

ESTIMATIVA DAS TEMPERATURAS BASAIS INFERIOR E SUPERIOR PARA O DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO DA ESPÉCIE NATIVA *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos

Gabriela Taynara da Silva Ribeiro¹ (IC), Fabrina Bolzan Martins (PQ)¹

¹Universidade Federal de Itajubá, IRN, Itajubá-MG.

Palavras-chave: Emissão de folhas. Fenologia. Temperatura do ar.

Introdução

O desenvolvimento vegetal é afetado por fatores bióticos e abióticos locais, e são variáveis entre as fases desses eventos e espécie (SEMENSATO *et al.*, 2020). Entre os fatores abióticos, a temperatura do ar (°C) é a que mais influencia o desenvolvimento vegetativo da maioria das espécies vegetais (FERREIRA *et al.*, 2019a,b).

As plantas apresentam limites de temperatura dentro dos quais elas se desenvolvem adequadamente, definidos por três temperaturas cardinais (FERREIRA *et al.*, 2019a; FAGUNDES, 2023): basal inferior (Tb), ótima (Tot) e superior (TB). A Tb representa a temperatura abaixo da qual as atividades fisiológicas são reduzidas/interrumpidas; a Tot, em que ocorre o máximo desenvolvimento e a TB representa o limite máximo em que ocorre o desenvolvimento, acima da qual a taxa respiratória supera a taxa de produção de fotoassimilados (FREITAS *et al.*, 2017b; LIMA e SILVA, 2008). Normalmente as três temperaturas cardinais são estimadas por metodologias estatísticas distintas, utilizando dados de observações fenológicas, como a emissão de folhas (LAGO *et al.*, 2009) e temperatura do ar.

Desta forma, para uma estimativa precisa do desenvolvimento vegetal de uma determinada espécie, é necessário o conhecimento adequado das temperaturas basais inferior e superior da planta. Na maioria dos casos, a Tb é determinada pelos métodos de desvio padrão em dias e graus-dia, coeficiente de variação em dias e graus-dia, o coeficiente de regressão e o menor quadrado médio do erro (LAGO *et al.*, 2009; SINCLAIR *et al.*, 2004; YANG *et al.*, 1995). Já a TB, pelos métodos de Ometto (1981), modificado por Lima e Silva (2008).

A estimativa da Tb e da TB é realizada majoritariamente para culturas agrícolas, sendo escassos em culturas perenes (CALLEJAS *et al.*, 2014; FREITAS *et al.*, 2017a).

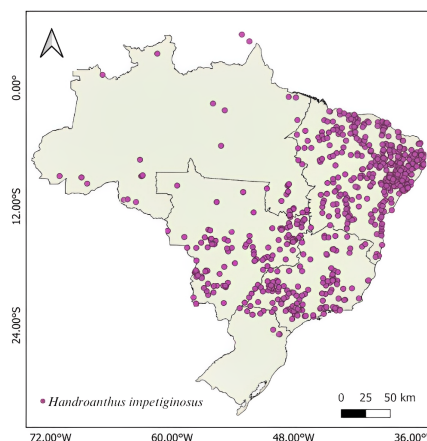
Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi

estimar a Tb e TB para o desenvolvimento inicial da espécie florestal nativa *H. impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos.

Metodologia

O experimento foi conduzido a campo na área experimental da Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, em Itajubá-MG durante os anos de 2022 e 2023. Itajubá possui clima típico de monção, com duas estações bem definidas: outono/inverno seco (de abril a setembro) e primavera/verão úmido (outubro a março) (MARTINS *et al.*, 2023). Dentre as inúmeras espécies florestais existentes destaca-se a espécie *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos, com alta distribuição espacial no Brasil (Figura 1).

Figura 1 – Distribuição geográfica da espécie *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos no Brasil.



