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

REQUERIMENTO TÉRMICO E FOTOPERIÓDICO NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DE CINCO ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS BRASILEIRAS

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO

Gabriela Taynara da Silva Ribeiro

Itajubá, MG, Brasil
2024

REQUERIMENTO TÉRMICO E FOTOPERIÓDICO NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DE CINCO ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS BRASILEIRAS

por

Gabriela Taynara da Silva Ribeiro

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

Orientador: Profª. Dra. Fabrina Bolzan Martins
Coorientador: Mábele de Cássia Ferreira

Itajubá, MG, Brasil
2024

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Monografia

REQUERIMENTO TÉRMICO E FOTOPERIÓDICO NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DE CINCO ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS BRASILEIRAS

elaborada por

Gabriela Taynara da Silva Ribeiro

Como requisito parcial para a obtenção do grau de

Bacharel em Ciências Atmosféricas

Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente
gov.br FABRINA BOLZAN MARTINS
Data: 09/12/2024 10:18:56-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Fabrina Bolzan Martins, Dra. (UNIFEI)
(Presidente/Orientadora)

Documento assinado digitalmente
gov.br MABELE DE CASSIA FERREIRA
Data: 09/12/2024 09:55:52-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Mábele de Cássia Ferreira, Msc. (UNIFEI)
(Coorientadora)

Documento assinado digitalmente
gov.br CASSIA GABRIELE DIAS
Data: 09/12/2024 09:41:18-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Cássia Gabriele Dias, Dra. (UNIFEI)

Documento assinado digitalmente
gov.br RAFAEL GONCALVES XAVIER
Data: 09/12/2024 09:33:25-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Rafael Gonçalves Xavier, Bel Met. (UNIFEI) Itajubá,

22 de novembro de 2024.

A minha família,
Manoel Ribeiro Filho, Maria Goreti e Mirela Ribeiro.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço...

A mim.

Aos meus pais, Manoel e Goreti, por sempre incentivarem os estudos e a leitura, fazendo o possível e o impossível para priorizar minha educação.

Aos meus professores do fundamental I: Leka, Katia, Patrícia e Eleni; do fundamental II: Ana Paula e do Ensino Médio: Juliana e José Celso, por todo acompanhamento, empenho, esforço e incentivo que de maneira direta e/ou indireta me ajudou tanto na vida acadêmica quanto na vida pessoal.

Aos meus familiares e amigos: Mirela, Ana Clara, Teresinha, José Benedito, Ana Paula, Vanderson, Emerson, Carlos Henrique, Celina, Geraldo, Bruna, Mirian, Nair, Luís Felipe, Jean Marcelo, Cida, Mariana, Sonia, Celia, Camilo, Sueli, Kamila, Glória, Helena, Bianca, Rafael, Débora, Mariana, Maria Vitória, Pedro, Thales, Jeniffer, Guilherme, Felipe, Flavio, Yumi, Isis, Julia, Vitor, Luiz, Raul e Maycon, por rezarem por mim e de certa forma atenuarem minha jornada trazendo alegria, calma e conforto.

Ao Renan, por sempre me trazer calmaria em momentos de tempestade.

A minha psicóloga Patrícia, por todo acompanhamento e auxílio, me lembrando de que o todo é diferente da soma das partes.

Aos meus amigos de trabalho: Vanessa, Karol e Gabriel, por toda partilha de conhecimento, disponibilidade e palavras de conforto.

A minha orientadora, Prof[a]. Dra. Fabrina Bolzan Martins, por lecionar com maestria e ofertar todo auxílio, ensino e acompanhamento possível, me proporcionando novas oportunidades e crescimento acadêmico.

A minha coorientadora e amiga, Mábele de Cássia Ferreira, pela paciência, cuidado e carinho com o qual me conduziu, me ensinou e me apresentou novos caminhos, sempre se doando ao máximo em tudo o que se propõe a fazer. Sou muito grata pelo tempo, esforço e dedicação quão a qual me auxiliou durante todo esse período, se fazendo presente sempre que preciso.

Ao técnico Haroldo, por estar sempre disposto a ensinar e auxiliar, trazendo alegria e muito conhecimento para mim e para a pesquisa.

Aos docentes: Prof. Dr. Rogério José da Silva, que me apresentou um novo universo e me fez olhar o curso com outros olhos; e Prof. Dr. Alexandre Augusto Barbosa, pela humanidade e compreensão durante o período final da minha graduação.

Aos pesquisadores e funcionários do Campo Experimental de Maria da Fé – EPAMIG: seu Milton, Marina, Pedro, Emerson, Lucas, Luiz Fernando e demais, por me acolherem durante meu estágio e estarem sempre dispostos a me auxiliar, tirar dúvidas e ensinar.

As instituições: Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (Fepagro Florestas), Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF), Instituto Refloresta, Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Lavras (UFLA) e Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) pelas doações das sementes utilizadas neste estudo.

Ao Programa Institucional de Bolsas PIBIC/PIBITI e à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais pelo apoio financeiro através da concessão de bolsas de estudo durante minha graduação, além do aporte financeiro aos projetos APQ-01258-17 e APQ 01511-24.

“What though the radiance that was once so bright, be now forever taken from my sight. Though nothing can bring back the hour of splendor in the grass, of glory in the flower; We will grieve not, rather find strength in what remains behind.”

William Wordswortth

RESUMO

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

REQUERIMENTO TÉRMICO E FOTOPERIÓDICO NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DE CINCO ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS BRASILEIRAS.

AUTORA: GABRIELA TAYNARA DA SILVA RIBEIRO
ORIENTADORA: PROFª. DRA. FABRINA BOLZAN MARTINS
Local e Data da Defesa: Itajubá, 22 de novembro de 2024.

O desenvolvimento inicial de espécies florestais tropicais é impulsionado pela temperatura do ar e pelo fotoperíodo. Ambas as variáveis apresentam flutuações diárias e espaço-temporais. Compreender como as duas variáveis afetam o desenvolvimento inicial permite melhor avaliação da adaptabilidade e da resiliência das espécies florestais às mudanças climáticas. Esta monografia objetivou avaliar seis métodos de cálculo de soma térmica (ST, °C dia), e identificar a influência do fotoperíodo no desenvolvimento inicial de cinco espécies arbóreas nativas brasileiras: *Bauhinia forficata* Link, *Ceiba speciosa* (A.St.-Hil.) Ravenna, *Handroanthus chrysotrichus* (Mart. ex DC.) Mattos, *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos e *Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith submetidas a múltiplas condições térmicas e fotoperiódicas. Para atingir ambos objetivos, foram utilizados dados de emissão de folhas provenientes de um experimento conduzido a campo durante os anos de 2022 a 2024 na área experimental da Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Minas Gerais, com 14 datas de semeadura (DS), 5 espécies florestais e 8 unidades experimentais (UE) por DS. Para definição do melhor método de ST para cada espécie, realizou-se uma análise de variância (ANOVA) e teste de comparação de médias Scott-Knott. O fotoperíodo diário (F_d) foi calculado através do algoritmo de Keisling e a resposta fotoperiódica foi obtida pela relação entre taxa de desenvolvimento foliar e fotoperíodo médio por meio de regressões lineares. Os métodos de ST que consideram todas as temperaturas cardinais das espécies (basal inferior, ótima e superior) e a temperatura do ar foram os que melhor representaram o desenvolvimento inicial. A resposta fotoperiódica das espécies *B. forficata*, *C. speciosa* e *T. roseoalba* durante o desenvolvimento inicial indicam comportamento típico de plantas de dia longo. Já as espécies *H. chrysotrichus* e *H. impetiginosus* não são responsivas ao fotoperíodo, ou seja, são plantas fotoneutras.

