



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

**DESENVOLVIMENTO INICIAL DAS ESPÉCIES
NATIVAS *Anadenanthera peregrina* (ANGICO-
VERMELHO) E *Libidibia ferrea* (PAU-FERRO)
BASEADAS NO CLIMA PRESENTE E CLIMA
FUTURO**

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO

Flávia Fernanda Azevedo Fagundes

Itajubá, MG, Brasil

2020

**DESENVOLVIMENTO INICIAL DAS ESPÉCIES
NATIVAS *Anadenanthera peregrina* (ANGICO-
VERMELHO) E *Libidibia ferrea* (PAU-FERRO)
BASEADAS NO CLIMA PRESENTE E CLIMA
FUTURO**

por

Flávia Fernanda Azevedo Fagundes

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

**Itajubá, MG, Brasil
2020**

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Monografia

**DESENVOLVIMENTO INICIAL DAS ESPÉCIES
NATIVAS *Anadenanthera peregrina* (ANGICO-
VERMELHO) E *Libidibia ferrea* (PAU-FERRO)
BASEADAS NO CLIMA PRESENTE E CLIMA
FUTURO**

elaborada por

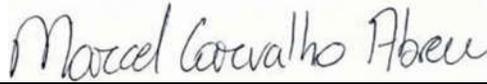
Flávia Fernanda Azevedo Fagundes

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

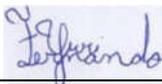
Comissão Examinadora:



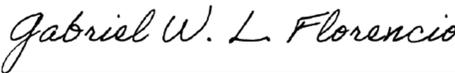
Fabrina Bolzan Martins, Dr^a. (UNIFEI)
(Presidente/Orientadora)



Marcel Carvalho Abreu, Dr. (UFRRJ)



Fernando Yuri da Silva Reis, MSc. (UNIFEI)



Gabriel Wilson Lorena Florêncio, MSc. (UNIFEI)

Itajubá, 09 de outubro de 2020.

Aos meus pais!

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus por uma vida tão abençoada e aos meus pais Antônio José e Maria Cleusa, a quem devo tudo o que sou e tenho, os quais nunca mediram esforços para me apoiar, sendo sempre os meus maiores exemplos.

Ao meu irmão, Luiz Fernando, que é minha maior riqueza.

Ao meu namorado, Acássio, que divide a vida comigo deixando tudo mais colorido e até se prontificou a aprender a baixar dados de modelos climáticos para me ajudar.

As minhas tias, Maria, Ana e Eunice que me acolheu em sua casa ao longo dos anos de cursinho e graduação com alegria e carinho.

Ao Curso Assistencial Theodomiro Santiago (CATS), a quem devo o primeiro contato direto com a UNIFEI e ingresso na mesma.

Agradeço do fundo do meu coração a minha melhor amiga, Rafaella Monti, quem sempre foi meu maior exemplo de dedicação e perseverança. E mesmo com a distância sempre se faz presente. Agradeço também a minha querida amiga Pauliana Barbêdo, a qual dividiu comigo ótimos momentos e junto de sua irmã Pamela sempre me ajudaram e acolheram com um sorriso no rosto durante os anos de cursinho, foram ótimos dias juntas.

A minha orientadora, mamis e professora Fabrina, a qual eu tenho uma enorme admiração e respeito desde a primeira aula em Fundamentos para o estudo das Ciências Atmosféricas. Agradeço imensamente pela oportunidade, ensinamentos, confiança, aulas, conversas, amizade, carinho, atenção e paciência ao longo desses anos.

A minha turma, CAT17 e em especial a minha dupla, aquela que todos os professores já sabem que é a minha dupla para os trabalhos, Ivana, que é o meu maior presente da UNIFEI, que divide a vida universitária comigo proporcionando sempre sorrisos e alegria.

E a todos os professores que puderam me ensinar tantas coisas ao longo desses quatro anos e em especial as professoras e professores do curso de Ciências Atmosféricas Vanessa, Michelle, Ana Penna, Marcelo, Barbosa, Enrique, Arcilan e Roger.

Agradeço imensamente ao Yuri, pela disponibilização dos dados para que esse trabalho pudesse ser feito, assim como a ajuda com todas as dúvidas e a Camila pela ajuda com os dados.

E agradeço também a UNIFEI, por me proporcionar a realização de um sonho, a de ser aluna dessa universidade que eu tanto amo.

RESUMO

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

DESENVOLVIMENTO INICIAL DAS ESPÉCIES NATIVAS *Anadenanthera peregrina* (ANGICO- VERMELHO) E *Libidibia ferrea* (PAU-FERRO) BASEADAS NO CLIMA PRESENTE E CLIMA FUTURO

AUTORA: FLÁVIA FERNANDA AZEVEDO FAGUNDES

ORIENTADORA: FABRINA BOLZAN MARTINS

Local e Data da Defesa: Itajubá, 09 de outubro de 2020.

Os modelos de desenvolvimento são ferramentas que podem ser utilizadas para avaliar o impacto dos aumentos projetados de temperatura do ar na duração de fase de muda. No Brasil, esse tipo de estudo é escasso em espécies florestais nativas, apesar do seu enorme potencial. O objetivo deste trabalho foi calibrar e avaliar dois modelos de desenvolvimento para condições de clima presente, assim como identificar as possíveis alterações no desenvolvimento em condições de clima futuro das espécies *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg. (angico-vermelho) e *Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul.) L.P. Queiroz (pau-ferro). Foram utilizados os modelos de desenvolvimento Filocrono (FIL) e Wang e Engel (WE), que estimam diariamente o número de folhas acumulados (N_{Fa}), que integrada no tempo fornece a duração da fase de muda (DFM). Para calibrar e avaliar ambos os modelos, foram utilizados dados provenientes de um experimento conduzido durante os anos de 2017 e 2018 em Itajubá, Minas Gerais, sob o delineamento inteiramente casualizado com 12 datas de semeadura e duas espécies florestais. Posteriormente, o melhor modelo foi simulado para as condições de clima presente (1980-2004) e projetado para o clima futuro (2021-2050 e 2071-2099) em dois cenários de forçantes radiativas (RCP4.5 e RCP8.5). Foram utilizados dados de oito modelos climáticos do sistema terrestre pertencentes a NASA *Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections* (NEX-GDDP) que derivam das projeções do *Coupled Models Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5). O modelo FIL estimou o N_{Fa} e aDFM com mais acurácia (RQME= 2,93 folhas, 29,1 dias) para o angico-vermelho, enquanto para o pau-ferro o N_{Fa} foi estimado com maior acurácia pelo modelo FIL (RQME= 2,95 folhas) e a DFM teve maior precisão pelo modelo WE (RQME= 11,7 dias). Adicionalmente, o aumento projetado de até 2°C (RCP4.5) e 4°C (RCP8.5) poderá ser suficiente para alterar a taxa de desenvolvimento e a DFM do angico-vermelho e pau-ferro. Semeaduras realizadas em março a junho poderão ter o desenvolvimento inicial acelerado e reduzir a DFM, enquanto as semeaduras realizadas nos meses de setembro a dezembro poderão retardar o desenvolvimento e aumentar a DFM, principalmente para o pau-ferro considerada a mais sensível as projeções de aumento de temperatura do ar.

Palavras-chave: Fenologia do desenvolvimento, duração da fase de muda, Filocrono, Wang & Engel, espécies nativas, temperatura do ar.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Variação da duração da fase de muda, temperatura mínima, média e máxima do ar ($^{\circ}\text{C}$), soma térmica acumulada ($^{\circ}\text{C dia}$), precipitação acumulada (mm) e radiação solar global ($\text{Mj m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) para o angico-vermelho (A e B) e para o pau-ferro (C e D) entre as datas de semeadura. Os dados meteorológicos foram obtidos na estação meteorológica automática próxima ao experimento..... 5
- Figura 2. Número de folha acumulado estimado versus observado pelos modelos de desenvolvimento Filocrono (FIL) (A e C) e Wang e Engel (WE) (B e D), para o angico-vermelho (A e B) e pau-ferro (C e D) durante o experimento conduzido em Itajubá, MG, nos anos de 2017 e 2018. A linha sólida é a linha 1:1. 15
- Figura 3. Duração da fase de muda (DFM) observada e estimada pelos modelos de desenvolvimento Filocrono (FIL) e Wang e Engel (WE) para o angico-vermelho (A) e pau-ferro (B), no experimento conduzido em Itajubá, MG, durante os anos de 2017 e 2018. 17
- Figura 4. Variação temporal simulada (PP=1980-2004) e projetada (FP=2021-2050; FD=2071-2100) da temperatura média do ar para Itajubá obtidas por oito modelos regionalizados do NEX-GDDP em dois cenários forçantes radiativa (RCP4.5 e 8.5). As linhas em negrito (cinza, azul e vermelho) representam o ensemble dos modelos climáticos. 18
- Figura 5. Duração da fase de muda simulada para o período presente (PP= 1980-2004) e projetada para o futuro (FP= 2021-2050 e FD= 2071-2100) pelos oito modelos climáticos para o angico-vermelho (A) e pau-ferro (B). Linhas tracejadas representam a duração da fase de muda para cada modelo climático do NEX-GDDP e as linhas em negrito representam o ensemble dos modelos climáticos. Devido a seus valores, o eixo da duração da fase de muda possui diferentes escalas. 19
- Figura 6. Duração da fase de muda (SSD, em dias) para o angico-vermelho (A e B) e pau-ferro (C e D) simuladas para o clima presente (PP= 1980-2005), representada pelo triângulo cor preta, e projetadas para o futuro próximo (FP= 2020-2050), representada por círculos cor cinza claro, e futuro distante (FD= 2070-2099), representada por círculos cor cinza escuro nos dois RCPs (4.5: A e C, e 8.5: B e D). As colunas verticais referem-se ao desvio padrão da DFM das projeções dos 8 modelos do NEX-GDDP, coluna cinza claro para o FP e coluna em cinza escuro para FD..... 21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Datas de semeadura, emergência e encerramento da fase de muda das espécies nativas angico-vermelho (A) e pau-ferro (B). Itajubá 2017/2018.	4
Tabela 2. Avaliação do desempenho da estimativa do número de folhas acumuladas considerando os modelos de desenvolvimento - Filocrono (FIL) e Wang e Engel (WE) nas duas espécies nativas – pau-ferro. Itajubá, 2017/2018.	13
Tabela 3. Comparação de médias para a duração da fase de muda (DFM, em dias) para o angico-vermelho e pau-ferro, considerando as simulações realizadas para o período presente (PP= 1980-2004) e as projeções para o clima futuro (FP = 2020-2050, FD = 2070-2099) para as datas de semeadura em dois cenários de forçantes radiativas (RCP 4.5 e 8.5) para Itajubá (MG).....	22

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ANOVA - Análise de variância
 B - Valor do teste de Bartlett
 BIAS - Tendência do modelo
 CFSEMG - Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (1999)
 CMIP5 - *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5*
 CO₂ - Dióxido de carbono
 Cwa - Clima subtropical de altitude
 d - Índice de concordância de Willmott (1981)
 DFM - Duração da fase de muda
 DJF - Dezembro, janeiro e fevereiro
 DS - Data de semeadura
 E_i - Número de folha estimado pelos modelos FIL e WE
 \bar{E}_i - Média do número de folha estimado pelo modelo FIL e WE
 \bar{E}_{di} - Média dos valores da DFM estimados
 E_{ti} - Valores de temperatura média simulados pelos oito modelos climáticos (1980-2004)
 FD - Futuro distante
 FIL - Filocrono
 \bar{FIL} - Filocrono médio
 FP - Futuro próximo
 f(t) - Função beta do ar
 i - Data de início da simulação
 índice - c - Índice de desempenho
 JJA - Junho, julho, agosto
 k - Refere-se aos dados parados (observado e estimado)
 MG - Minas Gerais
 n - Data em que as espécies atingiram a finalização da fase de muda
 NCCS - *NASA Center for Climate Simulation*
 nd - Número de dados
 NEX-GDDP - *NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections*
 NFa - Número de folhas acumuladas
 ns - Número de datas de semeadura
 \bar{O}_{di} - Média dos valores de DFM observados
 O_i - Número de folhas observados
 O_{ti} - Valores de temperatura média observados provenientes do banco de dados disponibilizados por Xavier et al. 2016 (1980-2004)
 PP - período presente
 QME - Quadrado médio do erro
 RCP - *Representative Concentration Pathways*
 RQME - Raiz do quadrado médio do erro
 Si² - Variância entre o número de folha observado e estimado pelos modelos FIL e WE (para cada modelo e espécie)
 Si_d² - Variância entre os valores da DFM observados e estimados (para cada modelo e espécie)
 STd - Soma térmica diária
 t - Teste t-pareado
 TAF - Taxa de aparecimento de folhas
 TAF_{FIL} - Taxa de aparecimento de folhas pelo modelo Filocrono

TAF_{max} - taxa máxima de aparecimento de folhas
TAF_{WE} - Taxa de aparecimentos de folhas pelo modelo Wang e Engel
Tb - Temperatura basal inferior
TB - Temperatura basal superior
Tmed - Temperatura média
Tot - Temperatura ótima
UE - Unidade experimental
VM - Viés médio
WE - Wang e Engel

Sumário

RESUMO	VI
LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABELAS	VIII
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS	IX
1. INTRODUÇÃO	1
2. MATERIAL E MÉTODOS	3
2.1. DESCRIÇÃO DO PROTOCOLO EXPERIMENTAL	3
2.2. DESCRIÇÃO DOS MODELOS DE DESENVOLVIMENTO	6
2.3. CALIBRAÇÃO DOS COEFICIENTES DOS MODELOS DE DESENVOLVIMENTO	7
2.5. AVALIAÇÃO DO IMPACTO DAS PROJEÇÕES CLIMÁTICAS NO DESENVOLVIMENTO ...	9
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	10
3.1. CALIBRAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS MODELOS DE DESENVOLVIMENTO	10
3.2. SIMULAÇÃO E PROJEÇÃO DOS MODELOS DE DESENVOLVIMENTO	18
4. CONCLUSÃO	25
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26
ANEXOS	32
ANEXO 1. VALIDAÇÃO ENTRE O CONJUNTO DE DADOS DE TEMPERATURA MÉDIA DO AR DE OITO MODELOS CLIMÁTICOS REGIONALIZADOS DO NEX-GDDP E DADOS OBSERVADOS DE XAVIER ET AL., 2016 PARA O PERÍODO DE 1980-2004. OS DADOS FORAM EXTRAÍDOS PARA O PONTO E 22°25,5'S E 45°27'W	33
ANEXO 2. CICLO ANUAL DE TEMPERATURA MÉDIA DO AR PROVENIENTES DO BANCO DE DADOS DISPONIBILIZADOS EM XAVIER ET AL., (2016) E SIMULADOS POR OITO MODELOS GLOBAIS DE PREVISÃO CLIMÁTICA PARA O PERÍODO DE 1980-2005 PARA ITAJUBÁ. EM CINZA, DADOS DOS MODELOS CLIMÁTICOS, EM AZUL DADOS OBSERVADOS (XAVIER ET AL., 2016) E EM PRETO O <i>ENSEMBLE</i> DOS MODELOS CLIMATICOS.	33

1. INTRODUÇÃO

As projeções climáticas apontam alterações nos padrões meteorológicos na maior parte do território brasileiro ao longo do século XXI, (IPCC, 2013; SANTOS et al., 2017; SILVA et al., 2019) os quais impactarão diretamente o setor florestal que é altamente vulnerável às mudanças climáticas (PIROVANI et al., 2018; FREIRE et al., 2019; GAERTNER et al., 2019). Nesse sentido, a região sudeste e, sobretudo, o estado de Minas Gerais será um dos mais afetados, pois possui a maior área com florestas plantadas entre os estados brasileiros com aproximadamente 1,9 milhões de hectares de eucalipto, 35 mil hectares de pinus e 1670 hectares de espécies como seringueira, acácia, teca e paricá (IBÁ, 2020) e possui 498 viveiros de espécies florestais distribuídos entre os diferentes biomas como Mata Atlântica, Cerrado e Caatinga (SILVA et al., 2019; SOUSA, 2017). Em Minas Gerais o aumento projetado de até 5°C associado a alterações irregulares nos padrões de precipitação (SANTOS et al., 2017; REBOITA et al., 2019) poderão desencadear importantes alterações no sistema solo-planta-atmosfera (SANTOS et al., 2017; FLORENCIO et al., 2019; GAERTNER et al., 2019; ALVES et al., 2020). No entanto, as alterações mais significativas são relacionadas ao aumento projetado na temperatura, pois é a principal variável meteorológica que governa o desenvolvimento e a fenologia das espécies florestais (FREITAS et al., 2017; FERREIRA et al., 2019a; SILVA et al., 2020).