Fonte – Elaborado pela autora (2023)

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, considerando 8 datas de semeadura (DS) e 8 repetições por época, totalizando 64 unidades experimentais (UE). Cada UE foi constituída por duas plantas cultivadas em vasos de polietileno branco de 8L preenchidos com o horizonte “A” moderado de um

Latossolo Vermelho distrófico típico, de textura argilosa, coletado em Itajubá, MG. As DSs foram instaladas em intervalos de aproximadamente 30 dias para que as plantas se desenvolvessem em diferentes condições meteorológicas, especialmente as menores temperaturas do ar, ideal para estudos sobre estimativa da Tb (SINCLAIR *et al.*, 2004; SOUZA e MARTINS, 2014). As 8 DSs foram: DS1 - 14/06/2022; DS2 - 15/07/2022; DS3 - 16/08/2022; DS4 - 16/09/2022; DS5 - 17/10/2022; DS6 - 14/11/2022; DS7 - 16/12/2022; DS8 - 17/01/2023.

As sementes de *H. impetiginosus* foram coletadas de matrizes localizadas no município de Lavras-MG (08/2019) e Seropédica-RJ (09/2021). A secagem, beneficiamento e armazenamento com o intuito de conservar a viabilidade das sementes foi feita de acordo com as recomendações de EMBRAPA (2001) e Lorenzi (2014). O desenvolvimento inicial foi quantificado pelo número de folhas emitidas na haste principal (NF) com limbo $\geq 1,0$ cm (SOUZA e MARTINS, 2014), contabilizado durante a fase de muda (FM), desde a data de emergência até 10 folhas acumuladas na haste principal.

Os dados referentes às variáveis temperatura média, mínima e máxima do ar, umidade, precipitação e radiação, foram obtidos por meio de uma estação meteorológica automática localizada próxima as UE.

Para a estimativa da Tb foram utilizados o método do menor valor do quadrado médio do erro (QME) (SINCLAIR *et al.*, 2004) e quatro métodos modificados de Yang *et al.*, (1995) também utilizados por Lago *et al.*, (2009) e Souza e Martins (2014):

1. Menor desvio padrão em graus-dia (DPgd mod):

$$T_b = \frac{\sum_{i=1}^n T_{med_i} d_i \sum_{i=1}^n d_i - n \sum_{i=1}^n d_i^2 T_{med_i}}{(\sum_{i=1}^n d_i)^2 - n \sum_{i=1}^n d_i^2} \quad \text{Eq. 1}$$

2. Menor desvio padrão em dias (DPd mod):

$$T_b = T - \frac{(\sum_{i=1}^n t_i d_i)^2 - n \sum_{i=1}^n t_i^2 d_i^2}{n \sum_{i=1}^n d_i^2 t_i - n \sum_{i=1}^n t_i d_i \sum_{i=1}^n d_i} \quad \text{Eq. 2}$$

3. Coeficiente de variação em graus-dia (CVgd mod):

$$T_b = \frac{\sum_{i=1}^n T_{med_i} d_i^2 \sum_{i=1}^n T_{med_i} d_i - \sum_{i=1}^n d_i \sum_{i=1}^n T_{med_i}^2 d_i^2}{\sum_{i=1}^n d_i^2 \sum_{i=1}^n T_{med_i} d_i - \sum_{i=1}^n d_i \sum_{i=1}^n T_{med_i} d_i^2} \quad \text{Eq. 3}$$

4. Coeficiente de regressão (CR mod):

$$T_b = \frac{\sum_{i=1}^n T_{med_i} \cdot \sum_{i=1}^n d_i T_{med_i} - n \sum_{i=1}^n d_i T_{med_i}^2}{\sum_{i=1}^n d_i \sum_{i=1}^n T_{med_i} - n \sum_{i=1}^n d_i T_{med_i}} \quad \text{Eq. 4}$$

em que: n = número de ES consideradas; Tmedi = temperatura média do ar de todas as i-ésimas DS consideradas (°C); Tb = temperatura basal inferior (°C); n = número de dias de duração do desenvolvimento inicial em cada DS considerada; Ti = temperatura média de cada DS considerada (°C).

O método proposto por Sinclair *et al.* (2004), consiste no ajuste de 40 regressões lineares simples entre o NF e o graus-dia acumulado (GDa, °C dia) (Eq. 5). O GDa consiste no somatório dos graus-dia diários (GDd, °C dia) a partir da data de emergência de cada DS até o término da FM. Foi considerado o NF médio obtido pelas 8 repetições de cada DS.

$$GDa = \sum_{i=1} (T_{med} - T_b)$$

se $T_{med} \leq T_b$, então $T_{med} = T_b$ Eq. 5

em que: Tb = temperatura basal inferior (°C) usando uma série de valores (0°C a 20°C, com incrementos de +0,5°C); GDa = graus-dia acumulado (°C dia); Tmed = temperatura média do ar (°C).

