



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
INSTITUTO DE RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO
NÚMERO DE HORAS DE FRIO PARA MINAS
GERAIS: COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS
GLOBAIS E REGIONAIS**

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO

Rayan Reis Miranda Leite

Itajubá, MG, Brasil

2018

IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO NÚMERO DE HORAS DE FRIO PARA MINAS GERAIS: COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS GLOBAIS E REGIONAIS

por

Rayan Reis Miranda Leite

Monografia apresentada à comissão examinadora Programa de
Graduação em Ciências Atmosféricas da Universidade Federal
Itajubá (UNIFEI, MG), como requisito parcial para obtenção do grau
de
Bacharel em Ciências Atmosféricas.

Orientadora: Fabrina Bolzan Martins
Coorientadora: Michelle Simões Reboita

Itajubá, MG, Brasil
2018

**Universidade Federal de Itajubá
Instituto de Recursos Naturais
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Monografia

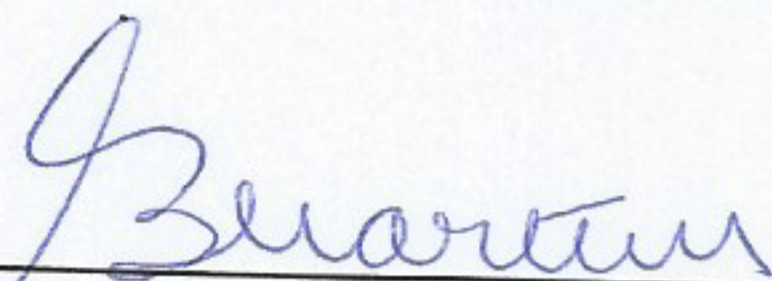
**IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO NÚMERO DE HORAS
FRIO PARA MINAS GERAIS: COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS
GLOBAIS E REGIONAIS**

elaborada por

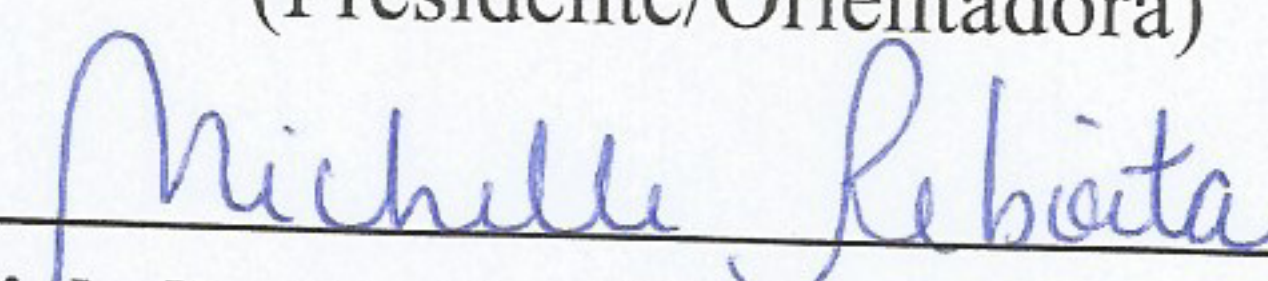
Rayan Reis Miranda Leite

Como requisito parcial para a obtenção do grau de
Bacharel em Ciências Atmosféricas

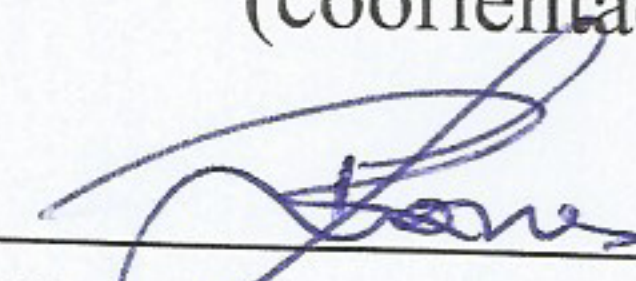
Comissão Examinadora:



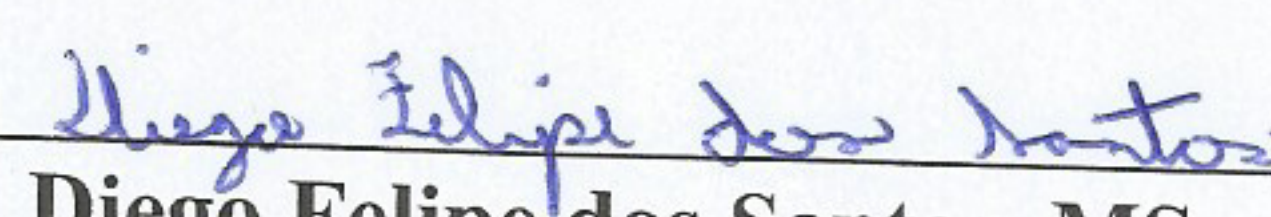
Fabrina Bolzan Martins, Dr^a. (UNIFEI)
(Presidente/Orientadora)



Michelle Simões Reboita, Dr^a. (UNIFEI)
(coorientadora)



Roger Rodrigues Torres, Dr. (UNIFEI)



Diego Felipe dos Santos, MSc. (Agrosmart)

Itajubá, 20 de novembro de 2018.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser meu guia e refúgio.

A Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) e ao Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas pela oportunidade concedida.

A minha mãe e meu irmão, por todo amor e apoio incondicional.

A minha orientadora, Dr^a Fabrina pelos conhecimentos transmitidos, conselhos, paciência e principalmente por ter acreditado em mim.

A Dr^a Michelle pela orientação, paciência e exemplo profissional.

A Dr^a Sâmia pelo conselho dado a mim ao final do primeiro ano de curso, pois sem ele, provavelmente não teria chegado até aqui.

Aos amigos Bruna, Diego e Vitor pela imensurável ajuda na realização desse TFG.

Aos professores Alexandre, Arcilan, Enrique, Marcelo, Roger, Vanessa pelos conhecimentos transmitidos.

Aos amigos de curso Lara, Thales, Raniele, Jéssica, Eduardo, Mateus, Robson, Kelvem, Pedro, Melissa, Brenda, Camila, Alice, Aline, Larissa e Lorena pelos momentos de felicidade e tristeza que passamos juntos.

As grandes amigas da vida Beatriz, Carla e Thais pelos momentos de risadas e desabafos.

Ao Dr. Pedro e a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) pelo estágio concedido.

Por fim, agradeço a todos familiares e amigos que de alguma forma me ajudaram ao longo dessa jornada.

Ao meu pai, Luiz (in memoriam) e
a minha tia, Isabel (in memoriam),
Dedico.

“... Isso significa que seu futuro ainda não foi escrito, o de ninguém foi.
Seu futuro será o que você quiser, então faça dele algo bom.”
Dr. Emmett Brown

RESUMO

Monografia de Graduação
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Itajubá, MG, Brasil

IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO NÚMERO DE HORAS DE FRIO PARA MINAS GERAIS: COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS GLOBAIS E REGIONAIS

AUTOR (A): RAYAN REIS MIRANDA LEITE
ORIENTADORA: FABRINA BOLZAN MARTINS
Local e Data da Defesa: Itajubá, 20 de novembro de 2018.

As projeções das mudanças climáticas indicam que a temperatura do ar pode aumentar até 5 °C, no norte de Minas Gerais. Tal alteração traz como consequência, prejuízos ao desenvolvimento, crescimento e produtividade das culturas agrícolas e florestais. Desta forma, torna-se necessária a realização de estudos que analisem os potenciais impactos das mudanças climáticas no desenvolvimento de espécies anuais e perenes, em cenários de mudanças climáticas, especialmente nas frutíferas de clima temperado e nas espécies florestais criófilas que dependem da disponibilidade e acúmulo de frio invernal. Nesse sentido, objetivo desse estudo foi avaliar o impacto das mudanças climáticas no número de horas de frio (NHF) em Minas Gerais, considerando as simulações para o período histórico (PH, 1981-2005), e as projeções para o futuro próximo (FP, 2021-2049) e futuro distante (FD, 2071-2099) de modelos globais e regional. Foram utilizados dados de 48 estações meteorológicas convencionais para o cálculo do NHF observado (PP, 1981-2015), bem como o *ensemble* de 21 modelos climáticos globais (MCGs) integrantes do CMIP5 e o *ensemble* do modelo climático regional (MCR) RegCM4 aninhado a 3 MCGs: HadGEM2-ES, GFDL-ESM2M e MPI-ESM-MR. Para a estimativa do NHF foi utilizado o método proposto por Pola e Angelocci (1993). O *ensemble* dos MCGs subestimou o NHF observado, enquanto que o do MCR superestimou. O MCG apresentou melhor desempenho do que o MCR na simulação do NHF acumulado.

Palavras-chave: Modelo climático global, modelo climático regional, número de horas de frio.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização das estações meteorológicas convencionais utilizadas no estudo.....	4
Figura 2. Climatologia anual do número de horas de frio (NHF) para os dados observados (a, b, c), <i>ensemble</i> dos 21 MCGs (d, e, f) e <i>ensemble</i> dos três MCRs (g, h, i) considerando o período histórico (PH, 1981-2005) para Minas Gerais, para a temperatura base (Tb) de 7 °C (a, d, g), 9,5 °C (b, e, h) e 13 °C (c, h, i).....	11
Figura 3. Diferença entre o <i>ensemble</i> dos 21 MCGs (a, b e c) e a climatologia anual do número de horas de frio observado, <i>ensemble</i> dos três MCRs (d, e, f) e observado para Minas Gerais; período de 1980 a 2005, considerando três valores de temperatura base (Tb) - 7 °C (a e d), 9,5 °C (b e e) e 13 °C (c e f). A escala dos painéis está diferenciada entre os valores de Tb.....	12
Figura 4. Comparação de médias para a variável número de horas de frio anual (NHFa) observado, <i>ensemble</i> dos 21 MCGs (a, b e c) e <i>ensemble</i> dos três MCRs para Minas Gerais; período de 1981-2005, para as temperaturas base (Tb) de 7 °C (a), 9,5 °C (b) e 13 °C (c).....	14
Figura 5. Climatologia anual do número de horas de frio (NHF) para os dados observados (PP, 1981-2015) (a, b, c), <i>ensemble</i> dos 21 MCGs (FP, 2021-2049) (d, e, f) e (FD, 2071-2099) (j, k, l), <i>ensemble</i> dos três MCRs (FP, 2021-2049) (g, h, i) e (FD, 2071-2099) para Minas Gerais, para a temperatura base (Tb) de 7 °C (a, d, g, j, m), 9,5 °C (b, e, h, k, n) e 13 °C (c, f, i, l, o).....	16
Figura 6. Diferença entre <i>ensemble</i> dos 21 MCGs e <i>ensemble</i> dos três MCRs para Minas Gerais; período FP (2021-2049) (a, b, c) e FD (2071-2049) (d, e, f), considerando as Tb's de 7 °C (a e d), 9,5 °C (b e e) e 13 °C (c e f). A escala dos painéis está diferenciada entre os valores de Tb.....	17

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estações meteorológicas convencionais: latitude, longitude, altitude e anos com dados válidos.	4
Tabela 2. Teste de comparação de médias de Tukey para as Tbs 7 °C, 9,5 °C e 13 °C, no período de 1981-2005.....	13
Tabela 3. Porcentagem do número de horas de frio, considerando três temperaturas base (7 °C, 9,5 °C e 13 °C), para os PH (1981-2005), FP (2021-2049) e FD (2071-2099).....	18

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ANOVA - Análise de variância

BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa

CMIP5 - *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5*

CO₂- Dióxido de carbono

EMC - Estações meteorológicas convencionais

FC - Espécies florestais criófilas

FD - Futuro distante

FP - Futuro próximo

FCT - Frutíferas de clima temperado

GrADS - *Grid Analysis and Display System*

HF - Horas de frio

ICTP - *Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics*

INMET - *Intergovernmental Panel on Climate Change*

IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*

MG - Minas Gerais

MCG - Modelo de circulação geral

MCR - Modelo climático regional

NEX-GDDP - *The NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projection*

NHF - Número de horas de frio

NHFaa - Número de horas de frio acumulado anual

PH - Período histórico

PIB - Produto interno bruto

PP - Período presente

RCP - *Representative Concentration Pathways*

RegCM4 - *Regional Climate Model 4*

T - Tratamentos

Tb - Temperatura base

TFG - Trabalho Final de Graduação

Tm - Temperatura mínima do dia

TM - Temperatura máximo do ar

TM1 - Temperatura máxima do dia anterior

TM2 - Temperatura máxima do dia

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. DADOS E METODOLOGIA	4
2.1. ÁREA DE ESTUDO E DESCRIÇÃO DOS DADOS OBSERVADOS	4
2.2. PROJEÇÕES CLIMÁTICAS	5
2.3. ESTIMATIVA DO NÚMERO DE HORAS DE FRIO OBSERVADO	6
2.4. PROJEÇÕES DO NÚMERO DE HORAS DE FRIO	8
2.5. COMPARAÇÃO ENTRE MODELO GLOBAL E REGIONAL	8
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	10
4. CONCLUSÕES.....	21
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS GERAIS	22
ANEXOS	27

1. INTRODUÇÃO

O estado de Minas Gerais (MG) apresenta grande variabilidade climática espacial e temporal. Isso pode ser intensificado pelo aumento da temperatura do ar e do dióxido de carbono (CO_2) projetados pelos modelos climáticos. De acordo com Santos et al. (2017a) esse aumento deve ocorrer principalmente na primavera, chegando até 5 °C para o norte de Minas Gerais, até o final do século XXI (SANTOS et al., 2017a). Tais alterações poderão afetar a economia, uma vez que cerca de 30% do produto interno bruto de MG é dependente do setor agrícola (MARTINS et al., 2018), sendo o setor mais vulnerável às mudanças climáticas (CUNHA e REIS, 2013).