À medida que se desenvolvem, as plantas estão sujeitas a mudanças físicas em seus meio Ambiente, a temperatura variam com a sucessão das estações e em qualquer período de 24 horas, com isto devido a uma rede robusta com inúmeros termosensores que possibilitam captar quaisquer alterações (absoluta ou gradual) nos padrões de temperatura do ar essas variações na temperaturas têm um impacto considerável na fisiologia celular e nas alterações da responsividade térmica em estreita associação com a composição metabólica e celular (RUELLAND e ZACHOWSI, 2010; BAHUGUNA e JAGADISH, 2015). Portanto, modificações persistentes nos padrões de temperatura ao longo do tempo ocasionam uma série de mudanças em nível celular e anatômico (BAHUGUNA e JAGADISH, 2015) que estão intimamente associadas com (o aumento ou redução) as taxas de desenvolvimento, as respostas fenológicas e a duração do ciclo de desenvolvimento da espécie (RUELLAND e ZACHOWSI, 2010; BAHUGUNA e JAGADISH, 2015; SIMÕES et al., 2019; FLORENCIO et al., 2019).

Inúmeros estudos realizados ao redor do mundo, inclusive no Brasil, têm demonstrado os impactos negativos decorrentes do aumento da temperatura no desenvolvimento de

espécies vegetais. A maioria foram realizados em culturas agrícolas como: arroz (STRECK et al., 2013), mandioca (TIRONI et al., 2017), batata (FAGUNDES et al., 2010), cana de açúcar (MARIN e NASSIF, 2013), soja (SOUZA et al., 2018), algodão (ASSAD et al., 2013), milho (MARTINS et al., 2019), soja (BHATTARAI et al., 2017; SILVA et al., 2017), café (TAVARES et al., 2017), oliveira (SANTOS et al., 2017; FLORENCIO et al., 2019), uva (FRAGA et al., 2019); em culturas ornamentais como orquídeas (BARMAN e DEVADAS, 2013) e gladiolo (BECKER et al., 2021), mas são escassos em culturas florestais. Os poucos estudos existentes no Brasil foram realizados para espécies de eucalipto (COSTA e STRECK, 2018), pinus (OLIVEIRA et al., 2012), teca e cedro (PIROVANI et al., 2018). Em comum, esses estudos foram realizados para espécies exóticas, de interesse econômico e relacionados principalmente às alterações nas áreas de aptidão ao plantio, sendo inexistentes em espécies nativas brasileiras e assim como relacionado à fenologia do desenvolvimento.

Os modelos de desenvolvimento podem ser utilizados para avaliar os impactos das mudanças climáticas na fenologia das espécies florestais (COSTA e STRECK, 2018; FLORENCIO et al., 2019; FERREIRA et al., 2019b), pois estimam o número de folhas ao longo do tempo, a dinâmica do desenvolvimento inicial e a duração da fase de muda (STRECK et al., 2013; UHLHMANN et al., 2017; FERREIRA et al., 2019b). Os modelos de desenvolvimento relacionam a taxa de aparecimento de folhas com funções de temperatura do ar, que por sua vez são divididas em dois grupos: lineares ou não lineares (COSTA e STRECK, 2018; FERREIRA et al., 2019b; FLORENCIO et al., 2019). Os exemplos mais recorrentes de modelos de desenvolvimento são: Filocrono (FIL) que utiliza uma função linear de temperatura denominada soma térmica (MARTINS et al., 2014; LANGNER et al., 2018) e Wang e Engel (WE) (WANG e ENGEL, 1998) que utiliza uma função não linear de temperatura denominada função beta. Ambos os modelos necessitam que as calibrações sejam realizadas localmente e para cada espécie, devido sua dependência ambiental e genética (UHLHMANN et al., 2017; FERREIRA et al., 2019b) sendo amplamente utilizados em culturas anuais (STRECK et al., 2011, ERPEN et al., 2013; UHLHMANN et al., 2017) e escassos em espécies florestais (MARTINS e STRECK, 2007; MONTEIRO et al., 2014; FERREIRA et al., 2019b).

O Anadenanthera peregrina (L.) Speg. (anteriormente denominada de *Anadenanthera falcata* ou *Anadenanthera macrocarpa* (Benth) Brenan) conhecida popularmente como angico-vermelho, merece atenção devido às suas importâncias ecológica e econômica (SILVA et al., 2020). Ecologicamente apesar de não ser uma espécie endêmica do Brasil, é uma espécie nativa brasileira que compõe os domínios fitogeográficos do Cerrado, Caatinga,

Amazônia e Mata Atlântica, ocorrendo, naturalmente, no Sul, Sudeste, Centro Oeste, Norte e Nordeste (MOTA et al., 2017) e economicamente o angico-vermelho pode ser utilizado na construção civil e rural, paisagismo, fabricação de moveis, produção de carvão vegetal e lenhas, e suas cascas são utilizadas como curtume de couro e tinturaria (MOTA et al., 2017, OLIVEIRA e NOVAES, 2020).

Já a *Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul.) L. P. Queiroz (anteriormente denominada como *Caesalpinia ferrea* Mart. ex. Tul. Var. *leiostachya* Benth) e conhecida como pau-ferro (BORGES et al., 2012), ecologicamente sua importância se dá pelo fato da espécie ser endêmica do Brasil e fazer parte da composição dos domínios fitogeográficos da Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica e apresentar ocorrência confirmada no Nordeste e Sudeste, e portanto economicamente o pau-ferro apresenta utilidades para a fabricação de moveis, paisagismo e suas cascas, folhas e raízes são utilizadas na medicina popular (FERREIRA et al., 2020). Ambas as espécies por serem nativas, com boa regeneração e resistentes as condições adversas do campo são ótimas opções em programas de reflorestamento de áreas degradadas (OLIVEIRA e NOVAES, 2020).

Adicionalmente, duas questões práticas e importantes com relação às duas espécies devem ser respondidas. Primeira: qual o modelo de desenvolvimento descreve melhor a fenologia de cada uma das espécies? Segunda: como as mudanças climáticas, principalmente relacionadas à temperatura do ar, podem afetar o desenvolvimento comparadas ao clima presente? E caso o desenvolvimento seja afetado, qual o impacto disso na duração da fase de muda? Dessa forma, os objetivos deste estudo foram calibrar e avaliar os modelos de desenvolvimento FIL e WE para prever o número de folhas acumuladas (NFa) assim como identificar os possíveis impactos dos aumentos projetados de temperatura do ar na duração de fase de muda (DFM) das espécies *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg. (angico-vermelho) e *Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul.) L. P. Queiroz (pau-ferro).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Descrição do protocolo experimental

Os dados utilizados neste estudo foram provenientes de um experimento conduzido na área experimental da Universidade Federal de Itajubá (22°24'46,4"S; 45°26'48,94"W; 850 m de altitude), em Itajubá (MG), durante os anos agrícolas de 2017 e 2018. A região apresenta clima subtropical de altitude (Cwa), com inverno seco (JJA) e verão quente e úmido (DJF), segundo a classificação de Köppen (FREITAS et al., 2017).

As sementes das duas espécies nativas foram coletadas em quatro períodos distintos de dispersão, em diferentes matrizes entre os anos de 2016 a 2017 nas cidades de Itajubá, Pedralva e Piranguinho, todas localizadas no sul de Minas Gerais. Para conservar a viabilidade das sementes ao longo do experimento foram seguidas as recomendações de Medeiros (2001) e Lorenzi (2014).

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com duas espécies nativas, angico-vermelho e pau-ferro, cultivadas em vasos de 11L, em doze datas de semeadura (DS) (Tabela 1) instaladas em intervalos de aproximadamente 30 dias e cinco repetições, totalizado 120 unidades experimentais (UE). As diferentes DS foram instaladas para que as plantas se desenvolvessem em diferentes condições meteorológicas (Figura 1), especialmente temperatura do ar, o que é um requisito importante para a calibração e avaliação dos modelos de desenvolvimento (MARTINS et al., 2014; UHLMANN et al., 2017; FERREIRA et al., 2019b).

Tabela 1. Datas de semeadura, emergência e encerramento da fase de muda das espécies nativas angico-vermelho (A) e pau-ferro (B). Itajubá 2017/2018.

Data de semeadura (dia/mês/ano)	angico-vermelho		pau-ferro	
	Data de emergência ¹ (VE) (dia/mês/ano)	Data do fim da fase de muda ² (dia/mês/ano)	Data de emergência ¹ (VE) (dia/mês/ano)	Data do fim da fase de muda ² (dia/mês/ano)
DS01, 20/01/2017	03/02/2017	05/05/2017	27/01/2017	02/06/2017
DS02, 20/02/2017	03/03/2017	03/11/2017	03/03/2017	18/08/2017
DS03, 20/03/2017	31/03/2017	22/12/2017	31/03/2017	17/11/2017
DS04, 20/04/2017	28/04/2017	12/01/2018	28/04/2017	20/10/2017
DS05, 19/05/2017	02/06/2017	09/02/2018	02/06/2017	03/11/2017
DS06, 20/06/2017	30/06/2017	02/03/2018	07/07/2017	15/12/2017
DS07, 20/07/2017	04/08/2017	16/02/2018	04/08/2017	01/12/2017
DS08, 21/08/2017	01/09/2017	22/12/2017	01/09/2017	29/12/2017
DS09, 20/09/2017	29/09/2017	29/12/2017	06/10/2017	23/03/2018
DS10, 20/10/2017	03/11/2017	16/02/2018	03/11/2017	19/01/2018
DS11, 20/11/2017	08/12/2017	09/03/2018	01/12/2017	23/02/2018
DS12, 20/12/2017	12/01/2018	23/03/2018	29/12/2017	30/03/2018

¹ A data da emergência foi assumida quando 36% das sementes estavam germinadas e visíveis acima do solo. ² O encerramento da fase de muda foi considerado quando o angico-vermelho atingiu 12 folhas e o pau-ferro atingiu 20 folhas acumuladas na haste principal, ambos limiares determinados por Silva et al., (2020).

As DS foram divididas em dois grupos: o primeiro grupo (DS1 a DS5) foi usado para calibrar os coeficientes dos modelos FIL e WE (detalhes no item 2.3) e o segundo grupo (DS6 a DS12) para avaliar o desempenho de ambos os modelos (detalhes no item 2.4). Em ambos os grupos as variações da temperatura do ar foram contempladas pela sazonalidade, pois para a calibração os dados de temperatura do ar utilizados foram de fevereiro/2017 a março/2018 e para a avaliação de agosto/2017 a março/2018.

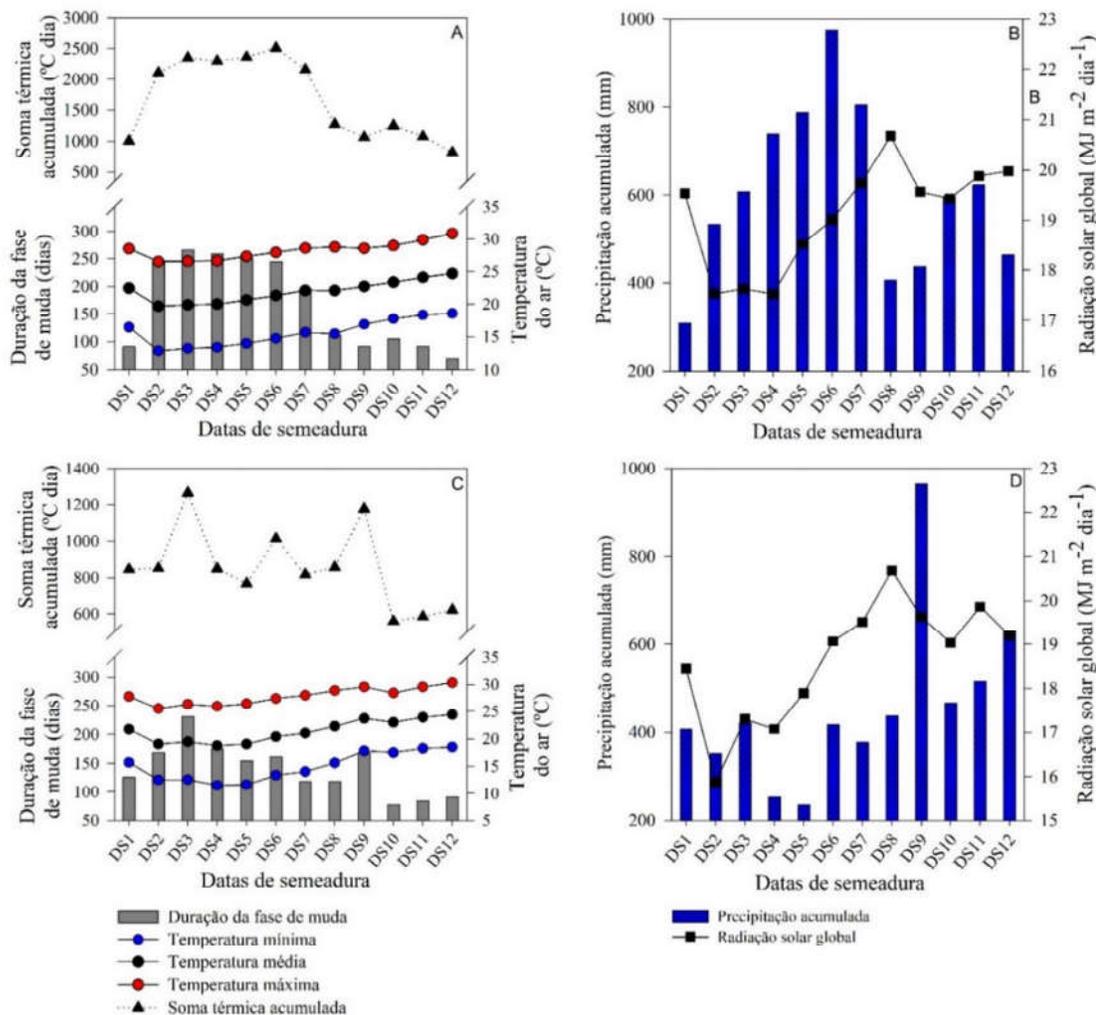


Figura 1. Variação da duração da fase de muda, temperatura mínima, média e máxima do ar (°C), soma térmica acumulada (°C dia), precipitação acumulada (mm) e radiação solar global (Mj m⁻² dia⁻¹) para o angico-vermelho (A e B) e para o pau-ferro (C e D) entre as datas de semeadura. Os dados meteorológicos foram obtidos na estação meteorológica automática próxima ao experimento.