O valor de Tb de cada DS foi aquele que apresentou o menor valor do QME das regressões lineares (SINCLAIR *et al.*, 2004), e o valor de Tb do método QME foi obtido pela média aritmética dos valores de Tb encontrados para 6 DSs selecionadas. Já o valor final da Tb foi obtido pela média aritmética dos cinco métodos de estimativa.

Para a estimativa da TB considerou-se a metodologia proposta por Ometto (1981) e modificada por Lima e Silva (2008) através de 10 condições (de A à J):

$$TB = \frac{A + B \pm \sqrt{C \cdot (D+E+F+G+H+I)}}{J} \quad \text{Eq. 6}$$

$$A = N_b \cdot T_{Ma} \cdot T_{Mb} - N_b \cdot T_{Mb} \cdot T_{Ma}$$

$$B = -N_a \cdot T_{Ma} \cdot T_{Mb} + N_a \cdot T_{Ma} \cdot T_{Mb}$$

$$C = (-T_{Ma} + T_{Ma}) \cdot (-T_{Mb} + T_{Mb})$$

$$D = N_a \cdot T_{Mb}^2 \cdot N_b - 2 \cdot T_{Mb} \cdot N_a \cdot N_b \cdot T_b - T_{Mb} \cdot T_{Ma} \cdot N_a^2$$

$$E = -T_{Mb} \cdot T_{Ma} \cdot N_a^2 + N_b^2 \cdot T_{Ma} \cdot T_{Mb} - T_{Ma} \cdot N_b^2 \cdot T_{Mb} + 2 \cdot T_{Mb} \cdot N_a^2 \cdot T_b$$

$$F = T_{Ma} \cdot N_a^2 \cdot T_{Mb} - 2 \cdot N_b^2 \cdot T_{Ma} \cdot T_b - 2 \cdot N_a^2 \cdot T_{Mb} \cdot T_b$$

$$G = T_{Ma} \cdot N_a^2 \cdot T_{Mb} + T_{Ma}^2 \cdot N_b \cdot N_a - 2 \cdot T_{Ma} \cdot N_b \cdot N_a \cdot T_b$$

$$H = 2 \cdot T_{Ma} \cdot N_b^2 \cdot T_b + 2 \cdot N_a \cdot T_{Mb} \cdot N_b \cdot T_b + 2 \cdot N_b \cdot T_{Ma} \cdot N_a \cdot T_b$$

$$I = -2 \cdot N_b \cdot T_{Ma} \cdot N_a \cdot T_{Mb} + N_b^2 \cdot T_{Ma} \cdot T_{Mb} - T_{Ma} \cdot N_b^2 \cdot T_{Mb}$$

$$J = -N_a \cdot T_{Mb} + N_a \cdot T_{Mb} + N_b \cdot T_{Ma} - N_b \cdot T_{Ma}$$

em que: os índices a e b referem-se as duas datas de semeadura de maior temperatura média do ar; Na e Nb = duração, em dias, entre a data de emergência (i) e término do desenvolvimento inicial (n); TMa e Tmb = temperatura máxima do ar (°C) média de a e b, respectivamente; Tma e Tmb = temperatura mínima do ar (°C) média de a e b, respectivamente; Tb = temperatura basal inferior.

Resultados e discussão

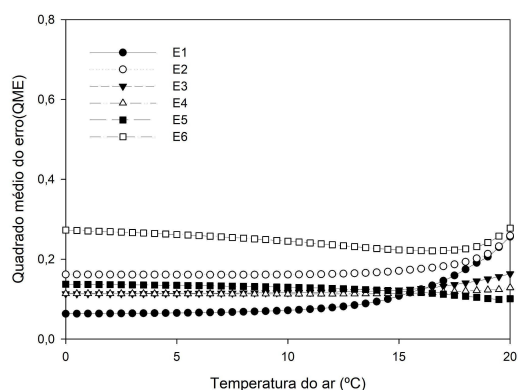
O uso de diferentes DSs permitiu o desenvolvimento da espécie em diferentes condições de temperatura. Os valores de temperatura do ar variaram entre 5,9°C (mínima absoluta) e 34,6°C (máxima absoluta). A temperatura influenciou na velocidade do desenvolvimento das mudas e na duração do desenvolvimento inicial (dias entre a emergência e o término da fase de muda), com duração maior nas épocas com temperaturas amenas.