De maneira geral, mudanças no clima conduzem a prejuízos ao desenvolvimento, crescimento e produtividade das culturas agrícolas e florestais (TAVARES et al., 2018; TIRONI et al., 2017; WALTER et al., 2014), visto que, a temperatura é a variável meteorológica que mais influencia o desenvolvimento e crescimento das plantas, enquanto o CO_2 é o principal substrato da fotossíntese, afetando diretamente a taxa de crescimento da planta e a duração dos estágios fenológicos (TAIZ e ZEIGER, 2013; TANASIJEVIC et al., 2014). Em teoria, as plantas C3, que representam a maioria das espécies terrestres, deveriam ser beneficiadas com o aumento de CO_2 , pois são plantas altamente dependentes de CO_2 atmosférico por possuir a enzima ribulose 1-5 bifosfato carboxilase-oxigenase (rubisco) (MARENCO e LOPES, 2009; TAIZ e ZEIGER, 2013). Por outro lado, o aumento da temperatura do ar pode não significar um aumento de produtividade, e sim uma redução da qualidade do fruto e uma queda de rendimento, causado principalmente pelo encurtamento acelerado do ciclo da planta e do aumento da respiração de manutenção (MARENCO; LOPES, 2009; TAIZ e ZEIGER, 2013). Desta forma, torna-se necessária a realização de estudos que analisem os potenciais impactos das mudanças climáticas no desenvolvimento de espécies anuais e perenes, em cenários de mudanças climáticas (IPCC, 2013; WALTER et al., 2014) especialmente as frutíferas de clima temperado (FCT) e as espécies florestais criófilas (FC) que dependem da disponibilidade e acúmulo de frio invernal (TANASIJEVIC et al., 2014; MORIONDO et al., 2015; WREGE et al., 2016; SANTOS et al., 2017a).

O frio invernal é quantificado através de unidades e/ou número de horas de frio (NHF), que consiste na contabilização do tempo, em horas, que a temperatura do ar permanece abaixo de determinada temperatura base (T_b), sendo variável para cada espécie, cultivar e variedade (HELDWEIN et al., 1989, 2000; LUEDELING, 2012). Os limiares de T_b mais utilizados para a qualificação do NHF são 7 °C para as mais exigentes em frio, 9,5 °C

para aquelas de exigência intermediária e 13 °C para as menos exigentes (ANGELOCCI et al., 1979; HELDWEIN et al., 1989; PEDRO JÚNIOR et al., 1979; POLA; ANGELOCCI, 1993, PANTANO et al., 2012; SANTOS, 2018). O NHF é uma exigência das FCT e das FC as quais necessitam acumular determinada quantidade de NHF para sair do período de dormência, iniciar um novo ciclo de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo, com brotação e florescimento normal (ALVARENGA et al., 2002). A exposição a baixas temperaturas estimula as atividades bioquímicas e a concentração de hormônios, os quais mobilizam carboidratos que favorecem a brotação das gemas vegetativas e floríferas (ALMEIDA; ANTUNES, 2012; ALVARENGA et al., 2002; WREGE et al., 2016).

O NHF requerido pelas FCT e FC varia entre espécies, cultivares e variedades (HELDWEIN et al., 2000) e caso ocorra insuficiência no acúmulo de NHF, as FCT e as FC podem manifestar uma série de anomalias fisiológicas e fenológicas, resultando na queda das gemas frutíferas, atraso, irregularidade ou não ocorrência da brotação e floração (HELDWEIN et al., 1989; SANTOS et al., 2017a), o que afeta e inviabiliza o cultivo dessas culturas em uma determinada região (GARCIA et al., 2018). Devido à dificuldade em obter o dado observado de NHF, utiliza-se comumente sua obtenção indireta através de métodos analíticos (SANTOS et al., 2017b).

As regiões centro-oeste e sul de Minas Gerais apresentam condições favoráveis ao acúmulo de frio (GARCIA et al., 2018) e possuem áreas com produção de algumas FCT como: marmelo (18 ha), figo (202 ha), oliveira (216 ha) e pêssago (572 ha) (IBGE, 2017). No entanto, devido às alterações nos padrões climáticos principalmente da temperatura do ar (MARTINS et al., 2018; SANTOS et al., 2017a), poderá ocorrer redução do NHF com prejuízos fenológicos e fisiológicos (ORLANDI et al., 2013; TANASIJEVIC et al., 2014; MORIONDO et al., 2015) e decréscimo da área ou inaptidão ao plantio das FCT e FC no estado (SANTOS et al., 2017a).

A fim de se obter projeções de NHF em cenários de mudanças climáticas, pode-se utilizar projeções climáticas oriundas de duas categorias de modelos climáticos: os globais (MCG) e os regionais (MCR). Os MCGs são utilizados para simular a atmosfera global e utiliza uma resolução horizontal mais grosseira do que os MCRs (GIORGI e MEARNs, 1991; AMBRIZZI et al., 2018). Além disso, possuem parametrizações físicas que muitas vezes não permitem a representação de circulações de mesoescala. Por outro lado, os MCRs possuem melhor resolução horizontal, de aproximadamente 25-50 km, e parametrizações físicas mais adequadas para resolver processos atmosféricos em mesoescala, possibilitando uma melhor

representação do clima local (CUADRA e DA ROCHA, 2006; LLOPART et al., 2017; REBOITA et al., 2018) do que os MCGs.

Como no Brasil, ainda não há estudos que avaliem o desempenho dos MCGs e MCRs em simular a variável NHF em FCT e FC, especialmente em Minas Gerais, este torna-se o objetivo deste trabalho final de graduação (TFG). Dessa forma, será avaliado o impacto das mudanças climáticas no NHF em (MG), considerando as simulações do período histórico (PH, 1981-2005) e projeções para o futuro próximo (FP, 2021-2049) e futuro distante (FD, 2071-2099) de modelos climáticos globais e regionais, considerando um cenário de altas emissões de gases de efeito estufa.

2. DADOS E METODOLOGIA

2.1. Área de estudo e descrição dos dados observados

Foram utilizados dados diários de temperatura mínima (Tm) e máxima do ar (TM) (°C) obtidos de 48 estações meteorológicas convencionais (EMC) disponíveis no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (Figura 1 e Tabela 1). O período de dados observados das EMC é denominado de período presente (PP) e estende-se entre maio a setembro de 1981 a 2015 (SANTOS et al., 2017b). Destaca-se, que anos com mais de 5% de dados faltantes, entre maio a setembro, foram desconsiderados no cálculo da média climatológica do NHF (SANTOS et al., 2017b).

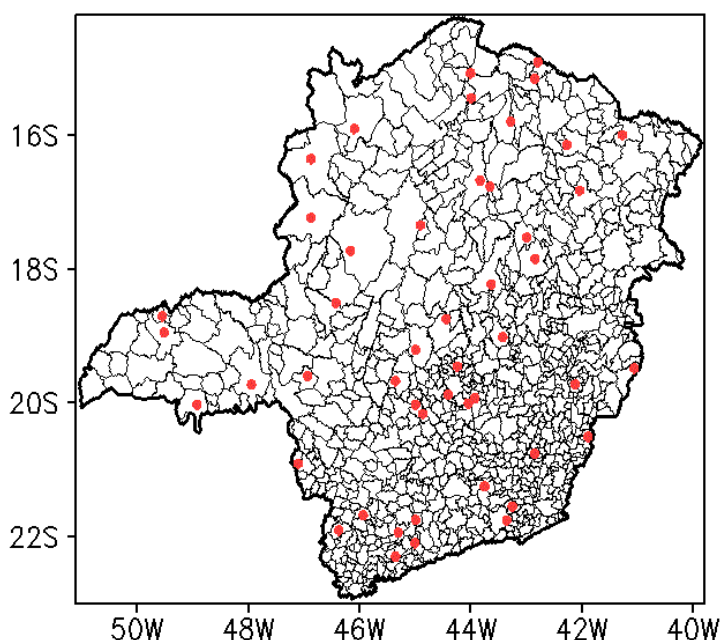


Figura 1. Localização das estações meteorológicas convencionais utilizadas no estudo.

Tabela 1. Estações meteorológicas convencionais: latitude, longitude, altitude e número de anos com dados considerados válidos.

Estações	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Anos Válidos
Aimorés	-19,49	-41,07	82,74	24
Araçuaí	-16,83	-42,05	289,00	25
Araxá	-19,60	-46,94	1023,61	27
Arinos	-15,91	-46,10	519,00	26
Bambuí	-20,03	-45,00	661,27	19
Barbacena	-21,25	-43,76	1126,00	21
Belo Horizonte	-19,93	-43,93	915,00	28
Bom Despacho	-19,68	-45,36	695,00	25

Caparaó	-20,51	-41,90	843,18	18
Capinópolis	-18,71	-49,55	620,60	22
Caratinga	-19,73	-42,13	609,65	24
Carbonita	-17,53	-43,00	736,38	28
Conceição do Mato Dentro	-19,02	-43,43	652,00	21
Coronel Pacheco	-21,55	-43,26	435,00	20
Curvelo	-18,75	-44,45	672,00	22
Diamantina	-18,23	-43,64	1296,12	19
Divinópolis	-20,17	-44,87	788,35	17
Espinosa	-14,91	-42,80	569,64	21
Florestal	-19,88	-44,41	760,00	15
Frutal	-20,03	-48,93	543,67	18
Ibirité	-20,01	-44,05	814,54	14
Itamarandiba	-17,85	-42,85	914,00	22
Ituiutaba	-18,95	-49,52	560,00	23
Janaúba	-15,80	-43,29	516,00	21
Januária	-15,45	-44,00	473,71	24
João Pinheiro	-17,73	-46,17	760,36	20
Juiz de Fora	-21,76	-43,36	939,96	21
Juramento	-16,77	-43,66	648,00	18
Lambari	-21,94	-45,31	878,45	17
Lavras	-21,75	-45,00	918,84	28
Machado	-21,68	-45,94	873,35	23
Maria da Fé	-22,31	-45,37	1276,33	14
Mocambinho	-15,08	-44,01	452,00	19
Monte Azul	-15,16	-42,86	625,00	24
Montes Claros	-16,68	-43,84	652,00	24
Paracatu	-17,24	-46,88	712,00	26
Patos de Minas	-18,51	-46,43	940,28	26
Pedra Azul	-16,00	-41,28	648,91	23
Pirapora	-17,35	-44,91	505,24	26
Poços de Caldas	-21,91	-46,38	1150,00	23
Pompeu	-19,21	-45,00	690,91	25
Salinas	-16,15	-42,28	471,32	29
São Lourenço	-22,10	-45,01	953,20	26
São Sebastião do Paraíso	-20,91	-47,11	820,00	19
Sete Lagoas	-19,46	-44,25	732,00	25
Uberaba	-19,73	-47,95	737,00	23
Unaí	-16,36	-46,88	460,00	29
Viçosa	-20,76	-42,86	712,20	23

2.2. Projeções climáticas

Foram utilizados dados diários de Tmin e Tmax, de maio a setembro, de projeções oriundas dos MCGs e MCRs. Sendo adotados os seguintes períodos de estudo: histórico (PH)

(1981-2005), futuro próximo (FP) (2021-2049) e futuro distante (FD) (2071-2099). Com o cenário forçante do RCP 8.5 nas projeções de clima futuro, que corresponde ao cenário com forçante radiativa mais intensa (MOSS et al., 2010).