Os vasos foram preenchidos com o horizonte “A” moderado de um Latossolo Vermelho distrófico típico, coletado em Itajubá. As análises químicas indicaram acidez elevada (pH em H₂O = 5), baixa quantidade de cálcio (0.16 cmol_c dm⁻³) e magnésio trocáveis (0 cmol_c dm⁻³), baixos (elevados) teores de fósforo, potássio, cálcio e magnésio (cobre, ferro,

manganês e zinco). Por isso, foram realizadas duas correções no solo pela recomendação da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG, 1999), aplicando em cada UE - 17.63 g de carbonato de cálcio (CaCO_3), e 5.88 g de carbonato de magnésio (MgCO_3), ambos para correção da acidez e diminuição do teor de Al^{3+} ; 8.86 g de superfosfato simples (18%), 1.52 g de cloreto de potássio (60%) e 2.28 g sulfato de amônia para a correção das deficiências nutricionais relacionadas aos macronutrientes. A primeira correção do solo foi realizada 40 dias antes de cada DS e a segunda correção foi realizada aos 90 dias após a emergência.

2.2. Descrição dos modelos de desenvolvimento

Os dois modelos de desenvolvimento usados neste estudo (FIL e WE) estimam primeiramente o número de folhas acumuladas (NFa) desde a emergência (i) até a finalização da fase de muda (n) (Tabela 1), e posteriormente obtém a duração da fase de muda (DFM) (UHLMANN et al., 2017; FERREIRA et al., 2019b; BECKER et al., 2021). A data de emergência foi considerada quando 36% das sementes estavam germinadas e o final da fase de muda foi considerado quando o angico-vermelho atingiu 12 folhas e o pau-ferro 20 folhas, (Tabela 1) que representam o patamar ideal para comercialização das mudas das duas espécies nativas (SILVA et al., 2020).

Para simular o NFa é necessário obter a taxa de aparecimento de folhas (TAF). No modelo do FIL a TAF é dada por (LISBOA et al., 2012; MARTINS et al., 2014; LANGNER et al., 2018; FLORENCIO et al., 2019):

$$\text{TAF}_{\text{FIL}} = \frac{\text{STd}}{\overline{\text{FIL}}} \quad (1)$$

Em que: TAF_{FIL} = taxa diária de aparecimento de folhas (folhas dia^{-1}), STd = soma térmica diária ($^{\circ}\text{C dia}$), $\overline{\text{FIL}}$ = Filocrono médio ($^{\circ}\text{C dia folha}^{-1}$) que é específico de cada espécie nativa florestal (detalhes no item 2.3). A STd foi obtida por (STRECK et al., 2011):

$$\text{STd} = \begin{cases} 0, & \text{Tmed} < \text{Tb} \text{ ou } \text{Tmed} > \text{TB} \\ \text{Tmed} - \text{Tb} \cdot 1 \text{ dia}, & \text{Tb} \leq \text{Tmed} \leq \text{Tot} \\ (\text{Tot} - \text{Tb}) \cdot \frac{(\text{TB} - \text{Tmed})}{(\text{TB} - \text{Tot})} \cdot 1 \text{ dia}, & \text{Tot} < \text{Tmed} \leq \text{TB} \end{cases}$$

(2)

Em que: Tmed = temperatura média diária do ar ($^{\circ}\text{C}$), dada pelas leituras horárias da temperatura do ar da estação meteorológica automática, Tb , Tot e TB = temperaturas cardinais (base, ótima e basal superior) para a TAF. As temperaturas cardinais do angico-

vermelho foram $T_b = 10^\circ\text{C}$, $T_{ot} = 23,0^\circ\text{C}$ e $T_B = 45,5^\circ\text{C}$ e do pau-ferro $T_b = 12,8^\circ\text{C}$, $T_{ot} = 20,7^\circ\text{C}$ e $T_B = 46,3^\circ\text{C}$ (SILVA et al., 2020).

No modelo do WE, a TAF é dada por (LANGNER et al., 2018; LANGNER et al., 2016, GABRIEL et al., 2014):

$$TAF_{WE} = TAF_{max} \cdot f(t) \quad (3)$$

Em que: TAF= taxa de aparecimento de folhas (folhas dia⁻¹), TAF_{max}= taxa máxima de aparecimento de folhas (folhas dia⁻¹) específica de cada espécie nativa (detalhes no item 2.3), f(t)= função beta de temperatura do ar (de 0 a 1) dada por:

$$f(t) = \begin{cases} 0, & \text{Se: } T_{med} < T_b \text{ ou } T_{med} > T_B \\ \frac{[2(T_{med}-T_b)^\alpha(T_{ot}-T_b)^\alpha(T_{med}-T_b)^{2\alpha}]}{(T_{ot}-T_b)^{2\alpha}} & \text{Se: } T_{ot} < T_{med} \leq T_B \end{cases} \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{\ln 2}{\ln[(T_B-T_b)/(T_{ot}-T_b)]} \quad (5)$$

Em que: T_b , T_{ot} e T_B = temperaturas cardinais ($^\circ\text{C}$) mencionadas anteriormente, α = é o coeficiente da f(t).

O N_{Fa} foi calculado pelo acúmulo diário da TAF, ou seja, $N_{Fa} = \Sigma TAF$ pelo modelo do FIL e WE, desde a data de emergência até o final da fase de muda (MARTINS et al., 2014; FERREIRA et al., 2019b). A DFM foi definida como a duração, em dias, para as mudas atingirem o fim da fase de muda, variando desde a data da emergência até $N_{Fa}=12$ para o angico-vermelho e 20 para o pau-ferro, sendo ambos limiares apropriados para o término da fase de muda (SILVA et al., 2020).

2.3. Calibração dos coeficientes dos modelos de desenvolvimento

Os coeficientes \overline{FIL} (modelo FIL) e TAF_{max} (modelo WE) foram calibrados usando dados das DS1 a DS5. O \overline{FIL} foi obtido para cada espécie pela média aritmética do inverso do coeficiente angular das regressões lineares entre o TAF e STd acumulada, dada pelo acúmulo diário de STd (STRECK et al., 2008; MARTINS et al., 2014; LANGNER et al., 2018). As regressões lineares foram ajustadas para cada DS (DS1 a DS5) e espécie.

O TAF_{max} foi calibrado para cada espécie pelas regressões não lineares entre N_{Fa} observado para cada DS (1 a 5) e f(t) acumulada, obtido pelo acúmulo diário de f(t) (MARTINS et al., 2014; FERREIRA et al., 2019b). O valor de TAF_{max} foi considerado como aquele apresentou menor quadrado médio do erro (QME) (MARTINS et al., 2014; UHLMANN et al., 2017; FERREIRA et al., 2019b). Para isto foi adotado o procedimento *Nonlinear estimation* do software Statistica[®] (STATSOFT, 2008), considerando a variante de

Gauss-Newton pelo método dos mínimos quadrados ordinários (MARTINS et al., 2014; FERREIRA et al., 2019b).

2.4. Avaliação do desempenho dos modelos de desenvolvimento

A avaliação dos modelos de desenvolvimento (FIL e WE) foi realizada usando dados independentes de NFA das DS6 a DS12. As estatísticas usadas para avaliar o desempenho de ambos os modelos foram (WILLMOTT, 1981; ULHMANN et al., 2017; MONTEIRO e MARTINS, 2019; FERREIRA et al., 2019b): raiz do quadrado médio do erro (RQME), erro médio (BIAS), índice de concordância de Wilmott (d) e índice de desempenho (índice-c).

$$RQME = \left[\frac{\sum(E_i - O_i)^2}{nd} \right]^{0,5} \quad (6)$$

$$BIAS = \frac{(\sum E_i - \sum O_i)}{\sum O_i} \quad (7)$$

$$d = 1 - \frac{[\sum(E_i - O_i)^2]}{[\sum(|E_i - \bar{O}_i|) + \sum(|O_i - \bar{O}_i|)^2]} \quad (8)$$

$$\text{índice - c} = \frac{\sum(O_i - \bar{O}_i)(E_i - \bar{O}_i)}{\{[\sum(O_i - \bar{O}_i)^2][\sum(E_i - \bar{E}_i)^2]\}^{0,5}} \cdot d \quad (9)$$

O critério para a interpretação do índice de desempenho é: >0,85= ótimo; 0,76 a 0,85= muito bom; 0,66 a 0,75= bom; 0,61 a 0,65= moderado; 0,51 a 0,60= fraco; 0,41 a 0,50 = muito fraco e ≤0,40= péssimo (CAMARGO e SENTELHAS, 1997).

Em que: O_i número de folha observado, E_i = número de folha estimado pelos modelos FIL e WE; \bar{O}_i = média do número de folha observado, \bar{E}_i = média do número de folha estimado pelo modelo FIL e WE, nd = número de observações.

Adicionalmente foi verificada normalidade e a homogeneidade das variâncias entre o NFA estimado e observado pelos dois modelos pelo teste de Bartlett. Para isso, foi testada a hipótese H_0 = variância homogênea ($p \geq 0,05$) versus H_1 = variância não homogênea ($p < 0,05$) (SNEDECOR e COCHRAN, 1989; MONTEIRO e MARTINS, 2019):

$$B = \frac{(\sum vi) \ln\left(\frac{\sum vi Si^2}{\sum vi}\right) - \sum vi \ln Si^2}{1 + \left\{ \sum\left(\frac{1}{vi}\right) - 1 \right\} / \{3(K-1)\}} \quad (10)$$

Em que: B = valor do teste de Bartlett; $vi = nd - 1$; Si^2 = variância entre o número de folha observado e estimado pelos modelos FIL e WE (para cada modelo e espécie); $k = 2$ que refere-se aos dados parados (observado e estimado); nd = número de dados.

Além disso, foi verificada a performance dos modelos (FIL e WE) em estimar a DFM das duas espécies nativas através do teste t-pareado. No teste t-pareado foi testada a hipótese H_0 = média dos valores da DFM observada é igual à média da DFM estimada (para cada

modelo e espécie) ($p \geq 0,05$) versus H_1 = média dos valores da DFM observada é diferente da média da DFM estimada ($p < 0,05$), dada por (SNEDECOR e COCHRAN, 1989; MONTEIRO e MARTINS, 2019):

$$t = \frac{\overline{O_{di}} - \overline{E_{di}}}{\frac{Si_d^2}{\sqrt{ns}}} \quad (11)$$

Em que: t = valor do teste t-pareado, $\overline{O_{di}}$ = média dos valores de DFM observados; $\overline{E_{di}}$ = média dos valores da DFM estimados, Si_d^2 = variância entre os valores da DFM observados e estimados (para cada modelo e espécie), ns = número de datas de semeadura.

O modelo de desenvolvimento que apresentou melhor estimativa do NFa dado pelo menor valor de RQME e BIAS, maior valor de 'd' e índice-c, homogeneidade da variância ($p \geq 0,05$), assim como melhor desempenho na estimativa da DFM, foi selecionado para verificar o impacto do aumento projetado de temperatura do ar no desenvolvimento do angico-vermelho e pau-ferro (detalhes no item 2.5).

2.5. Avaliação do impacto das projeções climáticas no desenvolvimento

A avaliação no impacto das projeções das mudanças climáticas foi realizada para a variável DFM. Para isso, o desenvolvimento de ambas as espécies foi simulado para o clima presente, denominado período presente (PP, 1980-2004), e projetado para o futuro próximo (FP, 2021-2050) e futuro distante (FD, 2071-2100), utilizando o modelo que melhor descreveu o desenvolvimento (FIL ou WE) nas condições experimentais (detalhada no item 2.4). A simulação e as projeções foram realizadas para as doze DS a partir da data de emergência (i) (Tabela 1) até a data em que cada espécie atingiu a finalização da fase de muda (sendo NFa = 12 para o angico-vermelho e NFa = 20 para o pau-ferro), contabilizando a DFM pelo $\sum_{i=VE}^{n=NFa}$ dias (FLORENCIO et al., 2019).

Para isso, nas funções de temperatura dos modelos de desenvolvimento (STd ou f(t)) foram inseridos os dados diários de Tmed próximo à superfície de oito modelos climáticos do sistema terrestre integrantes do conjunto de dados da *NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections* (NEX-GDDP). Esses modelos possuem *downscaling* estatístico e derivam de projeções climáticas do *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5* (CMIP5), sendo fornecidas pelo *Climate Analytics Group* e *NASA Ames Research Center* e disponibilizados pelo *NASA Center for Climate Simulation* (NCCS) (TAYLOR et al., 2012). Os oito modelos climáticos regionalizados utilizados foram: ACCESS-1, CCSM4, CNRN-CM5, GDFL-CM3, IPSL-CM5A-MR, MIROC5, MPI-ESM-MR e MRI-CGCM3 (Anexo 1).

Todos possuem resolução espacial de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ (latitude/longitude) e foram extraídos para o ponto de grade próximo a Itajubá ($22^\circ 25,5'S$ e $45^\circ 27'W$). Optou-se pela utilização dos modelos regionalizados do NEX-GDDP devido à melhor resolução horizontal e estruturas espaciais quando comparado ao global, possibilitando melhor representação do clima local (XAVIER et al., 2018).

Neste trabalho foram utilizados dois cenários RCP 4.5, e 8.5 (sigla para *Representative Concentration Pathways*) (RCP), que correspondem a uma forçante radiativa aproximada no final do século XXI de 4.5 Wm^{-2} (CO_2 equivalente ≈ 650 ppm) e 8.5 Wm^{-2} (CO_2 equivalente ≈ 1370 ppm), relativo às condições pré-industriais (MOSS et al., 2010).