Palavras-chave: Temperatura do ar; soma térmica; emissão de folhas; fotoperíodo.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Distribuição geográfica das espécies *B. forficata* (painel a), *C. speciosa* (painel b), *H. chrysotrichus* (painel c), *H. impetiginosus* (painel d) e *T. roseoalba* (painel e) no Brasil, em seus respectivos biomas de ocorrência.....15

FIGURA 2 – Relação entre o número acumulado de folhas no caule principal (NF) e a soma térmica acumulada (ST_{ac}, °C dia), calculado usando o método M5 para as espécies *B. forficata* (paineis a, b, c), *C. speciosa* (paineis d, e, f), *H. chrysotrichus* (paineis g, h, i), *H. impetiginosus* (paineis j, k, l) e *T. roseoalba* (paineis m, n, o) para três datas de semeadura (DS3, DS7 e DS13). 27

FIGURA 3 – Relação entre o fotoperíodo médio (horas) e o filocrono médio (°C dia $folha^{-1}$) para as espécies *B. forficata* (painel a), *C. speciosa* (painel b), *H. chrysotrichus* (painel c), *H. impetiginosus* (painel d) e *T. roseoalba* (painel e).....33

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Datas de semeadura (DS), emergência e data final do desenvolvimento inicial das espécies arbóreas nativas *B. forficata*, *C. speciosa*, *H. chrysotrichus*, *H. impetiginosus* e *T. roseoalba*. Itajubá, MG, 2022/2024.....17

TABELA 2 – Localização, datas de coleta e fornecedores das sementes de cinco espécies arbóreas nativas utilizadas no estudo.....18

TABELA 3 – Valores de temperaturas cardinais: basal inferior (T_b, °C), ótima (T_{ot}, °C) e basal superior (T_B, °C) para as espécies arbóreas nativas *B. forficata*, *C. speciosa*, *H. chrysotrichus*, *H. impetiginosus e T. roseoalba*.....21

TABELA 4 –Caracterização da temperatura do ar (T_{min}, T_{med}, T_{max}; °C), fotoperíodo (mínimo e máximo; horas), e duração (N; dias) das 14 datas de semeaduras (DS) para as espécies arbóreas nativas *B. forficata*, *C. speciosa*, *H. chrysotrichus*, *H. impetiginosus* e *T. roseoalba* durante a condução do experimento. Itajubá, MG, 2022/2024.....23

TABELA 5 – Comparação de médias e desvio padrão dos valores de filocrono (°C dia folha^{-1}) para as espécies arbóreas nativas: *B. forficata*, *C. speciosa*, *H. chrysotrichus*, *H. impetiginosus* e *T. roseoalba* entre os seis métodos de soma térmica diária (°C dia). Itajubá, MG, 2022/2024.....29

TABELA 6 – Comparação de médias do filocrono (°C dia folha^{-1}) entre as datas de semeadura (DS) e espécies arbóreas nativas: *B. forficata*, *C. speciosa*, *H. chrysotrichus*, *H. impetiginosus* e *T. roseoalba*. Itajubá, MG, 2022/2024.....30

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

a – Inclinação da regressão linear

b – Coeficiente linear

B – Ângulo abaixo do plano do horizonte

CFSEMG – Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais

DP – Desvio padrão

DS – Data de semeadura

F – Fotoperíodo

F_d – Fotoperíodo diário

FM – Fase de muda

F_{max} – Fotoperíodo máximo

F_{med} – Fotoperíodo médio

F_{min} – Fotoperíodo mínimo

h – Horas

IRN – Instituto de Recursos Naturais

LI – Densidade de fluxo de energia emitida (cal cm^{-2} min^{-1})

M – Anomalia média solar

M1 – Método 1

M2 – Método 2

M3 – Método 3

M4 – Método 4

M5 – Método 5

M6 – Método 6

NDA – Número do dia do ano

NF – Número de folhas

NF_a – Número de folhas acumulado

ST – Soma térmica

ST_{ac} – Soma térmica acumulada

ST_d – Soma térmica diária

TAF – Taxa diária de aparecimento de folhas

T_b – Temperatura basal inferior

T_B – Temperatura basal superior

T_{max} – Temperatura máxima do ar

T_{med} – Temperatura média do ar

T_{min} – Temperatura mínima do ar

T_{ot} – Temperatura ótima

UE – Unidade experimental

°C – Graus celsius

α – Ângulo zenital

Φ – Latitude

δ – Declinação solar

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....**i**
LISTA DE TABELAS.....**ii**
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....**iii**
1. INTRODUÇÃO.....13
2. MATERIAL E MÉTODOS.....16
2.1. DESCRIÇÃO DO PROTOCOLO EXPERIMENTAL.....16
2.2. VARIÁVEIS MENSURADAS.....19
2.3. MÉTODOS DE CÁLCULO DE SOMA TÉRMICA.....19
2.4. INFLUÊNCIA DO FOTOPERÍODO 22
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....23
4. CONCLUSÃO.....36
5. REFERÊNCIAS

1. INTRODUÇÃO

A fenologia das plantas compreende os eventos periódicos do seu ciclo de vida, como desenvolvimento vegetativo, floração e frutificação, e sua relação com fatores bióticos, como as interações ecológicas dos seres vivos, e fatores abióticos, como temperatura do ar, fotoperíodo, precipitação e estresse hídrico (DE MARCO et al., 2021; MARTINS et al., 2024; SANTANA et al., 2020; SEMENSATO et al., 2020). Nesse contexto, os estudos fenológicos constituem uma ferramenta importante para a melhor compreensão das dinâmicas das plantas, uma vez que as fases fenológicas variam entre espécies e são fortemente associadas às variações climáticas (FERREIRA et al., 2024; LACERDA; MAPELI, 2021; MARTINS et al., 2024; REYES-GONZÁLEZ et al., 2021). Além disso, como uma ciência multidisciplinar que abrange áreas de estudo como biometeorologia, ecologia e biologia evolutiva, a fenologia pode fornecer contribuições substanciais para a atual biologia da conservação (LACERDA; MAPELI, 2021), bem como analisar a resposta das plantas às mudanças climáticas (AMORÓS et al., 2021; FREIRE et al., 2019; MARTINS et al., 2024; PIROVANI et al., 2018; SINGH et al., 2021).

Dentre os fatores abióticos, a temperatura do ar (°C) e o fotoperíodo (horas de luz) influenciam nos processos fisiológicos e metabólicos das plantas (FERREIRA et al., 2019b; MARTINS et al., 2022a; MAURYA; BHALERAO, 2017). A temperatura do ar pode influenciar, por exemplo, a indução floral, além de favorecer a ocorrência de estresse fisiológico sob valores de temperatura mais elevados e atraso no desenvolvimento quando a planta é exposta a valores mais baixos (BAATH et al., 2022; FAGUNDES, 2023). O fotoperíodo altera a quantidade de horas, ou seja, pode aumentar/diminuir o número de horas de luz disponíveis a planta. De acordo com a resposta ao fotoperíodo, as plantas são classificadas em plantas de dia curto, dia longo e neutras (FREITAS; MARTINS 2019; SILVA et al., 2020a). O efeito do fotoperíodo sob a planta pode variar de acordo com o estágio fenológico, sendo possível identificar sua influência a partir de experimentos de campo com várias épocas de semeadura ao longo do ano (FAGUNDES et al., 2021; FREITAS; MARTINS, 2019; ROSA et al., 2009).