Para a Tb foram consideradas da DS1 a DS6, onde ocorreram as menores temperaturas do ar. Já para a TB, as DS4 e a DS5 foram consideradas, pois apresentaram os maiores valores de Tmed.

Os métodos $DP_{gd\ mod}$, $CV_{gd\ mod}$ e CR_{mod} foram desconsiderados para a obtenção da Tb por estarem fora do limiar factível e confiável de Tb de espécies tropicais (<6,5°C e >20°C) (Ferreira *et al.*, 2019a). Por serem métodos estatísticos é normal haver (pequenas) diferenças entre a temperatura estimada e a fisiológica de cada espécie (SOUZA e MARTINS, 2014; SILVA *et al.*, 2020; FAGUNDES, 2023), sendo comum a exclusão de valores de Tb inferiores ao limiar de 4°C em espécies florestais que se distribuem naturalmente em locais clima tropical e subtropical (SILVA *et al.*, 2020).

Entre os valores estimados para a Tb, o menor valor do QME nas épocas E1 e E3 não foi realista (0°C) e por isso, foram desconsiderados da média. Nas demais épocas, as Tbs encontradas foram de: E2 - 7°C; E4 - 11°C; E5 - 19,5°C; E6 - 16,5°C, sendo o valor final da Tb 13,5°C obtido pela média aritmética. Assim, os valores obtidos pelo QME (Figura 2) demonstraram variação, corroborando com resultados encontrados por Silva *et al.*, (2020) e Freitas *et al.*, (2017a) para outras espécies florestais.

Figura 2 – Quadrado Médio do Erro (QME) para a espécie *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos. Itajubá- MG, 2022/2023



Fonte – Elaborado pela autora (2023)

Desta forma, o valor de Tb encontrado para o *H. impetiginosus* foi de 14,4°C, obtido pela média aritmética dos métodos $DP_{d\ Mod}$ e QME (Tabela 1).

Tabela 1 – Valores de temperatura basal inferior (°C) estimados para *H. impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos. Itajubá, MG, 2022/2023

Métodos	Tb estimada (°C)
$DP_{d\ mod}$	15,4
QME	13,5
Média da Tb	14,4 °C

em que: $DP_{d\ mod}$ = menor desvio padrão em dias; QME = quadrado médio do erro.

A Tb encontrada para o desenvolvimento inicial da *H. impetiginosus* demonstra a tolerância da espécie a temperaturas amenas, sendo próxima aos valores encontrados para outras espécies florestais como *H. petraeum* (14,5°C), *P. pendula* (14,6°C) e *A. pavonina* (15°C) (MONTEIRO *et al.*, 2014). Assim, quando a temperatura do ar é próxima ou menor que a Tb, pode haver redução da fotossíntese (BAHUGUNA e JAGADISH, 2015; FAGUNDES, 2023).

Já para a TB, o valor estimado foi de 50,5°C. Neste caso, temperaturas mais elevadas são esperadas, uma vez que a TB é o limite máximo de temperatura no qual a planta se desenvolve (FREITAS *et al.*, 2017a; FERREIRA *et al.*, 2019a; SILVA *et al.*, 2020). A temperatura do ar acima do limiar da TB pode induzir anomalias de desenvolvimento, como a reduções na taxa de sobrevivência, taxa fotossintética e emissão de novas folhas (SOLTANI e SINCLAIR, 2012).

A TB para o desenvolvimento inicial da *H. impetiginosus*, indica que a espécie é tolerante a temperaturas elevadas, assemelhando-se às espécies, *Psidium guajava* L. (51,2°C) (FERREIRA *et al.*, 2019a) e *B. orellana* (46,4°C) (FERREIRA *et al.*, 2019b).

O conhecimento das exigências térmicas, especialmente a Tb e TB, é fundamental para a melhoria da produção e qualidade de mudas, contribuindo para o sucesso do estabelecimento das mudas no campo (FERREIRA *et al.*, 2019a).