Previamente, o período presente (1980-2004) foi validado através de comparação com os dados disponibilizados por Xavier et al., (2016) (<https://utexas.app.box.com/v/Xavier-et-al-IJOC-DATA>), extraídos para o ponto de grade próximo de Itajubá ($22^\circ 25,5'S$ e $45^\circ 27'W$), com resolução similar aos modelos do NEX-GDDP ($\sim 0,25^\circ$ latitude/longitude). Os dados do Xavier et al. (2016) derivam da interpolação espacial de dados observados, subsidiados por validações cruzadas, constituindo uma base de dados com rigoroso controle de qualidade. Esse procedimento foi adotado para evitar erros nos padrões projetados de Tmed dos 8 modelos climáticos do NEX-GDDP e nas projeções da DFM. Na validação foram utilizadas as estatísticas: raiz do quadrado médio do erro (RQME) e viés médio (VM):

$$\text{RQME} = [\sum_{i=1}^n (E_{ti} - O_{ti})^2 / nd]^{0,5} \quad (11)$$

$$\text{VM} = nd^{-1} \sum_{i=1}^n (E_{ti} - O_{ti}) \quad (12)$$

Em que: E_{ti} = valores de Tmed simulados pelos oito modelos climáticos (1980-2004); O_{ti} = valores de Tmed observados provenientes do banco de dados disponibilizados por Xavier et al. 2016 (1980-2004), nd = número de dados.

Foi realizada a análise de variância (ANOVA) para a DFM em cada espécie nativa brasileira, seguida da comparação de médias pelo teste de Scott-Knott ($\alpha=0,05$), pela interação entre as fontes de variação: datas de semeadura (12 DS), condições climáticas (PP, FP e FD) e forçantes radiativas (RCPs 4.5 e 8.5), conforme recomendação de Streck et al., (2013) e Florencio et al., (2019).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Calibração e avaliação dos modelos de desenvolvimento

Houve variação das condições meteorológicas durante a condução do experimento (Figura 1). De maneira geral, a radiação solar global foi maior nos meses de primavera e

verão, que ocorreu durante as DS9 a DS12 e DS1, e a precipitação foi maior (menos) nos meses do verão (inverno), o que é típico do clima de monção da região devido o sistema de monção Sul Americana e atividades convectivas locais (SILVA et al., 2014; MONTEIRO e MARTINS, 2019). A temperatura do ar variou entre 3,6 °C (mínimo absoluto) a 34,6 °C (máximo absoluto), influenciando a TAF e a DFM (Figura 1). Tais variações, em especial a da temperatura do ar, são ideais na calibração dos coeficientes dos modelos de desenvolvimento (MARTINS et al., 2014; FERREIRA et al., 2019b; UHLMANN et al., 2017) e na avaliação do desempenho destes modelos, uma vez que espera-se o bom desempenho dos modelos em um ampla faixa de temperatura do ar (STRECK et al., 2011; ERPEN et al., 2013).

A TAF foi maior e a DFM menor na DS12 (70 dias) para o angico-vermelho e na DS10 (77 dias) para o pau ferro, justamente nas DS que apresentaram maior número de dias com \sim Tot das espécies (23 °C e 20,7 °C) (SILVA et al., 2020) (53 dias para o angico-vermelho e 29 dias para o pau-ferro). Já a menor TAF e maior DFM ocorreu na DS3, na qual a Tmed esteve abaixo da Tot (e próxima da Tb) em 29 dias para o angico-vermelho e 71 dias para o pau-ferro.

Os coeficientes de calibração de ambos modelos de desenvolvimento (\overline{FIL} e TAF_{max}) variaram entre as duas espécies nativas, o que indica que a espécie mais precoce e de menor DFM, possuem menor valor de \overline{FIL} e maior TAF_{max} . No modelo FIL, o valor do $\overline{FIL}=171,5^{\circ}C$ dia folha⁻¹ (coeficiente angular = 0,0058 folha °C dia⁻¹) para o angico-vermelho e $\overline{FIL}= 46,4$ °C dia folha⁻¹ (coeficiente angular = 0,0215 folha °C dia⁻¹) para o pau-ferro. O significado biológico de \overline{FIL} representa a quantidade de energia necessária para emissão de uma folha (STRECK et al., 2011; FREITAS et al., 2017; FERREIRA et al., 2019a,b). Por essa abordagem, a soma térmica acumulada para finalizar a fase de muda varia, aproximadamente, de 928°C dia (pau-ferro) a 2058°C dia (angico-vermelho). Para o angico-vermelho, o acúmulo térmico foi próximo as condições experimentais observadas para as DS2 e DS7 (Figura 1A), porém em outras DS foi menor (DS1, DS8 a DS12) e maior (DS3 a DS6) que 2058°C dia. Para o pau-ferro as DS1, DS2, DS4, DS6 e DS8 apresentaram acúmulo térmico próximo a 928°C dia. Enquanto outras DS, principalmente DS3 e DS9, tiveram acúmulo térmico superior, e DS5, DS7, DS10 a DS12 tiveram um acúmulo inferior a 928°C dia com diferenças máximas próximas a -111°C dia (DS7) e -370°C dia (DS10) (Figura 1C). Ou seja, em ambas espécies as DS com acúmulo inferior de soma térmica apresentaram também menor DFM.

Já para o modelo WE, o valor do coeficiente TAF_{max} foi de 0,050 folha dia⁻¹ para o angico-vermelho e de 0,1829 folha dia⁻¹ para o pau-ferro, que representa a menor DFM quando a temperatura do ar é próxima a Tot de desenvolvimento de cada espécie (STRECK et al., 2011; MARTINS et al., 2014; FERREIRA et al., 2019b). Usando essa abordagem, a menor DFM variou de 109 dias (pau-ferro) a 240 dias (angico-vermelho), sendo próxima a condição experimental para as DS2 (245 dias) e DS6 (245 dias) para o angico-vermelho, e DS7 (119 dias) e DS8 (119 dias) para o pau-ferro.

Justamente por apresentar menor \overline{FIL} e maior TAF_{max} , o pau-ferro consegue se desenvolver mais rapidamente que o angico-vermelho e antecipar a finalização da fase de muda. Comparando ambos os coeficientes (\overline{FIL} e TAF_{max}) com outras espécies florestais como *Eucalyptus grandis* ($\overline{FIL} = 30,9^{\circ}C$ dia folha⁻¹ e $TAF_{max} = 0,4107$ folha dia⁻¹) e *Eucalyptus saligna* ($\overline{FIL} = 32,2^{\circ}C$ dia folha⁻¹ e $TAF_{max} = 0,3180$ folha dia⁻¹) (MARTINS e STRECK, 2007), *Hymenolobium petraeum*, *Parkia pendula*, *Adenantha pavonina*, *Cassia fistula* (\overline{FIL} entre $11,40^{\circ}C$ dia folha⁻¹ a $30,30^{\circ}C$ dia folha⁻¹) (MONTEIRO et al., 2014), *Psidium guajava* L. ($\overline{FIL} = 43,10^{\circ}C$ dia folha⁻¹ e $TAF_{max} = 0,1086$ folha dia⁻¹) (FERREIRA et al., 2019b) e *Citharexylum myrianthum* ($\overline{FIL} = 33,3^{\circ}C$ dia folha⁻¹ e $TAF_{max} = 0,1867$ folha dia⁻¹) (MARTINS et al., 2021), nota-se que o angico-vermelho possui menor velocidade de emissão de folhas, maior ciclo de desenvolvimento inicial e DFM, sendo mais tardia que o pau-ferro. Além disso, tanto o angico-vermelho quanto o pau-ferro possuem maior \overline{FIL} e menor TAF_{max} que as demais espécies florestais. E portanto, podem ficar expostas a maior período com condições meteorológicas adversas ao desenvolvimento, reduzindo ainda mais a TAF e aumentando a DFM de ambas espécies nativas.

De maneira geral, ambos os modelos conseguiram estimar com precisão o Nfa para as duas espécies, com baixos valores de RQME (0,72 folhas a 6,74 folhas), BIAS (-0,75 a 0,64) e valores de d (0,55 a 0,99) e índice-c ($\geq 0,53$) (Tabela 2). Ambos os modelos apresentaram desempenho bom a ótimo em todas as DS, exceto para o angico-vermelho no WE nas DS11 (0,57) e DS12 (0,53). Isto pode ser ocorrido pelo fato dessas DS apresentarem menor DFM, pois os modelos apresentam erros principalmente no início do desenvolvimento quando há um pequeno Nfa e a tendência não está bem definida. Independentemente da espécie, os pressupostos da normalidade e homogeneidade não foram violados por ambos os modelos na maioria das DS, exceto DS12 no angico-vermelho (Tabela 2). O teste de Bartlett demonstrou que a variância entre o Nfa observado e estimado foi significativa, principalmente considerando o modelo FIL para o angico-vermelho, e o modelo WE para o pau ferro (Tabela

2). Esta resposta é um fator desejável na escolha do modelo de desenvolvimento mais adequado do ponto de vista biológico e estatístico (MARTINS e STRECK, 2007; FERREIRA et al., 2019b; MARTINS et al., 2021).

Tabela 2. Avaliação do desempenho da estimativa do número de folhas acumuladas considerando os modelos de desenvolvimento - Filocrono (FIL) e Wang e Engel (WE) nas duas espécies nativas – pau-ferro. Itajubá, 2017/2018.

Datas de semeadura	Modelos	RQME	BIAS	d	índice-c (1)	B (2)
angico-vermelho						
DS6	FIL	1,91	0,18	0,94	0,92	0,02 ^{ns}
	WE	0,72	0,01	0,99	0,97	0,45 [*]
DS7	FIL	1,08	-0,08	0,98	0,95	0,62 [*]
	WE	2,34	-0,27	0,88	0,85	0,04 ^{ns}
DS8	FIL	2,49	-0,38	0,83	0,82	0,17 [*]
	WE	3,55	-0,53	0,68	0,67	0,01 ^{ns}
DS9	FIL	3,16	-0,45	0,72	0,71	0,05 [*]
	WE	4,16	-0,60	0,61	0,60	0,00 ^{ns}
DS10	FIL	3,23	-0,40	0,77	0,74	0,07 [*]
	WE	4,50	-0,56	0,64	0,61	0,00 ^{ns}
DS11	FIL	3,35	-0,48	0,70	0,66	0,07 [*]
	WE	4,36	-0,63	0,60	0,57	0,00 ^{ns}
DS12	FIL	5,26	-0,66	0,63	0,60	0,01 ^{ns}
	WE	6,02	-0,75	0,55	0,53	0,00 ^{ns}
Média	FIL	2,93	-0,33	0,79	0,77	0,14 [*]
	WE	3,66	-0,48	0,71	0,69	0,07 [*]
pau-ferro						
DS6	FIL	1,17	-0,05	0,99	0,99	0,63 [*]
	WE	6,74	0,64	0,83	0,81	0,08 [*]
DS7	FIL	1,14	0,01	0,99	0,98	0,64 [*]
	WE	3,04	0,34	0,94	0,93	0,67 [*]
DS8	FIL	1,24	-0,10	0,99	0,99	0,48 [*]
	WE	1,25	0,11	0,99	0,99	0,78 [*]
DS9	FIL	3,52	0,29	0,98	0,96	0,11 [*]
	WE	6,60	0,59	0,79	0,78	0,01 ^{ns}
DS10	FIL	3,58	-0,28	0,96	0,93	0,09 [*]
	WE	2,33	-0,13	0,95	0,92	0,30 [*]
DS11	FIL	4,81	-0,38	0,94	0,91	0,04 ^{ns}
	WE	3,35	-0,24	0,91	0,88	0,23 [*]
DS12	FIL	5,19	-0,38	0,94	0,92	0,04 ^{ns}
	WE	3,22	-0,22	0,93	0,92	0,24 [*]
Média	FIL	2,95	-0,13	0,97	0,95	0,29 [*]
	WE	3,79	0,15	0,91	0,89	0,33 [*]

⁽¹⁾ critério para a interpretação do índice de desempenho: $>0,85$ = ótimo; $0,76$ a $0,85$ = muito bom; $0,66$ a $0,75$ = bom; $0,61$ a $0,65$ = moderado; $0,51$ a $0,60$ = fraco; $0,41$ a $0,50$ = muito fraco e $\leq 0,40$ = péssimo (CAMARGO e SENTELHAS, 1997). ⁽²⁾ B = valor da probabilidade do teste Bartlett (que compara a variância entre o número de folhas observada e estimada por cada modelo – FIL e WE), ^{ns} = variância não homogênea ($p < 0,05$); * = variância homogênea ($p \geq 0,05$) pelo teste de Bartlett.

Os valores de estimados versus observado de NFa para os dados independentes (para cada espécie e DS) são apresentados na Figura 2. Para o angico-vermelho, ambos os modelos subestimam o NFa em todas as DS, exceto a DS6, e com maior magnitude nas épocas em que houve violação da pressuposição da normalidade (DS11 e DS12) (Figura 2 A,B). Enquanto que para o pau-ferro há superestimativa do NFa nas DS6 a DS9, e subestimativa nas D10 a DS12, em ambos os modelos. Exceto o modelo WE para o pau-ferro, houve subestimativa no início do desenvolvimento das duas espécies, principalmente abaixo do NFa = 6 folhas. Subestimativas no início do desenvolvimento são comuns entre os modelos de desenvolvimento, principalmente em espécies florestais, as quais não apresentam um comportamento bem definido (FERREIRA et al., 2019b).