Assim, para relacionar estas variáveis no desenvolvimento da planta é necessário conhecer os limiares de temperatura do ar dentro dos quais a espécie se desenvolve adequadamente, que são definidos por três temperaturas cardinais: basal inferior (T_b, ºC), ótima (T_{ot}, ºC) e basal superior (T_B, ºC). A T_b representa a temperatura abaixo da qual as atividades fisiológicas são reduzidas/interrompidas, a T_{ot} representa o limiar em que ocorre o máximo desenvolvimento e a T_B representa o limite máximo em que ocorre o desenvolvimento

(FAGUNDES et al., 2024; FREITAS et al., 2017b). Valores de temperatura do ar próximos à T_b reduzem todas as reações metabólicas incluindo a fotossíntese (BAATH et al., 2020; FAGUNDES et al., 2021, 2024). Por outro lado, temperaturas próximas a T_{ot} apresentam uma taxa de desenvolvimento máxima, levando a uma maior emissão de folhas no período (FERREIRA et al., 2019ab; FREITAS et al., 2019; SILVA et al., 2020a). Por fim, próximos a T_B influenciam em um aumento na relação fotorrespiração/fotossíntese (FAGUNDES et al., 2021, 2024).

O conhecimento das temperaturas cardinais é essencial para obter uma estimativa precisa do desenvolvimento vegetativo de uma determinada espécie, além de alimentar diversos modelos de desenvolvimento de espécies florestais tropicais (FERREIRA et al., 2019b; MARTINS et al., 2022b). Um desses modelos é o filocrono (°C dia folha^{-1}), comumente utilizado a fim de quantificar o requerimento térmico para atingir um determinado estágio de desenvolvimento (FAGUNDES et al., 2021), uma vez que informa o tempo térmico necessário para o aparecimento de folhas sucessivas na haste principal da planta (FREITAS; MARTINS, 2019) através da relação entre a taxa de aparecimento de folhas (TAF) e a função linear de temperatura denominada soma térmica (ST, °C dia) (FAGUNDES et al., 2021, 2024). No filocrono, o tempo é medido em unidades de temperatura, podendo ser influenciado, ou não, pelo fotoperíodo. As unidades de temperatura são obtidas pela ST, que se refere ao acúmulo térmico para o aparecimento de novas folhas, sendo essa a principal variável meteorológica que afeta seu desenvolvimento (FERREIRA et al. 2019a; MARTINS et al., 2022c; SILVA, et al., 2020a). Há diversos métodos de cálculo da ST, que podem resultar em diferentes valores de tempo térmico, especialmente em dias em que a temperatura do ar está abaixo (ou acima) das temperaturas cardinais da espécie (FREITAS; MARTINS; ABREU, 2017; SILVA et al., 2020a), influenciando a quantificação do desenvolvimento foliar (FREITAS; MARTINS, 2019).

Apesar dos estudos sobre a influência da ST e do fotoperíodo em espécies arbóreas nativas brasileiras (endêmicas ou não) serem essenciais, eles são escassos (MARTINS et al., 2022b) e ainda mais raros para o desenvolvimento inicial, que é considerada a fase mais sensível de uma cultura (FAGUNDES et al., 2021; MARTINS et al., 2022a). Nesse sentido, espécies arbóreas nativas do Brasil como *Bauhinia forficata* Link, *Ceiba speciosa* (A.St.-Hil.) Ravenna, *Handroanthus chrysotrichus* (Mart. ex DC.) Mattos, *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos e *Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith demonstram potencialidade de estudo, pois apresentam grande contribuição em programas de recuperação de ecossistemas florestais

degradados e de preservação (ALMEIDA et al., 2020; ALVES et al., 2021; OLIVEIRA JUNIOR et al., 2020; XIMENEZ et al., 2021), importância econômica principalmente nos setores madeireiro e construção civil (ALVES et al., 2021; OLIVEIRA JUNIOR et al., 2020), além de finalidades paisagísticas em arborização urbana (ALMEIDA et al., 2020; BARBOSA et al., 2020; XIMENEZ et al., 2021) e fins medicinais (PECCATI, 2020; SILVA et al., 2020b).

Tais espécies apresentam alta distribuição espacial no Brasil, ocorrendo em diversos biomas (Figura 1). A *B. forficata*, *C. speciosa* e *H. chrysotrichus* demonstram, dentre os biomas, maior concentração na Mata Atlântica. Já as espécies *H. impetiginosus* e *T. roseoalba* se destacam na região central do país, abrangendo em sua maioria o Cerrado brasileiro e, no caso do *H. impetiginosus*, muito da Caatinga.

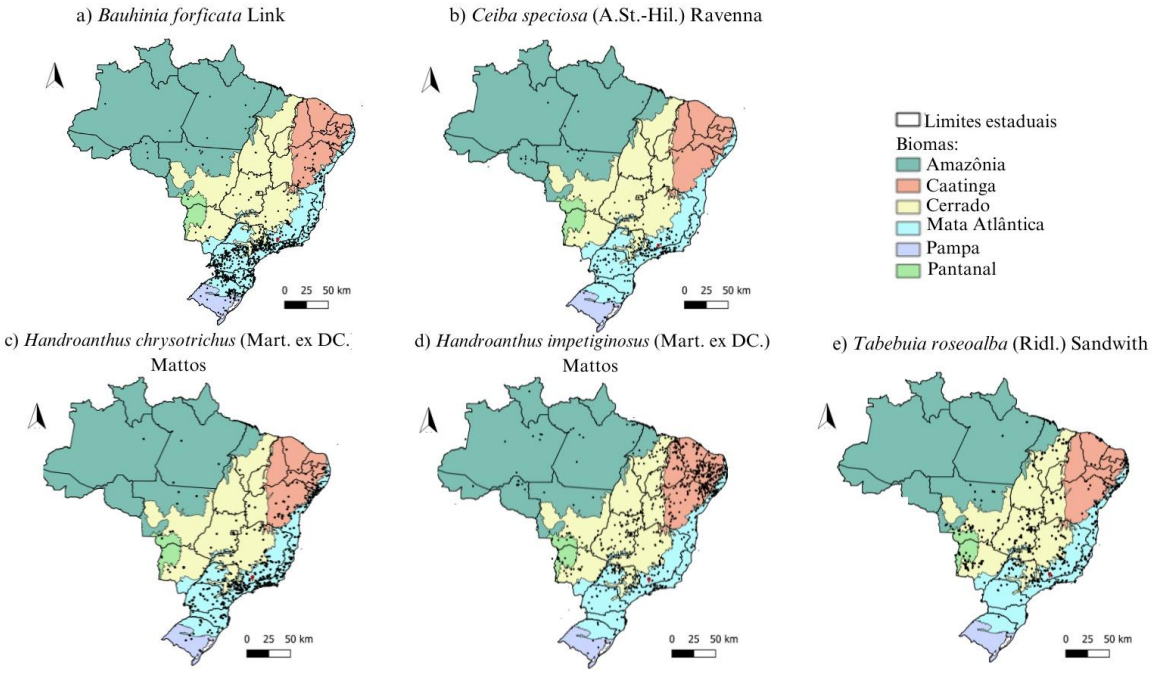

Figura 1: Distribuição geográfica das espécies *B. forficata* (painel a), *C. speciosa* (painel b), *H. chrysotrichus* (painel c), *H. impetiginosus* (painel d) e *T. roseoalba* (painel e) no Brasil, em seus respectivos biomas de ocorrência. Os dados de distribuição das espécies arbóreas nativas foram obtidos de https://specieslink.net/. Os domínios fitogeográficos foram obtidos através do IBGE, 2019.

