

MODELOS DE SIMULAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO EM ANGICO VERMELHO (*Anadenanthera macrocarpa*)

Flávia Fernanda Azevedo Fagundes¹, Camila Ferreira Campos¹, Fernando Yuri da Silva²
Reis, Fabrina Bolzan Martins³

¹Graduandas em Ciências Atmosféricas, IRN, UNIFEI, Itajubá – MG; e-mail: flaviaffag@gmail.com, camila.fcamos89@gmail.com; ²Mestre em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, IRN, UNIFEI, Itajubá , e-mail fernandoyreis@gmail.com; – ³Prof. Associado IRN, UNIFEI, Itajubá – MG; fabrinabm@gmail.com.

RESUMO

A temperatura do ar é um fator importante no desenvolvimento vegetal, já que comanda a taxa de aparecimento de folhas (TAF) e o número de folhas (NF), os quais são facilmente simulados através de modelos de simulação do desenvolvimento vegetativo. Com isso, o objetivo desse trabalho é avaliar e comparar o desempenho na simulação do desenvolvimento vegetativo, através de dois tipos de modelos- Filocrono (linear) e Wang Engel (não linear) - para o Angico Vermelho (*Anadenanthera macrocarpa*) na fase de viveiro, relacionando a temperatura do ar com a TAF e NF. Para isso, foi instalado um experimento com 12 épocas de semeadura na área experimental da Universidade Federal de Itajubá. Os coeficientes dos modelos foram obtidos com o uso das primeiras épocas de semeadura (E1 a E5) e para a avaliação do desempenho dos modelos foram utilizadas as demais épocas (E6 a E12). O modelo Filocrono foi o que obteve melhor simulação para o desenvolvimento vegetativo desta espécie, apresentado raiz do quadrado médio do erro (RQME) de 2,88 folhas, menor que o modelo Wang Engel com RQME de 3,67 folhas.

Palavras-Chaves: Temperatura do ar, aparecimento de folhas, Filocrono, Wang Engel.

SIMULATION OF VEGETATIVE DEVELOPMENT IN Angico vermelho SEEDLINGS (*Anadenanthera macrocarpa*)

ABSTRAT

The air temperature is an important variable, because controls the leaf appearance rate (LAR) and leaf number (LF). Therefore, the objective of this work is to evaluate two kinds of simulation vegetative development models- phyllochron (linear) and Wang Engel (non linear) - for angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa*) in the seedling phase, relating the air temperature with the LAR and LF. For this, an experiment was installed with 12 sowing dates in the experimental area of the Federal University of Itajubá. The coefficients of the two models were obtained using the first sowing dates (E1 to E5) and for the evaluation of the performance of the models the other seasons (E6 to E12) were used. The phyllochron model was the best performance for the vegetative development for angico vermelho, with lower

value of root mean square error (RMSE) of (2.88 leaves) when compared than the Wang Engel model (RMSE= 3.67 leaves).

Key words: Air temperature, appearance of leaves, phyllochron, Wang Engel.

1. INTRODUÇÃO

A taxa de aparecimento de folhas (TAF) e o número de folhas (NF) são influenciados primariamente pela temperatura do ar (FREITAS et al., 2017). Logo, pode se relacionar a temperatura do ar com a TAF e NF por meio de modelos de simulação (FERREIRA, 2017; MARTINS et al., 2014). Os modelos de simulação do desenvolvimento vegetativo são divididos em duas categorias: lineares e não lineares (MARTINS et al., 2014). Na primeira categoria, o modelo mais recorrente na literatura é o Filocrono (FIL), enquanto na segunda categoria é o modelo de Wang e Engel (WE) (FERREIRA, 2017; MARTINS et al., 2014; SAMBORANHA et al., 2013; STRECK; BOSCO; LAGO, 2008).

O FIL utiliza a relação linear entre a NF e uma função temperatura do ar denominada soma térmica, cuja unidade de medida é dada por °C dia (LANGNER et al., 2018; ROSA et al., 2009; MARTINS et al., 2007). É considerado um modelo com maior facilidade de execução, porém apresenta restrições devido pressupor que o desenvolvimento vegetativo é linearmente influenciado pela função de temperatura (FERREIRA, 2017; MARTINS et al., 2014;).

