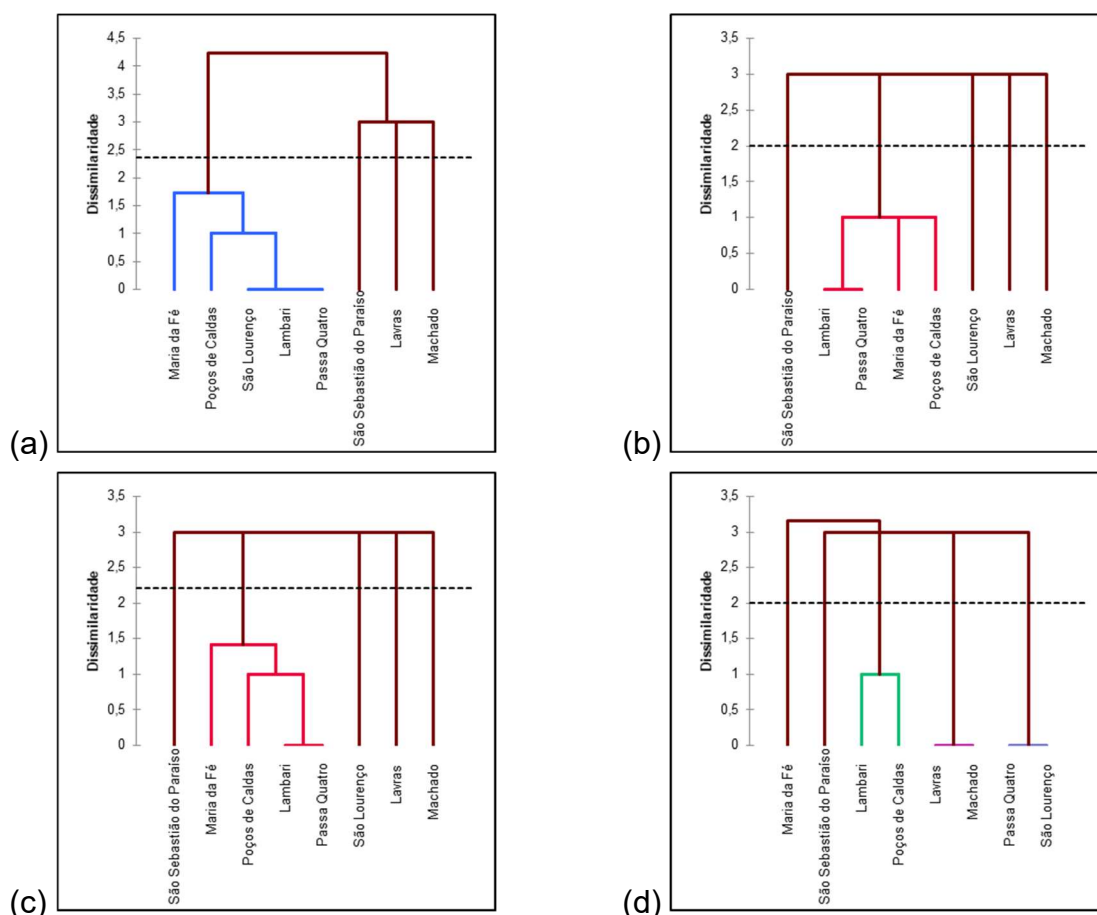
**Figura 5** - Dendrogramas de dissimilaridade da região da Mata de Minas Gerais para a classificação climática segundo Köppen a) Cenário RCP 2.6; b) Cenário RCP 4.5; c) Cenário RCP 6.0; d) Cenário RCP 8.5.

Em relação às regiões anteriormente analisadas (Figuras 4 e 5), a região Sul apresentou maior complexidade na formação dos agrupamentos (Figura 6). Esta

observação pode estar associada às áreas ocupadas pelos climas identificados nesta região (Cwb, Cwa e Aw), que variaram de maneira mais significativa de acordo com o RCP ou projeção (Figura 3).

As estações meteorológicas de São Sebastião do Paraíso, Lavras e Machado tendem a formar *clusters* individuais (cenários RCP 2.6, 4.5 e 6.0) (Figura 6a, 6b e 6c). Estas cidades são classificadas como Aw logo na P2 (Anexo 1). A maior diferença entre elas está na velocidade com que esta mudança irá acontecer, como exemplo, São Sebastião do Paraíso apresenta classificação Aw (clima presente), mantendo esta classificação até P3, Lavras passará de Cwa para Aw logo P1 e Machado passará na P2.

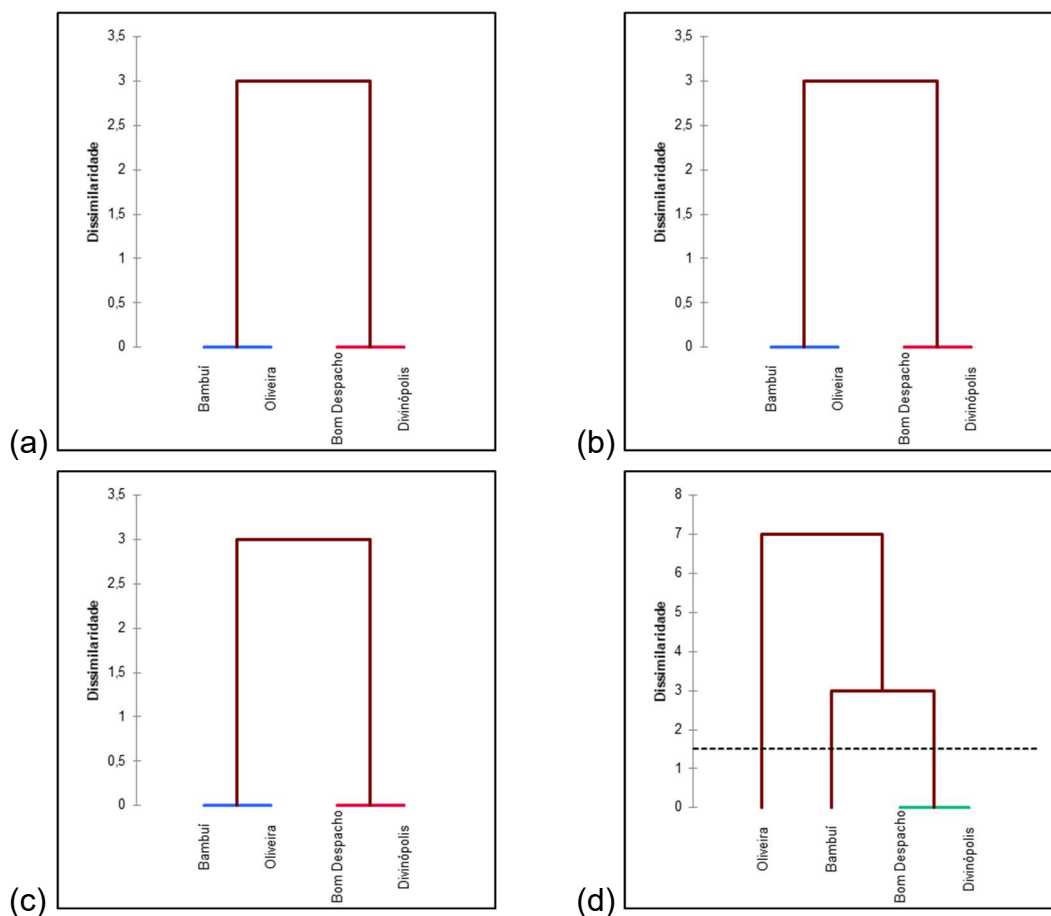
As demais cidades da região Sul de MG (Maria da Fé, Poços de Caldas, Lambari e Passa Quatro) nos RCP's 5.6, 4.5 e 6.0, fizeram parte de um único agrupamento (Figura 6) não apresentando dissimilaridade.



**Figura 6** - Dendrogramas de dissimilaridade da região Sul de Minas Gerais para a classificação climática segundo Köppen a) Cenário RCP 2.6; b) Cenário RCP 4.5; c) Cenário RCP 6.0; d) Cenário RCP 8.5.

A região Centro-Oeste apresentou o mesmo comportamento nos cenários RCP 2.6, 4.5 e 6.0 (Figura 7a, 7b e 7c), com formação de *cluster* entre as cidades de

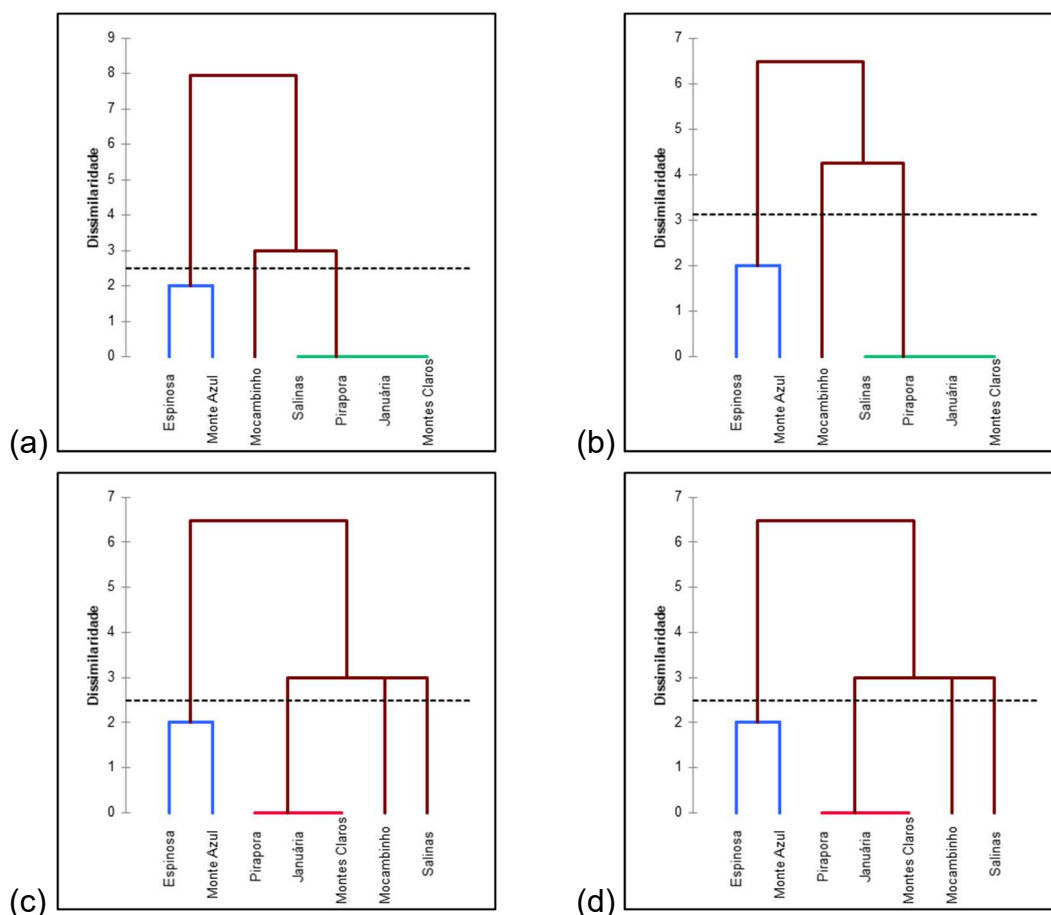
BambuÍ e Oliveira e as cidades de Bom Despacho e Divinópolis. Atualmente, o clima de Bambuí e Oliveira é classificado como Cwa, passando para Aw na P1 (Anexo 1). Para Bom Despacho e Divinópolis, observou a classificação Aw em todas as projeções. Assim, analogamente às demais regiões, a região Centro-Oeste poderá ter suas temperaturas elevadas entre 2011 a 2040, mantendo a classificação até o final do século XXI.



**Figura 7** - Dendrogramas de dissimilaridade da região Centro-Oeste de Minas Gerais para a classificação climática segundo Köppen a) Cenário RCP 2.6; b) Cenário RCP 4.5; c) Cenário RCP 6.0; d) Cenário RCP 8.5.

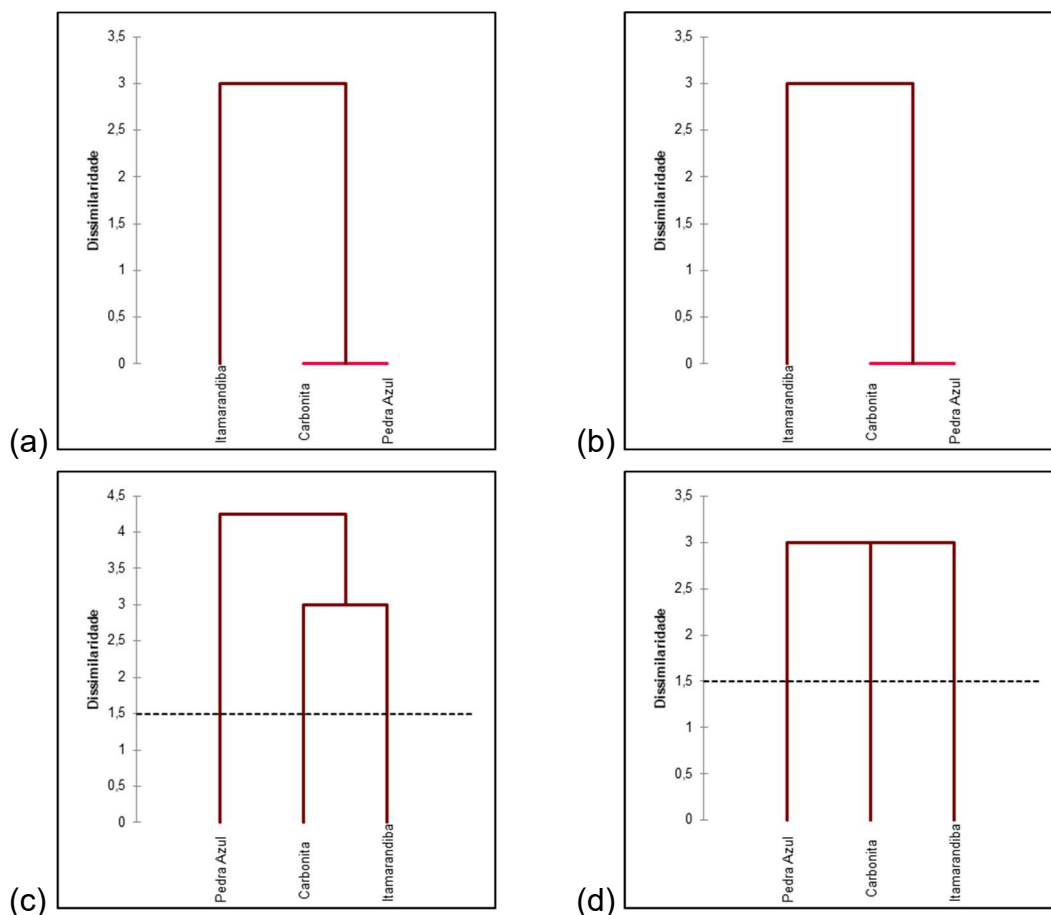
A região Norte (Figura 8) apresenta tendência de manter as classificações do clima presente, sendo que as maiores mudanças ocorrerão caso os piores cenários (RCP's 6.0 e 8.5) se confirmem. Espinosa e Monte Azul possuem climas similares, com temperaturas elevadas em todos os meses do ano (acima de 18°C), sendo classificadas já para o clima presente como BSh (clima de estepe/semiárido) e BWh (desértico/árido), respectivamente, mantendo-se até o P3 (Figura 8). De maneira similar, foi formado o agrupamento composto por Pirapora, Januária e Montes Claros,

uma vez que apresentam tendência de manter a classificação Aw em todos os RCP's e projeções. Ressalta-se que nos cenários mais otimistas (RCP 2.6 e 4.5). Salinas também manterá o clima Aw. No entanto, nos cenários mais pessimistas (RCP 6.0 e 8.5), com a tendência de elevação da temperatura do ar em até 5°C (SANTOS et al., 2017), passará a ser classificada como BWh (árido), semelhante a Moçambinho.