A *B. forficata* (Fabaceae; nomes populares: pata-de-vaca, bauínia) apresenta fácil adaptação a diferentes climas e regiões (CAPITANI et al., 2018; VAZ; SANTOS, 2020) e por essa razão pode estar presente em vários lugares além do Brasil. Com potencial medicinal, a espécie é indicada para tratamentos de *diabetes mellitus* e doenças renais (CAPITANI et al., 2018; CECHINEL-ZANCHETT et al., 2019; PECATTI, 2020; SALVI et al., 2016), sendo

utilizada na alimentação animal, construção civil e produção de celulose (CAPITANI et al., 2018; CARVALHO, 2003).

A *C. speciosa* (Malvaceae; nomes populares: paineira-rosa, barriguda) é utilizada na restauração de ecossistemas degradados e no paisagismo (ALONSO et al., 2018; SILVA et al., 2021; SOARES et al., 2021) e presente em vários países (SOARES et al., 2021). Sua madeira é empregada na confecção de canoas e na produção de pasta celulósica, além de sua paina (fibra presente no fruto) ser utilizada para o enchimento de almofadas, cobertores e travesseiros (ROVERI NETO; PAULA, 2017; SOARES et al., 2021). É uma espécie tolerante ao estresse, capaz de sobreviver e se adaptar às condições urbanas poluídas (VASCONCELLOS; FILHO; CALLADO, 2019).

Por fim, as espécies arbóreas *H. chrysotrichus*, *H. impetiginosus* e *T. roseoalba* (Bignoniaceae; nomes populares: ipê-amarelo-cascudo, ipê-roxo-de-bola, ipê-branco, respectivamente) apresentam valor econômico, ecológico e ornamental, sendo comumente usadas na arborização urbana e em programas de recuperação de ecossistemas florestais degradados (BARBOSA et al., 2020; CARA et al., 2020; OLIVEIRA JUNIOR et al., 2020; RIBEIRO et al., 2022). Destaca-se também a maior resistência da madeira do *H. impetiginosus* a ataques de pragas e doenças devido a sua alta densidade (CHAVES et al., 2018; SCHULZE et al., 2008).

Nesse sentido, considerando a escassez de estudos para espécies arbóreas nativas brasileiras, especialmente durante o desenvolvimento inicial, o entendimento do requerimento térmico e fotoperiódico de uma espécie permite a melhoria da produção e qualidade de mudas, contribuindo para o sucesso do estabelecimento das mudas no campo. Assim, objetivou-se com esse trabalho de conclusão de curso (TCC), avaliar seis métodos de cálculo de soma térmica (ST, °C dia), e identificar a influência do fotoperíodo no desenvolvimento inicial das cinco espécies arbóreas nativas brasileiras: *B. forficata*, *C. speciosa*, *H. chrysotrichus*, *H. impetiginosus* e *T. roseoalba*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Descrição do protocolo experimental

O experimento foi conduzido a campo na área experimental da Universidade Federal de Itajubá-UNIFEI, em Itajubá-MG (22°24’46.43” S 45°26’48.94” O, 1.050m de altitude) durante os anos de 2022 a 2024. 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) (FAGUNDES et al., 2024).

O experimento foi conduzido sob o delineamento inteiramente casualizado, considerando as 5 espécies arbóreas nativas (*B. forficata*, *C. speciosa*, *H. chrysotrichus*, *H. impetiginosus* e *T. roseoalba*), 14 datas de semeadura (DS) (Tabela 1) e 8 unidades experimentais (UE) por DS, totalizando 560 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 (SANTOS et al., 2018), de textura argilosa, coletado em Itajubá, MG. As DS foram instaladas em intervalos de ±30 dias para que as plantas se desenvolvessem em diferentes condições térmicas e fotoperiódicas, sendo uma premissa básica neste tipo de estudo (FREITAS; MARTINS 2019, MARTINS et al. 2022a).

Tabela 1: Datas de semeadura (DS), emergência e data final do desenvolvimento inicial das espécies arbóreas nativas *B. forficata*, *C. speciosa*, *H. chrysotrichus*, *H. impetiginosus* e *T. roseoalba*. Itajubá, MG, 2022/2024.

Datas de semeadura		*B. forficata*		*C. speciosa*	
		Emergência[1]	**Data final[2]**	**Emergência[1]**	**Data final[2]**
DS1	14/06/2022	08/07/2022	02/12/2022	29/06/2022	02/12/2022
DS2	15/07/2022	05/08/2022	26/01/2023	29/07/2022	04/01/2023
DS3	16/08/2022	02/09/2022	22/02/2023	02/09/2022	12/01/2023
DS4	16/09/2022	17/10/2022	22/02/2023	07/10/2022	15/02/2023
DS5	17/10/2022	01/11/2022	31/03/2023	27/10/2022	15/03/2023
DS6	14/11/2022	24/11/2022	03/05/2023	28/11/2022	07/06/2023
DS7	16/12/2022	26/12/2022	26/05/2023	23/12/2022	30/06/2023
DS8	17/01/2023	30/01/2023	04/08/2023	27/01/2023	15/09/2023
DS9	15/02/2023	27/02/2023	08/09/2023	22/02/2023	01/09/2023
DS10	15/03/2023	22/03/2023	29/09/2023	22/03/2023	13/10/2023
DS11	17/04/2023	05/05/2023	17/11/2023	28/04/2023	17/11/2023
DS12	16/05/2023	05/06/2023	17/11/2023	02/06/2023	10/11/2023
DS13	19/06/2023	07/07/2023	05/01/2024	07/07/2023	15/12/2023
DS14	13/07/2023	04/08/2023	26/01/2024	04/08/2023	08/12/2023
Datas de semeadura		*H. chrysotrichus*		*H. impetiginosus*	
		Emergência[1]	**Data final[2]**	**Emergência[1]**	**Data final[2]**
DS1	14/06/2022	15/07/2022	02/12/2022	18/07/2022	02/12/2022
DS2	15/07/2022	22/08/2022	21/12/2022	01/08/2022	19/01/2023
DS3	16/08/2022	23/09/2022	02/02/2023	09/09/2022	02/02/2023
DS4	16/09/2022	21/10/2022	08/02/2023	10/10/2022	01/03/2023
DS5	17/10/2022	07/11/2022	01/03/2023	01/11/2022	15/03/2023
DS6	14/11/2022	05/12/2022	12/04/2023	28/11/2022	02/06/2023
DS7	16/12/2022	02/01/2023	10/05/2023	23/12/2022	07/06/2023

DS8	17/01/2023	06/02/2023	04/08/2023	01/02/2023	18/08/2023
DS9	15/02/2023	01/03/2023	18/08/2023	01/03/2023	25/08/2023
DS10	15/03/2023	12/04/2023	01/09/2023	31/03/2023	15/09/2023
DS11	17/04/2023	02/05/2023	03/11/2023	05/05/2023	10/11/2023
DS12	16/05/2023	07/06/2023	10/11/2023	23/06/2023	17/11/2023
DS13	19/06/2023	07/08/2023	12/01/2024	28/07/2023	12/01/2024
DS14	13/07/2023	14/08/2023	01/12/2023	18/08/2023	12/01/2024