O modelo do WE por sua vez utiliza uma função multiplicativa para descrever o desenvolvimento vegetativo em função da temperatura do ar $[f(t)]$, a qual é dada pela da função Beta (LANGNER et al., 2018; SAMBORANHA, et al., 2018; WANG; ENGEL, 1998).

Tanto na função de soma térmica quanto na $f(t)$, utilizam-se dados de temperatura do ar e dados de temperaturas cardinais (base inferior, ótima e base superior), as quais são exclusivas de cada espécie (FREITAS et al., 2017, SILVA, 2018).

Estudos que avaliam modelos na simulação do desenvolvimento são comuns em culturas anuais como arroz (STRECK; BOSCO; LAGO, 2008), mandioca (SAMBORANHA et al., 2013), batata-doce (ERPEN et al., 2013), calêndula (KOEFEENDER et al., 2008), trigo (ROSA et al., 2009); e escassos em espécies perenes como: eucalipto (MARTINS; STRECK, 2007), oliveira (LISBOA et al., 2012; MARTINS et al., 2014). Além disso, em teoria os modelos não lineares são considerados os mais realísticos para descrever o desenvolvimento vegetativo, porém, não há confirmação da superioridade de um modelo sobre o outro

(MARTINS et al., 2014). Aliado a isso, não existem estudos dessa natureza, os quais avaliam a performance dos modelos de simulação para a espécie angico vermelho, a qual é uma planta nativa de ocorrência natural em grande parte do Brasil (DIAS et al., 2012). Adicionalmente, a espécie apresenta usos múltiplos, sendo utilizada como lenha para produção de energia nas termelétricas, também como moirões em propriedades rurais e para fabricações de moveis, pois esse apresenta características físicas que dão aspecto agradável à madeira e facilidade de envernizamento.

Dessa forma, o objetivo desse estudo foi avaliar e comparar o desempenho na simulação do desenvolvimento vegetativo, através dos modelos FIL e WE considerando a fase de muda do angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa*).

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para realizar esse estudo, foi instalado um experimento a campo na área experimental da Universidade Federal de Itajubá (22°24'46.43" S; 45°26'48.94" O; 850 m de altitude), em Itajubá (MG), durante os anos agrícolas de 2017 e 2018. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, com doze épocas de semeadura (ES) (Tabela 1) e cinco repetições por tratamento, totalizando 60 unidades experimentais (UE).

Cada UE foi composta por vaso de polietileno de 8 litros (23 cm de altura, 24 cm de diâmetro superior e 20 cm de diâmetro inferior), com as paredes externas e internas pintadas de branco, para evitar o aumento da temperatura do substrato pela absorção de radiação solar. Os vasos foram preenchidos com o horizonte 'A' moderado de um Latossolo Vermelho distrófico típico, coletado em Itajubá. Após análises laboratoriais verificou-se que possuía acidez elevada (pH em H₂O = 5), baixa quantidade de cálcio e magnésio trocáveis (respectivamente 0,16 e 0 cmol_c/dm³), baixos teores de fósforo, potássio, cálcio e magnésio, enquanto os teores de cobre, ferro, manganês e zinco foram considerados altos. As considerações e as correções do solo seguiram a recomendação proposta pela Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG, 1999), em que foi aplicado em cada UE: para correção da acidez e diminuição do teor de Al³⁺ - 17,63 gramas de carbonato de cálcio e 5,88 gramas de carbonato de magnésio; para a correção das deficiências nutricionais relacionadas aos macronutrientes - 8,86 gramas de superfosfato simples (18%), 1,52 gramas de cloreto de potássio (60%) e 2,28 gramas sulfato de amônia.

TABELA 1. Informações sobre as datas de instalação, emergência e término da fase de muda para as doze épocas de semeadura. Itajubá, 2017/2018.