**Figura 8** - Dendrogramas de dissimilaridade da região Norte de Minas Gerais para a classificação climática segundo Köppen a) Cenário RCP 2.6; b) Cenário RCP 4.5; c) Cenário RCP 6.0; d) Cenário RCP 8.5.

De maneira análoga às demais regiões, os dendrogramas para os Vales do Jequitinhonha/Mucuri (Figura 9) revelaram a tendência de manter a classificação Aw nos cenários mais otimistas (RCP's 2.6 e 4.5). Porém, no RCP 6.0 e 8.5 (Figura 9c e 9d), Pedra Azul será classificada como BWh. Obviamente, nos piores cenários a cidade de Pedra Azul tende a deixar de classificar-se com clima tropical (Aw) para apresentar clima árido (ou desértico).

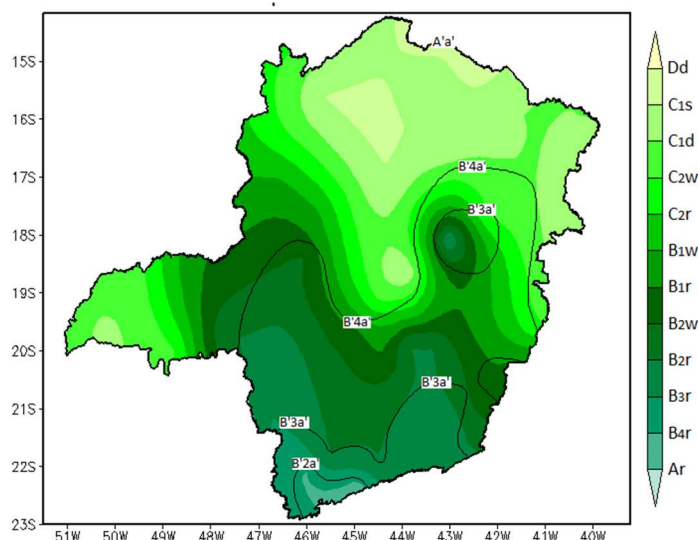


**Figura 9** - Dendrogramas de dissimilaridade da região Jequitinhonha/Mucuri de Minas Gerais para a classificação climática segundo Köppen a) Cenário RCP 2.6; b) Cenário RCP 4.5; c) Cenário RCP 6.0; d) Cenário RCP 8.5.

Não foi possível a construção de dendrogramas para as regiões do Triângulo, Alto Parnaíba e Noroeste de Minas, pois apresentaram a mesma classificação climática em todos os RCP's e projeções.

#### 4.2. CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE THORNTHWAITE

Pela classificação climática de Thornthwaite (Anexo 2), considerando o clima presente (1981-2010) (Figura 10), foi possível identificar 25 tipos climáticos em Minas Gerais que, para efeito didático, estão descritos na Tabela 12. Esta quantidade de climas supera em quatro vezes os cinco tipos climáticos classificados pelo método de Köppen (Tabela 10; Figura 2).



**Figura 10** - Classificação climática de Thornthwaite para Minas Gerais considerando o clima presente (1981-2010). As linhas indicam os limites climáticos para as principais mudanças de temperatura e umidade, indicados pelos climas com fator hídrico B'2a, B'3a' e B'4a'.

A comparação entre os SCC's evidencia maior sensibilidade da classificação de Thornthwaite corroborando com Rolim et al. (2007), que ao realizar um estudo similar para o estado de São Paulo, afirmou que, em relação ao método de Köppen, a classificação de Thornthwaite demonstrou ser muito mais sensível aos montantes de chuva, temperatura e relevo por resultar em um número maior de tipos climáticos. O maior número de tipos climáticos torna a classificação de Thornthwaite útil em estudos de mesoescala ou toposcala, onde os efeitos da topografia interferem diretamente nos elementos climáticos e, consequentemente, no planejamento das atividades agrícolas, ambientais e florestais regionais (ROLIM et al., 2007; ARAÚJO et al., 2012).

**Tabela 12** - Descrição dos climas identificados pelo método de Thornthwaite para Minas Gerais.

(Continua)

| Nº | Clima    | Descrição                                                       |
|----|----------|-----------------------------------------------------------------|
| 1  | ArB'2a'  | Superúmido, sem ou com pequena deficiência hídrica mesotérmico  |
| 2  | B4rB'3a' | Úmido, sem ou com pequena deficiência hídrica mesotérmico       |
| 3  | B4rB'2a' | Úmido, sem ou com pequena deficiência hídrica mesotérmico       |
| 4  | B3rB'4a' | Úmido, sem ou com pequena deficiência hídrica, mesotérmico      |
| 5  | B3rB'3a' | Úmido, sem ou com pequena deficiência hídrica mesotérmico       |
| 6  | B3rB'2a' | Úmido, sem ou com pequena deficiência hídrica mesotérmico       |
| 7  | B2rA'a'  | Úmido, sem ou com pequena deficiência hídrica, megatérmico      |
| 8  | B2rB'4a' | Úmido, sem ou com pequena deficiência hídrica mesotérmico       |
| 9  | B2rB'3a' | Úmido, sem ou com pequena deficiência hídrica mesotérmico       |
| 10 | B2wA'a'  | Úmido, com deficiência hídrica moderada no inverno, megatérmico |
| 11 | B2wB'4a' | Úmido, com deficiência hídrica moderada no inverno              |

**Tabela 12** - Descrição dos climas identificados pelo método de Thornthwaite para Minas Gerais.

(Continuação)

| Nº | Clima    | Descrição                                                           |
|----|----------|---------------------------------------------------------------------|
| 12 | B1rA'a'  | Úmido, sem ou com pequena deficiência hídrica, megatérmico          |
| 13 | B1rB'4a' | Úmido, sem ou com pequena deficiência hídrica mesotérmico           |
| 14 | B1rB'3a' | Úmido, sem ou com pequena deficiência hídrica mesotérmico           |
| 15 | B1wA'a'  | Úmido, com deficiência hídrica moderada no inverno, megatérmico     |
| 16 | B1wB'4a' | Úmido, com deficiência hídrica moderada no inverno mesotérmico      |
| 17 | C2rA'a'  | Subúmido, sem ou com pequena deficiência hídrica, megatérmico       |
| 18 | C2sA'a'  | Subúmido, com deficiência hídrica moderada no verão, megatérmico    |
| 19 | C2wA'a'  | Subúmido, com deficiência hídrica moderada no inverno, megatérmico  |
| 20 | C2rB'4a' | Subúmido, sem ou com pequena deficiência hídrica mesotérmico        |
| 21 | C2wB'4a' | Subúmido, com deficiência hídrica moderada no inverno mesotérmico   |
| 22 | C2wB'3a' | Subúmido, com deficiência hídrica moderada no inverno mesotérmico   |
| 23 | C1dA'a'  | Subúmido seco, com excedente hídrico pequeno ou nulo, megatérmico   |
| 24 | C1sA'a'  | Subúmido seco, com excedente hídrico moderado no verão, megatérmico |
| 25 | DdA'a'   | Semiárido, com excedente hídrico pequeno ou nulo, megatérmico       |

Como exemplo, comparando-se os dois SCC's (Tabela 13) verificou-se que não existiu equivalência entre o SCC de Köppen e de Thornthwaite na determinação dos tipos climáticos de Minas Gerais considerando o clima presente, semelhante ao observado por Rolim et al., (2007) para o estado de São Paulo. Como exemplo, o tipo climático B1rB'4a' foi classificado nas mesmas estações meteorológicas como Cwa e Aw por Köppen. Essa não similaridade entre os dois SCC's é esperada e ocorre em função das variáveis e metodologia de classificação distintas em cada um deles (ROLIM et al., 2007).

**Tabela 13** - Correspondência dos sistemas de classificação climática de Köppen modificado e de Thornthwaite (1948) para o clima atual do estado de Minas Gerais.

| Köppen | Thornthwaite |          |          |          |          |          |
|--------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Cwb    | ArB'2a'      | B4rB'2a' | -        | -        | -        | -        |
| Cwa    | B1rB'4a'     | B2rB'3a' | B2rB'4a' | B3rB'2a' | B3rB'3a' | C2wB'3a' |
| Aw     | B1rB'4a'     | B1wA'a'  | B1wB'4a' | B2rA'a'  | B2rB'4a' | B3rB'4a' |
|        | C1dA'a'      | C1sA'a'  | C2rB'4a' | C2wA'a'  | C2wB'4a' | DdA'a'   |
| BSh    | DdA'a'       | -        | -        | -        | -        | -        |
| BWh    | DdA'a'       | -        | -        | -        | -        | -        |

Observou-se a predominância de tipos climáticos úmidos (15), seguidos pelo subúmidos (8) e um único tipo superúmido e um semiárido. Considerando o clima presente, o único tipo superúmido ocorre em Maria da Fé (ArB'2a'), enquanto os tipos úmidos (B1 a B4) se concentram na porção centro sul do estado, abrangendo as regiões Central, Mata, Sul, Alto Parnaíba e Centro-Oeste. A porção norte do estado, que engloba as regiões Noroeste, Norte e Vales do Jequitinhonha/Mucuri, apresentou

climas predominantemente subúmidos (C1 e C2) e semiárido (DdA'a'), os quais ocorreram em Aimorés, Espinosa, Moçambinho e Monte Alegre (Anexo 2)

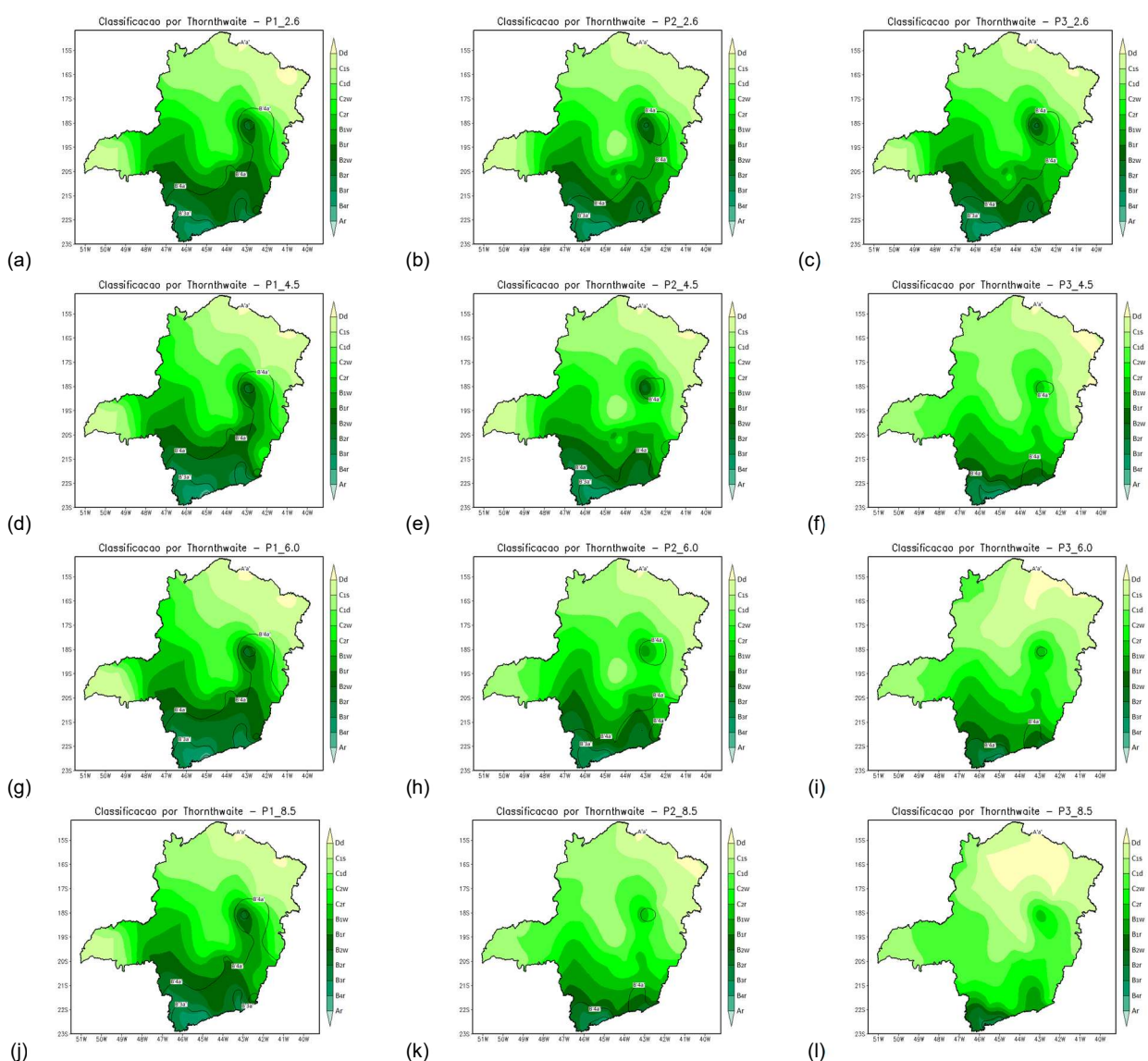
A região do Triângulo, diferentemente da Central que possui latitude similar (18°S a 20°S), possui dominância de climas subúmidos (C1 e C2), que ocorre devido a influência da continentalidade desta região (ÁVILA et al., 2014) e ocorrência de solos mais profundos e relevos mais planos (MELLO e VIOLA, 2013). Isso indica que, apesar dos grandes volumes de precipitação da região (em torno de 1400 mm) (SANTOS, 2014), as condições de relevo fazem com que as perdas por evapotranspiração sejam maiores, devido ao maior aquecimento da superfície em relevo plano. Já com relação ao tipo de solo, verifica-se a predominância dos latossolos (53,97%) (UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA et al., 2010), nos quais a água não percola efetivamente no perfil de solo aumentando a perda de água para a atmosfera através da evaporação.