Datas de semeadura		*T. roseoalba*	
		Emergência[1]	**Data final[2]**
DS1	14/06/2022	12/07/2022	02/12/2022
DS2	15/07/2022	10/08/2022	19/01/2023
DS3	16/08/2022	16/09/2022	15/02/2023
DS4	16/09/2022	18/10/2022	22/02/2023
DS5	17/10/2022	07/11/2022	22/03/2023
DS6	14/11/2022	05/12/2022	03/05/2023
DS7	16/12/2022	28/12/2022	26/05/2023
DS8	17/01/2023	08/02/2023	25/08/2023
DS9	15/02/2023	01/03/2023	08/09/2023
DS10	15/03/2023	06/04/2023	29/09/2023
DS11	17/04/2023	10/05/2023	10/11/2023
DS12	16/05/2023	12/06/2023	24/11/2023
DS13	19/06/2023	04/08/2023	19/01/2024
DS14	13/07/2023	21/08/2023	26/01/2024

[1]As datas de emergência foram consideradas quando as sementes atingiram um limite máximo de germinação, obtido a partir de testes de emergência realizados previamente à instalação dos experimentos, e informados na Tabela 2. [2]O término do desenvolvimento inicial foi considerado quando as espécies atingiram, em média, 10 folhas acumuladas na haste principal.

As sementes utilizadas neste estudo foram gentilmente cedidas por instituições públicas e privadas de diferentes localidades do Brasil (Tabela 2) em diferentes períodos de coletas.

Tabela 2: Localização, datas de coleta e fornecedores das sementes de cinco espécies arbóreas nativas utilizadas no estudo.

B. forficata		
Localização da coleta	**Data de coleta**	**Fornecedor**
Santa Maria (RS)	Amostra 1: mai/21 Amostra 2: mai/22	Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária – Fepagro Florestas
C. speciosa		

Localização da coleta	**Data de coleta**	**Fornecedor**
Rio das Pedras (SP)	Amostra 1: jun/18	Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais – IPEF
Porto Feliz (SP)	Amostra 2: ago/21	Instituto Refloresta
H. chrysotrichus		
Localização da coleta	**Data de coleta**	**Fornecedor**
Santa Maria (RS)	Amostra 1: out/21	Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária – Fepagro Florestas
Itajubá (MG)	Amostra 2: set/22	Coleta de matrizes localizadas no centro urbano
H. impetiginosus		
Localização da coleta	**Data de coleta**	**Fornecedor**
Lavras (MG)	Amostra 1: ago/19	Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ; Instituto de Florestas; Departamento de Silvicultura
Seropédica (RJ)	Amostra 2: set/21	Universidade Federal de Lavras – UFLA; Departamento de Engenharia Florestal, Laboratório de Sementes Florestais
T. roseoalba		
Localização da coleta	**Data de coleta**	**Fornecedor**
Seropédica (RJ)	Amostra 1: out/19	Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ; Instituto de Florestas; Departamento de Silvicultura
Porto Feliz (SP)	Amostra 2: out/21	Instituto Refloresta

As sementes foram armazenadas em câmara fria (umidade relativa ~50,0% e temperatura do ar ~2,9°C – 5,0ºC) para conservar a viabilidade.

Foram realizadas correções de acidez e fertilidade do solo de acordo com as recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG, 1999) e Evaristo et al. (2020). Entre 30 e 45 dias antes da instalação de cada DS, em cada UE foi aplicada 1,96g de carbonato de cálcio ($CaCO_3$) e 0,65g de carbonato de magnésio ($MgCO_3$). Aos 60 e 120 dias após a semeadura foram realizadas adubações de cobertura com aplicação de 0,8g de sulfato de amônio ($(NH_4)_2SO_4$) e 1,2g de cloreto de potássio (KCl) e superfosfato simples (18% de fósforo (P), 16% de cálcio (Ca) e 10% de enxofre (S)) em cada UE. Exceto em dias chuvosos, foram realizadas irrigações diárias no período matutino.

2.2. Variáveis mensuradas

O desenvolvimento inicial foi mensurado pelo número de folhas emitidas na haste principal (NF), contabilizadas semanalmente com limbo ≥1,0 cm (FAGUNDES et al., 2024), desde a emergência (Tabela 1) até NF=10 folhas acumuladas na haste principal.

Os dados referentes às variáveis temperatura mínima (T_{min}, °C), média (T_{med}, °C) e máxima (T_{max}, °C) do ar, foram obtidos de uma estação meteorológica automática pertencente ao Instituto de Recursos Naturais (IRN) da UNIFEI, localizada na área experimental.

2.3. Métodos de cálculo de soma térmica

Neste estudo, foram considerados os seis métodos de cálculo de soma térmica diária (ST_d) mais utilizados na literatura.

Método 1 (M1)

Neste método, considera-se a diferença entre a temperatura média diária do ar (T_{med}, °C) e a temperatura basal inferior (T_b, °C) da espécie:

$$ST_d = T_{med} - T_b \cdot 1dia \quad (1)$$

sendo $T_{med} = \frac{Tmax + Tmin}{2}$

Quando: $T_{med} < T_b$, considera-se: $T_{med} = T_b$.

Método 2 (M2)

Neste método, há a penalização da temperatura mínima do ar (T_{min}, °C):

$$ST_d = T_{med} - T_b \cdot 1dia \quad (2)$$

Quando: $T_{min} \leq T_b$, considera-se: $T_{min} = T_b$.

Método 3 (M3)

Neste método, considera-se uma penalização na T_{med} (°C), em relação a temperatura ótima (T_{ot}, °C) de cada espécie:

$$ST_d = T_{med} - T_b \cdot 1dia, \quad (3)$$

Quando: $T_{med} < T_b$, considera-se: $T_{med} = T_b$, e se $T_{med} > Tot$ considera-se: $T_{med} = T_{ot}$

Método 4 (M4)

Neste método, há penalização da T_{min} e T_{max}:

$$ST_d = T_{med} - T_b \cdot 1dia,$$

(4)

Quando: $T_{min} < T_b$, considera-se: $T_{min} = T_b$, e se $T_{max} > T_{ot}$, então $T_{max} = T_{ot}$.

Método 5 (M5)

Neste método considera-se as três temperaturas cardinais (T_b, T_{ot} e T_B) da espécie:

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

(5)

Quando: $T_b < T_{med} \leq T_{ot}$, e se $T_{med} < T_b$, então: $T_{med} = T_b$.

Quando: $T_{ot} < T_{med} \leq T_B$, e se $T_{med} > T_B$, então: $T_{med} = T_B$.

Método 6 (M6)

Neste método há penalização das T_{min} e T_{max}:

$$STd = \begin{cases} (\text{Tmed} - \text{Tb} \cdot 1\text{dia},), \\ (\text{Tot} - \text{Tb}) \cdot \frac{\text{TB} - \text{Tmed}}{\text{TB} - \text{Tot}} \cdot 1\text{dia}, \end{cases}$$

(6)

Quando: $T_b < T_{med} \leq T_{ot}$, e se $T_{min} < T_b$, então: $T_{min} = T_b$.

Quando: $T_{ot} < T_{med} \leq T_B$.