Conclusões

As Temperaturas basais inferior (Tb) e superior (TB) para a espécie *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos são de 14,4°C e 50,5°C respectivamente.

Agradecimentos

Ao Programa Institucional de Bolsas PIBIC/PIBITI e à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) pela bolsa de estudos.

Referências

- BAHUGUNA, R.N.; JAGADISH, K.S.V. Temperature regulation of plant phenological development. **Environmental and Experimental Botany**, v.111, p.83-90, 2015.
- CALLEJAS, I.J.A.; NEVES, G.A.R.; DA SILVA TAVARES, A.; DE MOURA, I.B.; DE LIMA, E.A. Determination of the cardinal temperatures of Purple mango cultivar through computer simulation using a nonlinear model. **Ambiência**, v. 10, n. 1, p. 97-110, 2014.
- EMBRAPA; MEDEIROS, A.C.S.; **Armazenamento de sementes de espécies florestais nativas**. Embrapa Florestas, 2001.
- FAGUNDES, F.F.A. **Temperaturas cardinais e modelagem do desenvolvimento inicial de duas espécies florestais sob clima presente e futuro**. 2023. 113 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2023.
- FERREIRA, M.C.; MARTINS, F.B.; FLORÊNCIO, 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**, v.23, n.11, p.819–825, 2019a.
- FERREIRA, M.C.; MARTINS, F.B.; FLORÊNCIO, 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, 2019b.
- 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, 2017a.
- FREITAS, E.C.S. de; PAIVA, H.N. de; LEITE, H.G.; OLIVEIRA, S.N. de. Crescimento e qualidade de mudas de *Cassia grandis* Linnaeus f. em resposta a adubação fosfatada calagem. **Ciência Florestal**, v.27, n.2, p.509-519, 2017b.
- LAGO, I.; STRECK, N.A.; DE CARVALHO, M.P.; FAGUNDES, L.K.; DE PAULA, G.M.; LOPEZ, S.J. Estimativa da temperatura base do subperíodo emergência-diferenciação da panícula em arroz cultivado e arroz vermelho. **Revista Ceres**, v.6, n.3, p.288-295, 2009.
- LIMA, E.P.; SILVA, E.L. Temperatura base, coeficientes de cultura e graus-dia para cafeeiro arábica em fase de implantação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n. , p.266–273, 2008.
- 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.
- MARTINS, F.B.; FERREIRA, M.C.; FAGUNDES, F.F.A.; FLORÊNCIO, G.W.L. Thermal and photoperiodic requirements of the seedling stage of three tropical forest species. **Journal of Forestry Research**, v.34, p.209–220, 2023.
- 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.5, n.15, p.2330-2341, 2014.
- OMETTO, J. C. **Bioclimatologia Vegetal**. São Paulo: ed. Agronômica Ceres, 440 p., 1981.
- PATON, D. M. *Eucalyptus* Physiology. II Temperature responses. **Australian Journal of Botany**, Melbourne, v.28, p.555-566, 1980.
- SEMENSATO, L.R.; VENDRUSCOLO, E.P.; SELEGUINI, A.; BATISTA FILHO, P.A.; DA SILVA, E.C.M.; DA SILVA, T.P. Fenologia, produtividade e qualidade de frutos de jabuticabeiras de diferentes idades das plantas. **Iheringia, Série Botânica**, v.75, 2020.
- SILVA, L. V.; REIS, F. Y. S.; MARTINS, F. B.; CASSEMIRO, J. M. Desenvolvimento vegetativo de *Caesalpinia ferrea* e *Anadenanthera macrocarpa*: I - estimativa das temperaturas cardinais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.35, n.1, p.23-33, 2020.
- SINCLAIR, T. R.; GILBERT, R. A.; PERDOMO, R. E.; SHINE, J. M.; POWELL, G.; MONTES, G. Sugarcane leaf area development under field conditions in Florida, USA. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.88, n.1, p.171-178, 2004.
- SOUZA, P.; 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.
- YANG, S.; LOGAN, J.; COFFEY, D.L. Mathematical formulae for calculating the base temperature for growing degree days. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.74, p. 61-74, 1995.