Semelhante ao observado para o Triângulo, a região do Rio Doce encontra-se nas mesmas latitudes que a região central (18°S a 20°S), não apresentando classificação de climas úmidos, mas de climas subúmidos (C1 e C2) e semiárido (DdA'a'), devido a influência da continentalidade (ÁVILA et al., 2014).

Em conformidade com o SCC de Koppen, essa diferenciação climática, considerando o clima atual, ocorre, principalmente, devido à variação espacial e temporal da precipitação e temperatura do ar de MG (REBOITA et al., 2015). Nas regiões Noroeste, Norte e Vales do Jequitinhonha/Mucuri há temperatura mais elevada e menor precipitação comparada às demais regiões de MG (SANTOS et al., 2017). Nesse sentido, o aumento da temperatura eleva a evapotranspiração, enquanto a redução da precipitação resulta em uma situação de deficiência hídrica (SHAO et al, 2009), alterando os extratos do BHC, influenciando os cálculos dos índices climáticos –Ih, Iu e Ia – e na ocorrência de climas subúmidos e semiáridos nesta porção do estado (Figura 10).

Com relação ao clima futuro (P1, P2 e P3), assim como o observado no SCC de Koppen (Figura 3), há tendência de climas mais quentes e secos ao longo do século XXI, intensificado na P3 e no RCP 8.5 (Figura 11). Há um aumento dos tipos climáticos C2wA'a (Subúmido quente, com DEF moderada no verão), C2wB'4a (Subúmido quente, com DEF moderada no inverno), C1dA'a' (Subúmido seco e quente, com pequeno EXC), C1sA'a' (Subúmido seco e quente, com EXC moderado no verão) e DdA'a' (Semiárido quente). Isso ocorre devido às projeções de aumento

crecente e gradual da temperatura do ar associado ao aumento de extremos de precipitação para MG (SANTOS et al., 2017). Estas projeções refletem diretamente em mudanças da ETP (LEMOS FILHO et al., 2010), com aumento da DEF, do Ia e redução do EXC, com maior intensidade no Noroeste, Norte e Vales do Jequitinhonha e Mucuri no final do século XXI no RCP 8.5, assim como as demais regiões de Minas Gerais (CARDOSO e JUSTINO, 2014; SANTOS et al., 2017).



**Figura 11** -Distribuição geográfica da Classificação Climática de Thornthwaite para o estado de Minas Gerais a) Forçante RCP 2.6 para o período PR1, b) forçante RCP 4.5 para o período PR1, c) forçante RCP 6.0 para o período PR1, d) forçante RCP 8.5 para o período PR1, e) forçante RCP 2.6 para o período PR2, f) forçante RCP 4.5 para o período PR2, g) forçante RCP 6.0 para o período PR2, h) forçante RCP 8.5 para o período PR2, i) forçante RCP 2.6 para o período PR3, j) forçante RCP 4.5 para o período PR3, k) forçante RCP 6.0 para o período PR3, l) forçante RCP 8.5 para o período PR1.

Pela ANOVA e comparação de médias para os tipos climáticos obtidos com o SCC de Thornthwaite (Tabela 14), verificou-se que apenas as regiões do Triângulo (IV), Alto Parnaíba (V), Centro-Oeste (VI) e Noroeste de Minas (VII) apresentam alteração dos tipos climáticos entre as estações meteorológicas (Fator A), RCP's (Fator D) ao longo das projeções, sendo intensificadas na P3. Como exemplo, nas regiões Triângulo e Alto Parnaíba, as estações de Uberaba e Araxá, assim como na região Centro-Oeste, na estação de Bambuí, haverá alteração do tipo climático B2rB'4a (Úmido quente, com pequena DEF) para C2wA'a' (Subúmido quente, com DEF moderada no inverno) ao longo das projeções.

Já as regiões Central (I), Mata (II), Sul (III), Norte de Minas (VIII), do Jequitinhonha/Mucuri (IX) e do Rio Doce apresentaram variância não significativa entre as classificações climáticas entre os RCP's e projeções. Isso significa que, de maneira geral, as mudanças nos tipos climáticos são suaves ou praticamente desprezíveis, ao longo das projeções ou ocorrem abruptamente (P1), mantendo-se constante ao longo das projeções. Como exemplo, na região Norte de Minas, especialmente nas estações de Januária e Salinas, haverá alteração do tipo climático para DdA'a' (Semiárido quente) já na P1 considerando o RCP 2.6, mantendo-se até o final do século. Outro exemplo é a estação de Maria da Fé (região Sul, III) que no clima presente possui o tipo climático ArB'2a' (Superúmido temperado sem DEF), sendo projetado passar para B4rB'2a' (Úmido temperado sem ou com pequena DEF) já na P1, mantendo-se assim durante praticamente todo o século XXI para o cenário mais otimista (RCP 2.6).

Diferentemente do observado no SCC de Köppen, o SCC de Thornthwaite foi mais sensível em detectar as variações climáticas locais, identificando maior número de tipos climáticos, assim como as possíveis alterações projetadas para ocorrerem ao longo do século XXI em MG.

**Tabela 14** - Análise de variância (ANOVA) e comparação de médias pelo teste de Tukey para a classificação climática de Thornthwaite, considerando cada estação meteorológica, RCP's (2.6, 4.5, 6.0 e 8.5) para o clima presente (atual) e projeções (P1=2011-2040, 2041-2070, P3=2071-2100).

(Continua)

|        |                          |          | FATOR D  |    |          |          |          |     |          |          |          |     |          |          |          |     |          |          |          |     |
|--------|--------------------------|----------|----------|----|----------|----------|----------|-----|----------|----------|----------|-----|----------|----------|----------|-----|----------|----------|----------|-----|
| REGIÃO | FATOR A                  | ANOVA    | ATUAL    |    | RCP 2.6  |          |          |     | RCP 4.5  |          |          |     | RCP 6.0  |          |          |     | RCP 8.5  |          |          |     |
|        | CIDADE                   |          | BLOCO    | T  | BLOCO    |          |          | T   | BLOCO    |          |          | T   | BLOCO    |          |          | T   | BLOCO    |          |          | T   |
|        |                          |          |          |    | P1       | P2       | P3       |     | P1       | P2       | P3       |     | P1       | P2       | P3       |     | P1       | P2       | P3       |     |
| I e X  | Barbacena                | 0,9657** | B3rB'3a' | -  | B2rB'3a' | B2rB'3a' | B2rB'3a' | -   | B2rB'3a' | B2rB'4a' | B1rB'4a' | -   | B2rB'3a' | B2rB'3a' | B1rB'4a' | -   | B2rB'3a' | B1rB'4a' | B1rA'a'  | -   |
|        | Belo Horizonte           |          | B2rB'4a' | -  | B2wA'a'  | B1wA'a'  | B1wA'a'  | -   | B2wA'a'  | B1wA'a'  | B1wA'a'  | -   | B2wA'a'  | B1wA'a'  | B1wA'a'  | -   | B1wA'a'  | B1wA'a'  | C2wA'a'  | -   |
|        | Conceição do Mato Dentro |          | B1rB'4a' | -  | B1rA'a'  | B1rA'a'  | B1wA'a'  | -   | B1rA'a'  | C2wA'a'  | C2wA'a'  | -   | B1rA'a'  | C2wA'a'  | C2wA'a'  | -   | B1rA'a'  | C2wA'a'  | C2wA'a'  | -   |
|        | Curvelo                  |          | C1sA'a'  | -  | C1dA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a'  | -   | C1dA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a'  | -   | C1dA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a'  | -   | C1dA'a'  | C1dA'a'  | D1dA'a'  | -   |
|        | Diamantina               |          | B3rB'2a' | -  | B2rB'3a' | B2rB'3a' | B2rB'3a' | -   | B2rB'3a' | B2rB'4a' | B1wB'4a' | -   | B2rB'3a' | B1rB'4a' | B1wB'4a' | -   | B2rB'3a' | B1wB'4a' | B1wA'a'  | -   |
|        | Florestal                |          | B2rB'4a' | -  | B1rB'4a' | B1rB'4a' | B1rA'a'  | -   | B1rB'4a' | B1wA'a'  | C2wA'a'  | -   | B1rB'4a' | B1wA'a'  | C2wA'a'  | -   | B1rB'4a' | C2wA'a'  | C2wA'a'  | -   |
|        | Ibirité                  |          | B2rB'4a' | -  | B1rB'4a' | B1rA'a'  | B1rA'a'  | -   | B1rB'4a' | B1rA'a'  | C2wA'a'  | -   | B1rB'4a' | B1rA'a'  | C2wA'a'  | -   | B1rA'a'  | C2wA'a'  | C2wA'a'  | -   |
|        | João Monlevade           |          | B1rB'4a' | -  | B1rB'4a' | B1rB'4a' | B1wB'4a' | -   | B1rB'4a' | B1wA'a'  | C2wA'a'  | -   | B1rB'4a' | B1wA'a'  | C2wA'a'  | -   | B1rB'4a' | C2wA'a'  | C2wA'a'  | -   |
|        | Pompeu                   |          | C2wA'a'  | -  | C2wA'a'  | C1sA'a'  | C2wA'a'  | -   | C2wA'a'  | C1sA'a'  | C1sA'a'  | -   | C2wA'a'  | C1sA'a'  | C1dA'a'  | -   | C2wA'a'  | C1sA'a'  | C1dA'a'  | -   |
|        | Sete Lagoas              |          | B1wB'4a' | -  | C2wA'a'  | C2wA'a'  | C2wA'a'  | -   | C2wA'a'  | C2wA'a'  | C2wA'a'  | -   | C2wA'a'  | C2wA'a'  | C2wA'a'  | -   | C2wA'a'  | C2wA'a'  | C1sA'a'  | -   |
|        | Aimorés                  |          | DdA'a'   | -  | DdA'a'   | DdA'a'   | -        | -   | DdA'a'   | -        | -        | -   | DdA'a'   | -        | -        | -   | DdA'a'   | -        | -        | -   |
|        | Caratinga                |          | C2rB'4a' | -  | C2wA'a'  | C2wA'a'  | C2wA'a'  | -   | C2wA'a'  | C1sA'a'  | C1sA'a'  | -   | C2wA'a'  | C1sA'a'  | C1dA'a'  | -   | C2wA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a'  | -   |
| II     | Caparaó                  | 0,6514** | B2rB'3a' | -  | B1rB'4a' | B1rB'4a' | B1rB'4a' | -   | B1rB'4a' | B1rB'4a' | B1rB'4a' | -   | B1rB'3a' | B1rB'4a' | C2rB'4a' | -   | B1rB'4a' | B1rB'4a' | C2wA'a'  | -   |
|        | Coronel Pacheco          |          | B2rB'4a' | -  | B1rA'a'  | B1rA'a'  | B1rA'a'  | -   | B1rA'a'  | B1rA'a'  | B1rA'a'  | -   | B1rA'a'  | B1rA'a'  | B1rA'a'  | -   | B1rA'a'  | B1rA'a'  | C2wA'a'  | -   |
|        | Juiz de Fora             |          | B3rB'3a' | -  | B3rB'3a' | B2rB'3a' | B2rB'3a' | -   | B3rB'3a' | B2rB'4a' | B2rB'4a' | -   | B3rB'3a' | B2rB'4a' | B2rB'4a' | -   | B3rB'3a' | B2rB'4a' | B1rA'a'  | -   |
|        | Viçosa                   |          | B1rB'4a' | -  | B1rB'4a' | C2rB'4a' | C2rB'4a' | -   | C2wB'4a' | C2rA'a'  | C2rA'a'  | -   | B1rB'4a' | C2rB'4a' | C2rA'a'  | -   | C2rB'4a' | C2rA'a'  | C1dA'a'  | -   |
| III    | Lambari                  | 0,4545** | B3rB'3a' | -  | B3rB'3a' | B3rB'4a' | B3rB'4a' | -   | B3rB'3a' | B2rB'4a' | B2rB'4a' | -   | B3rB'3a' | B2rB'4a' | B2rB'4a' | -   | B3rB'3a' | B2rB'4a' | B1rA'a'  | -   |
|        | Lavras                   |          | B2rB'4a' | -  | B1rB'4a' | B1rB'4a' | B1rB'4a' | -   | B2rB'4a' | B1rA'a'  | B1rA'a'  | -   | B2rB'4a' | B1rA'a'  | B1rA'a'  | -   | B1rB'4a' | B1rA'a'  | C2wA'a'  | -   |
|        | Machado                  |          | B2rB'4a' | -  | B2rB'4a' | B2rB'4a' | B2rB'4a' | -   | B2rB'4a' | B2rA'a'  | B1rA'a'  | -   | B2rB'4a' | B1rB'4a' | B1rA'a'  | -   | B2rB'4a' | B1rA'a'  | C2rA'a'  | -   |
|        | Maria da Fé              |          | ArB'2a'  | -  | B4rB'2a' | B4rB'2a' | B4rB'2a' | -   | ArB'2a'  | B4rB'2a' | B4rB'3a' | -   | ArB'2a'  | B4rB'2a' | B4rB'3a' | -   | B4rB'2a' | B4rB'3a' | B3rB'4a' | -   |
|        | Passa Quatro             |          | B3rB'3a' | -  | B2rB'3a' | B2rB'4a' | B2rB'4a' | -   | B2rB'3a' | B2rB'4a' | B2rB'4a' | -   | B2rB'3a' | B2rB'4a' | B1rB'4a' | -   | B2rB'4a' | B2rB'4a' | B1rA'a'  | -   |
|        | Poços de Caldas          |          | B4rB'2a' | -  | B3rB'3a' | B3rB'3a' | B3rB'3a' | -   | B3rB'3a' | B3rB'3a' | B3rB'3a' | -   | B3rB'3a' | B3rB'3a' | B2rB'4a' | -   | B3rB'3a' | B2rB'4a' | B2rA'a'  | -   |
|        | São Lourenço             |          | B3rB'3a' | -  | B2rB'4a' | B2rB'4a' | B2rB'4a' | -   | B2rB'4a' | B2rB'4a' | B2rB'4a' | -   | B2rB'4a' | B2rB'4a' | B1rA'a'  | -   | B2rB'4a' | B1rA'a'  | B1rA'a'  | -   |
|        | São Sebastião do Paraíso |          | B3rB'4a' | -  | B2rB'4a' | B2rA'a'  | B2rA'a'  | -   | B2rB'4a' | B2rA'a'  | B1rA'a'  | -   | B2rB'4a' | B2rA'a'  | B1rA'a'  | -   | B2rA'a'  | B2rA'a'  | C2wA'a'  | -   |
| IV e V | Capinópolis              | 0,0001*  | C2wA'a'  | Ca | C2wA'a'  | C1sA'a'  | C2wA'a'  | Cab | C2wA'a'  | C1sA'a'  | C1sA'a'  | Cb  | C2wA'a'  | C1sA'a'  | C1sA'a'  | Cb  | C2wA'a'  | C1sA'a'  | C1dA'a'  | Cb  |
|        | Frutal                   |          | C2wA'a'  | Ca | C1dA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a'  | Db  | C1dA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a'  | Cb  | C1sA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a'  | Cb  | C1dA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a'  | Cb  |
|        | Ituiutaba                |          | C2wA'a'  | Ca | C1sA'a'  | C1sA'a'  | C1sA'a'  | Db  | C1sA'a'  | C1sA'a'  | C1dA'a'  | Cb  | C1sA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a'  | Cb  | C1sA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a'  | Cb  |
|        | Uberaba                  |          | B2rA'a'  | Aa | B1rA'a'  | B1rA'a'  | B1rA'a'  | Ab  | B1rA'a'  | B1rA'a'  | C2wA'a'  | Ac  | B1rA'a'  | C2rA'a'  | C2wA'a'  | Bcd | B1rA'a'  | C2wA'a'  | C2wA'a'  | ABd |
|        | Araxá                    |          | B2rB'4a' | Aa | B1rA'a'  | B1rA'a'  | B1rA'a'  | Ab  | B1rA'a'  | B1wA'a'  | B1wA'a'  | Ac  | B1rA'a'  | B1rA'a'  | B1wA'a'  | Abc | B1rA'a'  | B1wA'a'  | C2wA'a'  | Ad  |
|        | Patos de Minas           |          | B2wB'4a' | Ba | B1wA'a'  | B1wA'a'  | B1wA'a'  | Bb  | B1wA'a'  | B1wA'a'  | C2wA'a'  | Bbc | B1wA'a'  | B1wA'a'  | C2wA'a'  | Bbc | B1wA'a'  | C2wA'a'  | C2wA'a'  | Bc  |