TABLE 1. Information of sowing dates , emergency and duration of the seedling phase in angico vermelho . Itajubá, 2017/2018.

Épocas	Semeadura	Emergência*	Término da fase de muda**	Duração***
E1	20/01/2017	03/02/2017	05/05/2017	91
E2	20/02/2017	03/03/2017	03/11/2017	245
E3	20/03/2017	31/03/2017	22/12/2017	236
E4	20/04/2017	28/04/2017	12/01/2018	259
E5	19/05/2017	02/06/2017	09/02/2018	252
E6	20/06/2017	30/06/2017	02/03/2018	245
E7	20/07/2017	04/08/2017	16/02/2018	196
E8	21/08/2017	01/09/2017	22/12/2017	112
E9	20/09/2017	29/09/2017	29/12/2017	91
E10	20/10/2017	03/11/2017	16/02/2018	105
E11	20/11/2017	08/12/2017	09/03/2018	91
E12	20/12/2017	12/01/2018	23/03/2018	70

* data em que havia 35% das sementes germinadas e acima do solo; **data em que cada UE tinha, em média, 12 folhas acumuladas na haste principal; *** número de dias que se estende desde a data da emergência até o término da fase de muda.

O desenvolvimento vegetativo foi quantificado pelo NF durante a fase de muda, que é uma variável referência em estudos sobre essa temática em viveiros florestais (FREITAS et al., 2017). Por sua vez, a duração da fase de muda foi considerada quando cada UE atinge 12 folhas acumuladas na haste principal (FERREIRA, 2017).

As épocas de semeadura foram divididas em dois conjuntos, sendo que da E1 à E5 foram utilizadas no ajuste dos dois modelos e da E6 à E12 foram utilizadas na validação do desempenho dos mesmos.

No caso do modelo do FIL, seu ajuste foi realizado pelo inverso do coeficiente angular “a” da regressão linear entre o NF e a soma térmica acumulada (ST_{acum}), a qual por sua vez é

contabilizada desde data de emergência até o termino da fase de muda, a qual é considerada quando a planta atinge 12 folhas na haste principal (FERREIRA, 2017).

$$NF = a ST_{acum} + b \quad (1)$$

Em que: NF = número de folhas e ST_{acum} = soma térmica acumulada, dada por:

$$\text{Quando: } Tb \leq T_{med} \leq Tot: ST_d = T_{med} - Tb \cdot 1 \text{ dia} \quad (2)$$

$$\text{Quando: } Tot < T_{med} \leq TB: ST_d = (Tot - Tb) \cdot \frac{(TB - T_{med})}{(TB - Tot)} \cdot 1 \text{ dia} \quad (3)$$

Além disso, deve-se considerar: se $T_{med} < Tb$: $T_{med} = Tb$; e se $T_{med} > TB$: $T_{med} = TB$.

Em que T_{med} = temperatura média diária do ar ($^{\circ}C$), dada pela média aritmética dos registros horários da temperatura do ar, obtido com uma estação meteorológica automática, Tb = temperatura base inferior ($10,3^{\circ}C$); Tot = temperatura ótima ($23,0^{\circ}C$), e TB = temperatura base superior, ($45,5^{\circ}C$) (SILVA, 2018).

Na validação do modelo do FIL, o NF estimado é dado por (LANGNER et al., 2018; LISBOA et al., 2012; MARTINS; STRECK, 2007):

$$NF = \frac{ST_{acum}}{\overline{FIL}} \quad (4)$$

Em que: ST_{acum} = soma térmica acumulada desde o dia de emergência (Tabela 1) até quando o termino de fase de muda; \overline{FIL} = filocrono médio, obtido pelo inverso dos coeficiente “a” dado pela média dos valores das regressões lineares entre o NF observados e a ST_{acum} , para as épocas E1 a E5.