Na categoria dos MCGs foram utilizadas as projeções de 21 modelos globais regionalizados integrantes do *The NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections* (NEX-GDDP) (THRASHER et al., 2012), que derivam das projeções climáticas do conjunto de Modelos do Sistema Terrestre integrantes do *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5) (analisados no 5º relatório do IPCC - AR5), fornecidas pelo *Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison* e disponibilizados pelo *Earth System Grid data portal* (TAYLOR et al., 2012; SANTOS, 2018). Os 21 MCGs foram: ACCESS1-0, BCC-CSM1-1, BNU-ESM, CanESM2, CCSM4, CESM1-BGC, CNRM-CM5, CSIRO-Mk3-6-0, GFDL-CM3, GFDL-ESM2G, GFDL-ESM2M, INMCM4, IPSL-CM5A-LR, IPSL-CM5A-MR, MIROC-ESM, MIROC-ESM-CHEM, MIROC5, MPI-ESM-LR, MPI-ESM-MR, MRI-CGCM3 e NorESM1-M.

Na categoria do MCR foram utilizadas três projeções do RegCM4, que é um modelo climático de área limitada, compressível e em coordenada vertical sigma-pressão. O RegCM4 foi aninhado aos MCGs: HadGEM2-ES, GFDL-ESM2M e MPI-ESM-MR. Detalhes dessas projeções podem ser encontrados em Reboita et al. (2018).

2.3. Estimativa do número de horas frio observado

A estimativa do NHF foi realizada pelo método analítico de Pola e Angelocci (1993), que é capaz de estimar o NHF diário para qualquer valor de T_b , utilizando variáveis de fácil medição e maior disponibilidade nas estações meteorológicas (T_m e TM) (SANTOS et al., 2017b).

O método de Pola e Angelocci (1993) baseia-se na reconstrução da curva diária da temperatura do ar, através de duas funções senoidais: uma de resfriamento ($Tr(t)$) (Equação 1) e uma de aquecimento ($Ta(t)$) (Equação 2) ambas calculadas em intervalos de 1h:

$$Tr(t) = TM1 + (Tm - TM1) \cdot \sin \left[\frac{\pi}{2} \cdot \frac{(t - t_{M1})}{(t_m - t_{M1})} \right] \quad (1)$$

$$Ta(t) = Tm + (TM2 - Tm) \cdot \sin \left[\frac{\pi}{2} \cdot \frac{(t - t_m)}{(t_{M2} - t_m)} \right] \quad (2)$$

em que: $Tr(t)$ é a temperatura estimada no tempo t durante o resfriamento diário aplicada no intervalo de tempo entre a temperatura máxima do ar do dia anterior ($TM1$, °C) e a

temperatura mínima do ar do dia (T_m , °C); t é o tempo (h) que varia de $TM1$ a T_m , isto é, $0 \leq t \leq 16$; $Ta(t)$ é a temperatura estimada no tempo t durante o aquecimento diário aplicada no intervalo de tempo da T_m à temperatura máxima do dia ($TM2$, °C) e t é o tempo (h) que varia de T_m a $TM2$, isto é, $16 \leq t \leq 24$.

Considerando um período de 24 horas compreendido entre as TM de dois dias consecutivos ($TM1$ e $TM2$), temos que a $TM1$ ocorre no tempo inicial ($TM1=0h$), a T_m ocorre no tempo decorrido das 15h do dia anterior até às 7h do dia ($T_m=16h$) e a $TM2$ ocorre no tempo decorrido das 7h ($T_m=16h$) até às 15h do dia em questão ($TM2=24h$). As funções de resfriamento e aquecimento foram calculadas em intervalos de 1h, sendo possível detectar o momento exato, no tempo, em que a temperatura do ar é igual à T_b (SANTOS et al., 2017b).

Dessa forma pode-se estimar o NHF considerando 5 casos:

$$NHF = \begin{cases} 0, TM1 > T_b; TM2 > T_b; T_m > T_b \\ 24, TM1 < T_b; TM2 < T_b \\ tz - ta, TM1 > T_b; TM2 < T_b; T_m < T_b \\ tz - t_{M1}, TM1 \leq T_b; TM2 > T_b; T_m < T_b \\ t_{M2} - ta, TM1 > T_b; TM2 \leq T_b \end{cases} \quad (3)$$

em que: T_m =temperatura mínima, $TM1$ =temperatura máxima do dia anterior, $TM2$ =temperatura máxima, T_b =temperatura-base, Ta =tempo t em que $Tr(t)$ decai ou iguala-se a T_b e Tz =tempo t em que a $Ta(t)$ supera ou iguala-se a T_b .

Neste estudo foram considerados três valores de T_b : 7 °C, 9,5 °C e 13 °C. Os valores de 7 °C e 13 °C foram escolhidos em função do uso frequente na determinação do NHF e por serem descritos como limites necessários à superação da dormência em FCT mais exigentes e pouco exigentes em frio, respectivamente (ANGELOCCI et al., 1979; BURRIOL et al., 2000; HELDWEIN et al., 2000). O valor de 9,5 °C foi utilizado como limite para as culturas que apresentam exigência média em frio (MARTINS et al., 2012; SOUZA; MARTINS, 2014).

O NHF foi calculado diariamente considerando somente os meses de maio a setembro, que correspondem aos meses de ocorrência de frio invernal (WREGE et al., 2016; SANTOS et al., 2017b) para todo o PP, e posteriormente foram acumulados para valores anuais (NHF_{PP}). Por fim, determinou-se a média climatológica de NHF acumulado anual (NHF_{aa}) para o PP ($\overline{NHF_{PP}}$), o qual representa a quantidade média de NHF registrada nos anos observados (1981-2015):

$$\overline{NHF_{PP}} = \frac{\sum_{i=1}^n NHF_{PP}}{n} \quad (4)$$

em que: n é o número de anos do período e NHF_{PP} é o número de horas de frio (para as Tbs de 7 °C, 9,5 °C e 13 °C) acumulado anual do i -ésimo ano (horas).

2.4. Projeções do número de horas de frio

Para as projeções de clima futuro considerando os MCGs, obteve-se primeiramente pelo método de Pola e Angelocci (1993) o NHF médio anual (para a Tb= 7°C, 9,5°C e 13 °C) para os 48 pontos de grade mais próximos das estações meteorológicas, e para cada um dos 21 MCGs para o PH, FP e FD. A partir disso, obteve-se a média do NHF médio anual dos 21 MCGs, denominado *ensemble*, para PH ($\overline{NHF_{PH}}$), FP ($\overline{NHF_{FP}}$) e FD ($\overline{NHF_{FD}}$).

As projeções de mudanças foram obtidas a partir da diferença (Δ) entre as médias climatológicas do NHF das projeções futuras ($\overline{NHF_{FP}}$ e $\overline{NHF_{FD}}$) e o $\overline{NHF_{PH}}$ dos modelos e para cada um dos 48 pontos grades mais próximos as EMC. Posteriormente, essas diferenças (Δ) de NHF médio anual foram adicionadas ao $\overline{NHF_{PP}}$, resultando alterações no NHF conforme:

$$\overline{NHF_{\Delta F}} = \Delta NHF_F + \overline{NHF_{PP}} \quad (5)$$

em que: F é o período futuro (FP ou FD) considerando o cenário forçante RCP 8.5, $\overline{NHF_{\Delta F}}$ é a média climatológica do NHF anual para o cenário forçante futuro (horas.ano⁻¹).

Já as projeções de clima futuro considerando o MCR foi realizada de maneira análoga aos MCGs, porém nesse caso, para três projeções do RegCM4.

Os resultados obtidos foram especializados utilizando o método *Ordinary Kriging* (CRESSIE, 1988; WICKHAM, 2014) implementado no software R versão 3.4.1 (R CORE TEAM, 2017). O método de Kriging foi selecionado por ser o mais adequado na transformação de dados dispersos para uma grade regular (CHEN; KNUTSON, 2008; JONES, 1999; SANTOS, 2018).

2.5. Comparação entre modelo global e regional

Os dados de NHF acumulado anual (NHF_{aa}) das 48 estações considerando o PH (1981-2005) dos dados observados e dos modelos MCGs e MCR foram submetidos à análise

de variância (ANOVA) seguida de comparação de médias pelo teste Tukey ($\alpha=0,05$) (STORCK et al., 2011), a fim de verificar o desempenho dos MCGs e MCR e se há diferença entre os modelos em simular o NHFaa.

Para proceder a ANOVA, os dados de NHFaa foram analisados segundo o delineamento inteiramente casualizado, em três tratamentos (T), sendo T1 o NHFaa observado do PP (1981-2005), T2 = NHFaa do PH dos 21 MCGs e T3 = NHFaa dos 3 MCR com repetições variando de acordo com o número de anos válidos (Tabela 1). Os testes foram feitos no software SISVAR versão 5.3 (FERREIRA, 2011; SANTOS et al., 2017b).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve diferenças na simulação do NHF entre o *ensemble* dos MCGs e do MCR considerando o PH (1981-2005) e NHF observado do PP (1981-2005) para os três valores de T_b (Figura 2). De maneira geral, o MCG subestimou o NHF na $T_b=7\text{ }^{\circ}\text{C}$, limiar das FCT mais exigentes em frio, em torno de 180 horas frio (HF) (Figura 3), enquanto o MCR superestimou o NHF para a $T_b=13\text{ }^{\circ}\text{C}$, limiar das FCT menos exigentes em frio, em torno de 550 HF (Figura 3).

Para a T_b de $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Figuras 2a, 2d, 2g), tanto o MCG, quanto MCR subestimaram o NHF observado PP (1981-2005). Ambos os modelos tiveram dificuldade em simular os maiores valores acumulados de NHF na região sul de Minas Gerais, principalmente entre 150 e 300 HF. Devido a topografia elevada dessa região (REBOITA et al., 2015), essa região apresenta os menores valores de T_M (entre 23°C e 25°C) e T_m (entre 12°C e 14°C) (GARCIA et al., 2018), corroborando para o maior acúmulo de NHF nesta região. Por outro lado, o MCG apresentou melhor simulação nas regiões em que o acúmulo no NHF é menor, como nas regiões norte, noroeste, central e parte do triângulo mineiro. Tais regiões apresentam baixa altitude, fazendo com que ocorram os maiores valores de T_M (entre 30°C e 32°C) e T_m (19°C e 21°C) (GARCIA et al., 2018; REBOITA et al., 2015), o que desfavorece o acúmulo de NHF (WREGE et al., 2016).

Para a T_b de $9,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Figuras 2b, 2e, 2h), o MCR apresentou melhor simulação na região sul e oeste, para médio (150-300 HF) e elevado (≈ 450 HF) acúmulo de NHF. Assim como observado na simulação para $T_b=7^{\circ}\text{C}$, o MCR superestimou o NHF, principalmente na região norte, exatamente na região em que o MCG apresentou melhor simulação. Já para a T_b de $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Figuras 2c, 2f, 2i), o MCR superestimou o NHF observado em uma média de 300 HF em grande parte do estado, enquanto que o MCG apresentou melhor simulação, apesar da pequena subestimativa do NHF (≈ 150) no centro-sul do estado (Figura 3). A melhoria da simulação do NHF pelo MCR na região sul considerando a $T_b=9,5^{\circ}\text{C}$ deve-se ao fato da melhor acurácia do MCR em regiões de topografia complexa (REBOITA et al., 2018), somado à inconsistência nas simulações do MCG, devido a sua baixa resolução, que não consegue reproduzir características do relevo e vegetação.