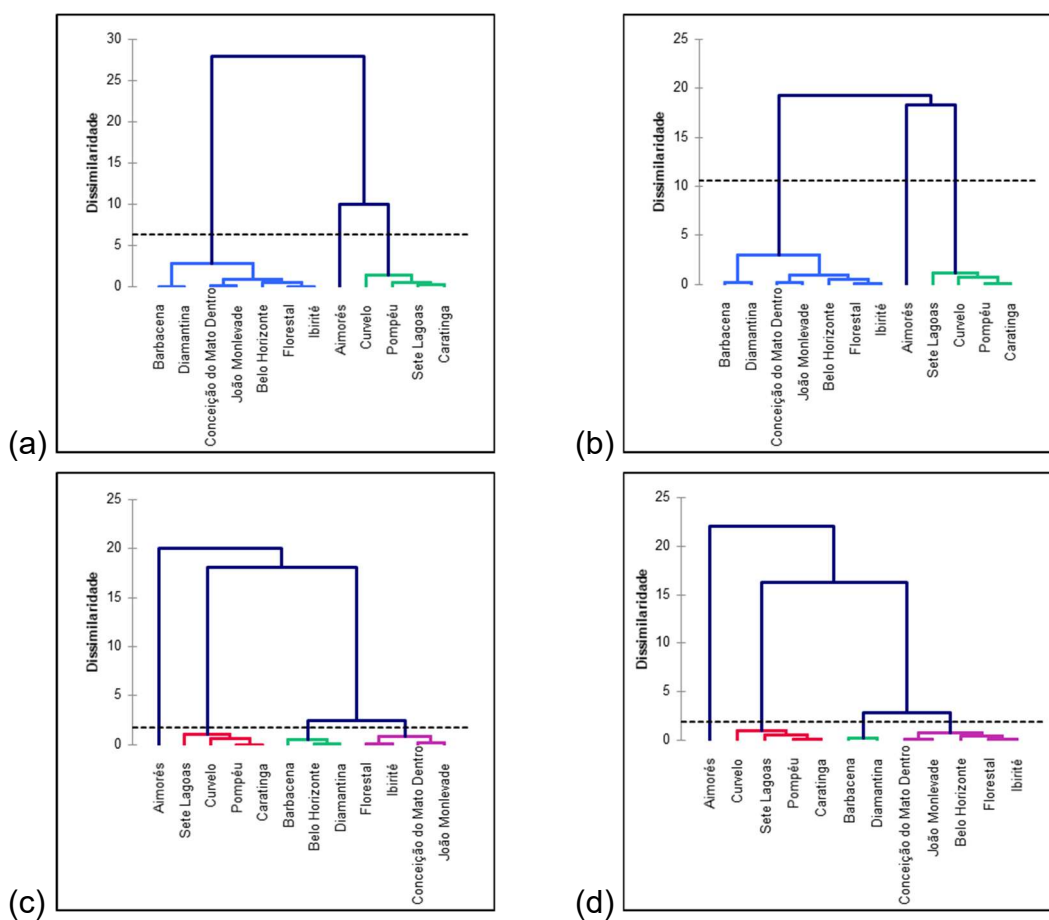
**Tabela 14** - Análise de variância (ANOVA) e comparação de médias pelo teste de Tukey para a classificação climática de Thornthwaite, considerando cada estação meteorológica, RCP's (2.6, 4.5, 6.0 e 8.5) para o clima presente (atual) e projeções (P1=2011-2040, P2=2041-2070, P3=2071-2100).

(Continuação)

|        |               |           | FATOR D  |     |          |          |          |     |          |          |         |      |          |          |         |      |          |          |         |     |
|--------|---------------|-----------|----------|-----|----------|----------|----------|-----|----------|----------|---------|------|----------|----------|---------|------|----------|----------|---------|-----|
| REGIÃO | FATOR A       | ANOVA     | ATUAL    |     | RCP 2.6  |          |          |     | RCP 4.5  |          |         |      | RCP 6.0  |          |         |      | RCP 8.5  |          |         |     |
|        | CIDADE        |           | BLOCO    | T   | BLOCO    |          |          | T   | BLOCO    |          |         | T    | BLOCO    |          |         | T    | BLOCO    |          |         | T   |
|        |               |           |          |     | P1       | P2       | P3       |     | P1       | P2       | P3      |      | P1       | P2       | P3      |      | P1       | P2       | P3      |     |
| VI     | BambuÍ        | 0,0038*   | B1rB'4a' | Aa  | B1wA'a'  | B1wA'a'  | B1rA'a'  | Aa  | B1wA'a'  | B1wA'a'  | C2rA'a' | ABa  | B1wA'a'  | C2rA'a'  | C2rA'a' | Aa   | B1wA'a'  | C2rA'a'  | C2wA'a' | Ba  |
|        | Bom Despacho  |           | B1rB'4a' | Aa  | C2wA'a'  | C2wA'a'  | C2wA'a'  | Bb  | C2wA'a'  | C2wA'a'  | C2wA'a' | Bb   | C2wA'a'  | C2wA'a'  | C2wA'a' | Ab   | C2wA'a'  | C2wA'a'  | C2sA'a' | Bb  |
|        | Divinópolis   |           | B1rB'4a' | Aa  | B1wA'a'  | C2wA'a'  | C2wA'a'  | ABa | B1wA'a'  | C2wA'a'  | C2wA'a' | ABa  | B1wA'a'  | C2wA'a'  | C2wA'a' | Aa   | B1wA'a'  | C2wA'a'  | C2wA'a' | Ba  |
|        | Oliveira      |           | B2rB'4a' | Aa  | B1rB'4a' | B1rA'a'  | C2rA'a'  | Ab  | B1rB'4a' | B1rB'4a' | C2rA'a' | Ab   | B1rB'4a' | C2rA'a'  | C2wA'a' | Ab   | B1rB'4a' | B2rB'4a' | -       | Aa  |
| VII    | Arinos        | 0,0358* ( | C1sA'a'  | Bb  | C1dA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a'  | Bab | C1dA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a' | Bab  | B1rA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a' | Aa   | C1dA'a'  | C1dA'a'  | DdA'a'  | Aab |
|        | Formoso       |           | C2wA'a'  | ABa | C1sA'a'  | C1sA'a'  | C1sA'a'  | Bb  | C1sA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a' | Bab  | C1sA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a' | Bab  | C1sA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a' | Aab |
|        | João Pinheiro |           | B1wA'a'  | Aa  | C2sA'a'  | C2wA'a'  | C2wA'a'  | Aab | C2wA'a'  | C2wA'a'  | C1sA'a' | ABb  | C2wA'a'  | C2wA'a'  | C1sA'a' | ABb  | C2wA'a'  | C1sA'a'  | C1sA'a' | Ab  |
|        | Paracatu      |           | B1wA'a'  | Aa  | C2wA'a'  | C2wA'a'  | C2wA'a'  | Aab | C2wA'a'  | C2wA'a'  | C2wA'a' | Aab  | C2wA'a'  | C2wA'a'  | C1sA'a' | ABb  | C2wA'a'  | C2wA'a'  | C1sA'a' | Ab  |
|        | UnaÍ          |           | C2wA'a'  | ABa | C1sA'a'  | C1sA'a'  | C1sA'a'  | Bb  | C2wA'a'  | C1sA'a'  | C1sA'a' | ABab | C2wA'a'  | C1sA'a'  | C1dA'a' | ABab | C1sA'a'  | C1sA'a'  | C1dA'a' | Ab  |
| VIII   | Espinosa      | 0,6889**  | DdA'a'   | -   | DdA'a'   | -        | -        | -   | -        | -        | -       | -    | -        | -        | -       | -    | -        | -        | -       | -   |
|        | Januária      |           | C1dA'a'  | -   | DdA'a'   | DdA'a'   | DdA'a'   | -   | DdA'a'   | DdA'a'   | DdA'a'  | -    | DdA'a'   | DdA'a'   | DdA'a'  | -    | DdA'a'   | DdA'a'   | DdA'a'  | -   |
|        | Moçambinho    |           | DdA'a'   | -   | DdA'a'   | DdA'a'   | DdA'a'   | -   | DdA'a'   | DdA'a'   | DdA'a'  | -    | DdA'a'   | DdA'a'   | -       | -    | DdA'a'   | DdA'a'   | DdA'a'  | -   |
|        | Monte Azul    |           | DdA'a'   | -   | DdA'a'   | DdA'a'   | -        | -   | DdA'a'   | -        | -       | -    | DdA'a'   | -        | -       | -    | DdA'a'   | -        | -       | -   |
|        | Montes Claros |           | C1sA'a'  | -   | C1dA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a'  | -   | C1dA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a' | -    | C1sA'a'  | C1dA'a'  | DdA'a'  | -    | C1dA'a'  | C1dA'a'  | DdA'a'  | -   |
|        | Pirapora      |           | C1sA'a'  | -   | C1dA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a'  | -   | C1dA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a' | -    | C1dA'a'  | C1dA'a'  | DdA'a'  | -    | C1dA'a'  | C1dA'a'  | DdA'a'  | -   |
|        | Salinas       |           | C1dA'a'  | -   | DdA'a'   | DdA'a'   | DdA'a'   | -   | DdA'a'   | DdA'a'   | DdA'a'  | -    | DdA'a'   | DdA'a'   | -       | -    | DdA'a'   | DdA'a'   | -       | -   |
| IX     | Carbonita     | 0,1722*   | C2wB'4a' | -   | C1sA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a'  | -   | C1sA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a' | -    | C1sA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a' | -    | C1sA'a'  | C1dA'a'  | DdA'a'  | -   |
|        | Itamarandiba  |           | C2wB'3a' | -   | C2wB'4a' | C2wB'4a' | C2wB'4a' | -   | C2wB'4a' | C2wB'4a' | C1sA'a' | -    | C2wB'4a' | C2wB'4a' | C1dA'a' | -    | C2wB'4a' | C1sA'a'  | C1dA'a' | -   |
|        | Pedra Azul    |           | C1dA'a'  | -   | DdA'a'   | DdA'a'   | DdA'a'   | -   | DdA'a'   | DdA'a'   | DdA'a'  | -    | DdA'a'   | DdA'a'   | DdA'a'  | -    | DdA'a'   | DdA'a'   | DdA'a'  | -   |

FATOR A = Cidades; FATOR D = Cenários; BLOCOS = Projeções; ANOVA = Proporção de referência para o teste F; \*\* = não significativo pelo teste F; \* = significativo pelo teste F, ambos a 5% de probabilidade; T = Resultado do teste de Tukey; - = nas classificações, significa ausência de classificação por falta de dados; - = no teste de Tukey indica que a interação entre o Fator A e o Fator D foi não significativo, de forma que o teste de Tukey não foi necessário.

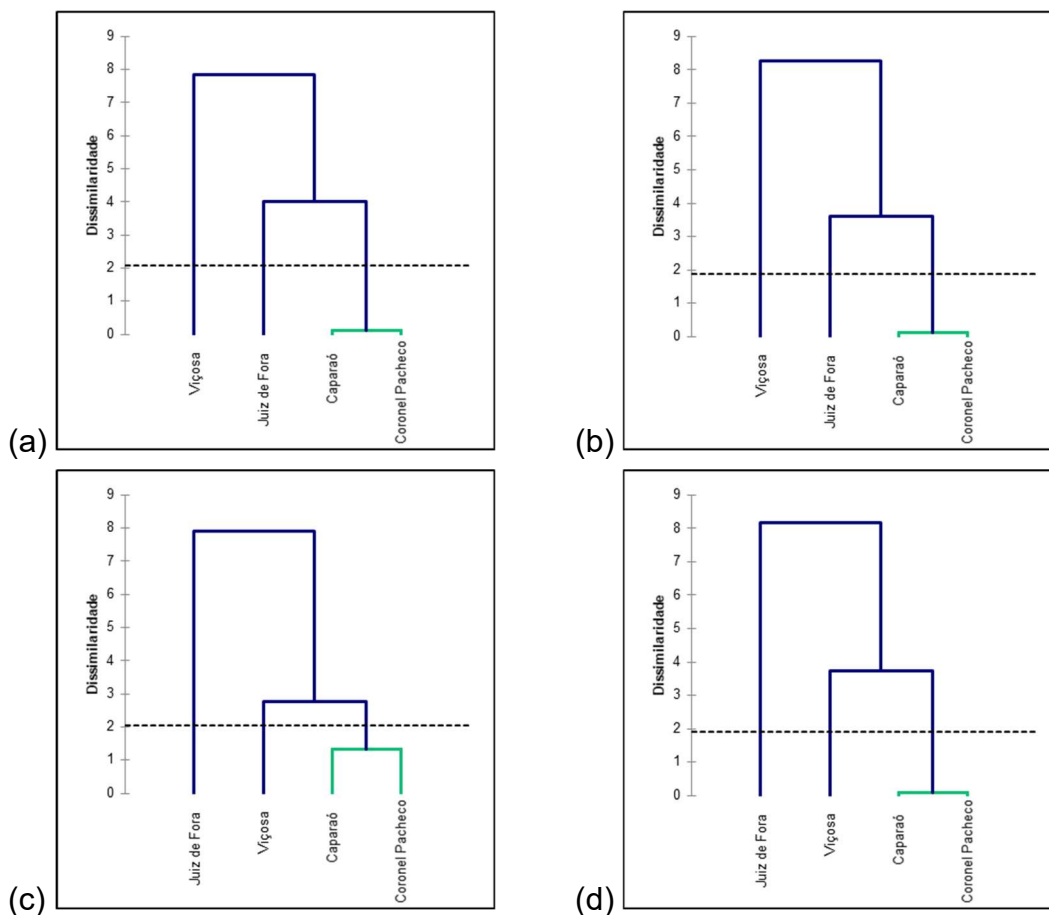
Os dendrogramas de dissimilaridade das regiões Central e do Rio Doce (Figura 12) foram semelhantes entre os cenários RCP 2.6 e 4.5 e entre os cenários RCP 6.0 e 8.5, sendo que para os cenários mais otimistas, houve similaridade entre as estações de climas úmidos (Barbacena, Diamantina, Conceição do Mato Dentro, João Monlevade, Belo Horizonte, Florestal e Ibirité) (Anexo 2) e dissimilaridade nos cenários mais pessimistas a partir da P2. De maneira similar, houve agrupamento nas cidades de climas subúmidos, pois apresentam tipos climáticos semelhantes. Já Aimorés manterá o clima semiárido independentemente do cenário ou projeção, confirmando os resultados da Tabela 14 e Anexo 2.