O ajuste do modelo WE foi determinado através de (FERREIRA, 2017, MARTINS, et al., 2014):

$$TAF = TAF_{max} \cdot f(t)_{acum} \quad (5)$$

Em que: TAF = taxa de aparecimento de folhas (folhas dia⁻¹), TAF_{max} = taxa de aparecimento máxima de folhas (folhas dia⁻¹) obtida pelo método *Nonlinear estimation do software Statistica* (STATSOFT, 2008) e $f(t)_{acum}$ = função temperatura acumulada, dada pelo acumulo diário dado por:

Quando: $Tb \leq T_{med} \leq TB$;

$$f(t) = \frac{[2(T_{med}-T_b)^\alpha(Tot-T_b)^\alpha(T_{med}-T_b)^{2\alpha}]}{(Tot-T_b)^{2\alpha}} \quad (6)$$

Quando $T_{med} < T_b$ ou $T_{med} > T_b$;

$$f(t) = 0 \quad (7)$$

Em que: α = é o parâmetro da $f(t)$, calculado a partir das temperaturas cardinais, dada por:

$$\alpha = \frac{\ln 2}{\ln[(TB-T_b)/(Tot-T_b)]} \quad (8)$$

Temperatura basal inferior ($T_b = 10,3^\circ\text{C}$), temperatura ótima ($Tot = 23,5^\circ\text{C}$) e temperatura basal superior ($TB = 45,5^\circ\text{C}$).

Já a validação do WE o NF estimado é dado por: $NF = \sum_{i=1}^n TAF(\text{folhas})$, sendo $TAF = TAF_{max} \cdot f(T)$ (9)

Em que: i = data em que ocorre a emergência, n = data em que ocorre o término da fase de muda (Tabela 1); \overline{TAF}_{max} = considerado aquele obtido da regressão que apresentou o menor valor do quadrado médio do erro entre E1 à E5 (MARTINS et al., 2014). Utilizou-se o procedimento Nonlinear estimation do software Statistica® (Statsoft, 2008), através da variante de Gauss-Newton pelo método dos mínimos quadrados ordinários.

As estatísticas utilizadas na avaliação da validação dos modelos foram: raiz do quadrado médio do erro (RQME), BIAS, coeficiente de correlação (r), índice de concordância (d) e o índice “ c ” (FERREIRA, 2017; MARTINS et al., 2014; ERPEN et al., 2013; MARTINS; STRECK, 2007). A validação se deu por meio de uma análise entre o NF estimado (NF_{est}) e o NF observado (NF_{obs}) para as épocas E6 a E12.

O RQME: apresenta o erro médio do modelo, então quanto menor seu valor melhor é o modelo (ERPEN et al., 2013; MARTINS; STRECK, 2007):

$$RQME = [\sum(NF_{est} - NF_{obs})^2/n]^{0,5} \quad (10)$$

O BIAS: demonstra a tendência do modelo, sendo o desvio médio entre os valores estimado e observado. Podendo ser positivo ou negativo, seguindo essa ordem ele superestima ou subestima o NF (ERPEN et al., 2013; SAMBORANHA, 2012):

$$BIAS = \frac{(\sum NF_{est} - \sum NF_{obs})}{\sum NF_{obs}} \quad (11)$$

O r : fornece o grau de associação entre as variáveis. Seu valor varia de 1 a -1, porém quanto mais próximo de 1 maior é a associação entre o NF observado e o NF estimado (MARTINS et al., 2014; ERPEN et al, 2013):

$$r = \frac{\sum(NF_{obs} - \overline{NF_{obs}})(NF_{est} - \overline{NF_{obs}})}{\{[\sum(NF_{obs} - \overline{NF_{obs}})^2][\sum(NF_{est} - \overline{NF_{est}})^2]\}^{0,5}} \quad (12)$$

O d: estima a exatidão do modelo, variando de 0 (sem nenhuma concordância) a 1 (maior concordância) entre o NF observado e estimado (FERREIRA, 2017; ERPEN et al, 2013).

$$d = 1 - \frac{[\sum(NF_{est} - NF_{obs})^2]}{[\sum(|NF_{est} - NF_{obs}|) + \sum(|NF_{obs} - NF_{obs}|)^2]} \quad (13)$$

O c: fornece o desempenho do modelo (Tabela 2).

$$c = r \cdot d \quad (14)$$

Em que \overline{NF}_{obs} o número de folhas observado médio e \overline{NF}_{est} o número de folhas estimado médio, o qual é obtido separadamente para FIL e WE.