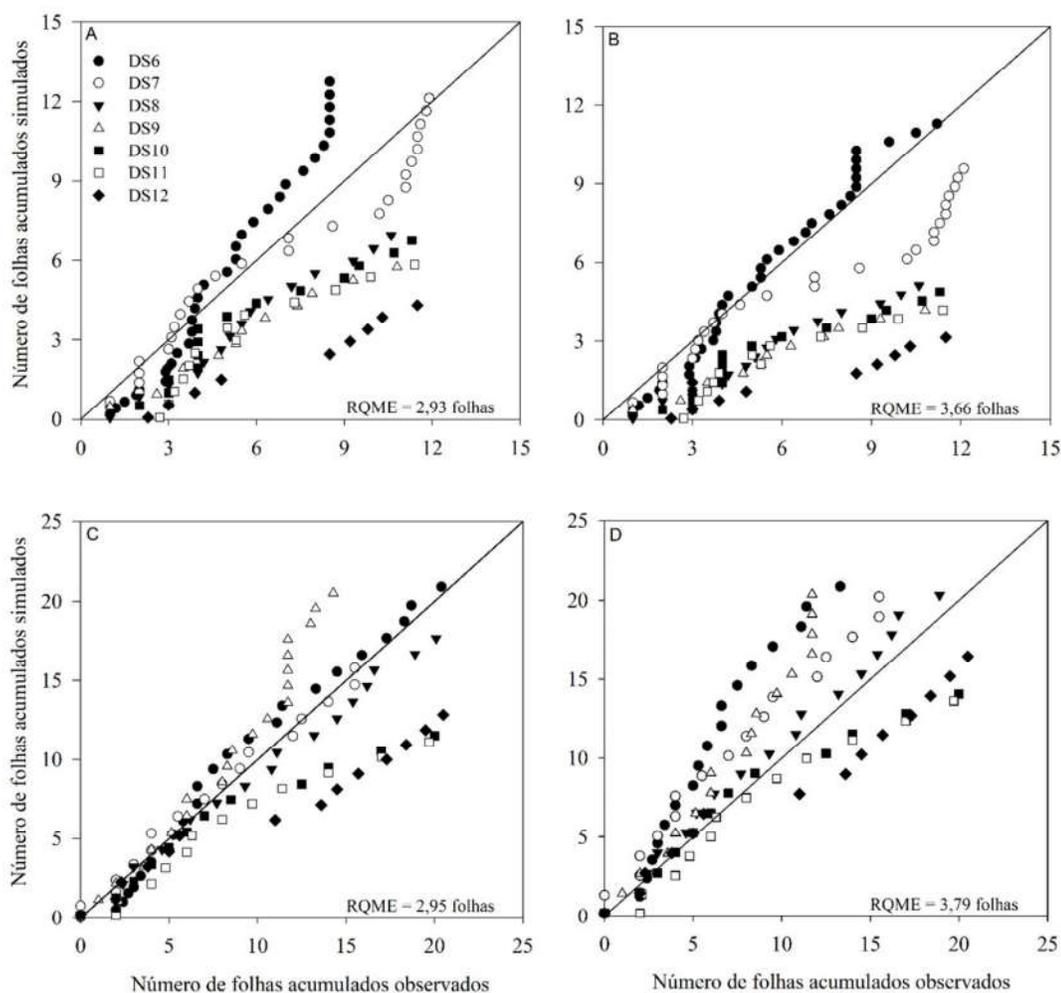


Figura 2. Número de folha acumulado estimado versus observado pelos modelos de desenvolvimento Filocrono (FIL) (A e C) e Wang e Engel (WE) (B e D), para o angico-vermelho (A e B) e pau-ferro (C e D) durante o experimento conduzido em Itajubá, MG, nos anos de 2017 e 2018. A linha sólida é a linha 1:1.

Considerando o modelo do FIL, o RQME global variou de 2,93 a 2,95 folhas e o WE variou de 3,66 a 3,79 para o angico-vermelho e pau-ferro, respectivamente. Para ambas espécies, o modelo do FIL estimou ligeiramente melhor o NFa, com menor RQME (entre 1,08 a 5,26 folhas) e BIAS (entre -0,66 a 0,29) e maiores valores de d ($\geq 0,63$) e índice-c ($\geq 0,60$). No entanto, os erros dos modelos (FIL $\sim 2,9$ folhas e WE $\sim 3,7$ folhas) são considerados baixos na estimativa do NFa em espécies florestais e não impactam na simulação ou predição de outros processos baseados no número de folhas, inclusive na determinação do término da fase de muda em viveiros florestais, da época de plantio da muda no campo (MARTINS et al., 2014; FERREIRA et al., 2019b) e nas projeções de mudanças climáticas (ULHMANN et al., 2017; FLORENCIO et al., 2019). Isso ocorre, pois erros ~ 4 folhas teoricamente representam um erro inferior a 14 dias, já que ambas espécies emitem pares de folhas em intervalos de aproximadamente 7 dias (SILVA et al., 2020).

No entanto, quando se analisa a DFM estimada pelos dois modelos, verifica-se que justamente nas DS em que houve maior subestimativa (superestimativa) do NFa, houve maior superestimativa (subestimativa) da DFM (Figura 3). Por exemplo, para o angico-vermelho (Figura 3A) a maior subestimativa no NFa nas DS8 a DS12 acarretou maiores superestimativas da DFM, tanto pelo FIL (entre +62 a +129 dias) quanto pelo WE (entre +134 a +181 dias). Isso ocorre, pois quando há subestimativa no NFa, acarreta uma diminuição da taxa de aparecimento de folhas ao longo do tempo resultando em um ciclo de desenvolvimento mais longo e, conseqüentemente na maior DFM (MARTINS et al., 2021). Isso significa que, apesar dos modelos FIL e WE apresentarem erros baixos e aceitáveis para o NFa (entre 2,93 a 3,66 folhas) ambos não conseguiram estimar adequadamente a DFM para o angico-vermelho (FIL = 29,1 dias e WE = 49,8 dias), devido a subestimativa da NFa em praticamente todas as DS. O que repercutiu no resultado do teste t-pareado, que indicou diferença entre a DFM observada e estimada pelo FIL e WE ($p < 0,05$) para o angico-vermelho.

É evidente que os erros cumulativos na estimativa do NFa, desde o início do desenvolvimento somado ao longo dos dias de aparecimento de folhas, acarretaram neste RQME de 29,1 dias (FIL) e 49,8 dias (WE) na estimativa da DFM. Pois, isto contribui para atrasar o término da fase de muda, e assim a DFM estimada foi maior que o observado.

Alguns dos fatores que podem ter auxiliado na subestimativa (superestimativa) do Nfa (DFM) no angico-vermelho nas DS8 a DS12 foram a variabilidade e teor de reservas das sementes do angico-vermelho que são reduzidas após 5 meses de armazenamento (BORGES et al., 2009) e para esta espécie foi necessário a coleta em dois períodos distintos de dispersão (CUNHA et al., 2009). Para a instalação das DS1 a DS7 foram utilizadas sementes coletadas no período de dispersão (novembro a dezembro) que coincide com a estação chuvosa da região (MARTINS et al., 2018), enquanto que nas DS8 a DS12 foram utilizadas sementes coletadas na estação seca (entre agosto e setembro). Adicionalmente, a qualidade das sementes de angico-vermelho varia de acordo com os períodos de coleta, e as coletadas em períodos chuvosos apresentam menor qualidade e menor velocidade de germinação e pegamento inicial comparada às coletadas em períodos secos (CUNHA et al., 2009; PINHO et al., 2009). E essa peculiaridade pode ter afetado a velocidade de germinação, a emissão de Nfa e a DFM na espécie entre as DS1-DS7 e DS8-DS12.

Mesmo com a discrepância do FIL em estimar a DFM para o angico-vermelho, é um modelo amplamente utilizado em diversas culturas, incluindo algumas espécies florestais para estimar o Nfa. O FIL foi utilizado com sucesso para prever o Nfa da cultivar de oliveira MSGASC315 (RQME = 2,98 folhas) (MARTINS et al., 2014), goiaba (RQME = 1,5 folhas) (FERREIRA et al., 2019b) e em espécies florestais como a *Bixa orellana* (RQME = 1,48 folhas) (MARTINS et al., 2021), *Anadenanthera pavonina* (RQME entre 6,4 a 8,9 folhas), *Cassia fistula* (RQME entre 1,5 a 5,6 folhas), *Hymenolobium petraeum* (RQME entre 1,4 a 3,0 folhas) e *Parkia pendula* (RQME entre 2,8 a 4,3 folhas) (MONTEIRO et al., 2014). Em comum, todos esses estudos relataram que o modelo FIL fornece melhores estimativas do Nfa em plantas que priorizam o crescimento antes do desenvolvimento. Justificando o desempenho ligeiramente melhor do modelo FIL para o angico-vermelho, que prioriza o crescimento das folhas antes da emissão (SILVA et al., 2020).

Já para o pau-ferro, apesar da ligeira melhora do modelo FIL em estimar o Nfa (RQME = 2,95 folhas comparado ao WE RQME=3,79 folhas), pelo teste t-pareado não foi demonstrada diferenças significativas entre a DFM observada e estimada pelos dois modelos ($p > 0,05$). Por outro lado, o modelo de WE conseguiu capturar melhor a DFM (Figura 3B), com superestimativa entre +19 dias (DS12) a +31 dias (DS10) comparado ao FIL (entre +16 dias e +62 dias), principalmente nas DS8 e 10.

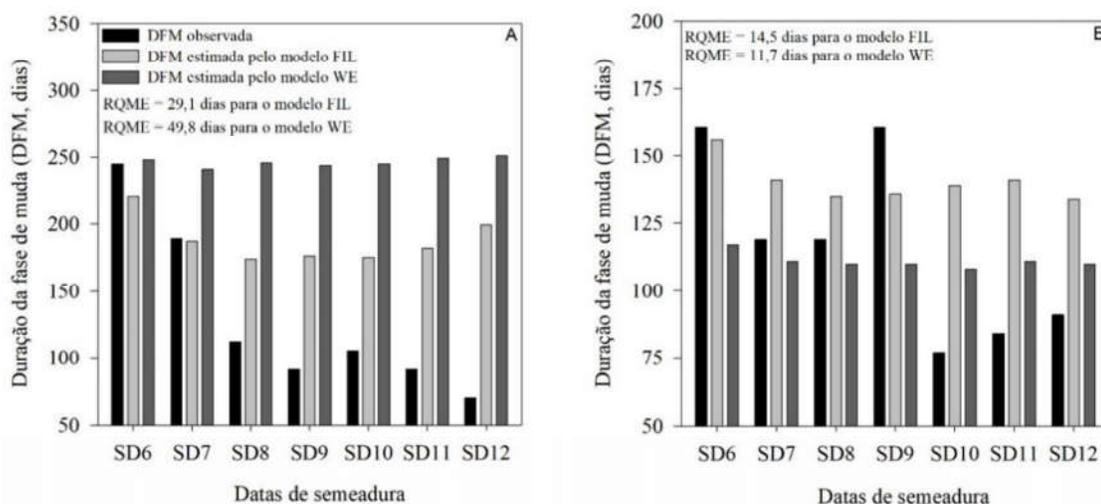


Figura 3. Duração da fase de muda (DFM) observada e estimada pelos modelos de desenvolvimento Filocrono (FIL) e Wang e Engel (WE) para o angico-vermelho (A) e pau-ferro (B), no experimento conduzido em Itajubá, MG, durante os anos de 2017 e 2018.

Já o modelo de WE foi relatado como superior ao FIL para prever o desenvolvimento de várias culturas como: mandioca (SAMBORANHA et al., 2013), cultivares de milho (LANGNER et al., 2018), cultivar de oliveira Arbequina (MARTINS et al., 2014), e espécies florestais como o eucalipto (MARTINS e STRECK, 2007) e *Citharexylum myrianthum* (MARTINS et al., 2021). Porém, neste estudo, ambos os modelos foram capazes de prever o NFA para as duas espécies nativas, e o modelo de WE foi superior na predição da DFM para o pau-ferro (Figura 3). Mesmo que seja aceitável erro inferior a 20 dias na estimativa da DFM em espécies florestais (MONTEIRO et al., 2014; MARTINS et al., 2021), o FIL errou em torno de 29,1 dias na estimativa da DFM do angico-vermelho. No entanto, um erro máximo de até 30 dias pode ser tolerado em espécies que priorizam o crescimento, como é o caso do angico-vermelho (SILVA et al., 2020), pois não representam problemas práticos graves nos viveiros florestais (FERREIRA et al., 2019b). Justamente por isso, o modelo do FIL foi selecionado para avaliar os aumentos projetados da temperatura do ar na DFM do angico-vermelho (item 3.2). Adicionalmente, o erro na estimativa da DFM ocorrerá tanto na simulação para o período presente quanto nas projeções para os dois períodos futuros (FD e FP), não causando discrepâncias entre a simulação e projeção da DFM (ALVES, 2007).

Por outro lado, como ambos modelos estimaram com destreza o NFA para o pau-ferro (Tabela 2, Figura 2C,D), com destaque para o WE na estimativa da DFM (Figura 3B), optamos por escolher o WE para ser utilizado na simulação e projeção dos impactos do aquecimento na DFM (item 3.2).

3.2. Simulação e projeção dos modelos de desenvolvimento

Os oito modelos climáticos do NEX-GDDP conseguiram representar o ciclo mensal e anual da Tmed para o período presente (PP, 1980-2004) (Anexos 1 e 2). Mesmo com a pequena variabilidade entre os valores de Tmed obtidos pelos modelos climáticos ($-0,51 < \text{Viés} < -0,67$), o erro foi inferior a $1,6^{\circ}\text{C}$ (Anexo 1), com destaque para o modelo CCSM4 (RQME = 1,39 e VM = -0,51). Devido a isso, foi possível utilizar os dados de Tmed de cada modelo climático nas funções de Tmed (STd e f(t)) dos modelos de desenvolvimento para o angico-vermelho (FIL) e pau-ferro (WE).

As projeções climáticas indicam um aumento gradual e contínuo da Tmed para Itajubá ao longo do século XXI (Figura 4), sendo mais intenso no FD e no RCP 8.5, chegando a $3,9^{\circ}\text{C}$ (*ensemble* dos modelos climáticos). Aumentos entre 4°C a 6°C na Tmed também foram relatados para Itajubá em projeções climáticas oriundas do modelo regional RegCM4 (ALVES et al., 2020) e são coerentes com os valores projetados para a região sul de Minas Gerais (TAVARES et al., 2017; FLORENCIO et al., 2019; REBOITA et al., 2019). As projeções de temperatura são mais brandas no RCP 4.5 e no FP ($\sim +1,2^{\circ}\text{C}$) e mais intensas no RCP 8.5 e no FD ($\sim +3,9^{\circ}\text{C}$).

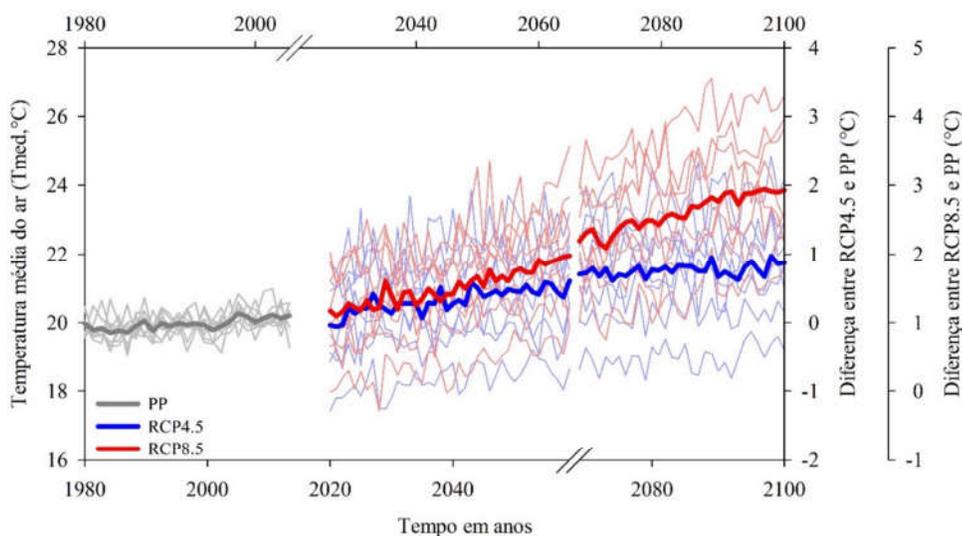


Figura 4. Variação temporal simulada (PP=1980-2004) e projetada (FP=2021-2050; FD=2071-2100) da temperatura média do ar para Itajubá obtidas por oito modelos regionalizados do NEX-GDDP em dois cenários forçantes radiativa (RCP4.5 e 8.5). As linhas em negrito (cinza, azul e vermelho) representam o ensemble dos modelos climáticos.