Se $T_{max} > T_B$, considera-se $T_{max} = T_B$.

Em todas as equações descritas acima: ST_d = soma térmica diária; T_{med} = temperatura média do ar (°C); T_b = temperatura basal inferior; T_{max} = temperatura máxima do ar (°C); T_{min} = temperatura mínima do ar (°C); T_{ot} = temperatura ótima; T_B = temperatura basal superior.

Os valores de T_b, T_{ot} e T_B no desenvolvimento inicial consideradas neste estudo (Tabela 3) foram obtidos de estimativas realizadas por Ferreira (no prelo).

Tabela 3: Valores de temperaturas cardinais: basal inferior (T_b, °C), ótima (T_{ot}, °C) e basal superior (T_B, °C) para as espécies arbóreas nativas *B. forficata*, *C. speciosa*, *H. chrysotrichus*, *H. impetiginosus* e *T. roseoalba*.

Espécie	**Temperaturas cardinais (°C)**		
	Inferior (Tb)	**Ótima (Tot)**	**Superior (TB)**

B. forficata	10,6	21,5	43,9
C. speciosa	12,0	21,0	42,8
H. chrysotrichus	11,4	20,3	41,9
H. impetiginosus	12,6	21,1	41,6
T. roseoalba	12,2	21,2	43,4

Para a escolha do melhor método de ST_d para cada espécie, foram realizados: (i) testes de análise de variância (ANOVA), afim de determinar se há diferenças significativas entre os métodos e (ii) comparação de médias por Scott-Knott, a 5% de probabilidade, agrupando as médias em categorias distintas quando diferenças significativas são encontradas, facilitando a interpretação dos dados da variável filocrono. Para analisar a pressuposição de normalidade foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk, que informa se os dados diferem de uma distribuição normal. Nos dados que não atenderam ao critério de normalidade foi utilizada a transformação Ln(x)

Assim, foi calculado o filocrono (ºC dia folha^{-1}) para cada método de ST_d em cada espécie e DS, pelo inverso do coeficiente angular ($1/a$) da regressão linear (FERREIRA et al., 2019a):

$$NF = a \cdot ST_{ac} + b, \text{ onde } ST_{ac} = \sum ST_d \quad (7)$$

em que: NF = número de folhas emitidas, a = coeficiente angular; ST_{ac} = soma térmica acumulada (ºC dia) calculada para cada método de ST_d; b = coeficiente linear; ST_d = soma térmica diária (ºC dia).

2.4. Influência do fotoperíodo

Para verificar a influência do fotoperíodo no desenvolvimento inicial das cinco espécies, foi seguida a metodologia de Freitas e Martins (2019). Para isso, foram ajustadas regressões lineares entre o filocrono médio (média aritmética do filocrono das 8 UE de cada DS em cada espécie) e o fotoperíodo médio (F_{med}; média aritmética do fotoperíodo diário de cada DS em cada espécie) (FREITAS; MARTINS, 2019). O coeficiente de determinação (R^2) e o erro padrão da estimativa (Syx) foi calculado para cada regressão linear, afim de indicar o ajuste das regressões aos dados observados.

O fotoperíodo diário (F_d) foi calculado através do algoritmo de Keisling (1982):

$$F_d = \frac{2}{15}.cos^{-1}[cos\alpha.sec\phi.sec\lambda - tan\phi.tan\delta\ ] \quad (8)$$

$$\delta = sin^{-1}(0{,}39779).sin\lambda \quad (9)$$

$$\alpha = 90° + B \quad (10)$$

$$\lambda = M + 1{,}916 - sinM + 0{,}020.sin2M + 282{,}565 \quad (11)$$

$$M = 0{,}985600.NDA - 3{,}251 \quad (12)$$

em que: F_d = fotoperíodo diário (horas); δ = declinação solar (graus e décimos); 0,39779 = seno de 23,45° (23°27'); α = ângulo zenital (graus); B = ângulo abaixo do plano do horizonte (6°); λ = latitude (graus); M = anomalia média solar (graus); NDA = número do dia do ano (dia juliano).

A resposta fotoperiódica é interpretada de acordo com o coeficiente angular da regressão linear entre o filocrono e F_{med}. Valores positivos e significativos do coeficiente linear ($p < 0{,}05$) indicam resposta fotoperiódica típica de plantas de dias curtos, enquanto os valores negativos e significativos ($p < 0{,}05$), resposta fotoperiódica típica de plantas de dias longos (FREITAS: MARTINS, 2019; MARTINS et al., 2022a; ROSA et al., 2009). Valores de coeficiente linear não significativos, indicam que as plantas têm resposta neutra ao fotoperíodo, ou seja, não são responsivas ao fotoperíodo (RAWAL et al., 2015).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O uso de diferentes DS permitiu que as espécies se desenvolvessem em diferentes condições de temperatura e fotoperíodo (Tabela 4), as quais foram importantes para avaliar as exigências térmicas e fotoperiódicas das cinco espécies estudadas. A temperatura do ar influenciou na velocidade do desenvolvimento e na duração do desenvolvimento inicial (dias entre emergência e o término do desenvolvimento inicial), variando entre 3,4°C (valor mínimo absoluto) e 38,1°C (valor máximo absoluto), e o fotoperíodo diário variou entre as DS, indo de 11,5 horas (menor valor absoluto) a 14,3 horas (maior valor absoluto). Tal variação é importante para a avaliação dos métodos de ST e da influência do F_{med} no filocrono (MARTINS et al., 2022a).

Tabela 4: Caracterização da temperatura do ar (T_{min}, T_{med}, T_{max}; °C), fotoperíodo (mínimo e máximo; horas), e duração (N; dias) das 14 datas de semeaduras (DS) para as espécies arbóreas nativas *B. forficata*, *C. speciosa*, *H. chrysotrichus, H. impetiginosus* e *T. roseoalba* durante a condução do experimento. Itajubá, MG, 2022/2024.

Data de semeadura (DS)	*B. forficata*						*C. speciosa*					
	Temperatura do ar (ºC)*			Fotoperíodo (h)		N (dias)**	Temperatura do ar (ºC)*			Fotoperíodo (h)		N (dias)**
	Tmin	Tmed	Tmax	Fmin	Fmax		Tmin	Tmed	Tmax	Fmin	Fmax	
DS1	14	19,9	27,6	11,6	14,2	141	13,7	19,7	27,6	11,6	14,2	155
DS2	15,8	20,9	27,9	11,9	14,3	166	15,2	20,6	27,8	11,8	14,3	158
DS3	16,9	21,7	28,6	12,4	14,3	166	16,4	21,3	28,2	12,4	14,3	131
DS4	17,3	21,9	28,6	13,4	14,3	124	17,2	21,9	28,7	13,2	14,3	130
DS5	17,5	22	29,1	12,6	14,3	148	17,5	22	28,9	13,0	14,3	140
DS6	17,4	21,9	29	12,0	14,3	152	16,3	21	28,4	11,6	14,3	180
DS7	16,5	21,2	28,7	11,7	14,3	145	15,4	20,3	28	11,6	14,3	186
DS8	13,9	19,3	27,6	11,6	13,9	178	14,0	19,5	27,7	11,6	14,0	231
DS9	13,2	18,9	27,2	11,6	13,4	189	13,2	18,9	27,3	11,6	13,5	190
DS10	12,9	18,9	27,4	11,6	13,0	189	13,3	19,2	27,7	11,6	13,3	205
DS11	13,6	19,6	28	11,6	14,0	195	13,6	19,6	28	11,6	14,0	202
DS12	14	20,1	28,5	11,6	14,0	163	13,7	19,7	28,1	11,6	13,9	162
DS13	16,1	22	29,9	11,6	14,3	177	15,7	21,7	29,7	11,6	14,3	153
DS14	17,2	22,9	30,4	11,9	14,3	165	16,6	22,6	30,3	11,9	14,3	127
N média (dias)						**164**	**N média (dias)**					**167**