TABELA 2. Critério para a interpretação do desempenho do modelo a partir do índice c.
TABLE 2. Criteria for the interpretation of model performance from index c.

Valor de c	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
≤,0,40	Péssimo

Fonte: MARTINS; STECK, 2007

Para a comparação dos dois modelos foi utilizado o valor ponderado dos escores estatísticos (Vp). O valor de Vp é dado para cada uma das estatísticas (RQME, BIAS, r, d, c), sendo que o modelo que apresenta o melhor valor recebe Vp=1 é para aquele com pior valor recebe o Vp=2. No final, o modelo que apresenta o menor valor de Vp é considerado o melhor modelo de simulação (MARTINS et al., 2014, FERREIRA, 2017).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura do ar apresentou variabilidade entre as doze épocas de semeadura (Tabela 3). A menor temperatura absoluta foi 3,6°C (ocorrida em 11/07/2017) e a maior temperatura absoluta foi 34,6°C (ocorrida em 12/10/2017).

Como a emissão de folhas é relacionada com uma função de temperatura, logo é esperado que essa variabilidade de temperatura do ar influencie na emissão de folhas e na duração da fase de muda entre as épocas de semeadura. Tal variação é importante na determinação dos coeficientes de cada modelo e na validação do desempenho dos modelos FIL e WE (FERREIRA, 2017; FERREIRA et al., 2019; MARTINS et al., 2014).

As épocas E1, E9, E11 e E12 apresentaram menor duração e conseqüentemente maior velocidade de emissão de folha (Tabela 3), justamente as épocas em que os valores de temperatura (tanto para T_{\min} , T_{med} e T_{\max}) foram maiores. . Do contrário, as épocas E4 (259 dias) e E5 (252 dias) foram as que apresentaram maior duração da fase de muda e conseqüentemente menor velocidade de emissão de folhas, justamente onde ocorreram os menores valores de temperatura do ar, especialmente a T_{\max} e T_{\min} . Isso demonstra que há uma relação inversa entre a temperatura do ar e o desenvolvimento vegetativo para o angico vermelho. Mesma tendência foi constatada em estudos com espécies perenes, como Souza e Martins (2014) para as cultivares de oliveira Grappolo e MGS Mariense, Ferreira *et al.* (2019) para o pau viola (*Citharexylum myrianthum* Cham.) e urucum (*Bixa orellana* L.), e Freitas *et al.* (2017), para duas espécies de eucalipto.

TABELA 3. Duração da fase de muda (dias) e temperatura do ar referente as 12 datas de semeadura para o angico vermelho. Itajubá 2017/2018.

TABLE 3. Duration of the seedling phase (days) and air temperature for the 12 sowing dates for the angico vermelho. Itajubá 2017/2018.

Angico Vermelho				
**Temperatura [°C]				
Épocas	*Duração	T_{min}	T_{med}	T_{max}
E1	91	16,4	22,0	28,5
E2	245	12,8	19,0	26,5
E3	236	13,2	19,2	26,6
E4	259	13,4	19,3	26,6
E5	252	14,0	19,9	27,3
E6	245	14,7	20,6	27,9
E7	196	15,7	21,4	28,6
E8	112	15,4	21,6	28,8
E9	91	16,9	22,1	28,6
E10	105	17,7	22,5	29,0
E11	91	18,3	23,0	29,9
E12	70	18,6	23,4	30,9

*Período que se estende desde a data de emergência, considerada o dia que havia 35% das folhas visíveis acima do solo, ao termino da fase de muda, quando cada EU em cada época atingiu 12 folhas na haste principal. ** Valores obtidos por uma média aritmética da temperatura mínima, média e máxima do ar.