**Figura 12** - Dendrogramas de dissimilaridade das regiões Central e do Rio Doce de Minas Gerais para a classificação climática segundo Thornthwaite a) Cenário RCP 2.6; b) Cenário RCP 4.5; c) Cenário RCP 6.0; d) Cenário RCP 8.5.

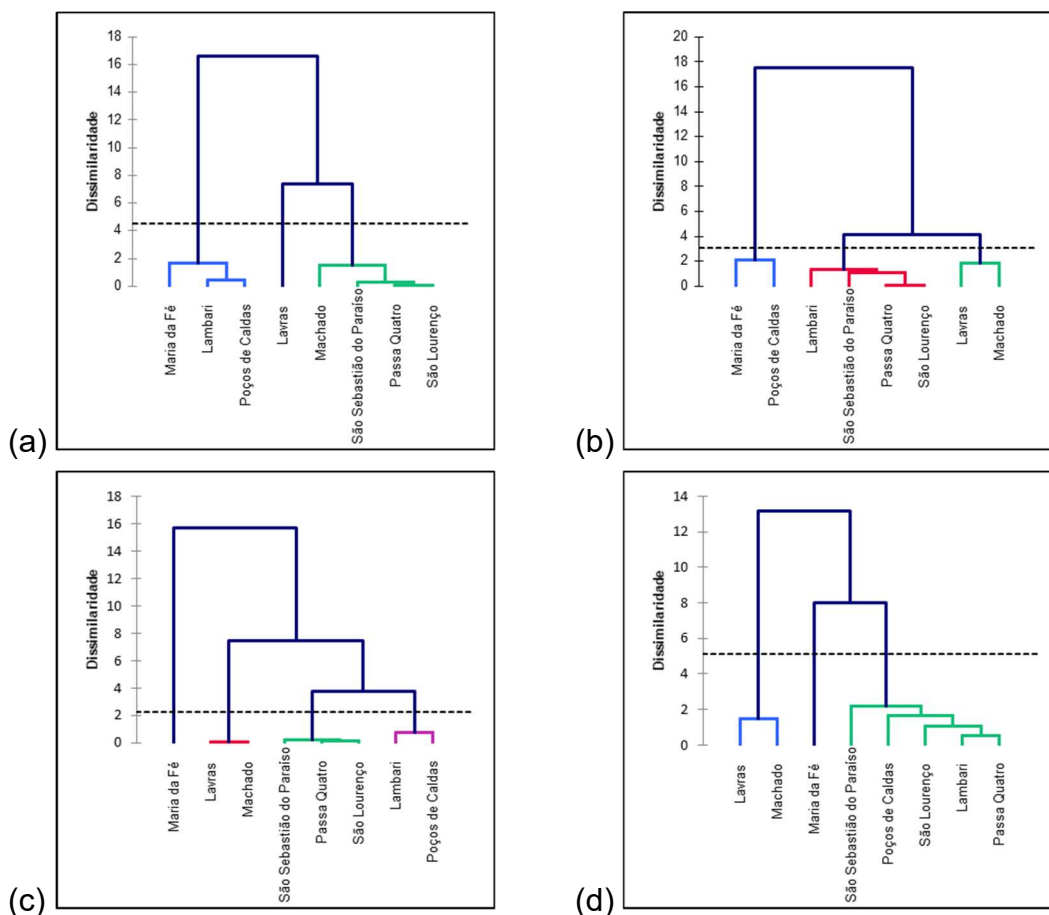
Para a região da Mata (Figura 13), os agrupamentos foram idênticos independente do RCP. Caparaó e Coronel Pacheco são similares, enquanto Juiz de Fora e Viçosa só serão similares na P2 e P3, respectivamente, como mostram a Figura 11 e Anexo 2. De maneira mais específica, Viçosa será classificada com clima

subúmido, Juiz de Fora como úmido (independentemente do cenário ou RCP) e Caparaó e Coronel Pacheco terão climas mais secos (subúmidos) somente na P3.



**Figura 13** - Dendrogramas de dissimilaridade da região da Mata de Minas Gerais para a classificação climática segundo Thornthwaite a) Cenário RCP 2.6; b) Cenário RCP 4.5; c) Cenário RCP 6.0; d) Cenário RCP 8.5.

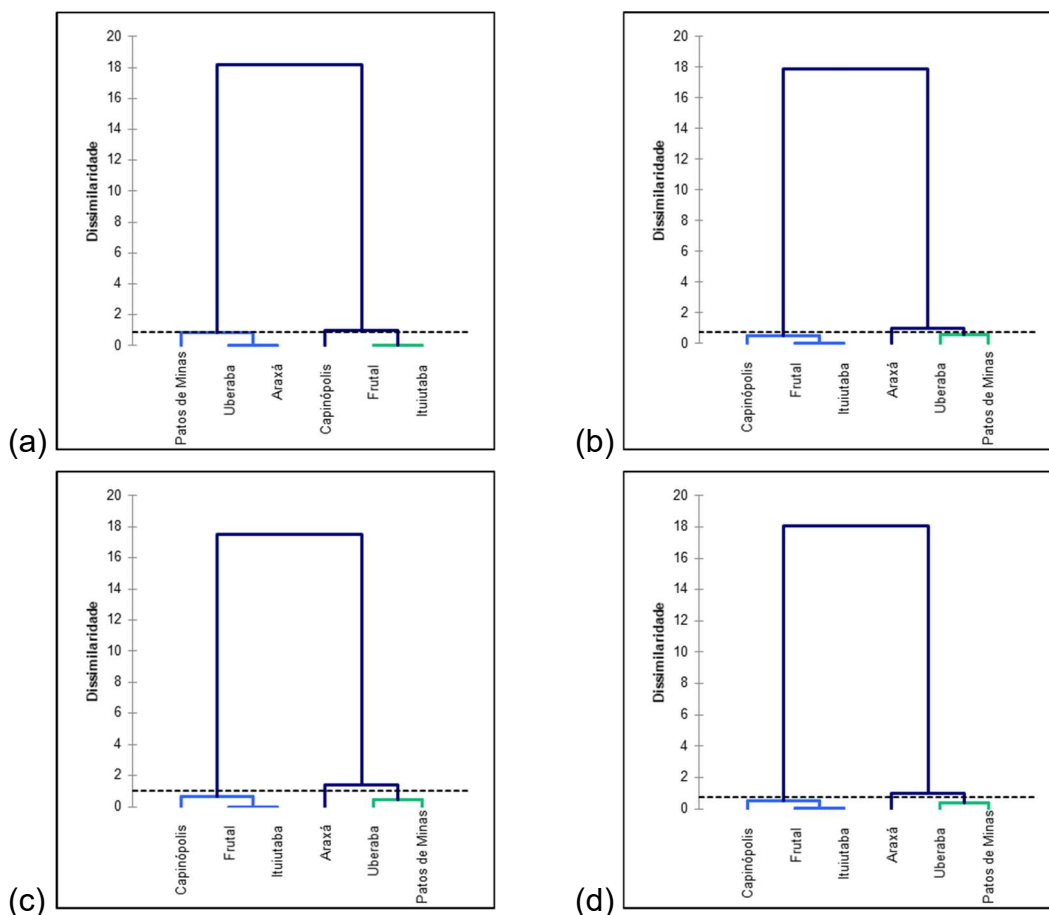
Os dendrogramas da região Sul (Figura 14) demonstraram diferentes agrupamentos em todos os RCP's, revelando que esta região é sensível às pequenas variações nas forçantes climáticas, sendo perceptível no SCC de Thornthwaite. Além disso, esta região apresenta grande variação dos tipos climáticos, devido ao microclima específico desta região.



**Figura 14** - Dendrogramas de dissimilaridade da região Sul de Minas Gerais para a classificação climática segundo Thornthwaite a) Cenário RCP 2.6; b) Cenário RCP 4.5; c) Cenário RCP 6.0; d) Cenário RCP 8.5.

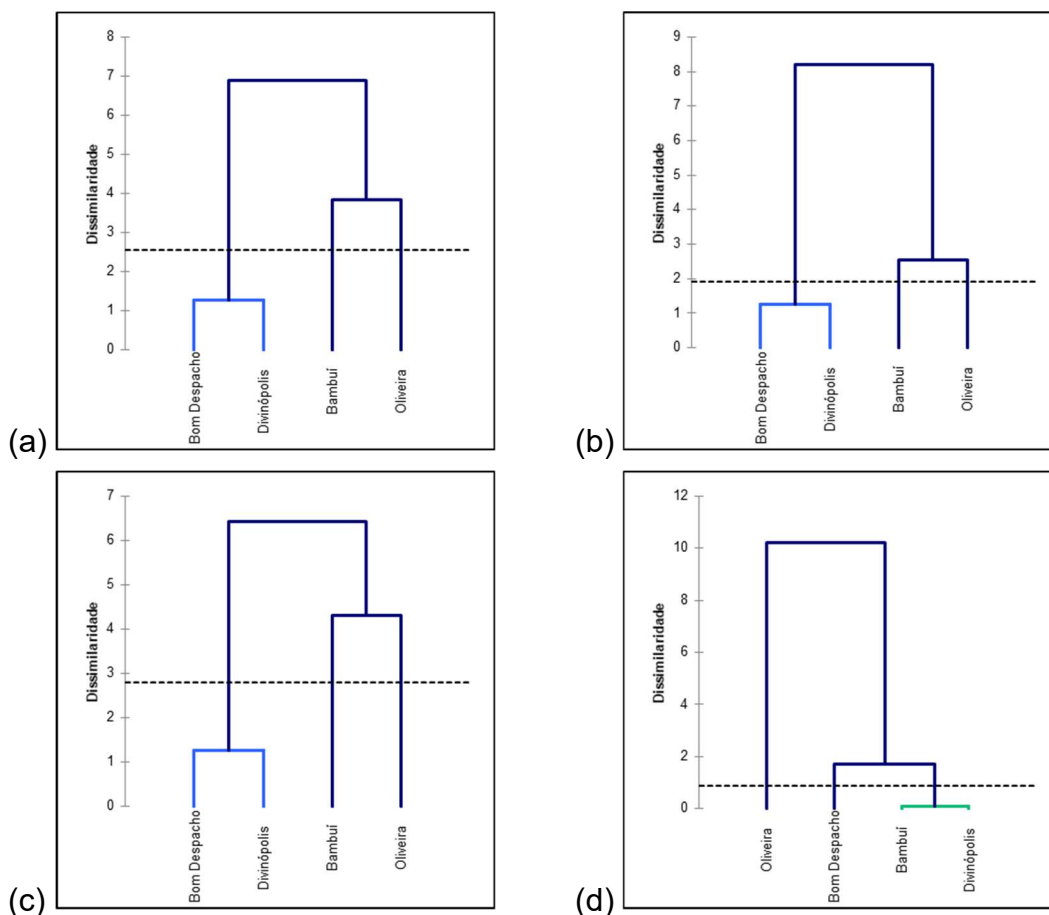
O Triângulo e Alto Parnaíba (Figura 15) possuem três agrupamentos em todos os RCP's. No clima presente, as regiões possuem tipos climáticos úmidos e subúmidos mantendo essa classificação ao longo das projeções futuras.

De maneira geral, é esperado para as regiões do Triângulo e Alto Parnaíba uma redução da precipitação e um aumento da temperatura e da ETP. A maior distância euclidiana observada nos dendrogramas separa as estações de tipos climáticos úmidos que passarão para subúmidos (Patos de Minas, Araxá e Uberaba), daquelas que são classificadas com tipos climáticos subúmidos (clima presente) permanecendo nesta classificação até a P3 (Capinópolis, Frutal e Ituiutaba).