Os aumentos projetados de Tmed (Figura 4) refletem diretamente em mudanças da taxa de desenvolvimento das duas espécies nativas (Figura 6). Dependendo da intensidade do

aumento da Tmed duas situações podem ocorrer: aumentos da Tmed podem acelerar a TAF e reduzir a DFM; ou podem reduzir a TAF e aumentar a DFM (COSTA e STRECK, 2018; FLORENCIO et al., 2019). Isso ocorre, pois a temperatura é a principal reguladora do processo fotossintético e dependendo dos valores instantâneos da temperatura do ar, as reações fotossintéticas são intensificadas, quando estão próximas à Tot (BAHUGUNA e JAGADISH, 2015; FREITAS et al., 2017), ou reduzidas, quando estão mais próximas da TB (FLORENCIO et al., 2019; SILVA et al., 2020).

De maneira geral, a projeção da DFM obtida para cada modelo climático seguirá o seu padrão projetado de Tmed (Figuras 4 e 5). Isso demonstra que as funções de temperatura do ar dos modelos FIL (STd) e WE (f(t)) conseguiram captar a variação do desenvolvimento com as projeções de Tmed dos modelos do NEX-GDDP, o que é ideal para esse tipo de estudo (FLORENCIO et al., 2019).

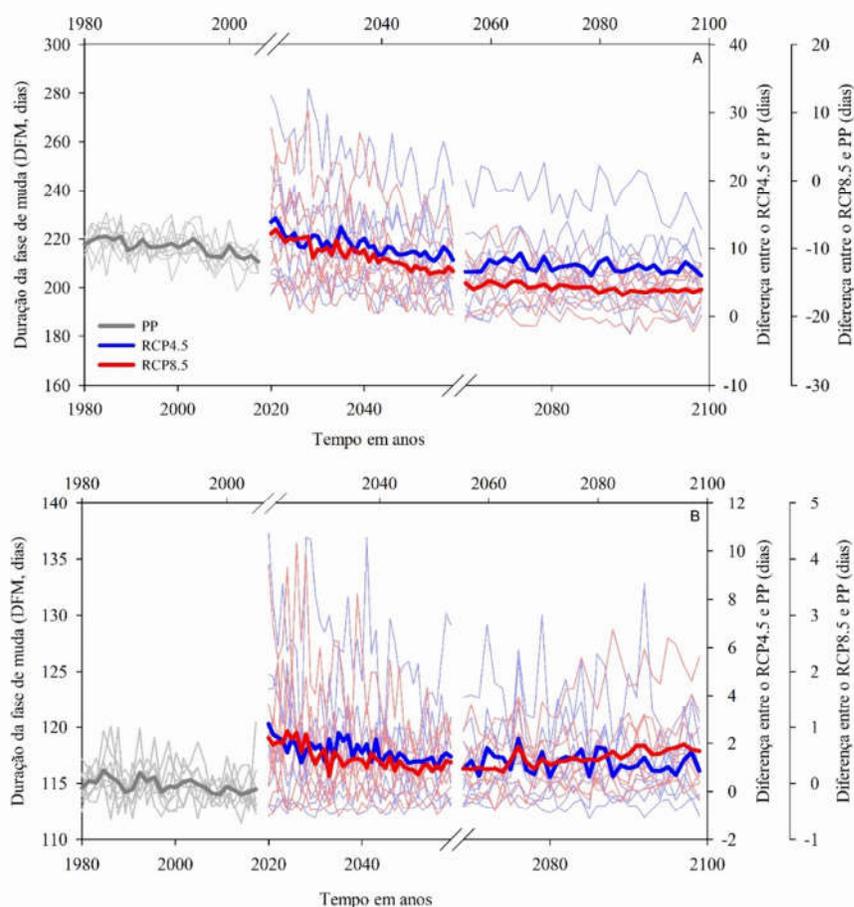


Figura 5. Duração da fase de muda simulada para o período presente (PP= 1980-2004) e projetada para o futuro (FP= 2021-2050 e FD= 2071-2100) pelos oito modelos climáticos para o angico-vermelho (A) e pau-ferro (B). Linhas tracejadas representam a duração da fase de muda para cada modelo climático do NEX-GDDP e as linhas em negrito representam o

ensemble dos modelos climáticos. Devido a seus valores, o eixo da duração da fase de muda possui diferentes escalas.

Observa-se que a DFM do pau-ferro é menor que o angico-vermelho no clima presente e futuro (Figura 5). Comparativamente, o pau-ferro é mais precoce por apresentar a maior taxa de desenvolvimento ($TAF_{max} = 0,1829$ folhas dia^{-1}) e menor DFM, enquanto o angico-vermelho é a mais tardia (menor taxa de desenvolvimento e maior DFM), o que já foi observado nas condições experimentais (Figura 1). Justamente por isso, o padrão de alteração da DFM ao longo do século XXI é distinto entre as duas espécies, sendo influenciado também pela DS (Figura 6).

Apesar da pequena diferença na DFM simulada e projetada entre os modelos climáticos (Figuras 5 e 6), o aumento projetado na Tmed (*ensemble*) acelerará o desenvolvimento (TAF) e reduzirá a DFM no angico-vermelho, exceto nas simulações realizadas nas DS8, DS9 e DS10, com reduções de até 37 dias (DS2 e DS3). Já o aumento projetado da Tmed, reduzirá a TAF e aumentará a DFM (~ 9 dias) para o pau-ferro, exceto nas simulações realizadas nas DS3, DS4 e DS5. Em todos os casos o padrão do impacto é intensificado no FD e no RCP 8.5 (Figura 5 e 6).

As duas espécies possuem padrões e magnitudes distintas de alteração da DFM entre si e entre as datas de simulação do desenvolvimento (Figura 6). No angico-vermelho projeta-se redução da DFM na maioria das DS (DS1 a DS7, DS11 e DS12) e aumento da DFM nas DS8 (i=agosto), DS9 (i=setembro) e DS10 (i=outubro). Já no pau-ferro é projetada redução da DFM apenas nas DS3 (i=março), DS4 (i=abril) e DS5 (i=maio) e aumento da DFM nas demais DS (DS1, DS7 a DS12). Enquanto no angico-vermelho as reduções na DFM são mais intensas (~ -37 dias) que os aumentos ($\sim +6$ dias), no pau ferro projeta-se exatamente o oposto, ou seja, menores reduções (até -7 dias) e maiores aumentos (até $+9$ dias) na DFM. De qualquer forma, em ambas espécies, o maior aumento da DFM ocorreu nas DS8, DS9 e DS10, justamente nos meses (setembro, outubro e novembro) em que são projetados os maiores aumentos da Tmed ($\sim 6^{\circ}C$) para Itajubá (ALVES et al., 2020). Nesses meses, tais aumentos poderão reduzir a TAF, fazendo com que as plantas emitam folhas mais lentamente, retardando a finalização da fase de muda e aumentando a DFM devido a maior proximidade da Tmed da TB das espécies, visto que para esses meses no RCP8.5 e no FD 78% da Tmed para o angico-vermelho e 98% da Tmed para o pau-ferro estará acima da Tot das espécies.

O menor impacto das projeções de Tmed no pau-ferro, dado pelo menor aumento e menor redução da DFM em relação ao angico-vermelho, pode ser explicado pelo maior valor de TAF_{max} ($0,1829$ folha dia^{-1}) e pelas maiores temperaturas cardinais de desenvolvimento do

pau-ferro. Enquanto o pau-ferro desenvolve-se entre as temperaturas cardinais de 12,8°C (Tb) a 46,3°C (TB), com maior intensidade próximo da 20,7°C (Tot), o angico-vermelho desenvolve-se entre 10°C (Tb) a 45,5°C (TB) (SILVA et al., 2020). Ou seja, devido à diferença de desenvolvimento entre as duas espécies, o aumento projetado de Tmed não refletiu em alterações abruptas na DFM para o pau-ferro, porém acelerou a TAF do angico-vermelho.

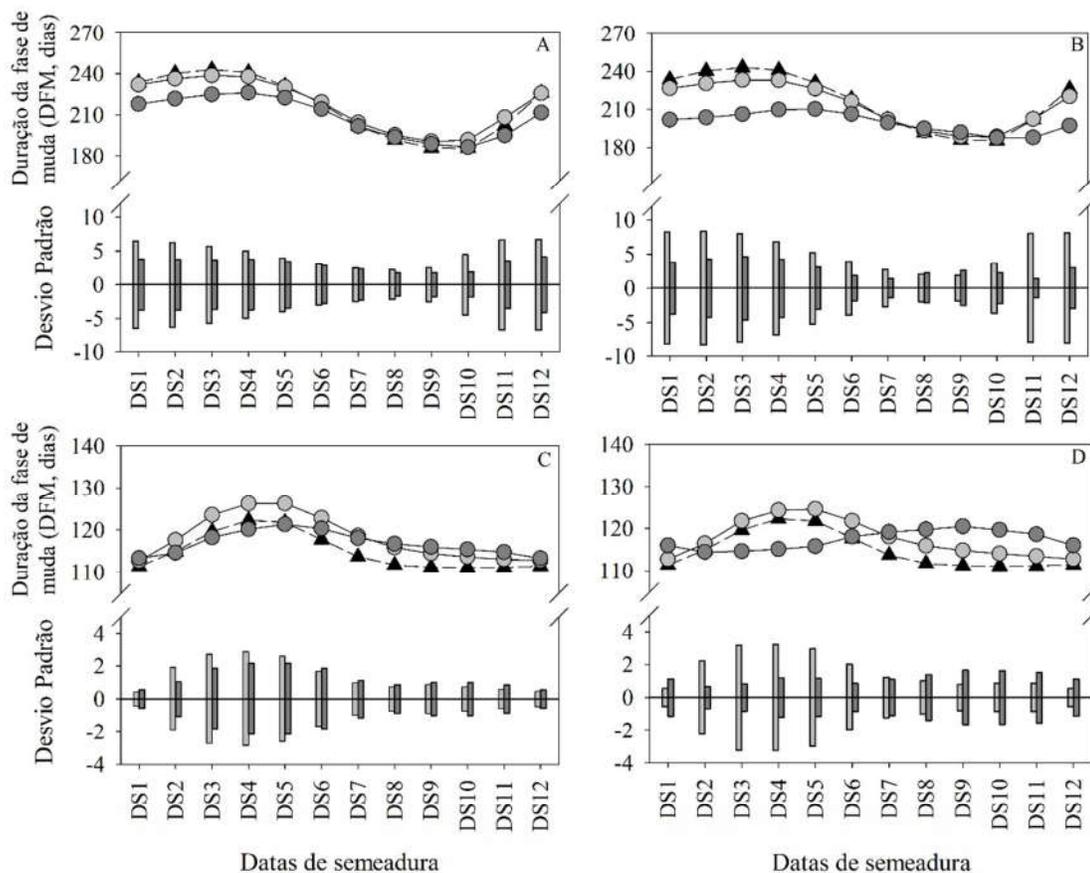


Figura 6. Duração da fase de muda (SSD, em dias) para o angico-vermelho (A e B) e pau-ferro (C e D) simuladas para o clima presente (PP= 1980-2005), representada pelo triângulo cor preta, e projetadas para o futuro próximo (FP= 2020-2050), representada por círculos cor cinza claro, e futuro distante (FD= 2070-2099), representada por círculos cor cinza escuro nos dois RCPs (4.5: A e C, e 8.5: B e D). As colunas verticais referem-se ao desvio padrão da DFM das projeções dos 8 modelos do NEX-GDDP, coluna cinza claro para o FP e coluna em cinza escuro para FD.

Pela ANOVA (Tabela 3) foi verificado efeito significativo para a interação entre as fontes de variação: datas (de simulação) da semeadura X períodos (presente e clima futuro) X forçantes radiativas (RCP 4.5 e 8.5) ($p \leq 0,05$) na DFM das duas espécies nativas. Houve diferença no efeito de cada fonte de variação entre as duas espécies. Na espécie angico-

vermelho, o período (PP, FP e FD) exerce maior influência na DFM, com maior valor de teste F (3439,9), seguida pela data de simulação da semeadura (1548,0) e forçantes radiativas (785,6). Para o pau-ferro as datas de simulação de semeadura exercem maior influência na DFM (434,2) seguida pelo período (PP, FP e FD) (85,0) e forçantes radiativas (1,1).

Tabela 3. Comparação de médias para a duração da fase de muda (DFM, em dias) para o angico-vermelho e pau-ferro, considerando as simulações realizadas para o período presente (PP= 1980-2004) e as projeções para o clima futuro (FP = 2020-2050, FD = 2070-2099) para as datas de semeadura em dois cenários de forçantes radiativas (RCP 4.5 e 8.5) para Itajubá (MG).