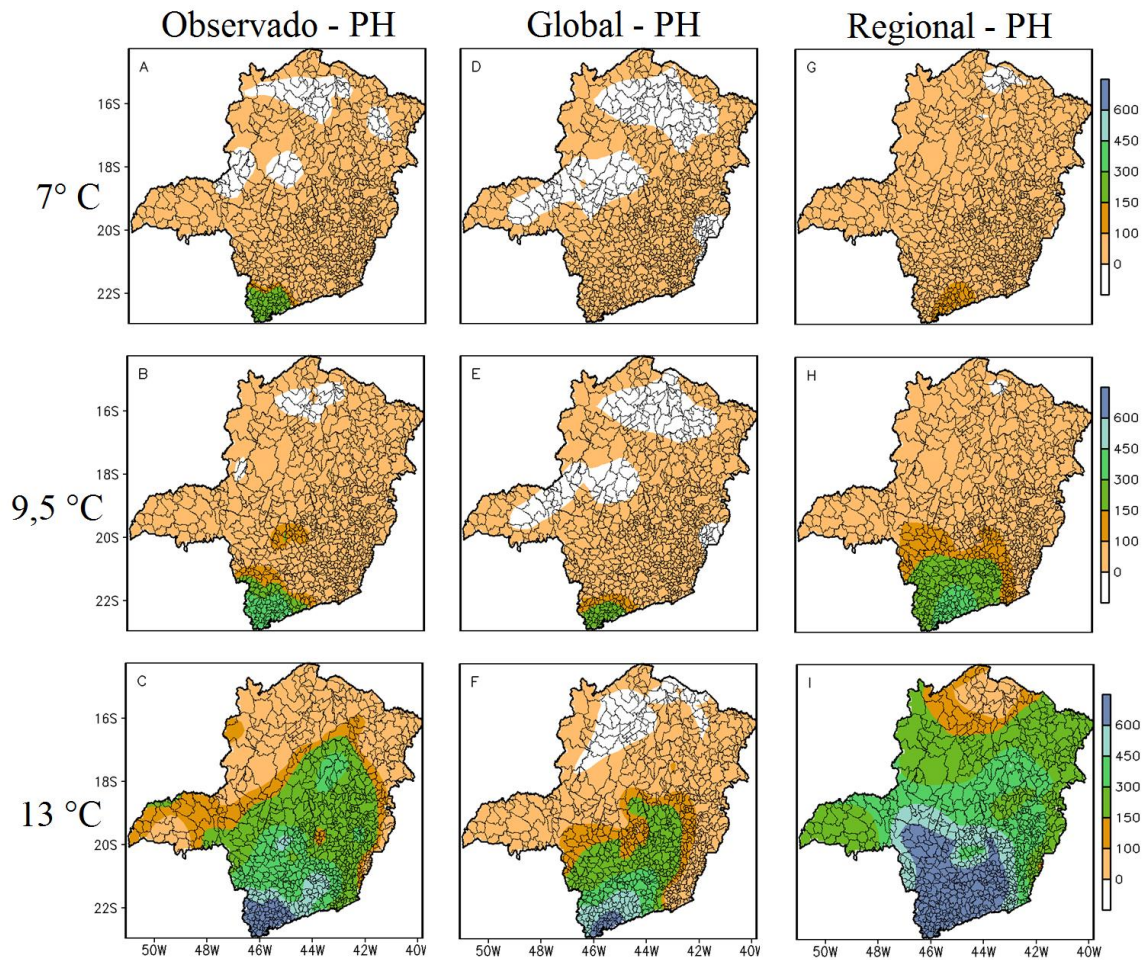


Figura 2. Climatologia anual do número de horas de frio (NHF) para os dados observados (a, b, c), *ensemble* dos 21 MCGs (d, e, f) e *ensemble* dos três MCRs (g, h, i) considerando o período histórico (PH, 1981-2005) para Minas Gerais, para a temperatura base (Tb) de 7 °C (a, d, g), 9,5 °C (b, e, h) e 13 °C (c, h, i).

Pela diferença entre a climatologia do NHFaa observado (PH, 1981-2005) e MCG, verifica-se, de maneira geral, subestimativa do MCG na maior parte de MG, nas três as Tb's (Figuras 3a, 3b e 3c), com destaque para a porção sul (Tb=7 °C), e as regiões centro-oeste (Tb=13 °C). Já o MCR apresentou tendência oposta ao MCG, de superestimativa do NHFaa nas três Tb's (Figuras 3d, 3e e 3f), principalmente no centro-sul do estado, chegando a valores ≈ 600 HF na Tb=13 °C (Figura 3f), exceto para o norte do estado na Tb=7 °C (Figura 3d).

Modelos que superestimam o NHF observado são menos recomendados que aqueles que subestimam, pois podem gerar uma resposta falso-positiva de ocorrência de horas frio quando na verdade a região apresenta uma quantidade menor de NHF, assim como informar falsamente a aptidão da região à introdução e cultivo de FCT. Tal resposta dificulta o planejamento, introdução e o estabelecimento dessas culturas (MORAIS e CARBONIERI, 2015; MAULIÓN et al., 2014).

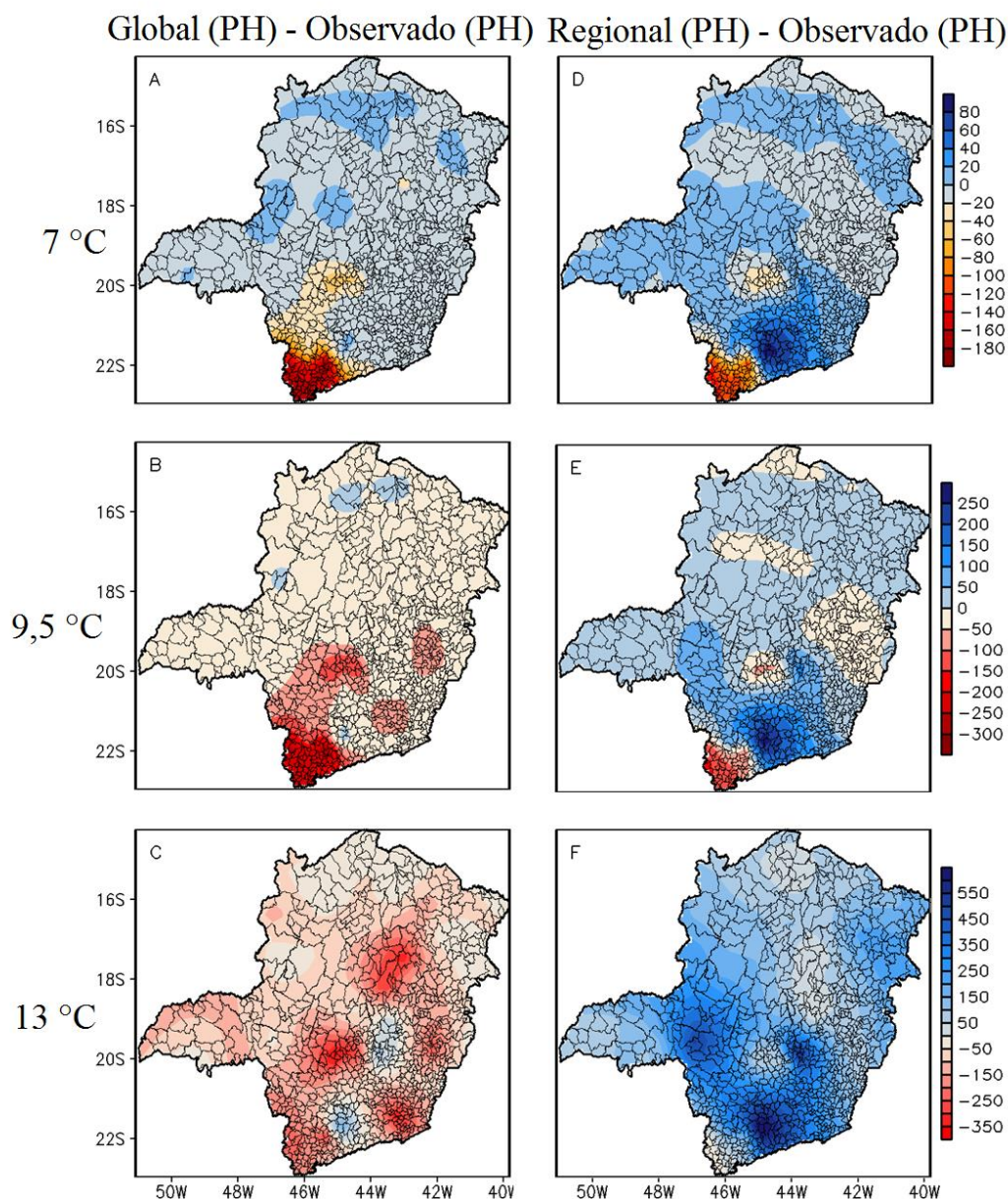


Figura 3. Diferença entre o *ensemble* dos 21 MCGs (a, b e c) e a climatologia anual do número de horas de frio observado, *ensemble* dos três MCRs (d, e, f) e observado para Minas Gerais; período de 1980 a 2005, considerando três valores de temperatura base (Tb) - 7 °C (a e d), 9,5 °C (b e e) e 13 °C (c e f). A escala dos painéis está diferenciada entre os valores de Tb.

O desempenho dos modelos em estimar o NHFaa observado para o PH foi corroborado pela ANOVA e pelo teste Tukey (Figura 4 e Anexos 1, 2 e 3). De maneira geral, apesar dos MCG subestimarem e o MCR superestimarem o NHFaa observado, ambos modelos apresentaram melhor habilidade em simular os menores valores acumulados de NHF (≈ 100 HF) (Anexos 1, 2 e 3) e quanto maior a Tb, maiores foram os erros dos modelos . Como exemplo, para a Tb=7 °C, das 48 estações analisadas, 11 não apresentaram diferenças significativas entre o NHFaa observado e simulado pelo MCG e MCR (Tabela 2),

principalmente para aquelas em que o NHFaa observado foi próximo a 0 HF. Como exemplo, têm-se as estações localizadas em Arinos, Espinosa, Janaúba, Janaúria, João Pinheiro, Moçambinho, Monte Azul, Montes Claros, Pedra Azul, Pirapora, Salinas e Unaí.

Para as Tb's de 9,5 e 13 °C, houve diferença significativa entre o NHFaa observado e as simulações do MCG e MCR para 16 e 32 estações (Tabela 2), respectivamente, uma vez que com o aumento da Tb, ocorre um aumento no acúmulo de NHF. Dessa forma, aumentam os erros de subestimativa do MCG e de superestimativa do MCR.

Analisando separadamente a qualidade das simulações entre os modelos em cada Tb, percebe-se que o MCG simulou melhor o NHFaa para a Tb 7 °C (Figura 4a) e 9,5 °C (Figura 4b) e ambos foram inconsistentes para a Tb=13 °C (Figura 4c). Das 48 estações, 15 não apresentaram diferença significativa do NHFaa observado considerando a Tb=7 °C e 16 para Tb=9,5 °C (Tabela 2, Figura 4 e Anexos 1 e 2). Já o MCR não apresentou diferença do NHFaa observado em 6 (Tb=7 °C) e 16 (Tb=9,5 °C) estações. Adicionalmente, nenhum dos modelos conseguiu simular o NHFaa observado em 15 e 16 estações (Tabela 2), considerando a Tb=7° e 9,5 °C, respectivamente, principalmente nas cidades de Lambari, Maria da Fé, Machado e Poços de Caldas, sendo todas localizadas na região sul de MG.

Já para a Tb=13°C, ambos os modelos não simularam adequadamente o NHFaa observado em 32 estações (Tabela 2 e Figura 4c), com subestimativa do NHF no MCG (Figura 3c) e superestimativa no MCR (Figura 3f), e somente em 10 estações houve estimativa adequada pelo MCG e 5 pelo MCR (Tabela 2).

Tabela 2. Teste de comparação de médias de Tukey para as Tbs 7 °C, 9,5 °C e 13 °C, no período de 1981-2005.