Data de semeadura (DS)	*H. chrysotrichus*						*H. impetiginosus*					
	Temperatura do ar (ºC)*			Fotoperíodo (h)		N (dias)**	Temperatura do ar (ºC)*			Fotoperíodo (h)		N (dias)**
	Tmin	Tmed	Tmax	Fmin	Fmax		Tmin	Tmed	Tmax	Fmin	Fmax	
DS1	14,3	20	27,7	11,6	14,2	136	14,3	20,1	27,7	11,7	14,2	121
DS2	15,7	21,1	28,2	12,2	14,3	118	15,6	20,8	27,8	11,9	14,3	162
DS3	16,8	21,6	28,5	12,8	14,3	119	16,8	21,6	28,5	12,5	14,3	143
DS4	17,2	21,8	28,5	13,4	14,3	107	17,3	22	28,9	13,2	14,3	140
DS5	17,7	22,1	29	13,3	14,3	113	17,5	22	28,8	13.0	14,3	125
DS6	17,8	22,3	29,3	12,4	14,3	120	16,5	21,2	28,5	11,7	14,3	165
DS7	17,3	21,9	29,2	11,9	14,3	120	16,1	20,9	28,4	11,6	14,3	148
DS8	13,7	19,2	27,5	11,5	13,8	153	13,8	19,3	27,6	11,6	13,9	191

DS9	13	18,7	27,2	11,5	13,3	156	13	18,8	27,3	11,6	13,3	159
DS10	11,8	17,7	26,2	11,5	12,4	138	12,4	18,3	26,7	11,6	12,7	165
DS11	13,3	19,2	27,6	11,5	13,7	182	13,3	19,3	27,7	11,6	13,9	185
DS12	13,8	19,8	28,1	11,5	13,8	148	14,5	20,6	29	11,6	14,0	140
DS13	17,1	22,9	30,6	11,9	14,3	148	16,8	22,7	30,4	11,8	14,3	163
DS14	16,8	22,7	30,3	12,0	14,2	105	17,4	23,2	30,8	12,1	14,3	131
N média (dias)						**133**	**N média (dias)**					**152**

T. roseoalba

Data de semeadura (DS)	**Temperatura do ar (ºC)***			**Fotoperíodo (h)**		**N (dias)****
	Tmin	**Tmed**	**Tmax**	**Fmin**	**Fmax**	
DS1	14,2	20	27,7	11,6	14,2	129
DS2	15,7	20,9	27,9	12,0	14,3	155
DS3	17	21,7	28,6	12,7	14,3	143
DS4	17,3	21,9	28,6	13,4	14,3	126
DS5	17,6	22,2	29,2	12,8	14,3	134
DS6	17,4	22	29	12,0	14,3	137
DS7	16,5	21,2	28,8	11,7	14,3	144
DS8	13,6	19,2	27,6	11,5	13,7	196
DS9	13,1	18,9	27,2	11,5	13,3	185
DS10	12,6	18,6	27,1	11,5	12,9	171
DS11	13,3	19,3	27,7	11,5	13,8	180
DS12	14,4	20,5	28,7	11,5	14,1	160
DS13	17,1	22,9	30,5	11,9	14,3	157
DS14	17,6	23,3	30,7	12,2	14,3	146
N média (dias)						**154**

*Valores obtidos pelas médias aritméticas da temperatura mínima, média e máxima do ar em cada DS. Fotoperíodo mínimo = menor valor de fotoperíodo ocorrido na DS; fotoperíodo máximo = maior valor de fotoperíodo ocorrido na DS. **Período que se estende desde a data da emergência até a data final do desenvolvimento inicial.

A exposição das DS a diferentes condições de temperatura e fotoperíodo (Tabela 4) demonstrou uma relação inversa entre a temperatura do ar e a duração das DS, sinalizando que maiores (menores) valores de temperatura causam uma menor (maior) duração (em dias), além de afetar o desenvolvimento foliar. Assim, durante a condução do experimento, valores diários

de temperatura do ar próximos às T_{bs} das espécies foram observados nas DS8, DS9, DS10 e DS11, as quais foram conduzidas entre os meses de fevereiro e setembro. Estas DS apresentaram maior duração do desenvolvimento inicial, pois se desenvolveram nos meses com temperaturas mais amenas. Por outro lado, nas demais DS, houveram casos em que a T_{med} esteve mais próxima aos valores das T_{ots} das espécies (entre 20,3°C a 21,5°C). Por exemplo, nas DS2, DS3 e DS6 para *H. impetiginosus* houveram 31, 23 e 29 dias (que representam 19%, 16%, 17,5% respectivamente), 29, 17 e 23 dias (18,7%, 13%, 16,7%) nas DS2, DS4 e DS6 para *T. Roseoalba*, 42, 17 e 25 dias (25%, 13,7%, 16,4% respectivamente) nas DS3, DS4 e DS6 para *B. Forficata* em que a T_{med} foi entre 20,3°C e 21,5°C. Portanto, estas DS apresentaram maior velocidade na emissão foliar e relativa menor duração de desenvolvimento inicial.

Essas tendências também foram observadas por Freitas, Martins e Abreu (2017a) para as espécies *Corymbia citriodora* e *Eucalyptus urophylla*; por Ferreira et al. (2019b) para *Bixa orellana* L. e *Cytharexyllum myrianthum* Cham., e por Fagundes et al. (2024) para *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg. e *Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul.) L.P. Queiroz. Valores diários de temperatura do ar iguais ou superiores às T_{Bs} das cinco espécies (entre 41,6ºC e 43,9ºC) não foram observados em nenhuma DS.

As regressões ajustadas entre o NF e todos os métodos de ST_d, incluindo o M5 (Figura 2) para as cinco espécies apresentaram alto coeficiente de determinação ($R^2 > 0,950$) e baixo erro padrão de estimativa (Syx < 0,600 em 11 dos 15 casos analisados) que são ideais biológica e estatisticamente (FREITAS e MARTINS 2019; MARTINS et al. 2022a). Os maiores valores de coeficiente de determinação e menor erro padrão de estima ocorreram nas DS3 ($R^2 = 0,986$ e Syx = 0,3147) e DS13 ($R^2 = 0,986$ e Syx = 0,2891) da *B. forficata* e DS3 ($R^2 = 0,990$ e Syx = 0,3277) da *C. speciosa*, indicando melhor ajuste da regressão aos dados. Tais resultados demonstram a influência da temperatura do ar no desenvolvimento inicial das espécies estudadas, apresentando uma tendência linear com a variável. Padrões semelhantes foram encontrados em espécies florestais como *L. ferrea* e *A. macrocarpa* (FAGUNDES et al. 2021; MARTINS et al. 2022ac), *C. citriodora* (FREITAS; MARTINS, 2019), e também em outras espécies arbóreas, como *P. guajava* L., *C. myrianthum* Cham. e *B. orellana* L. (MARTINS et al. 2022a).