Datas de simulação da semeadura*	angico-vermelho				
	PP	RCP4.5		RCP8.5	
		FP	FD	FP	FD
DS1	233,5 Fb	233,7 Hb2	217,8 Ha2	229,5 Hb1	201,8 Fa1
DS2	240,2 Gc	238,0 Ib2	221,7 Ia2	233,5 Ib1	203,6 Fa1
DS3	243,0 Gc	240,2 Ib2	224,8 Ja2	236,2 Ib1	206,2 Ga1
DS4	241,0 Gb	239,1 Ib2	226,1 Ja2	235,3 Ib1	209,8 Ha1
DS5	231,0 Eb	231,0 Gb2	222,4 Ia2	228,0 Hb1	210,2 Ha1
DS6	218,2 Db	220,0 Eb2	214,1 Ga2	217,3 Fb1	206,4 Ga1
DS7	201,7 Ca	204,6 Cb2	201,6 Da2	202,5 Cb1	199,4 Ea1
DS8	191,6 Ba	195,4 Bb1	193,6 Cb1	193,5 Bb1	195,0 Cb1
DS9	185,8 Aa	191,0 Ac2	188,6 Bb1	189,0 Ab1	191,9 Bc2
DS10	185,5 Aa	192,5 Ab2	186,3 Aa1	189,4 Ab1	187,7 Ab1
DS11	202,0 Cb	209,6 Dc2	195,0 Aa2	205,0 Dc1	188,0 Aa1
DS12	226,0 Eb	228,0 Fb2	211,5 Fa2	223,0 Gb1	197,2 Da1
Datas de simulação da semeadura*	pau-ferro				
	PP	RCP4.5		RCP8.5	
		FP	FD	FP	FD
DS1	111,4 Aa	112,7 Ab1	113,3 Ab1	112,7 Ab1	116,0 Bc2
DS2	114,9 Ca	117,6 Eb2	114,6 Ba1	116,5 Db1	114,5 Aa1
DS3	119,6 Eb	123,5 Gc2	118,2 Ea2	121,7 Fc1	114,6 Aa1
DS4	122,2 Fb	126,2 Hc2	120,2 Fa2	124,2 Gc1	115,1 Aa1
DS5	121,7 Fb	126,2 Hc2	118,6 Ea2	124,5 Gc1	115,8 Ba1
DS6	117,7 Da	122,8 Gc2	120,3 Fb2	121,7 Fb1	118,1 Ca1
DS7	113,7 Ba	118,6 Fb1	118,0 Eb1	118,0 Eb1	119,1 Dc2
DS8	111,7 Aa	115,9 Db1	116,7 Dc1	115,9 Db1	119,7 Ec2
DS9	111,2 Aa	114,5 Cb1	116,0 Cc1	114,8 Cb1	120,4 Fc2
DS10	111,1 Aa	113,6 Bb1	115,4 Cc1	114,0 Bb1	119,6 Ec2
DS11	111,2 Aa	113,1 Ab1	114,8 Bc1	113,4 Ab1	118,6 Cc2
DS12	111,4 Aa	112,8 Ab1	113,3 Ab1	112,8 Ab1	116,0 Bc2

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna (datas de semeadura), minúscula na linha (períodos) e número na linha (RCP) não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade. Os valores da DFM foram obtidos com as projeções de temperatura de cada um dos oito modelos climáticos e os dados da tabela referem-se ao *ensemble* da DFM. A DFM foi transformada (Ln(DFM)), devido a não pressuposição da normalidade. *Para as datas de semeadura consulte a tabela 1 (item 2.1).

Para o angico-vermelho, exceto nas DS8, DS9 e DS10, haverá redução em todas as DS no FP e no FD, com maior magnitude nas DS1 a DS4 (entre 32 a 37 dias) que compreendem as semeaduras simuladas entre os meses de janeiro a abril. Considerando as projeções, verifica-se que haverá uma redução progressiva na DFM ao longo do século XXI, sendo intensificada no RCP 8.5. Além disso, a redução da DFM será maior nas DS instaladas nos meses de janeiro a julho e de novembro a dezembro, pois nesses meses principalmente no RCP8.5 e FD 30% da Tmed do ar estará próxima da Tot do angico-vermelho (23°C). Já o pau-ferro, apesar da menor diminuição da DFM comparada ao angico-vermelho, haverá tendência de aumento na DFM para o FP e redução da DFM no final do século XXI somente nas DS3, DS4 e DS5, sendo de aproximadamente ~2 (RCP4.5) a 7 dias (RCP8.5).

Em ambas as espécies, houve aumento (redução) da DFM nas DS em que a maior parte do desenvolvimento ocorre entre os meses de setembro a novembro (janeiro a junho), justamente os meses em que se projetam os maiores (menores) aumentos da Tmed para Itajubá (ALVES et al., 2020). Resultados semelhantes foram encontrados por Reis (2018) para o desenvolvimento inicial de três espécies nativas (goiabeira, pau viola e urucuzeiro), Costa e Streck (2018) para o desenvolvimento inicial de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, Florencio et al., (2019) para cultivares de oliveira, Streck et al., (2006) para a batata e por Streck et al., (2013) para arroz. Como a DFM depende do acúmulo térmico diário (STd e f(t)), o qual é ajustado metabolicamente pelas plantas para ocorrer dentro dos limiares das temperaturas cardinais (BAHUGUNA e JAGADISH, 2015; FERREIRA et al. 2019a, SILVA et al., 2020), qualquer modificação na Tmed, altera STd e f(t) e conseqüentemente altera a TAF e DFM (COSTA e STRECK, 2018; FLORENCIO et al. 2019). Portanto, o aumento (redução) da DFM durante os meses mais quentes (frios) do ano e no cenário mais quente (FD e RCP8.5) ocorre devido ao aumento na frequência de valores de Tmed projetados acima (próxima) à Tot (Figuras 4 e 6). Em temperaturas supra ótimas, a STd (modelo FIL) e a f(t) (modelo WE) são menores, e conseqüentemente a TAF é menor que o \overline{FIL} e TAF_{max} , resultando no retardamento na taxa de desenvolvimento e aumento da DFM.

O pequeno aumento na DFM no FP e FD, principalmente no pau-ferro, mesmo que de apenas 6 a 9 dias (Tabela 3) tem implicações fisiológicas e de manejo de produção de mudas das duas espécies nativas. Fisiologicamente, em plantas do metabolismo C3, como ambas as espécies, um maior período de desenvolvimento durante os meses mais quentes poderá ocasionar redução da captação de CO₂ devido ao aumento da fotorrespiração e respiração de manutenção. Isso ocorre, pois as temperaturas elevadas favorecem a atividade oxigenase da ribulose-1,5-bifosfato carboxilase-oxigenase (RuBisco) devido à maior solubilidade do O₂ em

relação ao CO₂, reduzindo a fotossíntese em plantas deste metabolismo (TAIZ et al., 2018; FLORENCIO et al., 2019). Nestas condições, a maior permanência das mudas nos viveiros elevam os custos de produção e podem reduzir a viabilidade das mudas para a comercialização, uma vez que o desenvolvimento e a qualidade das mudas podem ser comprometidos (FRAGA et al., 2019; COSTA e STRECK, 2018; SILVA et al., 2020). Nessas DS serão necessárias alterações no manejo de produção de mudas como adaptação das épocas recomendadas para a semeadura, além de alternativas que minimizem o aumento da Tmed como o uso de sombreamento artificial ou irrigação por aspersão, as quais reduzem a temperatura da folha e minimizam a fotorrespiração (COSTA e STRECK, 2018).

Por outro lado, a redução projetada da DFM, entre as DS1 a DS7 (angico-vermelho) e DS3 a DS5 (pau-ferro), poderá ser benéfica, pois poderá diminuir o tempo das mudas no viveiro. A redução será maior no angico-vermelho (redução média de 21 dias), espécie mais tardia nas condições experimentais e no PP, e menor no pau-ferro (redução média de 6 dias), espécie mais precoce. A redução da DFM poderá ocorrer nas datas simuladas tardiamente no verão (DS1 e DS2), exceto para o pau-ferro, e durante os meses do outono (DS3, 4 e 5) austral para ambas as espécies. A redução da DFM mais intensa deverá ocorrer nas datas em que a emergência ocorre nos meses de março a junho, nas quais são projetadas Tmed diária mais próxima da Tot das duas espécies nativas. Por isso, as funções de temperatura dos modelos FIL (STd) e WE (f(t)) são máximas (MARTINS et al. 2014; COSTA e STRECK, 2018), com aumento das taxas de desenvolvimento, resultando em diminuição da DFM. Essas condições são vantajosas, pois garante que estabelecimento das mudas ocorra mais rapidamente no campo, aumentando as chances de adaptação das plantas, a fim de tolerar melhor o aumento de Tmed nas épocas subsequentes.

Os resultados deste estudo demonstram complexidade na resposta e no manejo dessas espécies, especialmente nos meses da primavera e verão austral e em locais de clima subtropical que possuem padrões similares de aumentos nas projeções da Tmed. Além disso, as duas espécies possuem padrão distinto de alteração da DFM em função dos aumentos projetados da Tmed. Enquanto o angico-vermelho tem majoritariamente projeção de redução da DFM, podendo elevar a produção de mudas, o pau-ferro tem projeções de aumento da DFM na maioria das DS, o que pode aumentar os custos de manutenção das mudas no viveiro florestal (COSTA e STRECK, 2018).

Estudos que avaliam os efeitos das mudanças climáticas em espécies florestais nativas fornecem subsídios para a escolha das espécies e estratégias de adaptação em condições de mudanças climáticas (PIROVANI et al. 2018; FERREIRA et al. 2019a,b), permite escolher as

melhores épocas de plantio no campo (STRECK et al. 2013; COSTA e STRECK 2018) repercutindo no manejo e no sucesso do estabelecimento das mudas após o plantio (FLORENCIO et al. 2019).

4. CONCLUSÃO

Os modelos Filocrono e Wang e Engel foram capazes de estimar a dinâmica do desenvolvimento inicial e o número de folhas para as duas espécies nativas, com destaque para o Filocrono (RQME = 2,93 folhas para o angico-vermelho e RQME = 2,95 folhas para o pau-ferro). Entretanto, o erro associado à estimativa do número de folhas repercutiu em estimativa menos precisa da duração da fase de muda. O modelo do Filocrono foi razoável na estimativa da duração da fase de muda para o angico-vermelho (RQME= 29,1 dias), enquanto o modelo de Wang e Engel foi ligeiramente superior para o pau-ferro (RQME = 11,7 dias).

O aumento projetado da temperatura do ar ao longo do século XXI ($\approx 1,2^{\circ}\text{C}$ a $\approx 3,9^{\circ}\text{C}$) irá modificar a taxa de desenvolvimento e a duração da fase de muda das duas espécies nativas cultivadas em Itajubá. Entre os efeitos principais, o período de projeção e datas de simulação da semeadura exercem maior influência na duração da fase de muda para o angico-vermelho e pau-ferro, respectivamente.

Semeaduras realizadas nos meses mais frios (março a junho) poderão ter o desenvolvimento acelerado com redução da duração da fase de muda, principalmente para o angico-vermelho, enquanto as semeaduras realizadas nos meses mais quentes (setembro a dezembro) poderão ter o desenvolvimento retardado e aumento da duração da fase de muda.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, L. M. **Simulações da Variabilidade do Clima Presente sobre a América do Sul utilizando um Modelo climático Regional**. 2007. 98 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São Jose dos Campos, São Paulo.
- ALVES, A. M. M. R.; MARTINS, F. B.; REBOITA, M. S. Balanço Hídrico Climatológico Para Itajubá-Mg: Cenário Atual E Projeções Climáticas. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, p.712-732, 2020.
- ASSAD, E. D.; MARTINS, S. C.; BELTRÃO, N. E. M.; PINTO, H. S. Impacts of climate change on the agricultural zoning of climate risk for cotton cultivation in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, p.1-8, 2013.
- BAHUGUNA, R. N.; JAGADISH, K. S. V. Temperature regulation of plant phenological development. **Environmental and Experimental Botany**, v.111, p.83-90, 2015.
- BARMAN, D.; DEVADAS, R. Climate change on orchid population and conservation strategies: A review. **Journal of Crop and Weed**, v.9, n.2, p. 1-12, 2013.
- BECKER, C. C.; STRECK, N. A.; UHLMANN, L. O.; CERA, J. C.; FERRAZ, S. E. T.; SILVEIRA, W. B.; BALEST, D. S.; SILVA, L. F. Assessing climate change effects on gladiola in Southern Brazil, **Scientia Agricola**, v.78, n.1, p.1-11, 2021.
- BHATTARAI, M. D.; SCCHI, S.; SCHOOF, J. Projecting corn and soybeans yields under climate change in a Corn Belt watershed. **Agricultural Systems**, v.152, p.90-99, 2017.
- BORGES, S. R., BORGES, E. E. L., CORREA, P. C., BRUNE, A. Equilíbrio higroscópico e viabilidade de sementes de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina* (L.) Speng) em diferentes condições ambientais de armazenamento. **Scientia Forestalis**, v.37, p. 475-481, 2009.
- BORGES, L. A.; SOUZA, L. G. R.; GUERRA, M.; MACHADO, I. C.; LEWIS, G. L.; LOPES, A. V. Reproductive isolation between diploid and tetraploid cytotypes of *Libidibia ferrea* (= *Caesalpinia ferrea*) (Leguminosae): ecological and taxonomic implications. **Plant Systematics and Evolution**, v.298, p. 1371-1381, 2012.
- CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, p.89-97, 1997.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5º aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 289-302.
- COSTA, D. B.; STRECK, N. A. Duração da fase de mudas em eucalipto simulada em cenários de aumento de temperatura. **Ciência florestal**, v. 28, n. 2, p. 1263-1270, 2018.

CUNHA, J. P. A. R. da; OLIVEIRA, P. de; SANTOS, C. M. dos; MION, R. L. Qualidade das sementes de soja após a colheita com dois tipos de colhedora e dois períodos de armazenamento. **Ciência Rural**, p. 1420-1425, 2009.

ERPEN, L.; STRECK, N. A.; UHLMANN, L. O.; LANGNER, J. A.; WINCK, J. E. M.; GABRIEL, L. F. Estimativa das temperaturas cardinais e modelagem do desenvolvimento vegetativo em batata-doce. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.11, p.1230-1238, 2013.

FAGUNDES, J.D.; STRECK, N.A.; BISOGNIN, D. A.; SCHWANTES, A. P.; ALBERTO, C. M. Produtividade simulada de tubérculos de batata em cenários de mudanças climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 4, p. 351-360, 2010.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, M. C.; MARTINS, F.B.; FLORENCIO, G. W. L.; SILVA, J. P. G. C.; PASIN, L. A. A. P. Cardinal temperatures and thermal requirements for the initial development of two Brazilian native species. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.54, n.1, p.1-9, 2019a.

FERREIRA M. C.; MARTINS F. B.; FLORENCIO G. W. L.; PASIN, L. A. A. P. Cardinal temperatures and modeling the vegetative development of seedlings of guava. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 23, n.11, p.819-825, 2019b.

FERREIRA, M. R. A.; SOUSA, P. A.; MACHADO, J. C. B.; SOARES, L. A. L. EXTRACTION OF MONOMERS OF HYDROLYSABLE TANNINS FROM PODS OF *Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul.) L. P. QUEIROZ: EFFECTS OF SOLVENT AND AMOUNT OF DRUG USING RESPONSE-SURFACE METHODOLOGY AND *DESIRABILITY* PROFILE. **Química Nova**, v.43, n.6, p. 738-746, 2020.

FLORENCIO G. W. L.; MARTINS F. B.; FERREIRA M.C.; PEREIRA R. A. A. Impacts of climatic changes on the vegetative development of olive crops in Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n.9, p.641-647, 2019.

FRAGA, H.; PINTO, J. G.; SANTOS, J. A. Climate change projections for chilling and heat forcing conditions in European vineyards and olive orchards: a multi-model assessment. **Climatic Change**, v.152, n.1, p.179–193, 2019.

FREIRE, J. A; RODRIGUES, G. C; TOMÉ, M. Climate Change Impacts on Pinus pinea L. Silvicultural System for Cone Production and Ways to Contour Those Impacts: A Review Complemented with Data from Permanent Plots. **Forests**, v.10, n.2, p.169-198, 2019.