Comparação de Médias	Temperatura-base		
	7 °C	9,5 °C	13 °C
MCG=Obs	12	14	10
MCR=Obs	6	16	5
MCG=Obs=MCR	11	0	0
MCG≠Obs≠MCR	15	16	32
MCG=Obs e MCR=Obs	4	2	1

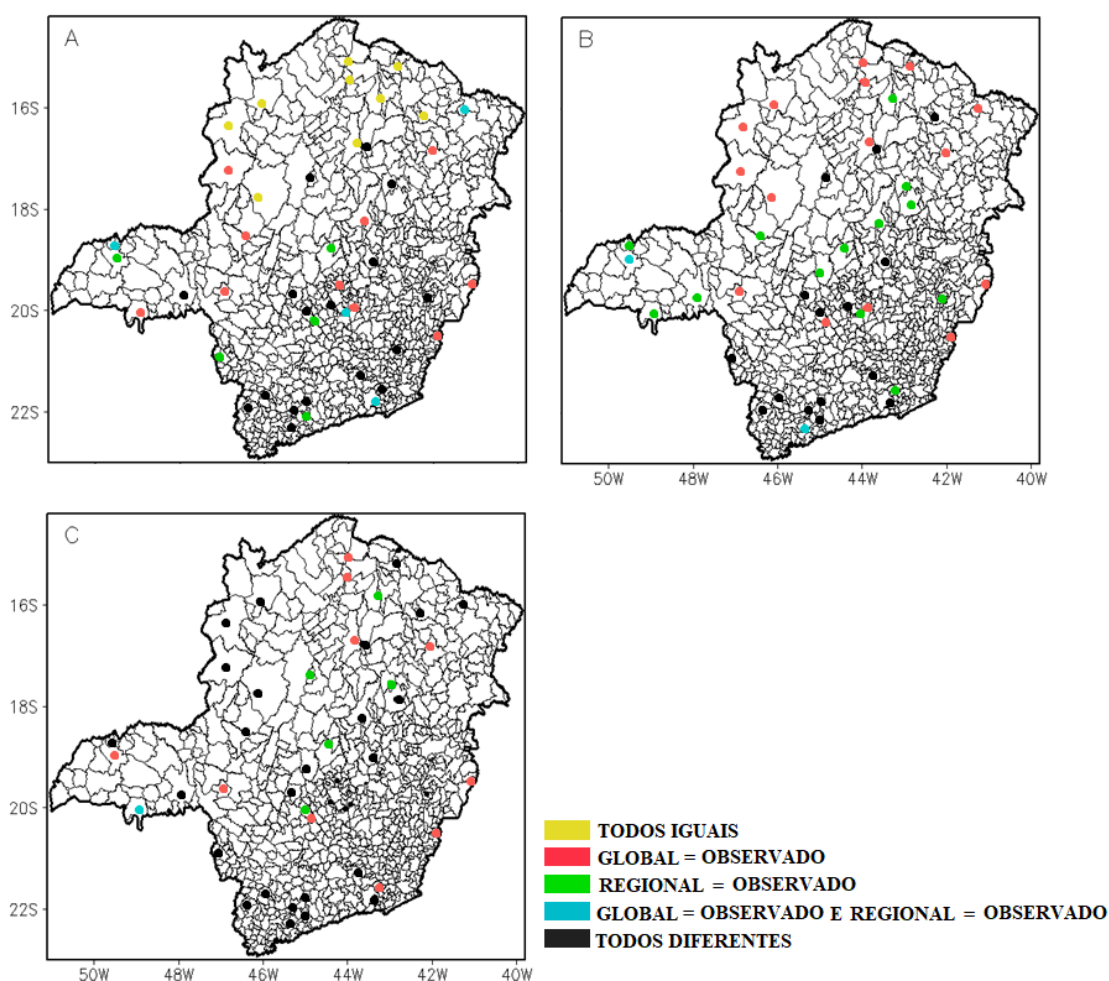


Figura 4. Comparação de médias para a variável número de horas de frio anual (NHFa) observado, *ensemble* dos 21 MCGs (a, b e c) e *ensemble* dos três MCRs para Minas Gerais; período de 1981-2005, para as temperaturas base (Tb) de 7 °C (a), 9,5 °C (b) e 13 °C (c).

Em suma, o MCG teve melhor desempenho que o MCR na simulação da variável NHFa, o que em teoria é contrário ao esperado, uma vez que os MCR apresentam melhor resolução horizontal (≈ 22 km), parametrizações físicas mais adequadas dos processos atmosféricos em mesoescala e maior detalhamento dos cenários climáticos (REBOITA et al., 2018). A justificativa para isso pode estar relacionada com a física do MCR e as condições de fronteira laterais inseridas do MCG (SALES et al., 2015). Mesmo com a diferença na simulação do NHFa entre os MCG e MCR para o PH, optou-se por analisar as alterações de ambos modelos no NHFa para Minas Gerais. Uma vez que o NHFa é uma variável utilizada no processo de seleção de zonas climáticas aptas a introdução de frutíferas de clima temperado (LUEDELING, 2012; WREGGE et al., 2016), ajustes do zoneamento agrícola

(HELDWEIN et al., 1989) e avaliação do acúmulo diário, mensal e anual de NHF considerando o clima presente e futuro (LUEDELING et al., 2011).

Considerando o PP (Figura 5a, 5b, 5c e Tabela 2), percebe-se menor NHFaa na $T_b=7^{\circ}\text{C}$ quando comparada as T_b 's de $9,5^{\circ}\text{C}$ e 13°C , o que esperado em função do menor acúmulo em menores valores de T_b . Na $T_b=7^{\circ}\text{C}$ (Figura 5a e Tabela 2), o acúmulo acima de 450HF é ≈ 0 , sendo insuficiente para a introdução de FCT com alta exigência em frio (WREGE et al., 2016). Dos 586.520,732 km² que abrangem MG (IBGE, 2017), apenas 9 % apresentam $150 \leq \text{NHF} \leq 450$ HF, limiar suficiente para suprir as exigências das FCT com média exigência, sendo concentradas nas regiões com maiores altitudes e menores temperaturas do ar. Em aproximadamente 91%, o acúmulo de frio é menor que 100 HF, o que inviabiliza o cultivo e a introdução de qualquer FCT. Ainda no PP, porém para a $T_b = 9,5^{\circ}\text{C}$ (Figura 5b e Tabela 3) há um aumento e uma expansão das áreas com acúmulo de NHFaa, principalmente entre 150 e 300HF, e consequentemente há redução para 78 % das áreas que apresentam inaptidão ao cultivo (<100 NHF) de FCT. Para a $T_b=13^{\circ}\text{C}$ (Figura 5c e Tabela 3) a área inapta (<100 NHF) às FCT é ainda menor, aproximadamente 54%.

As mudanças climáticas projetadas pelos MCG e MCR para o final do século XXI, devem afetar a duração e o acúmulo de horas de frio em Minas Gerais favorecendo ainda mais a ocorrência de insuficiência em horas de frio para as três T_b 's, sendo intensificado na $T_b=7^{\circ}\text{C}$ no FD (Figura 5 e Tabela 2). Esse comportamento deve diminuir as áreas que apresentam aptidão climática para as FCT, principalmente no limiar entre $300 \leq \text{NHFaa} \leq 450$ para as três T_b 's.

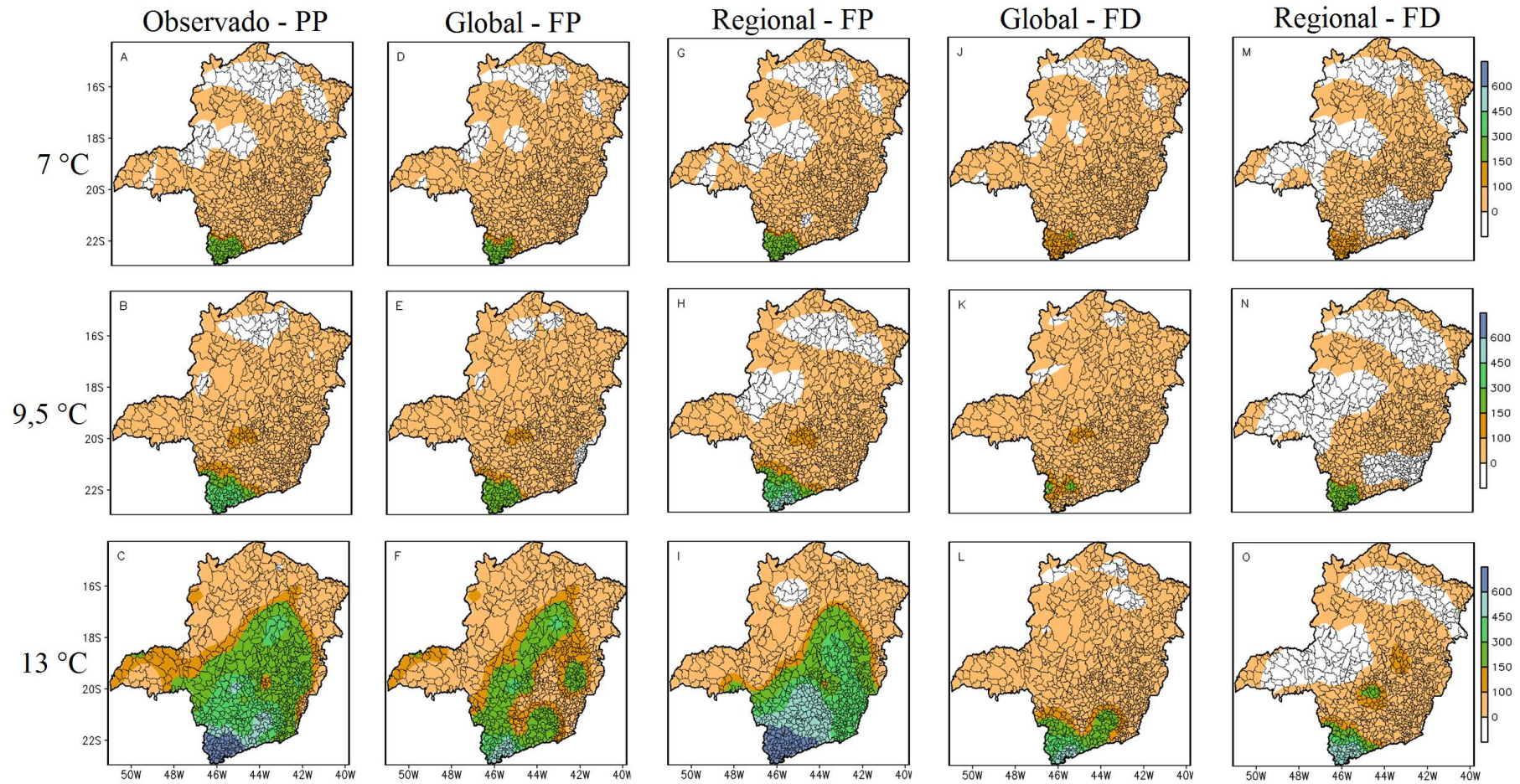


Figura 5. Climatologia anual do número de horas de frio (NHF) para os dados observados (PP, 1981-2015) (a, b, c), *ensemble* dos 21 MCGs (FP, 2021-2049) (d, e, f) e (FD, 2071-2099) (j, k, l), *ensemble* dos três MCRs (FP, 2021-2049) (g, h, i) e (FD, 2071-2099) para Minas Gerais, para a temperatura base (T_b) de 7 °C (a, d, g, j, m), 9,5 °C (b, e, h, k, n) e 13 °C (c, f, i, l, o).

Comparando as projeções entre os modelos, verifica-se que a superestimativa observada no MCR para o PH (1981-2005) (Figuras 2 e 3) influencia na resposta do NHFaa projetada no FP e FD nas três Tb's, principalmente na região centro-sul. Tal diferença é ainda maior no FP e na Tb=13°C, o que pode ser verificado pelas diferenças entre os dois modelos (Figura 6), chegando a valores superestimados ≈ 600 HF. Além disso, verifica-se que o MCR projeta quantidade maior de NHFaa que o próprio PP na região sul de MG o que é incoerente, uma vez que projeta-se aumento da TM e redução da Tm, sendo mais difícil acumular frio nessas condições. Um exemplo disso pode ser visualizado na Figura 5 (c, f, i) em que o NHFaa projetado pelo MCR, principalmente >450 HF, refere-se a 33 % da área, no MCG projeta apenas 19% (> 450 HF), enquanto que no PP apresenta 19% (> 450 HF).