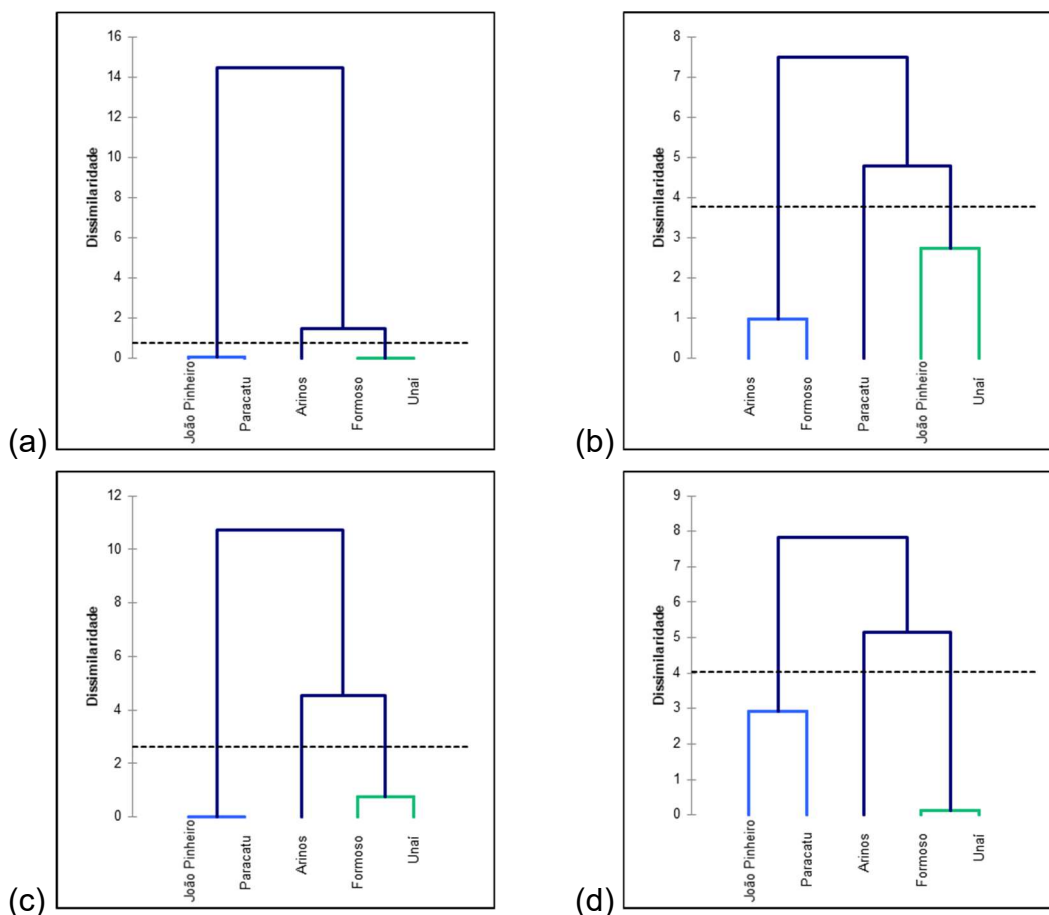
**Figura 15** - Dendrogramas de dissimilaridade das regiões do Triângulo e do Alto Parnaíba de Minas Gerais para a classificação climática segundo Thornthwaite a) Cenário RCP 2.6; b) Cenário RCP 4.5; c) Cenário RCP 6.0; d) Cenário RCP 8.5.

A região Centro-Oeste de Minas (Figura 16) apresentou agrupamentos semelhantes nos RCP's. A maior dissimilaridade ocorreu entre o *cluster* formado por Bom Despacho e Divinópolis e o *cluster* formado por Bambuí e Oliveira. Ao comparar com o Anexo 2, verificou-se que o primeiro *cluster* (Bom Despacho e Divinópolis) foi mais sensível às mudanças nas forçantes climáticas em relação ao segundo *cluster* (Bambuí e Oliveira), pois o seu clima atual tende a mudanças logo na P1, enquanto que mudanças no clima das demais cidades são previstas apenas na P3. Salienta-se que em ambos os casos, a tendência é de mudanças para climas mais quentes e secos.



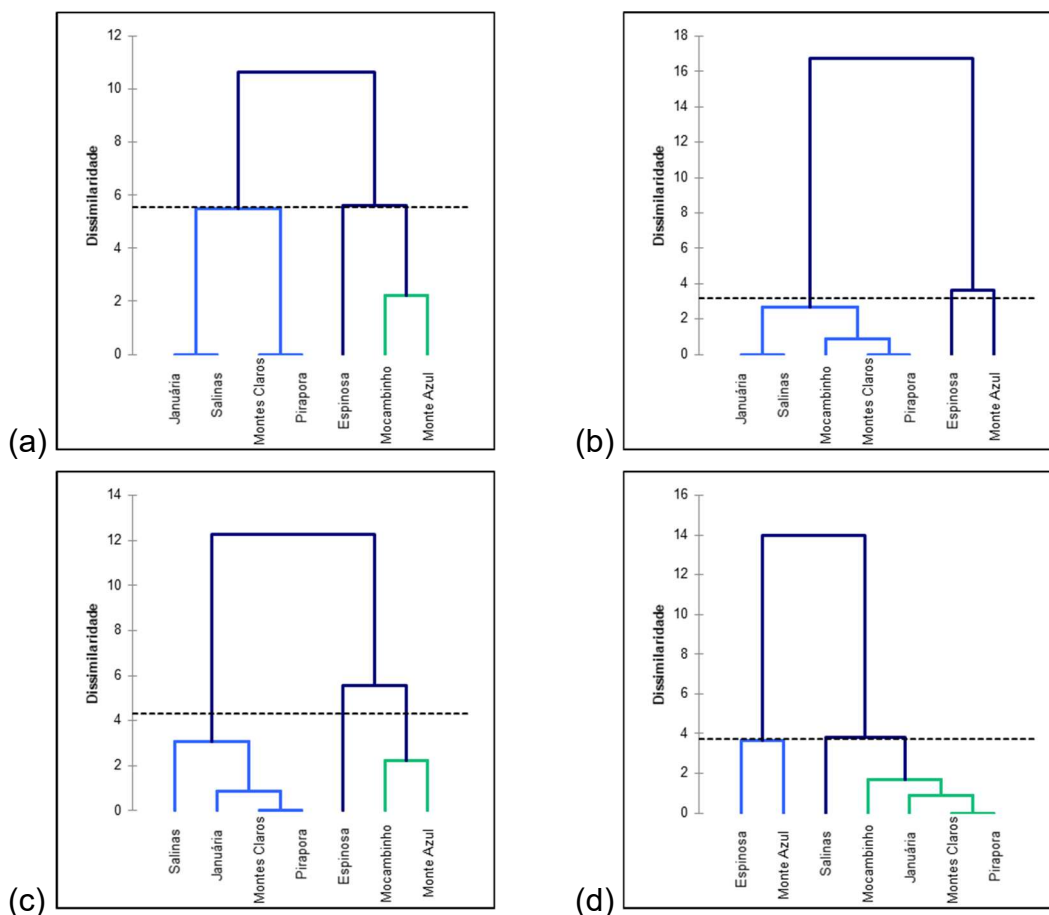
**Figura 16** - Dendrogramas de dissimilaridade da região Centro-Oeste de Minas Gerais para a classificação climática segundo Thornthwaite a) Cenário RCP 2.6; b) Cenário RCP 4.5; c) Cenário RCP 6.0; d) Cenário RCP 8.5.

Na região Noroeste (Figura 17), as estações de João Pinheiro e Paracatu formam um agrupamento, pois possuem a mesma tendência de substituir os tipos climáticos úmidos por subúmidos já na P1 (Anexo 2), enquanto que formoso e Unaí formam outro agrupamento, uma vez que apresentam tendência similar de manter os tipos climáticos subúmidos ao longo das projeções.



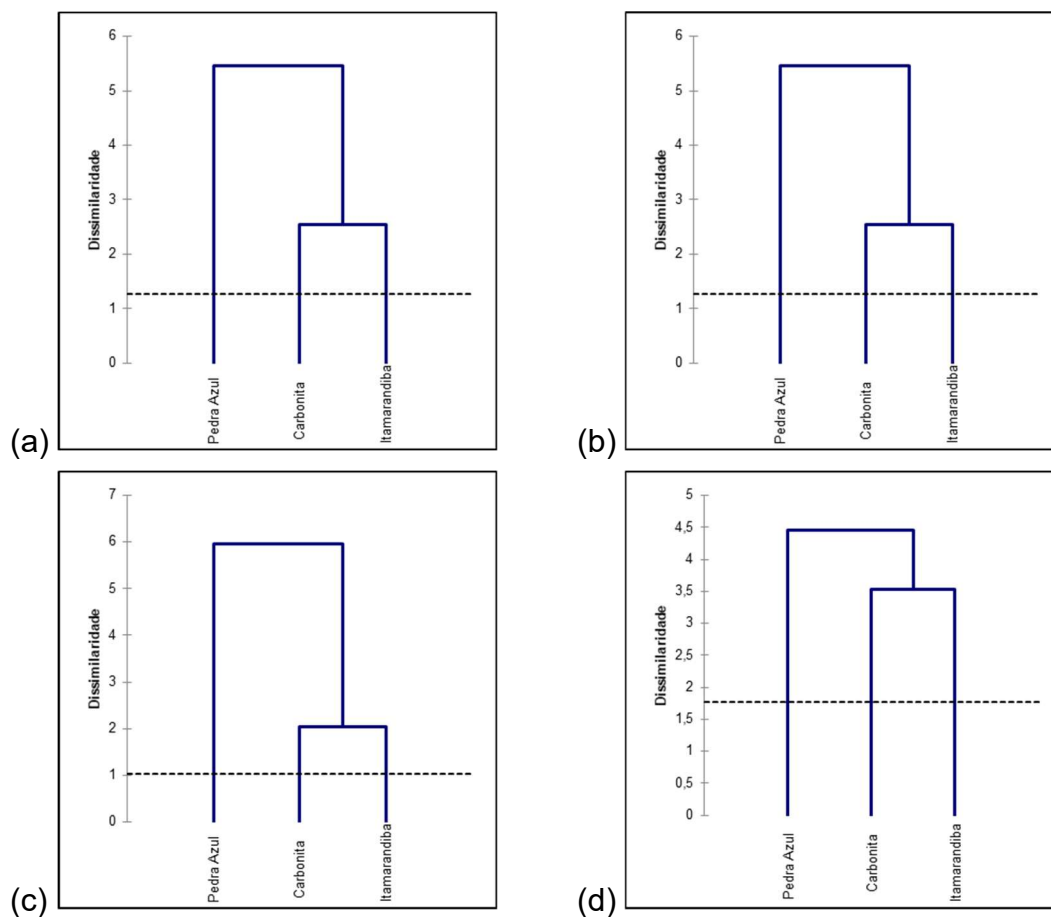
**Figura 17** - Dendrogramas de dissimilaridade da região Noroeste de Minas Gerais para a classificação climática segundo Thornthwaite a) Cenário RCP 2.6; b) Cenário RCP 4.5; c) Cenário RCP 6.0; d) Cenário RCP 8.5.

A região Norte de Minas possui três agrupamentos (Figura 18). Entretanto, diferentemente das demais regiões, esta apresentou agrupamentos distintos na maioria dos RCP's., ou seja, as cidades apresentaram um comportamento diferente. Assim, as inferências sobre as tendências climáticas dessa região são limitadas, dependendo para qual cenário a região evoluirá.



**Figura 18** - Dendrogramas de dissimilaridade da região Norte de Minas Gerais para a classificação climática segundo Thornthwaite a) Cenário RCP 2.6; b) Cenário RCP 4.5; c) Cenário RCP 6.0; d) Cenário RCP 8.5.

Quanto à região do Jequitinhonha/Mucuri (Figura 19), houve a formação de três agrupamentos em todos os RCP's. A cidade de Pedra Azul, que apresentou maior dissimilaridade em relação às demais cidades, possui uma forte inclinação de mudança climática para o clima semiárido (Anexo 2). Já as cidades de Carbonita e Itamaramdiba, com climas subúmidos, tendem a mantê-los nas próximas décadas.



**Figura 19** - Dendrogramas de dissimilaridade da região do Jequitinhonha/Mucuri de Minas Gerais para a classificação climática segundo Thornthwaite a) Cenário RCP 2.6; b) Cenário RCP 4.5; c) Cenário RCP 6.0; d) Cenário RCP 8.5.

## 5. CONCLUSÃO

Pela classificação climática de Köppen, observou-se que Minas Gerais possui cinco tipos climáticos, sendo dois temperados quentes (Cwb, Cwa), um tropical (Aw) e dois áridos (BSh e BWh). Já pela Classificação de Thornthwaite, foram determinadas vinte e cinco tipos climáticos (ArB'2a', B4rB'3a', B4rB'2a', B3rB'4a', B3rB'3a', B3rB'2a', B2rA'a', B2rB'4a', B2rB'3a', B2wA'a', B2wB'4a', B1rA'a', B1rB'4a', B1rB'3a', B1wA'a', B1wB'4a', C2rA'a', C2sA'a', C2wA'a', C2rB'4a', C2wB'4a', C2wB'3a', C1dA'a', C1sA'a', DdA'a'), com predominância do tipo climático megatérmico e mesotérmico superúmido e úmido nas regiões Central, da Mata, Sul, Parnaíba e Centro-Oeste de Minas, e megatérmico e mesotérmico subúmido ou semiárido nas regiões Norte, Noroeste, Jequitinhonha/Mucuri, Rio Doce de MG.

O SCC de Thornthwaite permitiu separar com maior detalhamento os tipos climáticos de Minas Gerais para o presente (1980-2010) e futuro (2011-2040; 2041-2070; 2071-2100), utilizando eficientemente os extratos do BHC (ETP, DEF e EXC), sendo considerado um sistema de classificação climática mais sensível que o de Köppen, e, portanto, o mais recomendado para Minas Gerais. O SCC de Thornthwaite foi mais sensível em identificar grandes zonas de umidade, pois seria inviável a análise individual de cada um dos 25 climas identificados para uma área tão extensa.

Haverá alteração no clima de MG para os SCC's de Köppen e Thornthwaite nas três projeções consideradas (2011-2040; 2041-2070 e 2071-2100), principalmente pelo aumento da temperatura do ar, o qual aumenta a evapotranspiração, e redução da precipitação.

Independente do SCC, Minas Gerais apresenta duas características climáticas bem definidas ao longo das projeções: as regiões centrais não apresentam alterações no SCC para P1 (2011 a 2041), mas apresentam para a P2 e P3 (2041-2100) e as regiões nos extremos - norte e sul do estado - apresentam aumentos de temperatura e redução na precipitação, influenciando na ocorrência de climas predominantemente quentes e secos já na P1 (2011 a 2041).

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56, Water Resources, Development and Management Service. Rome, 1998. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm>>.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GOLÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brasil. Meteorologische Zeitschrift, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.
- ARAÚJO, R.F. de; MATRICARDI, E.A.T.; NAPPO, M.E. Zoneamento ecológico de pequena escala para espécies florestais tradicionais no Distrito Federal. Floresta, Curitiba, PR, v.42, n.2, p.421-430, 2012.
- ÁVILA, L.F.; MELLO, C.R. de; YANAGI, S. de N.M; NETO, O.B.S. Tendência de temperaturas mínimas e máximas do ar no estado de Minas Gerais. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 49, n. 4, p. 247-256, 2014. CAMARGO, A.P.; MARIN, F.R.; SENTELHAS, P.C. Ajuste da equação de Thornthwaite para estimar a evapotranspiração potencial em climas áridos e superúmidos, com base na amplitude térmica diária. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v. 7, n. 2, p. 251-257, 1999.
- CARDOSO, G. M.; JUSTINO, F. Simulação dos componentes da evapotranspiração sob condições climáticas atuais e de cenários climáticos futuros de aquecimento global com o uso de modelos de clima-vegetação. Revista Brasileira de Meteorologia, v.29, p.85-95, 2014.
- CUNHA, A.R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. Irriga, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 1-11, 2009.
- DICIONÁRIO Cambridge Dictionary. Cambridge University Press. Cambridge. 2017
- FABRES, T.M. Classificação climática segundo Köppen e Thornthwaite e caracterização edafoclimática referente à região de Sante Maria, RS. 2009. 127 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- FEAM. Fundação estadual do Meio Ambiente. Avaliação de impactos de mudanças climáticas sobre a economia mineira. Belo Horizonte, 2011. 45 p. (Relatório Resumo)
- FERREIRA, D.F. Sisvar: A computer statistical analysis system. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.
- GONÇALVES, J.L. de M.; ALVARES, C.A.; HIGA, A.R.; SILVA, L.D.; ALFENAS, A.C.; STAHL, J.; FERRAZ, S.F. de B.; LIMA, W. de P.; BRANCALION, P.H.S.; HUBNER, A.; BOUILLET, J.P.D.; LACLAU, J.P.; NOUVELLON, Y., EPRON, D. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. Forest Ecology and Management, v.301, pp.6-27, 2013.