FREITAS, C. H.; MARTINS. F.B.; ABREU, M. C. Cardinal temperatures for the leaf development of *Corymbia citriodora* and *Eucalyptus urophylla*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.52, n.5, p. 283-292, 2017.

GABRIEL, L. F.; STRECK, N. A.; ROBERTI, D. R.; CHIELLE, Z. G.; UHLMANN, L. O.; SILVA, M. R.; SILVA, S. D. Simulating cassava growth and yield under potential conditions in Southern Brazil. **Agronomy Journal**, v.106, n.6, p.1119-1137, 2014.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. Relatório IBÁ 2020. São Paulo. 80f.

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.

LANGNER, J. A.; STRECK, N. A.; DURIGON, A.; SILVA, S. D.; LAGO, I.; DALMAGO, G. A.; REINIGER, L. R. S.; SCHEFFEL, L. G.; POERSCH, A. H. Observed and estimated leaf appearance of landrace and improved maize cultivars. **Ciência Rural**, v.48, n.1, p.1-9, 2018.

LANGNER, J. A.; STRECK, N. A.; DALMAGO, G. N.; REINIGER, L. R. S.; DURIGON, A.; SILVA, S. D.; LAGO, I.; SCHEFFEL, L. G.; POERSCH, A. H. Estimating the development of landrace and improved maize cultivars as a function of air temperature. **Ciência Rural**, v.46, n.10, p.1737-1742, 2016.

LISBOA, P. M. M.; MARTINS, F. B.; ALVARENGA, M. I. N.; NETO, J. V.; REIS, D. F. Desenvolvimento vegetativo de duas cultivares de oliveira na fase de muda. **Ciência Rural**, v.42, n.9, p.1556-1562, 2012.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 6. ed. v. 1. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2014. 384 p.

MEDEIROS, A. D. de S. Armazenamento de sementes de espécies florestais nativas. **Embrapa Florestas**. p.24, 2001.

MARIN, F.; NASSIF, D. S. P. Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: Fisiologia, conjuntura e cenário futuro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.2, p.232-239, 2013.

MARTINS, F. B.; STRECK, N. A. Aparecimento de folhas em mudas de eucalipto estimado por dois modelos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.8, p.1091-1100, 2007.

MARTINS, F. B.; PEREIRA, R. A. A.; PINHEIRO, M. V. M.; ABREU, M. C. Desenvolvimento foliar em duas cultivares de oliveira estimado por duas categorias de modelo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.29, n.4, p.505-514, 2014.

MARTINS, F. B., GONZAGA, G., SANTOS, D. F., REBOITA, M. S. Classificação climática de Koppen e Thornthwaite para Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.1, p.129-156, 2018.

MARTINS, M. A.; TOMASELLA, J.; DIAS, C. G. Maize yield under a changing climate in the Brazilian Northeast: Impacts and adaptation. **Agricultural Water Management**, v.216, p.339-350, 2019.

MARTINS, F. B.; FERREIRA, M. C.; FLORENCIO, G. W. L. A model for predicting development in seedlings of two native forest species. **Scientia Agrícola**, 2021 (no prelo).

MONTEIRO, E. B.; DA SILVA, C. C.; DA SILVA, A. C.; DE SOUZA, A. P. Estimating Emission of Leaves Seedlings Forest in Different Shading Levels, at Conditions of Transition Amazon-Cerrado, Brazil. **American Journal of Plant Sciences**, v. 05, p. 2330-2341, 2014.

MONTEIRO, A. F. M.; MARTINS, F. B. Global Solar Radiation Models in Minas Gerais, Southeastern Brazil. **Advances in Meteorology**, v. 2019, p.1-17, 2019.

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

MOTA, G. S.; SARTORI, C. J.; MIRANDA, I.; QUILHÓ, T; MORI, F. A.; PEREIRA, H. Bark anatomy, chemical composition and ethanol-water extract composition of *Anadenanthera peregrina* and *Anadenanthera colubrina*. **PLoS ONE**, v.12, n.12, p. 1-14, 2017.

OLIVEIRA, L. T.; CECÍLIO, R. A.; PEZZOPANE, J. E. M. Potencial Impacto das Mudanças Climáticas no Zoneamento do Pinus no Espírito Santo. **Floresta e Ambiente**. v.18, p.37-49, 2012.

OLIVEIRA, J. C.; NOVAES, A. B. MORPHOLOGICAL AND RADICAL PARAMETERS ASSOCIATED WITH THE SEEDLINGS QUALITY OF *Anadenanthera peregrina* (L.) Sp. IN DIFFERENT SUBSTRATES. **Floresta**, v.50, n.3, p.1467-1477, 2020.

PINHO, D. S., BORGES, E. E. L., CORTE, V. B., NASSER, L. C. B. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de *Anadenanthera peregrina* (L.) Sp. durante o armazenamento. **Revista Árvore**. v.33, p.27-33, 2009.

PIROVANI, D. B; PEZZOPANE, J. E. M; XAVIER, A. C; PEZZOPANE, J. R. M; JÚNIOR, W. C. J; MACHUCA, M. A. H; SANTOS, G. M. A. D. A; SILVA, S. F; ALMEIDA, S. L. H; PELUZIO, T. M. O; EUGENIO, F. C; MOREIRA, T. R; ALEXANDRE, R. S; SANTOS, A. R. Climate change impacts on the aptitude area of forest species. **Ecological Indicators**, v.95, n.1, p.405-416, 2018.

REBOITA, M. S., MARRAFON, VHA, LLOPART, M. Cenários de mudanças climáticas projetados para o estado de minas gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.144, n.1, p.110-128, 2019.

REIS, F. Y. S. **IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO DE TRÊS ESPÉCIES ARBÓREAS BRASILEIRAS**. 2018. 39 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá.

RUELLAND, E.; ZACHOWSKI, A. How plants sense temperature. **Environmental and Experimental Botany**, v.69, p.225-232, 2010.

SAMBORANHA, F. K.; STRECK, N. A.; UHLMANN, L. O.; GABRIEL, L. F. Modelagem matemática do desenvolvimento foliar em mandioca. **Revista Ciência Agrônômica**, v.44, n.4, p.815-824, 2013.

SANTOS, D. F.; 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.

SILVA, L. J.; REBOITA, M. S.; ROCHA, R. P. Relação da passagem de frentes frias na região sul de Minas Gerais (RSMG) com a precipitação e eventos de geada. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.14, p.229-246, 2014.

SILVA, E. H. F. M.; PEREIRA, R. A. A.; GONÇALVES, A. O.; BORDIGNON, A. J. Z.; MARIN, F. R. Simulation of soybean yield in Piracicaba-SP based on climate change. **Revista Da Sociedade Brasileira de Agrometeorologia**, v.25, p.9-17, 2017.

SILVA, J. B. L.; FLORES, M. E. P.; JUSTINO, F. B.; TOLEDO, A. S.; PIRES, L. C.; PEREIRA, E. G.; DIAS, B. S. Propriedades fotossintéticas e trocas gasosas de folhas de plantas soja (*Glycine max*) sob elevada [CO₂] num cenário de mudança climática. **Brazilian Journal of Development**, v.5, n.7, p.9288-9302, 2019.

SILVA, J. M. C. da; RAPINI, A.; BARBOSA, L. C. F.; TORRES, R. R. Extinction risk of narrowly distributed species of seed plants in Brazil due to habitat loss and climate change. **PeerJ**, v.7, p.e73333, 2019.

SILVA, L. V. da; REIS, F. Y. S.; MARTINS, F. B.; CASSEMIRO, J. M. Desenvolvimento Vegetativo de *Cesalpineia ferrea* e *Anadenanthera macrocarpa*: I - Estimativa das Temperaturas Cardinais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n.1, p.23-33, 2020.

SIMÕES, V. J. L. P.; LEITE, M. L. de M. V.; IZIDRO, J. L. P. S.; ARAÚJO JÚNIOR, G.N.; TEIXEIRA, V. I.; Assimilação de carbono em plantas forrageiras. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v.12, n.01, p.125-134, 2019.

SNEDECOR, G. W.; COCHRAN, W. G. **Statistical Methods**, Iowa State University Press, Iowa City, IA, USA, Eighth edition, 1989.

SOUSA, C. M. **DIAGNÓSTICO DA PRODUÇÃO DE MUDAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS NATIVAS EM MINAS GERAIS**. 2017. 60f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SOUZA, P. J. O.; SANTOS, C. D. M.; SOUZA, E. B.; OLIVEIRA, E. C.; SANTOS, J. T. S. Impactos das mudanças climáticas na cultura da soja no nordeste do estado do Pará. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.12, n.2, p.2454-2467, 2018

STRECK, N. A.; BOSCO, L. C.; LAGO, I. Simulating leaf appearance in rice. **Agronomy Journal**, v. 100, n.3, p.490-501, 2008.

STRECK, N. A.; LAGO, I.; OLIVEIRA, F. B.; HELDWEIN, A. B.; AVILA, L. A.; BOSCO, L. C. Modeling the development of cultivated rice and weedy red rice. **Transactions of the ASAE** (Cessou em 2005. Cont. Transactions of the ASABE), v. 54, p. 371-384, 2011.

STRECK, N. A.; UHLMANN, L. O.; GABRIEL, L. F. Leaf development of cultivated rice and weedy red rice under elevated temperature scenarios. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.1, p.190-199, 2013.

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

TAVARES, P. S.; GIAROLLA, A.; CHOU, S. C.; SILVA, A. J. P.; LYRA, A. A. Climate change impact on the potential yield of Arabica coffee in southeast Brazil. **Regional Environmental Change**, v.18, n.3, p.873-883, 2017.

TIRONI, L. F.; STRECK, N. A.; SANTOS, A. T. L.; FREITAS, C. P. O; UHLMANN, L. O.; OLIVEIRA JUNIOR, W. C.; FERRAZ, S. E. T. Estimating cassava yield in future IPCC climate scenarios for the Rio Grande do Sul State, Brazil. **Ciência Rural**, v.47, n.2, p.e20160315, 2017.

UHLMANN, L. O.; STRECK, N. A.; BECKER, C. C.; SCHWAB, N. T.; BENEDETTI, R. P.; CHARÃO, A. S. ; RIBEIRO, B. S. M. R.; SILVEIRA, W. B. ; BACKES, F. A. A. L.; ALBERTO, C. M.; MUTTONI, M.; DE PAULA, G. M.; TOMIOZZO, R.; BOSCO, L. C.; BECKER, D. PhenoGlad: A model for simulating development in Gladiolus. **European Journal of Agronomy**, v. 82, p. 33-49, 2017.

WANG, E.; ENGEL, T. Simulation of phenological development of wheat crops. **Agricultural Systems**, v.58, n.1, p.1-24, 1998.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, v.2, n.2, p.184-194, 1981.

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013). **International Journal Of Climatology**, v. 36, n. 6, p.2644-2659, 2016.

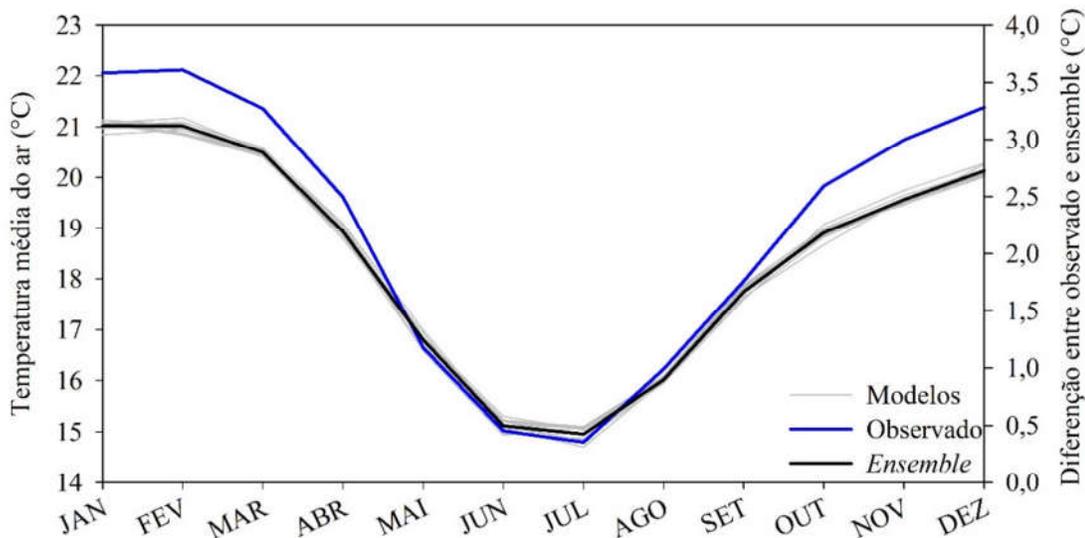
XAVIER, A. C. F; SIQUEIRA, K. N.; SANTOS, Y. L. A.; VENTUROLI, F.; MORAIS, M. V. B.; BLAIN, G. C. Desempenho de modelos regionalizados NEX-GDDP para a região metropolitana de Campinas. In: Congresso Florestal Latino Americano, 2018, Vitória. VII Congresso Florestal Latino Americano, 2018, v. VII.

ANEXOS

Anexo 1. Validação entre o conjunto de dados de temperatura média do ar de oito modelos climáticos regionalizados do NEX-GDDP e dados observados de Xavier et al., 2016 para o período de 1980-2004. Os dados foram extraídos para o ponto e 22°25,5'S e 45°27'W.

Modelos	Centro desenvolvedor	RQME*	(VM)**
ACCESS1-0	CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Australia), and BOM (Bureau of Meteorology, Australia)	1.58	-0.59
CCSM4	National Center for Atmospheric Research	1.39	-0.51
CNRM-CM5	Centre National de Recherches Meteorologiques / Centre Europeen de Recherche et Formation Avancees en Calcul Scientifique	1.50	-0.63
GDFL-CM3	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	1.42	-0.57
IPSL-CM5A-MR	Institut Pierre-Simon Laplace	1.52	-0.54
MIROC5	Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology	1.39	-0.67
MPI-ESM-MR	Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M)	1.45	-0.56
MRI-CGCM3	Meteorological Research Institute	1.46	-0.62

* RQME = raiz do quadrado médio do erro, dada por: $RQME = \sqrt{\frac{\sum (E_i - O_i)^2}{n-1}}$, onde $n = N$. ** VM = viés médio, dado por: $VM = \frac{1}{N} \sum (E_i - O_i)$. Onde: E_i = valores simulados de Tmed pelos modelos; O_i = valores observados de Tmed (1980-2005) (XAVIER et al., 2016), N = número de observações. FONTE: REIS, 2018.



Anexo 2. Ciclo anual de temperatura média do ar provenientes do banco de dados disponibilizados em Xavier et al., (2016) e simulados por oito modelos globais de previsão climática para o período de 1980-2005 para Itajubá. Em cinza, dados dos modelos climáticos, em azul dados observados (Xavier et al., 2016) e em preto o *ensemble* dos modelos climáticos.