Devido a isso, praticamente não haverá redução do NHFaa <100 HF considerando o MCR no FP, com valores aproximados de 9% na Tb=7°C (Figura 5g), 16,53% na 9,5°C (Figura 5h) e 43,12% na 13°C (Figura 5i), no limiar entre 150 e 600 HF. Resposta oposta a do MCG, em que projeta-se redução do NHFaa (<100 HF) considerando os três valores de Tb (Figuras 5d, 5e, 5f), chegando a 11% (Tb=7 °C), 17% (Tb=9,5 °C) e 53% (Tb=13 °C) (Tabela 2).

Projeta-se aumento do NHFaa <100 HF para o FD, o que não é benéfico para as FTC, uma vez que NHFaa < 100 é utilizado como limiar inapto a introdução de FCT (SANTOS, 2018). O MCG apresenta redução para 8% na Tb=7 °C (Figura 5j), 11,20% na Tb=9,5 °C (Figura 5k) e 16% na Tb=13 °C (Figura 5l), para o NHFaa entre 150 e 600 HF. Tal redução é intensificada pelo MCR, com valores de 7% (Tb=7 °C), 8% (Tb=9,5 °C) e 13% (Tb=13 °C).

Analisando separadamente os MCGs e o MCR (Anexos 4 e 5), observa-se de maneira semelhante para ambos modelos, redução no NHFaa no FP e FD, bem como aumento do acúmulo de NHF com o aumento de Tb.

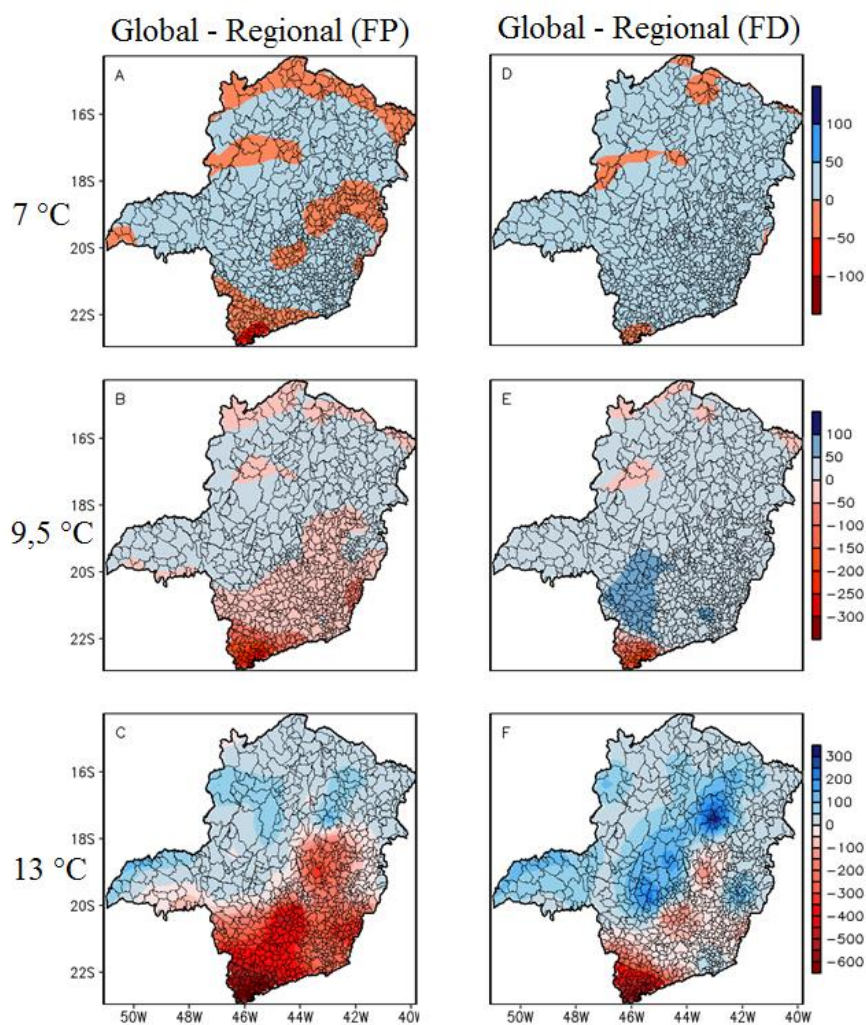


Figura 6. Diferença entre *ensemble* dos 21 MCGs e *ensemble* dos três MCRs para Minas Gerais; período FP (2021-2049) (a, b, c) e FD (2071-2049) (d, e, f), considerando as T_b 's de 7 °C (a e d), 9,5 °C (b e e) e 13 °C (c e f). A escala dos painéis está diferenciada entre os valores de T_b .

Tabela 3. Porcentagem do número de horas de frio, considerando três temperaturas base (7 °C, 9,5 °C e 13 °C), para os PH (1981-2005), FP (2021-2049) e FD (2071-2099).

Cenários	Temperatura base (Tb)	Número de horas de frio (%)				
		<100	150	300	450	600
Observado	7,0 °C	91	9	2	0	0
Global - FP		90	11	5	0	0
Regional - FP		91	9	7	0	0
Global – FD		92	8	1	0	0
Regional - FD		93	7	0	0	0
Observado	9,5 °C	78	22	11	7	0
Global - FP		83	17	10	1	0
Regional - FP		83	17	10	7	5
Global – FD		89	11	4	0	0
Regional - FD		92	8	7	0	0
Observado	13,0 °C	54	46	34	11	8
Global - FP		47	53	39	12	7
Regional - FP		57	43	33	23	10
Global – FD		84	16	11	7	4
Regional - FD		87	13	10	7	6

Segundo recomendações de Santos (2018): NHFaa entre 100-150 é usado como limite de superação de dormência às FCT que possuem baixa exigência em frio (Grupo I); NHFaa entre 150-300 e 300-450 usados como limite de superação de dormência às FCT que possuem média exigência em frio (Grupo II); NHFaa >450 usados como limite de superação de dormência às FCT que possuem alta exigência em frio (Grupo III). NHFaa < 100 é utilizado como limiar inapto a introdução de FCT.

O impacto das mudanças climáticas no NHFaa projetadas pelo MCG (Figura 5) é mais realístico que o MCR, principalmente pelo MCR apresentar valores superestimados de NHFaa para o PH, refletindo na resposta no FP e FD. A redução do NHFaa impactará no aumento das áreas inaptas a introdução e o cultivo de FCT (LUEDELING et al., 2011; WREGE et al., 2016) de média ($\geq 150\text{HF}$) e alta exigência em NHF ($\geq 450\text{HF}$) para o FP e FD. Tal comportamento é esperado, uma vez que, projeta-se um aumento crescente e gradual de TM e Tm para MG (NATIVIDADE et al., 2017). Tais reduções corroboram com Luedeling et al. (2011) que demonstraram que regiões de clima tropical e subtropical serão as mais susceptíveis a redução do NHFaa. A insuficiência de frio invernal causa diversas anomalias fisiológicas e fenológicas (HELDWEIN et al., 1989), os quais serão responsáveis pela redução do desenvolvimento, crescimento, produtividade e da qualidade da produção (GARCÍA-MOZO et al., 2010; LUEDELING, 2012; MORIONDO et al., 2015).

Em nível fisiológico, os processos afetados pela insuficiência de frio são: redução da permeabilidade das membranas celulares, menor translocação de solutos para as células, solubilização do amido, nitrogênio e substâncias graxas, proporcionando menor

disponibilidade de ácidos graxos, açúcares e nitrogênio solúveis, os quais são essenciais para a brotação, altera o balanço hormonal e consequentemente a taxa de respiração (HELDWEIN et al., 1989; ALVARENGA et al., 2002), os quais associados, acabam influenciando a fenologia das plantas. A redução da permeabilidade das membranas associada a menor translocação de solutos, reduz a entrada de água na célula, gerando o afrouxamento das paredes celulares (TAIZ e ZEIGER, 2013). Esse decréscimo de volume celular resulta em menor pressão de turgor e perda de solutos das células, o que afeta todas as atividades dependentes do conteúdo de água nas células (SHAO et al., 2009), como: expansão foliar, crescimento dos ramos, tronco e tamanho dos frutos.

Em nível fenológico, a insuficiência de frio altera o desenvolvimento vegetativo (taxa de emissão e abertura de folhas) e reprodutivo (inflorescência, florescimento, frutificação e maturação), alteração do tempo de florescimento, queda das gemas e prolongamento da duração dos estágios fenológicos (BURIOL et al., 2000; ALVARENGA et al., 2002; GARCÍA-MOZO et al., 2010; TANASIJEVIC et al., 2014). Alterações na taxa de emissão e abertura de folhas poderão reduzir a área de interceptação da radiação solar e afetar negativamente a fotossíntese. No entanto, as alterações mais significativas são com relação ao desenvolvimento reprodutivo, nos quais projetam-se atrasos e prolongamento no florescimento, redução do número de inflorescência por ramo, aumento na produção de flores imperfeitas (HELDWEIN et al., 1989; GARCÍA –MOZO et al., 2010) e em casos mais graves abortamento floral (AYERZA e SIBBETT, 2001; ORLANDI et al., 2004). Todos esses fatores aliados são os responsáveis pela menor produção de biomassa, redução da produtividade e da qualidade da produção (MORIONDO et al., 2015).

4. CONCLUSÃO

O MCG e MCR apresentaram diferentes desempenhos na simulação e projeção do acúmulo de horas de frio (NHF) em Minas Gerais. O MCG apresentou tendência de subestimar os dados observados, oposto ao MCR, que foi superestimar. É válido destacar que para o PH (1981-2005), quanto maior a T_b , maiores foram os erros de ambos os modelos. Por essa razão deve ser dada preferência ao MCG em estudos relacionados ao NHF, uma vez que a tendência de superestimativa no MCR pode comprometer o desenvolvimento de frutíferas de clima temperado, devido à insuficiência de NHF.

O sul de MG é a região com maior acúmulo de NHF no PP (1981-2015), com cerca de 300 HF, 450 HF e 600 HF, para as T_b 's de 7 °C, 9,5 °C e 13 °C, respectivamente. No atual cenário seria recomendado o cultivo de FCT e FC de média exigência em frio. Entretanto, as mudanças climáticas projetadas para ocorrerem ao longo do século XXI reduzirão o NHF, a qual impactará no aumento das áreas inaptas a introdução e o cultivo de FCT em grande parte de Minas Gerais, impactando a região sul, sendo recomendado somente o cultivo de cultivares menos exigentes em NHF.

5. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, I. R. de; ANTUNES, L. E. C. Necessidades climáticas e influência do clima sobre adaptação, produção e qualidade. In: ANTUNES, L. E. C.; HOFFMANN, A. (Eds.). **Pequenas frutas: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: EMBRAPA, p. 41-49, 2012.
- ALVARENGA, A. A.; ABRAHÃO, E.; RAMOS, J. D.; CHALFUN, N. N. J. Estimativa das unidades e horas de frio em Lavras (MG). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 6, p.1344-1347, 2002.
- AMBRIZZI, T.; REBOITA, M. S.; DA ROCHA, R. P.; LLOPART, M. The state-of-the-art and fundamental aspects of regional climate modeling in South America. **Annals of the New York Academy of Sciences**, p. 1-23, 2018.
- ANGELOCCI, L. R.; CAMARGO M. G. P.; PEDRO JR., M. J.; ORTOLANI, A. A.; ALFONSI, R. R. Estimativa do total de horas frias abaixo de determinada temperatura-base através das medidas diárias de temperatura do ar. **Revista Científica de Agronomia**, v. 38, n. 4, p. 27-36, 1979.
- AYERZA, R.; SIBETT, G. S. Thermal adaptability of olive (*Olea europaea* L.) to the Arid Chaco of Argentina. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 84, p. 277-285, 2001.
- BURIOL, G. A., ESTENFANEL, V., HELDWEIN, A. B., PRESTES, S. D., OLIVEIRA, H. T. de; DIDONÉ, M. A. Disponibilidade de horas de frio na região central do Rio Grande do Sul: 2 –Distribuição Geográfica. **Ciência Rural**, v. 30, n. 5, p. 755-759, 2000.
- CHEN, C. T.; KNUTSON, T. On the verification and comparison of extreme rainfall indices from climate models. **Journal of Climate**, [S. l.], v. 21, p. 1605-1621, 2008.
- CRESSIE, N. Spatial prediction and ordinary kriging. **Mathematical Geology**, [S. l.], v. 20, n. 4, p. 405-421, 1988.
- CUADRA, S. V.; DA ROCHA, R. P. Simulação numérica do clima de verão sobre o Brasil e sua variabilidade. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 2, p. 271-282, 2006.
- CUNHA, D. A. da; REIS, D. I. Efeito das mudanças climáticas no setor agrícola do estado de Minas Gerais. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 10, n. 3, 309-334, 2013.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.
- GARCIA, S. R.; SANTOS, D. F.; MARTINS, F. B.; TORRES, R. R. Aspectos climatológicos associados ao cultivo da oliveira (*Olea europaea* L.) em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, p. 188-209, 2018.
- GARCÍA-MOZO, H.; MESTRE, A.; GALÁN, C. Phenological trends in southern Spain: A response to climate change. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.150, p.575-580, 2010.