IBGE, 2016: População de Minas Gerais. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=mg>>. Acesso em: 10 de abril de 2017.

IPCC, 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 p.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, Berlin, v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006.

LEMOES FILHO, L. C. A.; CARVALHO, L. G.; EVANGELISTA, A. W. P.; Alves Júnior, J. Análise espacial da influência dos elementos meteorológicos sobre a evapotranspiração de referência em Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.1, p.1294-1303, 2010.

MINAS GERAIS. Regiões de planejamento. Disponível em: <<https://www.mg.gov.br/governomg/portal/c/governomg/conheca-minas/geografia/5671-regioes-de-planejamento/69548-as-regioes-de-planejamento/5146/5044>>. Acesso em: 7 de maio de 2016.

NÓBREGA, R.S. Um pensamento crítico sobre classificações climáticas: de Köppen até Strahler. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 3, p. 18-22, 2010.

ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL. Calculation of monthly and annual 30-year standard normals. Geneva, 1989. WMO. Technical document, n. 341; WCDP, n. 10. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/html/clima.php>>. Acesso em: 25 de outubro de 2016.

PEREIRA, A.R. Simplificando o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather. *Bragantia*, Campinas, v. 64, n. 2, p. 311-313, 2005.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 25, n. 2, p. 185- 204, 2010.

REBOITA, M.S.; RODRIGUES, M.; SILVA, L.F.; ALVES, M.A. Aspectos climáticos de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Climatologia*, v.17, pp.206-226, 2015.

ROLIM, G.S.; CAMARGO, M. B. P.; LANIA, D. G.; MORAES, J. F. L. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, v. 66, n. 4, p. 711-720, 2007.

RUBEL, F.; KOTTEK, M. Observed and projected climate shifts 1901-2100 depicted by world maps of the Köppen-Geiger climate classification. *Meteorologische Zeitschrift*, Berlin, v. 19, n. 2, p. 135-141, 2010.

SÁ JÚNIOR, A. de. Aplicação da classificação de Köppen para o zoneamento climático do estado de Minas Gerais. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras. Lavras - MG, 2009, 101 f.

SANTOS, D.F. dos. Zoneamento climático para a cultura da oliveira no estado de Minas Gerais, baseado no balanço hídrico climatológico e projeções de Mudanças Climáticas. Monografia (Graduação em Ciências Atmosféricas) – Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2014, 74f.

SANTOS, D.F. dos; MARTINS, F.B.; TORRES, R.R. Impacts of climate projections on water balance and implications on olive crop in Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.21, n.2, p.77-82, 2017.

SENTELHAS, P.C.; DOS SANTOS, D. L.; MACHADO, R. E. Water déficit and water surplus maps for Brazil, based on FAO Penman-Monteith potential evapotranspiration. *Revista Ambiente & Água – Na Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v. 3, n. 3, p. 29-42, 2008.

SHAO, H.; CHU, L.; JALEEL, C.A.; MANIVANNAN, P.; PENNEERSELVAM, R.; SHAO, M.A. Understanding water deficit stress-induced changes in the basic metabolism of higher plants–biotechnologically and sustainably improving agriculture and the ecoenvironment in arid regions of the globe. *Critical Reviews in Biotechnology*, Cleveland, v.29, n.2, p.131-151, 2009.

SILVA, P.H.M.; MIRANDA, A.C.; MORAES, M.L.T.; FURTADO, E.L.; STAPE, J.L.; ALVARES, C.A.; SENTELHAS, P.C.; MORI, E.S.; SEBBENN, A.M. Selecting for rust (*Puccinia psidii*) resistance in *Eucalyptus grandis* in São Paulo State, Brazil. *Forest Ecology and Management*, v. 303, p.91-97, 2013.

STORCK, L.; GARCIA, D.C.; LOPES, S.J.; ESTEFANEL, V. Experimentação vegetal. Santa Maria: Ed. da UFSM, 2011. 200p.

SUGAHARA, S. Normais climatológicas das estações de superfície do Brasil, para o período de 1961-1990. Instituto de Pesquisas Meteorológicas/UNESP, Campus Bauru, São Paulo, SP, 1999.

TAYLOR, K.E.; STOUFFER, R.J.; MEEHL, G.A. Na overview of CMIP5 and the experimente desing. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 93, p. 485-498, 2012.

THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. *Geography Review*, v. 38, p. 55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Centerton, Nj: Drexel Institute of Technology – Laboratory of Climatology, 1957. 311p. *Publications in Climatology*, vol. X, n. 3.

TONIETTO, J.; VIANELLO, R.L.; REGINA, M.A. Caracterização macroclimática e potencial enológico de diferentes regiões com vocação vitícola de Minas Gerais. *Informe Agropecuário*, v.27, p.32-55, 2006.

TORRES, R. R. Análise de incertezas em projeções de mudanças climáticas na América do Sul. 2014. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

TORRES, R.R., LAPOLA, D.M., MARENGO, J.A., LOMBARDO, M.A. Socio-climatic hotspots in Brazil, *Climatic Change*, v.115, n. 3-4, p. 597-609, 2012.

TORRES, R.R.; MARENGO, J.A. Climate change hotspots over South America: From CMIP3 to CMIP5 multi-model datasets. *Theoretical and Applied Climatology*, v.117, p.579-587, 2014.

Universidade Federal de Viçosa; Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais; Universidade Federal de Lavras; Fundação Estadual do Meio Ambiente. Mapa de solos do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010.

VAN VUUREN, D.P.; EDMONDS, J.; KAINUMA, M.; RIAHI, K.; THOMSON, A.; HIBBARD, K.; HURTT, G.C.; KRAM, T.; KREY, V.; LAMARQUE, J.F.; MAUSI, T.; MEINSHAUSEN, M.; NAKICENOVIC, N.; SMITH, S.J.; ROSE, S.K. The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, v. 109, p. 5-31, 2011.

VAREJÃO-SILVA, M.A; CEBALLOS, J.C. Meteorologia Geral. Campina Grande: UFPB, 1982. 74 p. v.1.

VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R. Meteorologia básica e aplicações. Viçosa, UFV: Imprensa Universitária, 2012. 449p.

WICKHAM, H. Advanced R Series: Chapman & Hall/CRC The R Series. Chapman and Hall/CRC p. 476, 2014.

WMO - World Meteorological Organization. Calculation of monthly and annual 30-year standard normals. Geneva, 1989. Technical document, n. 341; WCDP, n. 10.

**Anexo 1 - Classificação Climática segundo Köppen para Mina Gerais, classificação atual e projeções futuras.**

[illegible]

(Continua)

[illegible]

(Continuação)

|    |                  | IX – REGIÃO DO JEQUITINHONHA/MUCURI DE MINAS GERAIS |            |     |     |     |            |     |     |     |            |     |     |     |
|----|------------------|-----------------------------------------------------|------------|-----|-----|-----|------------|-----|-----|-----|------------|-----|-----|-----|
| Nº | PROJEÇÃO CENÁRIO | ATUAL                                               | Projeção 1 |     |     |     | Projeção 2 |     |     |     | Projeção 3 |     |     |     |
|    |                  |                                                     | 2.6        | 4.5 | 6.0 | 8.5 | 2.6        | 4.5 | 6.0 | 8.5 | 2.6        | 4.5 | 6.0 | 8.5 |
| 1  | Carbonita        | Aw                                                  | Aw         | Aw  | Aw  | Aw  | Aw         | Aw  | Aw  | Aw  | Aw         | Aw  | Aw  | Aw  |
| 2  | Itamarandiba     | Cwa                                                 | Aw         | Aw  | Aw  | Aw  | Aw         | Aw  | Aw  | Aw  | Aw         | Aw  | Aw  | Aw  |
| 3  | Pedra Azul       | Aw                                                  | Aw         | Aw  | Aw  | Aw  | Aw         | Aw  | BWh | Aw  | Aw         | Aw  | BWh | BWh |
|    |                  | X – REGIÃO DO RIO DOCE DE MINAS GERAIS              |            |     |     |     |            |     |     |     |            |     |     |     |
| Nº | PROJEÇÃO CENÁRIO | ATUAL                                               | Projeção 1 |     |     |     | Projeção 2 |     |     |     | Projeção 3 |     |     |     |
|    |                  |                                                     | 2.6        | 4.5 | 6.0 | 8.5 | 2.6        | 4.5 | 6.0 | 8.5 | 2.6        | 4.5 | 6.0 | 8.5 |
| 1  | Aimorés          | Aw                                                  | Aw         | Aw  | Aw  | Aw  | Aw         | Aw  | Aw  | Aw  | Aw         | Aw  | BWh | BWh |
| 2  | Caratinga        | Aw                                                  | Aw         | Aw  | Aw  | Aw  | Aw         | Aw  | Aw  | Aw  | Aw         | Aw  | Aw  | Aw  |

**Anexo 2 - Classificação Climática segundo Thornthwaite para Mina Gerais, classificação atual e projeções futuras.**

(Continua)

| CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE THORNTHWAITE  |                          |          |            |          |          |          |            |          |          |          |            |          |          |          |
|------------------------------------------|--------------------------|----------|------------|----------|----------|----------|------------|----------|----------|----------|------------|----------|----------|----------|
| I - REGIÃO CENTRAL DE MINAS GERAIS       |                          |          |            |          |          |          |            |          |          |          |            |          |          |          |
| N°                                       | PROJEÇÃO CENÁRIO         | ATUAL    | Projeção 1 |          |          |          | Projeção 2 |          |          |          | Projeção 3 |          |          |          |
|                                          |                          |          | 2.6        | 4.5      | 6.0      | 8.5      | 2.6        | 4.5      | 6.0      | 8.5      | 2.6        | 4.5      | 6.0      | 8.5      |
| 1                                        | Barbacena                | B3rB'3a' | B2rB'3a'   | B2rB'3a' | B2rB'3a' | B2rB'3a' | B2rB'3a'   | B2rB'4a' | B2rB'3a' | B1rB'4a' | B2rB'3a'   | B1rB'4a' | B1rB'4a' | B1rA'a'  |
| 2                                        | Belo Horizonte           | B2rB'4a' | B2wA'a'    | B2wA'a'  | B2wA'a'  | B1wA'a'  | B1wA'a'    | B1wA'a'  | B1wA'a'  | B1wA'a'  | B1wA'a'    | B1wA'a'  | B1wA'a'  | C2wA'a'  |
| 3                                        | Conceição do Mato Dentro | B1rB'4a' | B1rA'a'    | B1rA'a'  | B1rA'a'  | B1rA'a'  | B1rA'a'    | C2wA'a'  | C2wA'a'  | C2wA'a'  | B1wA'a'    | C2wA'a'  | C2wA'a'  | C2wA'a'  |
| 4                                        | Curvelo                  | C1sA'a'  | C1dA'a'    | C1dA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a'    | C1dA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a'    | C1dA'a'  | C1dA'a'  | D1dA'a'  |
| 5                                        | Diamantina               | B3rB'2a' | B2rB'3a'   | B2rB'3a' | B2rB'3a' | B2rB'3a' | B2rB'3a'   | B2rB'4a' | B1rB'4a' | B1wB'4a' | B2rB'3a'   | B1wB'4a' | B1wB'4a' | B1wA'a'  |
| 6                                        | Florestal                | B2rB'4a' | B1rB'4a'   | B1rB'4a' | B1rB'4a' | B1rB'4a' | B1rB'4a'   | B1wA'a'  | B1wA'a'  | C2wA'a'  | B1rA'a'    | C2wA'a'  | C2wA'a'  | C2wA'a'  |
| 7                                        | Ibirité                  | B2rB'4a' | B1rB'4a'   | B1rB'4a' | B1rB'4a' | B1rA'a'  | B1rA'a'    | B1rA'a'  | B1rA'a'  | C2wA'a'  | B1rA'a'    | C2wA'a'  | C2wA'a'  | C2wA'a'  |
| 8                                        | João Monlevade           | B1rB'4a' | B1rB'4a'   | B1rB'4a' | B1rB'4a' | B1rB'4a' | B1rB'4a'   | B1wA'a'  | B1wA'a'  | C2wA'a'  | B1wB'4a'   | C2wA'a'  | C2wA'a'  | C2wA'a'  |
| 9                                        | Pompéu                   | C2wA'a'  | C2wA'a'    | C2wA'a'  | C2wA'a'  | C2wA'a'  | C1sA'a'    | C1sA'a'  | C1sA'a'  | C1sA'a'  | C2wA'a'    | C1sA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a'  |
| 10                                       | Sete Lagoas              | B1wB'4a' | C2wA'a'    | C2wA'a'  | C2wA'a'  | C2wA'a'  | C2wA'a'    | C2wA'a'  | C2wA'a'  | C2wA'a'  | C2wA'a'    | C2wA'a'  | C2wA'a'  | C1sA'a'  |
| II – REGIÃO DA MATA DE MINAS GERAIS      |                          |          |            |          |          |          |            |          |          |          |            |          |          |          |
| N°                                       | PROJEÇÃO CENÁRIO         | ATUAL    | Projeção 1 |          |          |          | Projeção 2 |          |          |          | Projeção 3 |          |          |          |
|                                          |                          |          | 2.6        | 4.5      | 6.0      | 8.5      | 2.6        | 4.5      | 6.0      | 8.5      | 2.6        | 4.5      | 6.0      | 8.5      |
| 1                                        | Caparaó                  | B2rB'3a' | B1rB'4a'   | B1rB'4a' | B1rB'3a' | B1rB'4a' | B1rB'4a'   | B1rB'4a' | B1rB'4a' | B1rB'4a' | B1rB'4a'   | B1rB'4a' | C2rB'4a' | C2wA'a'  |
| 2                                        | Coronel Pacheco          | B2rB'4a' | B1rA'a'    | B1rA'a'  | B1rA'a'  | B1rA'a'  | B1rA'a'    | B1rA'a'  | B1rA'a'  | B1rA'a'  | B1rA'a'    | B1rA'a'  | B1rA'a'  | C2wA'a'  |
| 3                                        | Juiz de Fora             | B3rB'3a' | B3rB'3a'   | B3rB'3a' | B3rB'3a' | B3rB'3a' | B2rB'3a'   | B2rB'4a' | B2rB'4a' | B2rB'4a' | B2rB'3a'   | B2rB'4a' | B2rB'4a' | B1rA'a'  |
| 4                                        | Viçosa                   | B1rB'4a' | B1rB'4a'   | C2wB'4a' | B1rB'4a' | C2rB'4a' | C2rB'4a'   | C2rA'a'  | C2rB'4a' | C2rA'a'  | C2rB'4a'   | C2rA'a'  | C2rA'a'  | C1dA'a'  |
| III – REGIÃO SUL DE MINAS GERAIS         |                          |          |            |          |          |          |            |          |          |          |            |          |          |          |
| N°                                       | PROJEÇÃO CENÁRIO         | ATUAL    | Projeção 1 |          |          |          | Projeção 2 |          |          |          | Projeção 3 |          |          |          |
|                                          |                          |          | 2.6        | 4.5      | 6.0      | 8.5      | 2.6        | 4.5      | 6.0      | 8.5      | 2.6        | 4.5      | 6.0      | 8.5      |
| 1                                        | Lambari                  | B3rB'3a' | B3rB'3a'   | B3rB'3a' | B3rB'3a' | B3rB'3a' | B3rB'4a'   | B2rB'4a' | B2rB'4a' | B2rB'4a' | B3rB'4a'   | B2rB'4a' | B2rB'4a' | B1rA'a'  |
| 2                                        | Lavras                   | B2rB'4a' | B1rB'4a'   | B2rB'4a' | B2rB'4a' | B1rB'4a' | B1rB'4a'   | B1rA'a'  | B1rA'a'  | B1rA'a'  | B1rB'4a'   | B1rA'a'  | B1rA'a'  | C2wA'a'  |
| 3                                        | Machado                  | B2rB'4a' | B2rB'4a'   | B2rB'4a' | B2rB'4a' | B2rB'4a' | B2rB'4a'   | B2rA'a'  | B1rB'4a' | B1rA'a'  | B2rB'4a'   | B1rA'a'  | B1rA'a'  | C2rA'a'  |
| 4                                        | Maria da Fé              | ArB'2a'  | B4rB'2a'   | ArB'2a'  | ArB'2a'  | B4rB'2a' | B4rB'2a'   | B4rB'2a' | B4rB'2a' | B4rB'3a' | B4rB'2a'   | B4rB'3a' | B4rB'3a' | B3rB'4a' |
| 5                                        | Passa Quatro             | B3rB'3a' | B2rB'3a'   | B2rB'3a' | B2rB'3a' | B2rB'4a' | B2rB'4a'   | B2rB'4a' | B2rB'4a' | B2rB'4a' | B2rB'4a'   | B2rB'4a' | B1rB'4a' | B1rA'a'  |
| 6                                        | Poços de Caldas          | B4rB'2a' | B3rB'3a'   | B3rB'3a' | B3rB'3a' | B3rB'3a' | B3rB'3a'   | B3rB'3a' | B3rB'3a' | B2rB'4a' | B3rB'3a'   | B3rB'3a' | B2rB'4a' | B2rA'a'  |
| 7                                        | São Lourenço             | B3rB'3a' | B2rB'4a'   | B2rB'4a' | B2rB'4a' | B2rB'4a' | B2rB'4a'   | B2rB'4a' | B2rB'4a' | B1rA'a'  | B2rB'4a'   | B2rB'4a' | B1rA'a'  | B1rA'a'  |
| 8                                        | São Sebastião do Paraíso | B3rB'4a' | B2rB'4a'   | B2rB'4a' | B2rB'4a' | B2rA'a'  | B2rA'a'    | B2rA'a'  | B2rA'a'  | B2rA'a'  | B2rA'a'    | B1rA'a'  | B1rA'a'  | C2wA'a'  |
| IV – REGIÃO DO TRIÂNGULO DE MINAS GERAIS |                          |          |            |          |          |          |            |          |          |          |            |          |          |          |
| N°                                       | PROJEÇÃO CENÁRIO         | ATUAL    | Projeção 1 |          |          |          | Projeção 2 |          |          |          | Projeção 3 |          |          |          |
|                                          |                          |          | 2.6        | 4.5      | 6.0      | 8.5      | 2.6        | 4.5      | 6.0      | 8.5      | 2.6        | 4.5      | 6.0      | 8.5      |
| 1                                        | Capinópolis              | C2wA'a'  | C2wA'a'    | C2wA'a'  | C2wA'a'  | C2wA'a'  | C1sA'a'    | C1sA'a'  | C1sA'a'  | C1sA'a'  | C2wA'a'    | C1sA'a'  | C1sA'a'  | C1dA'a'  |
| 2                                        | Frutal                   | C2wA'a'  | C1dA'a'    | C1dA'a'  | C1sA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a'    | C1dA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a'    | C1dA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a'  |
| 3                                        | Ituiutaba                | C2wA'a'  | C1sA'a'    | C1sA'a'  | C1sA'a'  | C1sA'a'  | C1sA'a'    | C1sA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a'  | C1sA'a'    | C1dA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a'  |
| 4                                        | Uberaba                  | B2rA'a'  | B1rA'a'    | B1rA'a'  | B1rA'a'  | B1rA'a'  | B1rA'a'    | B1rA'a'  | C2rA'a'  | C2wA'a'  | B1rA'a'    | C2wA'a'  | C2wA'a'  | C2wA'a'  |

**Anexo 2 - Classificação Climática segundo Thornthwaite para Mina Gerais, classificação atual e projeções futuras.**

(Continuação)

| V – REGIÃO DO ALTO PARNAÍBA DE MINAS GERAIS         |                  |          |          |            |          |          |            |          |          |            |         |         |         |
|-----------------------------------------------------|------------------|----------|----------|------------|----------|----------|------------|----------|----------|------------|---------|---------|---------|
| Nº                                                  | PROJEÇÃO CENÁRIO | ATUAL    |          | Projeção 1 |          |          | Projeção 2 |          |          | Projeção 3 |         |         |         |
|                                                     |                  | 2.6      | 4.5      | 6.0        | 8.5      | 2.6      | 4.5        | 6.0      | 8.5      | 2.6        | 4.5     | 6.0     | 8.5     |
| 1                                                   | Araxá            | B2rB'4a' | B1rA'a'  | B1rA'a'    | B1rA'a'  | B1rA'a'  | B1wA'a'    | B1rA'a'  | B1wA'a'  | B1rA'a'    | B1wA'a' | B1wA'a' | C2wA'a' |
| 2                                                   | Patos de Minas   | B2wB'4a' | B1wA'a'  | B1wA'a'    | B1wA'a'  | B1wA'a'  | B1wA'a'    | B1wA'a'  | B1wA'a'  | B1wA'a'    | C2wA'a' | C2wA'a' | C2wA'a' |
| VI – REGIÃO CENTRO-OESTE DE MINAS GERAIS            |                  |          |          |            |          |          |            |          |          |            |         |         |         |
| Nº                                                  | PROJEÇÃO CENÁRIO | ATUAL    |          | Projeção 1 |          |          | Projeção 2 |          |          | Projeção 3 |         |         |         |
|                                                     |                  | 2.6      | 4.5      | 6.0        | 8.5      | 2.6      | 4.5        | 6.0      | 8.5      | 2.6        | 4.5     | 6.0     | 8.5     |
| 1                                                   | Bambu            | B1rB'4a' | B1wA'a'  | B1wA'a'    | B1wA'a'  | B1wA'a'  | B1wA'a'    | C2rA'a'  | C2rA'a'  | B1rA'a'    | C2rA'a' | C2rA'a' | C2wA'a' |
| 2                                                   | Bom Despacho     | B1rB'4a' | C2wA'a'  | C2wA'a'    | C2wA'a'  | C2wA'a'  | C2wA'a'    | C2wA'a'  | C2wA'a'  | C2wA'a'    | C2wA'a' | C2wA'a' | C2sA'a' |
| 3                                                   | Divinópolis      | B1rB'4a' | B1wA'a'  | B1wA'a'    | B1wA'a'  | B1wA'a'  | C2wA'a'    | C2wA'a'  | C2wA'a'  | C2wA'a'    | C2wA'a' | C2wA'a' | C2wA'a' |
| 4                                                   | Oliveira         | B2rB'4a' | B1rB'4a' | B1rB'4a'   | B1rB'4a' | B1rA'a'  | B1rB'4a'   | C2rA'a'  | B2rB'4a' | C2rA'a'    | C2rA'a' | C2wA'a' | -       |
| VII – REGIÃO NOROESTE DE MINAS GERAIS               |                  |          |          |            |          |          |            |          |          |            |         |         |         |
| Nº                                                  | PROJEÇÃO CENÁRIO | ATUAL    |          | Projeção 1 |          |          | Projeção 2 |          |          | Projeção 3 |         |         |         |
|                                                     |                  | 2.6      | 4.5      | 6.0        | 8.5      | 2.6      | 4.5        | 6.0      | 8.5      | 2.6        | 4.5     | 6.0     | 8.5     |
| 1                                                   | Arinos           | C1sA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a'    | B1rA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a'    | C1dA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a'    | C1dA'a' | C1dA'a' | DdA'a'  |
| 2                                                   | Formoso          | C2wA'a'  | C1sA'a'  | C1sA'a'    | C1sA'a'  | C1sA'a'  | C1dA'a'    | C1dA'a'  | C1dA'a'  | C1sA'a'    | C1dA'a' | C1dA'a' | C1dA'a' |
| 3                                                   | João Pinheiro    | B1wA'a'  | C2sA'a'  | C2wA'a'    | C2wA'a'  | C2wA'a'  | C2wA'a'    | C2wA'a'  | C1sA'a'  | C2wA'a'    | C1sA'a' | C1sA'a' | C1sA'a' |
| 4                                                   | Paracatu         | B1wA'a'  | C2wA'a'  | C2wA'a'    | C2wA'a'  | C2wA'a'  | C2wA'a'    | C2wA'a'  | C2wA'a'  | C2wA'a'    | C2wA'a' | C1sA'a' | C1sA'a' |
| 5                                                   | Unaí             | C2wA'a'  | C1sA'a'  | C2wA'a'    | C1sA'a'  | C1sA'a'  | C1sA'a'    | C1sA'a'  | C1sA'a'  | C1sA'a'    | C1sA'a' | C1dA'a' | C1dA'a' |
| VIII – REGIÃO NORTE DE MINAS GERAIS                 |                  |          |          |            |          |          |            |          |          |            |         |         |         |
| Nº                                                  | PROJEÇÃO CENÁRIO | ATUAL    |          | Projeção 1 |          |          | Projeção 2 |          |          | Projeção 3 |         |         |         |
|                                                     |                  | 2.6      | 4.5      | 6.0        | 8.5      | 2.6      | 4.5        | 6.0      | 8.5      | 2.6        | 4.5     | 6.0     | 8.5     |
| 1                                                   | Espinosa         | DdA'a'   | DdA'a'   | -          | -        | -        | -          | -        | -        | -          | -       | -       | -       |
| 2                                                   | Januária         | C1dA'a'  | DdA'a'   | DdA'a'     | DdA'a'   | DdA'a'   | DdA'a'     | DdA'a'   | DdA'a'   | DdA'a'     | DdA'a'  | DdA'a'  | DdA'a'  |
| 3                                                   | Moçambinho       | DdA'a'   | DdA'a'   | DdA'a'     | DdA'a'   | DdA'a'   | DdA'a'     | DdA'a'   | DdA'a'   | DdA'a'     | DdA'a'  | -       | DdA'a'  |
| 4                                                   | Monte Azul       | DdA'a'   | DdA'a'   | DdA'a'     | DdA'a'   | DdA'a'   | -          | -        | -        | -          | -       | -       | -       |
| 5                                                   | Montes Claros    | C1sA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a'    | C1sA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a'    | C1dA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a'    | C1dA'a' | DdA'a'  | DdA'a'  |
| 6                                                   | Pirapora         | C1sA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a'    | C1dA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a'    | C1dA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a'    | C1dA'a' | DdA'a'  | DdA'a'  |
| 7                                                   | Salinas          | C1dA'a'  | DdA'a'   | DdA'a'     | DdA'a'   | DdA'a'   | DdA'a'     | DdA'a'   | DdA'a'   | DdA'a'     | DdA'a'  | -       | -       |
| IX – REGIÃO DO JEQUITINHONHA/MUCURI DE MINAS GERAIS |                  |          |          |            |          |          |            |          |          |            |         |         |         |
| Nº                                                  | PROJEÇÃO CENÁRIO | ATUAL    |          | Projeção 1 |          |          | Projeção 2 |          |          | Projeção 3 |         |         |         |
|                                                     |                  | 2.6      | 4.5      | 6.0        | 8.5      | 2.6      | 4.5        | 6.0      | 8.5      | 2.6        | 4.5     | 6.0     | 8.5     |
| 1                                                   | Carbonita        | C2wB'4a' | C1sA'a'  | C1sA'a'    | C1sA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a'    | C1dA'a'  | C1dA'a'  | C1dA'a'    | C1dA'a' | C1dA'a' | DdA'a'  |
| 2                                                   | Itamarandiba     | C2wB'3a' | C2wB'4a' | C2wB'4a'   | C2wB'4a' | C2wB'4a' | C2wB'4a'   | C2wB'4a' | C1sA'a'  | C2wB'4a'   | C1sA'a' | C1dA'a' | C1dA'a' |
| 3                                                   | Pedra Azul       | C1dA'a'  | DdA'a'   | DdA'a'     | DdA'a'   | DdA'a'   | DdA'a'     | DdA'a'   | DdA'a'   | DdA'a'     | DdA'a'  | DdA'a'  | DdA'a'  |
| X – REGIÃO DO RIO DOCE DE MINAS GERAIS              |                  |          |          |            |          |          |            |          |          |            |         |         |         |
| Nº                                                  | PROJEÇÃO CENÁRIO | ATUAL    |          | Projeção 1 |          |          | Projeção 2 |          |          | Projeção 3 |         |         |         |
|                                                     |                  | 2.6      | 4.5      | 6.0        | 8.5      | 2.6      | 4.5        | 6.0      | 8.5      | 2.6        | 4.5     | 6.0     | 8.5     |
| 1                                                   | Aimorés          | DdA'a'   | DdA'a'   | DdA'a'     | DdA'a'   | DdA'a'   | -          | -        | -        | -          | -       | -       | -       |
| 2                                                   | Caratinga        | C2rB'4a' | C2wA'a'  | C2wA'a'    | C2wA'a'  | C2wA'a'  | C1sA'a'    | C1sA'a'  | C1dA'a'  | C2wA'a'    | C1sA'a' | C1dA'a' | C1dA'a' |