Com relação ao ajuste do modelo FIL, o valor do coeficiente “a” estimado foi de 0,0058 (sendo $1/a = 171,5^{\circ}\text{C}$ dia por folha). Esse valor representa o tempo necessário, em $^{\circ}\text{C}$ dia, para o aparecimento de folhas sucessivas na haste principal (STRECK et al., 2007) do angico vermelho, e foi obtido pela média aritmética das E1 à E5.

Já com relação ao ajuste do modelo WE, o coeficiente “ $\text{TAF}_{\text{máx}}$ ” foi de 0,050 folhas dia^{-1} , encontrado na E4 (com menor valor de quadrado médio do erro = 0,669) o qual fornece a taxa diária do aparecimento de folhas na haste principal.

Com relação à validação do desempenho dos dois modelos de simulação, houve melhor desempenho do FIL em 5 das 6 épocas (E7 à E12), enquanto que o WE foi superior em apenas 1 época (E6). Isso pode ser analisado em função dos menores valores de Vp (Tabela 4), dado pelos escores das estatísticas (RQME, BIAS, r, c, d). Ou seja, o modelo FIL simulou melhor o desenvolvimento vegetativo que o WE, para a espécie estudada nas condições meteorológicas de Itajubá (MG). Mesmo assim, exceto para a E6, o FIL apresentou tendência de subestimativa do NF (Figura 1) para a todas as épocas.

TABELA 4. Estatísticas utilizadas para avaliação do desempenho do modelo Filocrono (FIL) e Wang Engel (WE) para a simulação do desenvolvimento vegetativo da espécie Angico Vermelho nas épocas E6 a E12.

TABLE 4. Statistics used to evaluate the performance of the Filocrono model (FIL) and Wang Engel (WE) for the simulation of the vegetative development of Angico Vermelho species from E6 a E12.

Estatística	Época/Modelo													
	E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12	
	FIL	WE	FIL	WE	FIL	WE	FIL	WE	FIL	WE	FIL	WE	FIL	WE
RQME	1,6330	0,7012	1,2499	2,4490	2,6247	3,5655	2,8753	4,1658	3,2929	4,4997	3,3676	4,3496	5,1712	6,0050
	(2)	(1)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
BIAS	0,1102	0,0138	-0,1081	-0,2773	-0,4030	-0,5372	-0,3980	-0,5958	-0,4560	-0,5640	-0,4805	-0,4069	-0,6505	-0,7520
	(2)	(1)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(2)	(1)	(1)	(2)
r	0,9848	0,9839	0,9718	0,9671	0,9877	0,9869	0,9874	0,9855	0,9616	0,9605	0,9385	0,9437	0,9553	0,9555
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(2)	(1)	(2)	(1)
d	0,9511	0,9879	0,9727	0,8797	0,8099	0,6795	0,7448	0,6113	0,7605	0,6378	0,7021	0,6023	0,6393	0,5520
	(2)	(1)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
c	0,9366	0,9720	0,9452	0,8507	0,8000	0,6706	0,7354	0,6024	0,7313	0,6126	0,6589	0,5684	0,6107	0,5274
	(2)	(1)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
Vp	9	6	5	10	5	10	5	10	5	10	7	8	6	9

Os valores 1 e 2 atribuídos abaixo das estatísticas referem-se aos valores ponderados dos escores estatísticos(Vp), em que Vp=1 melhor modelo e Vp=2 pior modelo, RQME: raiz quadrada médio do erro, BIAS: índice de tendência, r: coeficiente de correlação. d: índice de concordância e c: índice de desempenho

Analisando exclusivamente o índice “c” (Tabela 4), percebe-se que tanto o FIL quanto o WE apresentaram desempenho de moderado a ótimo ($c > 0,50$). Mesmo assim, o WE errou globalmente mais (RQME = 3,67 folhas) que o FIL (RQME = 2,88 folhas) (Figura 1). Como o modelo FIL apresentou melhor desempenho para as épocas E7, E8, E9 e E10 (todas com $V_p=5$), E11 ($V_p=7$) e E12 ($V_p=6$) e o modelo WE para a época E6 ($V_p=6$), pode-se confirmar que o FIL foi superior ao WE para a espécie angico vermelho.