GIORGI, F.; MEARNS, L. O. Approaches to the Simulation of Regional Climate Change: A Review. **Reviews of Geophysics**, v. 29, n. 2 , 191-219, 1991.

HELDWEIN, A. B.; SCHNEIDER, F. M.; BURIOL, G. A.; ESTEFANEL, V.; PRESTES, S. D. Disponibilidade de horas de frio na região central do Rio Grande do Sul: 1 - Ocorrência de valores acumulados para diferentes níveis de probabilidade, **Ciência Rural**, v. 30, n. 5, p. 747-754, 2000.

HELDWEIN, A. B.; ANGELOCCI, L. R.; ESTEFANEL, V.; SCHNEIDER, F. M.; BURIOL, G. A. Avaliação de modelos de estimativa de horas de frio para Santa Maria, RS. **Revista Centro de Ciências Rurais**, v. 19, p. 45-92, 1989.

IBGE. **Área da unidade territorial (2017)**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/panorama>>. Acesso em: 25 de outubro de 2018.

IBGE. **SIDRA, Produção Agrícola Municipal (2017)**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613>>. Acesso em: 25 de outubro de 2018.

IPCC. **Intergovernmental Panel on Climate Change - Summary for Policymaker**. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T. F.; Qin, D.; Plattner, G. K.; Tignor, M.; Allen, S. K.; Boschung, J.; Nauels, A.; Xia, Y.; Bex, V.; Midgley, P.M. (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013.

JONES, P. W. First and second-order conservative remapping schemes for grids in spherical coordinates. **Monthly Weather Review**, [S.l.], v.127, p.2204-2210, 1999.

LLOPART, M.; DA ROCHA, R. P.; REBOITA, M. S.; CUADRA, S. Sensitivity of simulated South America climate to the land surface schemes in RegCM4. **Climate Dynamics**, v. 49, p. 3975-3987, 2017.

LUEDELING, E.; GIRVETZ, E. H.; SEMENOV, M. A.; BROWN, P. H. Climate Change Affects Winter Chill for Temperate Fruit and Nut Trees. **Plos One**, v. 6, n. 5, p. 20155, 2011.

LUEDELING, E. Climate change impacts on winter chill for temperate fruit and nut production: A review. **Scientia Horticulturae**, v. 144, p. 218-229, 2012.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. 3 ed. Viçosa: UFV, 2009. 486 p.

MARTINS, F. B.; GONZAGA, G.; SANTOS, D. F. dos; REBOITA, M. S. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: cenário atual e projeções futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 14, n.xx, xx-xx, 2018 (no prelo).

MARTINS, F. B.; REIS, D. F. da; PINHEIRO, M. V. M. Temperatura base e filocrono em duas cultivares de oliveira. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n.11, p. 1975-1981, 2012.

MAULIÓN, E.; VALENTINI, G. H.; KOVALEVSKI, L.; PRUNELLO, M.; MONTIA, L. L.; DAORDENB, M. E.; QUAGLINOC, M.; CERVIGNI, G. D. L. Comparison of methods for estimation of chilling and heat requirements of nectarine and peach genotypes for flowering. **Scientia Horticulturae**, [S. l.], v. 177, p. 112–117, 2014.

MORAIS, H.; CARBONIERI, J. Horas e unidades de frio em pomares de maçã com diferentes microclimas. **Revista Brasileira Fruticultura**, Jaboticabal, v. 37, n. 1, p. 1-12, 2015.

MORIONDO, M.; FERRISE, R.; TROMBI, G.; BRILLI, L.; DIBARI, C. Modelling olive trees and grape vines in a changing climate. **Environmental Modelling & Software**, v.63, p.1-15, 2015.

MOSS, R. H.; EDMONDS, J. A.; HIBBARD, K. A.; MANNING, M. R.; ROSE, S. K.; VAN VUUREN, D. P.; CARTER, T. R.; EMORI, S.; KAINUMA, M.; KRAM, T.; MEEHL, G. A.; MITCHELL, J. F. B.; NAKICENOVIC, N.; RIAHI, K.; SMITH, S. J.; STOUFFER, R. J.; THOMSON, A. M.; WEYANT, J. P.; WILLBANKS, T. J. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. **Nature**, v. 463, p.747-756, 2010.

NATIVIDADE, U. A.; GARCIA, S. R.; TORRES, R. R. Tendências dos Índices de Extremos Climáticos Observados e Projetados no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 32, n. 4, p. 600-614, 2017.

PANTANO, A P.; BEERTONCINI, E. I.; TERAMOTO, J. R. S. **III Encontro da cadeia produtiva da olivicultura**. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 2012. 60p; (Documentos IAC, nº108).

PEDRO JR., M. J.; ORTOLANI, A. A.; RIGITANO O.; ALFONSI, R. R.; PINTO, H. S.; BRUNINI, O. Estimativa de Horas de Frio abaixo de 7°C e de 13°C para regionalização da fruticultura de clima temperado no estado do São Paulo. **Bragantia**, v. 38, n. 13, p. 123-130, 1979.

ORLANDI, F.; GARCÍA-MOZO, H.; DHIAB, A. B.; GALÁN, C.; MSALLEM, M.; ROMANO, B.; ABICHOU, M.; DOMINGUES-VILCHES, E.; FORNACIARI, M. Climatic indices in the interpretation of the phenological phases of the olive in Mediterranean areas during its biological cycle. **Climatic Change**, v.116, p.263-284, 2013.

POLA, A. C.; ANGELOCCI, L. R. Avaliação de modelos de estimativa do número diário de "horas de frio" para o estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 1, p. 105-116, 1993.

R CORE TEAM. R: The R Project for Statistical Computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, 2017.

REBOITA, M. S.; DIAS, C. G.; DUTRA, L. M. M.; ROCHA, R. P.; LLOPART, M. Previsão Climática Sazonal para o Brasil Obtida Através de Modelos Climáticos Globais e Regionais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 2, p. 207-224, 2018.

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

SALES, D. C.; COSTA, A. A.; SILVA, E. M. da; VANCONCELOS JÚNIOR, F. C.; CAVALCANTE, A. M. B.; MEDEIROS, S. S.; MARIN, A. M. P.; GUIMARÃES, S. O.; ARAÚJO JÚNIOR, L. M.; PEREIRA, J. M. R. Projeções de mudanças climáticas e temperatura no nordeste brasileiro utilizando a técnica de downscaling dinâmico. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 4, p. 435-456, 2015.

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, p. 77-82, 2017a.

SANTOS, D. F. dos; LEITE, R. R. M.; MARTINS, F. B. Avaliação dos métodos de estimativa de número de horas frio para o sul e sudoeste do Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, p. 401-416, 2017b.

SANTOS, D. F. dos; **Impacto das mudanças climáticas no zoneamento de aptidão climática das principais frutíferas de clima temperado nas regiões sul e sudeste do Brasil**. 2018. 116 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2018.

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.

SOUZA, P. M. B; MARTINS, F. B. Estimativa da Temperatura Basal Inferior para as Cultivares de Oliveira Grappolo e Maria da Fé. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 2, p. 307-313, 2014.

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

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artemed, 2013. 954p.

TANASIJEVIC, L.; TODOROVIC, M.; PEREIRA, L. S.; PIZZIGALLI, C.; LIONELLO, P. Impacts of climate change on olive crop evapotranspiration and irrigation requirements in the Mediterranean region. **Agricultural Water Management**, v. 144, p. 54–68, 2014.

TAVARES, P. S.; GIOROLLA, A.; CHOU, S. C.; SILVA, A. J. P.; LYRA, A. A. Climate change impact on the potencial yield of *Arabica* coffee in southeast Brazil. **Regional Environmental Change**, v. 18, n. 3, p. 873-883, 2018.

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

THRASHER, B.; MAURER, E. P.; MCKELLAR, C.; DUFFY, P. B. Technical Note: Bias correcting climate model simulated daily temperature extremes with quantile mapping. **Hydrology and Earth System Sciences**, [S. l.], v. 16, n. 9, p. 3309-3314, 2012.

TIRONI, L. F.; STRECK, N. A.; SANTOS, A. T. L.; FREITAS, C. P. O. de; UHLMANN, L.O.; OLIVEIRA JÚNIOR, W.C.de; FERRAZ, S.E.T. Estimating cassava yield in future IPCC scenarios for the Rio Grande do Sul State, Brazil. **Ciência Rural**, v. 47, n. 2, p. 1-10, 2017.

WALTER, L. C.; ROSA, H. T.; STRECK, N. A. Mecanismos de aclimação das plantas à elevada concentração de CO₂. **Ciência Rural**, v. 45, n. 9, p. 1564-1571, 2014.

WICKHAM, H. **Advanced R Series: Chapman & Hall/CRC The R Series**. 1. ed. London: CRC Press, 2014. 476p.

WREGE, M. S.; HERTER, F. G.; FRITZSONS, E. Regiões com similaridade de horas de frio no outono-inverno no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, p. 108-118, 2016.

ANEXOS

Anexo 1. Teste de comparação de médias de Tukey para a Tb 7 °C, no período de 1981-2005.

7 °C				
Cidades	Observado	Global	Regional	Pr>Fc
Aimorés	0.000a	0.000a	0.649b	0.0003
Araçuaí	0.000a	0.000a	1.803b	0.0000
Araxá	3.450a	1.000a	23.899b	0.0000
Arinos	0.750a	0.000a	0.687a	0.2260
BambuÍ	115.333b	2.485a	29.111a	0.0000
Barbacena	37.187b	6.876a	108.937c	0.0000
Belo Horizonte	0.000a	1.000a	43.796b	0.0000
Bom Despacho	58.222b	1.397a	21.833a	0.0016
Caparaó	66.375b	6.198a	23.958a	0.0000
Capinópolis	1.461a	0.273a	17.564b	0.0000
Caratinga	5.071ab	0.210a	6.285b	0.0238
Carbonita	17.368b	0.000a	7.2631a	0.0002
Conceição do M.	58.083b	0.317a	6.444a	0.0000
Coronel Pacheco	21.736b	2.192a	46.210c	0.0000
Curvelo	7.375b	0.118a	7.833b	0.0001
Diamantina	3.571a	0.243a	8.238b	0.0002
Divinópolis	24.875b	2.315a	37.375b	0.0002
Espinosa	0.000a	0.000a	0.0555a	0.3750
Florestal	88.933c	1.772a	29.000b	0.0000
Frutal	4.076a	0.708a	15.282b	0.0000
Ibirité	34.714b	2.832a	41.380b	0.0039
Itamarandiba	6.307ab	0.128a	9.4102b	0.0066
Ituiutaba	10.058b	0.292a	9.235b	0.0056
Janaúba	1.545a	0.000a	0.000a	0.1269
Januária	0.000a	0.000a	0.104a	0.1407
João Pinheiro	2.615a	0.047a	3.871a	0.0979
Juiz de Fora	4.266a	0.661a	64.466b	0.0000
Juramento	2.833a	0.000a	1.305ab	0.0295
Lambari	358.176c	164.254b	32.335a	0.0000
Lavras	20.111a	24.261a	160.648b	0.0000
Machado	71.866b	13.059a	118.777c	0.0000
Maria da Fé	392.785c	114.183a	226.666b	0.0000
Mocambinho	0.400a	0.000a	0.000a	0.3765
Monte Azul	0.000a	0.000a	0.044a	0.3765
Montes Claros	0.500a	0.000a	0.809a	0.1900
Paracatu	0.187a	0.021a	4.062b	0.0000
Patos de Minas	3.312a	0.294a	10.625b	0.0000
Pedra Azul	1.133a	0.000a	1.422a	0.3325
Pirapora	0.666ab	0.0244a	1.759b	0.0335
Poços de Caldas	345.357c	36.133a	118.095b	0.0000
Pompeu	6.062b	0.733a	12.958c	0.0000
Salinas	2.200a	0.000a	1.649a	0.1697
São Lourenço	195.823b	31.133a	213.784b	0.0000
São Sebastião do P.	40.230b	2.838a	51.897b	0.0000
Sete Lagoas	4.062a	0.407a	19.416b	0.0000
Uberaba	22.142b	1.211a	19.738b	0.0002
Unaí	1.631a	0.000a	1.666a	0.0347
Viçosa	19.615b	1.727a	40.384c	0.0000

Letras diferentes na linha diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$). As letras foram dadas em ordem crescente em relação à média de NHF.

Anexo 2. Teste de comparação de médias de Tukey para a Tb 9,5 °C, no período de 1981-2005.

9,5 °C				
Cidades	Observado	Global	Regional	Pr>Fc
Aimorés	0.421a	0.042a	13.929b	0.0000
Araçuaí	1.176a	0.000a	32.960b	0.0000
Araxá	21.500a	7.158a	145.833b	0.0000
Arinos	2.294a	0.008a	10.823b	0.0000
BambuÍ	328.600c	20.303a	164.622b	0.0000
Barbacena	177.466b	55.382a	380.422c	0.0000
Belo Horizonte	2.277a	10.486a	212.666b	0.0000
Bom Despacho	160.833b	10.073a	142.574b	0.0003
Caparaó	203.625c	74.662a	135.666b	0.0001
Capinópolis	12.923a	1.673a	131.923b	0.0000
Caratinga	38.933b	3.872a	28.000b	0.0000
Carbonita	107.578b	0.211a	83.298b	0.0000
Conceição do M.	102.454b	5.261a	60.000b	0.0001
Coronel Pacheco	81.500b	16.960a	150.102c	0.0000
Curvelo	56.352b	1.458a	62.588b	0.0000
Diamantina	58.785b	4.217a	72.714b	0.0000
Divinópolis	135.000b	17.922a	184.416b	0.0000
Espinosa	0.000a	0.000a	2.574b	0.0000
Florestal	247.789c	15.067a	140.929b	0.0000
Frutal	21.071b	3.728a	57.285c	0.0000
Ibirité	182.750b	33.689a	206.083b	0.0000
Itamarandiba	65.461b	2.745a	80.769b	0.0000
Ituiutaba	35.687b	1.908a	39.458b	0.0000
Janaúba	1.818ab	0.009a	3.393b	0.0335
Januária	3.312b	0.006a	4.124b	0.0052
João Pinheiro	12.230a	0.578a	33.923b	0.0000
Juiz de Fora	49.071a	9.246a	252.119b	0.0000
Juramento	24.750b	0.421a	28.416b	0.0005
Lambari	707.117c	183.989a	540.666b	0.0000
Lavras	94.611a	149.725b	536.074c	0.0000
Machado	252.866b	82.812a	422.333c	0.0000
Maria da Fé	786.928c	477.777a	648.928b	0.0000
Mocambinho	1.000ab	0.007a	2.309b	0.0160
Monte Azul	0.000a	0.000a	2.422b	0.0001
Montes Claros	4.428a	0.232a	19.380b	0.0000
Paracatu	3.312a	0.559a	30.937b	0.0000
Patos de Minas	16.312a	2.389a	85.874b	0.0000
Pedra Azul	9.266b	0.0160a	28.133b	0.0000
Pirapora	10.555a	0.437a	22.333b	0.0001
Poços de Caldas	642.866c	180.863a	384.488b	0.0000
Pompeu	42.125b	4.810a	93.229c	0.0000
Salinas	18.684b	0.000a	27.456b	0.0000
São Lourenço	481.352b	185.738a	645.666c	0.0000
São Sebastião do P.	137.076b	18.420a	218.333c	0.0000
Sete Lagoas	35.562b	4.524a	122.583c	0.0000
Uberaba	62.785b	5.783a	80.238b	0.0000

Unai	13.052b	0.0436a	20.105b	0.0000
Viçosa	121.307b	19.686a	190.794c	0.0000

Letras diferentes na linha diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$). As letras foram dadas em ordem crescente em relação à média de NHF.

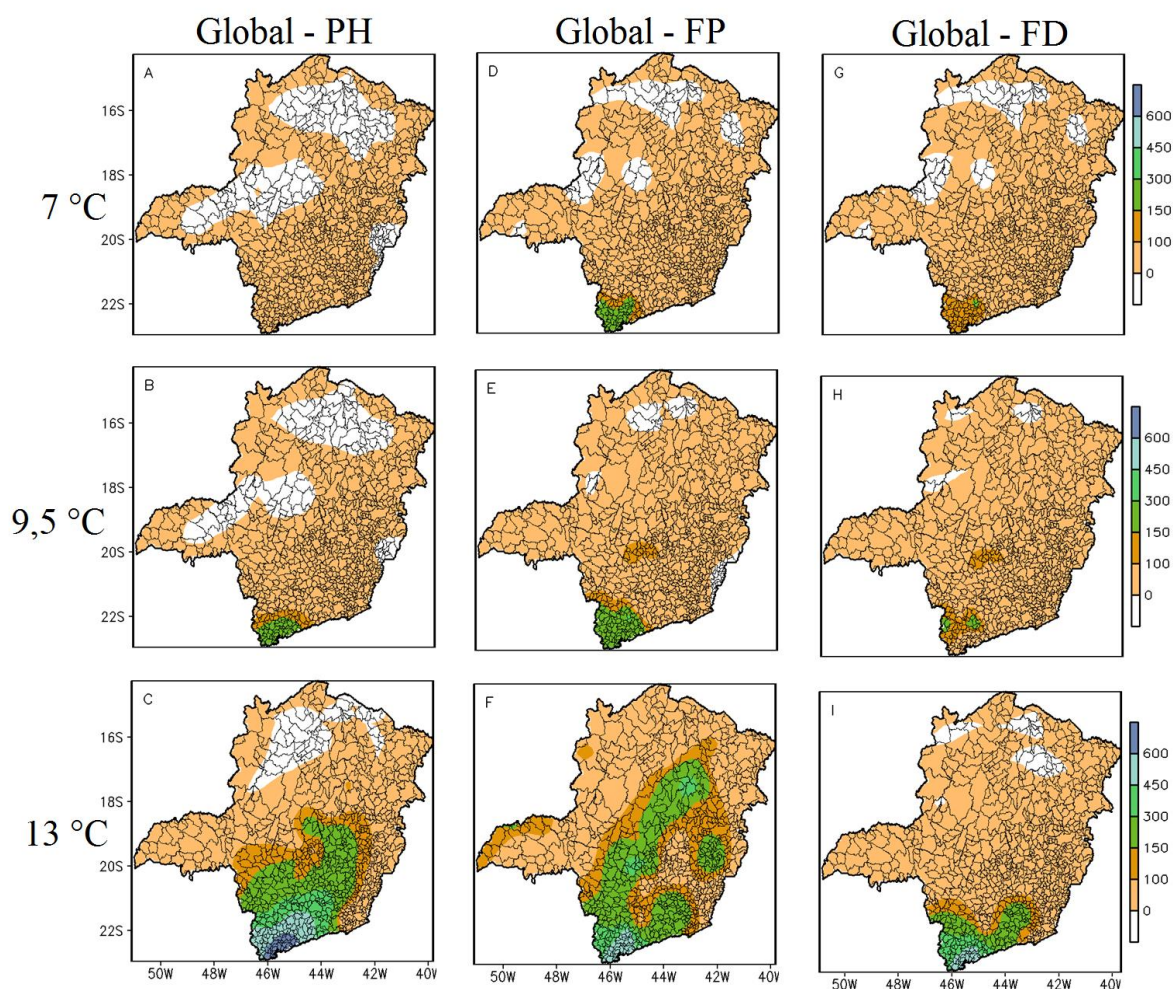
Anexo 3. Teste de comparação de médias de Tukey para a Tb 13 °C, no período de 1981-2005.

13 °C				
Cidades	Observado	Global	Regional	Pr>Fc
Aimorés	24.684a	3.443a	301.631b	0.0000
Araçuaí	44.647a	1.294a	362.686b	0.0000
Araxá	158.050a	145.606a	804.183b	0.0000
Arinos	61.375b	1.558a	243.916c	0.0000
Bambuí	853.066b	274.633a	881.244b	0.0000
Barbacena	762.928b	571.582a	1319.785c	0.0000
Belo Horizonte	66.111a	231.431b	1009.055c	0.0000
Bom Despacho	503.421b	171.663a	798.719c	0.0000
Caparaó	613.750a	740.941b	757.624b	0.0116
Capinópolis	79.384a	14.640a	711.794b	0.0000
Caratinga	305.066c	14.909a	215.666b	0.0000
Carbonita	468.250b	127.550a	562.266b	0.0000
Conceição do M.	613.333b	163.527a	516.577b	0.0000
Coronel Pacheco	473.550b	25.795a	913.700c	0.0000
Curvelo	391.000a	355.334a	577.541b	0.0000
Diamantina	611.500b	49.214a	629.976b	0.0000
Divinópolis	583.500b	176.048a	907.000c	0.0000
Espinosa	17.888a	0.1399a	129.388b	0.0000
Florestal	839.800b	291.865a	932.955c	0.0000
Frutal	100.000b	36.315a	327.571c	0.0000
Ibirité	509.200ab	346.534a	810.433b	0.0111
Itamarandiba	464.384b	158.955a	634.076c	0.0000
Ituiutaba	141.187b	17.330a	234.729c	0.0000
Janaúba	30.000a	1.765a	148.833b	0.0000
Januária	106.375b	1.295a	142.854b	0.0000
João Pinheiro	91.000a	11.713a	411.428b	0.0000
Juiz de Fora	476.145b	195.405a	1034.952c	0.0000
Juramento	298.416b	39.759a	415.833c	0.0000
Lambari	1301.411b	845.965a	1553.666c	0.0000
Lavras	520.555a	815.782b	1581.481c	0.0000
Machado	813.466b	561.963a	1344.266c	0.0000
Maria da Fé	1522.500c	1314.999a	1697.833c	0.0000
Mociminho	51.071b	0.769a	98.952c	0.0000
Monte Azul	0.866a	0.569a	130.066b	0.0000
Montes Claros	130.214b	17.450a	340.309c	0.0000
Paracatu	57.812a	16.568a	425.312b	0.0000
Patos de Minas	202.500b	73.384a	678.104c	0.0000
Pedra Azul	105.400b	5.821a	328.266c	0.0000
Pirapora	130.555b	14.533a	336.259c	0.0000
Poços de Caldas	1318.642b	891.733a	1320.142b	0.0000
Pompeu	309.875b	96.318a	666.833c	0.0000
Salinas	190.631b	2.0326a	336.894c	0.0000

São Lourenço	1056.000b	876.727a	1742.039c	0.0000
São Sebastião do P.	569.307b	253.004a	921.307c	0.0000
Sete Lagoas	343.562b	114.398a	783.270c	0.0000
Uberaba	303.333b	87.897a	505.044c	0.0000
Unaí	168.894b	3.328a	353.771c	0.0000
Viçosa	539.307b	339.397a	911.153c	0.0000

Letras diferentes na linha diferem entre si pelo teste de Tukey ($\alpha=0,05$). As letras foram dadas em ordem crescente em relação à média de NHF.

Anexo 4. Climatologia anual do número de horas de frio (NHF) para o *ensemble* dos 21 MCGs, considerando o período histórico (PH, 1981- 2005) (a, b, c), futuro próximo (FP, 2021-2049) (d, e, f) e futuro distante (FD, 2071-2099) (g, h, i), para Minas Gerais, para a temperatura base (Tb) de 7 °C (a, d, g), 9,5 °C (b, e, h) e 13 °C (c, f, i).



Anexo 5. Climatologia anual do número de horas de frio (NHF) para o *ensemble* dos 3 MCRs, considerando o período histórico (PH, 1981- 2005) (a, b, c), futuro próximo (FP, 2021-2049) (d, e, f) e futuro distante (FD, 2071-2099) (g, h, i), para Minas Gerais, para a temperatura base (Tb) de 7 °C (a, d, g), 9,5 °C (b, e, h) e 13 °C (c, f, i).