Na prática, um erro de 2,88 folhas, observado no modelo FIL, representa aproximadamente um erro de 3 semanas, uma vez que uma folha desta espécie aparece em intervalos de 7 dias. Isso significa que o modelo do FIL erra em ~ 3 semanas o término da fase de muda. Tal erro não é considerado baixo, porém é aceitável quando se trabalha com espécies perenes e em condições de viveiro (MARTINS et al., 2014). No entanto, um erro de ~3 semanas pode gerar erro na determinação do término da fase de muda (FERREIRA et al., 2019), o que impacta no tempo de comercialização das mudas, mas não causa erro na determinação da época de plantio da muda no campo. Isso ocorre, pois os plantios das mudas podem ocorrer em intervalos de até 3 – 4 semanas, justamente o erro global do FIL.

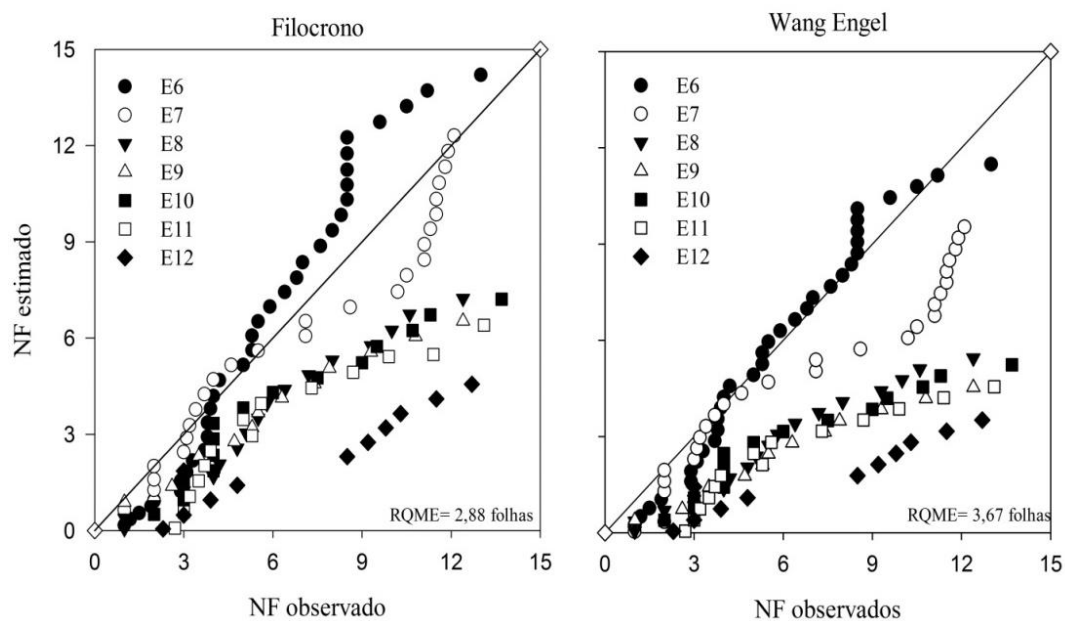


FIGURA 1. Número de folha estimado versus número de folha observado para os modelos Filocrono e Wang Engel para o Angico Vermelho. A linha cheia é a 1:1.

FIGURE 1. Simulated versus observed leaf number for the Phyllochron and Wang Engel models for the angico vermelho. The solid line is 1: 1.

Mesmo que os modelos de desenvolvimento não lineares, como o WE, sejam preferidos por descreverem de forma mais realística o desenvolvimento das plantas (ERPEN et al., 2013), além de serem aplicados em condições de grande variação de temperatura (MARTINS et al., 2014), o modelo FIL mostrou desempenho superior na simulação do NF para o angico vermelho. Tal resultado foi similar ao observado por Monteiro et al. (2014) em mudas de *Adenanthera pavonina* L., *Cassia fistula* L., *Hymenolobium petraeum* Ducke e *Parkia pendula* Willd., por Erpen et al. (2013) para o desenvolvimento vegetativo da batata-doce e Ferreira et al., (2019) para o desenvolvimento vegetativo da goiabeira. As principais vantagens do FIL são: simplicidade, facilidade de aplicação, número reduzido de coeficientes e por apresentar variáveis de entrada de fácil obtenção (ERPEN et al., 2013; MARTINS et al., 2014).

Dessa forma, o modelo Filocrono apresentou melhor desempenho na simulação do desenvolvimento vegetativo para o Angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa*) quando comparado ao modelo de Wang e Engel e deve ser o modelo selecionado para determinar duração da fase de muda no campo e avaliação dos impactos das mudanças climáticas nesta espécie.

4. AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), referente ao Projeto APQ 01258-17, pelo apoio financeiro.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DIAS, P. C.; XAVIER, A.; OLIVEIRA, L. S.; PAIVA, H. N.; CORREIA, C. G. Propagação vegetativa de progênies de meios-irmãos de Angico Vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth) Brenan) por miniestaquia. **Revista Árvore**, Viçosa, v.36, n.3, p.389-399, 2012.

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**, Campina Grande, v.17, n.11, p.1230-1238, 2013.

FERREIRA, M.C.; MARTINS, F.B.; FLORÊNCIO, G.W.L.; SILVA, J.P.C.; PASIN, L.A.A.P. Valores limítrofes de temperatura e necessidade térmica no desenvolvimento de duas espécies nativas brasileiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.xx, n. xx, pxx-xx, 2019 (no prelo).

FERREIRA, M. C. Desenvolvimento vegetativo de três espécies arbóreas. 82 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2017.

- FREITAS, C. H.; MARTINS, F.B.; ABREU, M. C. Cardinal temperatures for the leaf development of *Corymbia citriodora* and *Eucalyptus urophylla*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.52, n.5, p. 283-292, 2017.
- KOEFENDER, J.; STRECK, N. A.; BURIOL, G. A.; TRENTIN, R. Estimativa do Filocrono em calêndula. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.5, p.1246-1250, 2008.
- 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**, Santa Maria, v.42, n.9, p.1556-1562, 2012.
- 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**, Santa Maria, v.48, n.1, p.1-9, 2018.
- 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**, São Paulo, v.29, n.4, p.505-514, 2014.
- MARTINS, F. B.; STRECK, N. A. Aparecimento de folhas em mudas de eucalipto estimado por dois modelos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.8, p.1091-1100, 2007.
- MONTEIRO, E. B.; da SILVA, C. C.; da SILVA, A. C.; SOUZA, A. P. de. Estimating emission of leaves seedings Forest in different shading levels, at conditions of transition Amazon-Cerrado, Brazil. **American Journal of Plant Sciences**, v. 5, p. 2330-2341, 2014.
- ROSA, H. T.; WALTER, L.C.; STRECK, N. A.; ALBERTO, C. M. Métodos de soma térmica e data de semeadura na determinação de Filocrono de cultivares de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.11, p.1374-1382, 2009.
- SAMBORANHA, F. K.; STRECK, N. A.; UHLMANN, L. O.; GABRIEL, L. F. Modelagem matemática do desenvolvimento foliar em mandioca. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.44, n.4, p.815-824, 2013.
- SILVA, L. V. Desenvolvimento vegetativo de duas espécies florestais na fase de muda. 37 f. Monografia (Graduação em Ciências Atmosféricas) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2018.
- 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.
- STRECK, N. A.; BOSCO, L. C.; LAGO, I. Simulating leaf appearance in rice. **Agronomy Journal**, Madison, v. 100, n.3, p.490-501, 2008a.
- STRECK, N. A.; LAGO, I.; GABRIEL, L. F.; SAMBORANHA, F. K. Simulating maize phenology as a function of air temperature with a linear and a nonlinear model. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 4, p. 449-455, 2008b.
- STRECK, N. A.; LAGO, I.; PAULA, F. L. M. de; BISOGNIN, D. A.; HELDWEIN, A. B. Improving predictions of leaf appearance in field grown potato. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.64, n.1, p.12-18, 2007.

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