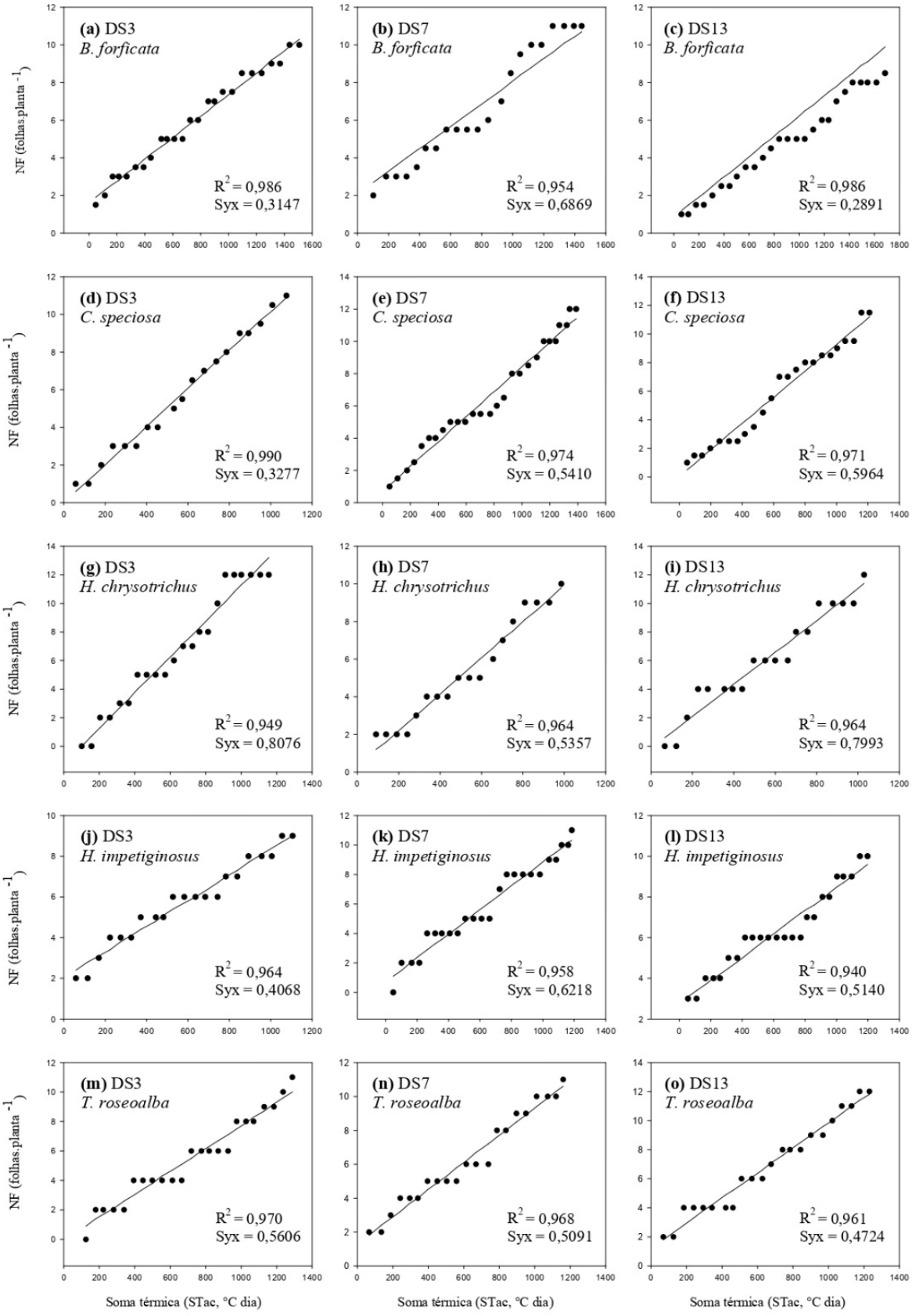

Figura 2: Relação entre o número acumulado de folhas no caule principal (NF) e a soma térmica acumulada (ST_{ac}, °C dia), calculado usando o método M5 para as espécies *B. forficata*

(paineis a, b, c), *C. speciosa* (paineis d, e, f), *H. chrysotrichus* (paineis g, h, i), *H. impetiginosus* (paineis j, k, l) e *T. roseoalba* (paineis m, n, o) para três datas de semeadura (DS3, DS7 e DS13). Os dados de cada painel correspondem a uma unidade experimental (UE). R^2 é o coeficiente de determinação e Syx é o erro padrão da estimativa.

Os valores de filocrono médio não seguiram o pressuposto da normalidade, e foram transformados (Ln). A análise de variância (ANOVA) e o teste de comparação de médias Scott-Knott demonstraram que houve diferença estatística entre os valores de filocrono obtidos para cada método de ST_d, havendo maior probabilidade de que a diferença observada entre os valores seja real e decorrente dos diferentes métodos utilizados. Os valores de filocrono variaram entre 185,0 e 248,8°C dia folha^{-1} para *B. forficata*, 130,0 e 188,3°C dia folha^{-1} para *C. speciosa*, 138,7 e 206,4°C dia folha^{-1} para o *H. chrysotrichus*, 146,7 e 217°C dia folha^{-1} para *H. impetiginosus* e, 153,7 e 223,9°C dia folha^{-1} para *T. roseoalba* (Tabela 5).

Em comum, para as cinco espécies estudadas, os maiores valores de filocrono ocorreram nos métodos M1 e M2, e foram menores nos demais (M3 a M6). Além disso, em todas as espécies, M1 e M2 diferiram estatisticamente dos demais. Esse decréscimo pode ser explicado pelas condições usadas em cada método. Por exemplo, os métodos M1 e M2 consideram na ST_d o acúmulo crescente de valores de T_{med} superior à T_b, enquanto os demais métodos acumulam valores crescentes (e constantes) até a T_{ot} (M3 e M4) e a partir dela, decrescentes até a T_B (M5 e M6). Além disso, o M1 e M2 não apresentaram diferenças entre si para as cinco espécies nativas, pois, durante o experimento, não houveram casos em que os valores de T_{med} foram inferiores à T_b.

Os demais métodos apresentaram redução da ST_d ao considerar os valores de T_{ot} (M3 e M4) e os valores de T_{ot} e T_B (M5 e M6) nos cálculos, principalmente devido a variação na temperatura média do ar durante os períodos mais quentes do ano, onde a T_{med} ficou próxima dos valores de T_{ot} (que variam de 20,3°C a 21,5°C) das espécies na maioria dos dias (entre 9 e 42 dias, com uma média de 24 dias nas 14 DS). Assim, os métodos M5 e M6 foram mais próximos entre si, principalmente em decorrência de considerar as mesmas variáveis (T_{med}, T_b, T_{ot} e T_B), por ter poucos casos de penalização da T_{min} (entre 0 e 78 casos para as cinco espécies no geral, com maiores ocorrências entre as DS DS8, DS9, DS10 e DS11 conduzidas entre os

meses de fevereiro e setembro, de temperaturas mais amenas) e por não ter casos em que a T_{med} e a T_{max} foram superior a T_B das cinco espécies.

Tabela 5: Comparação de médias e desvio padrão dos valores de filocrono (°C dia folha^{-1}) para as espécies arbóreas nativas: *B. forficata*, *C. speciosa*, *H. chrysotrichus*, *H. impetiginosus* e *T. roseoalba* entre os seis métodos de soma térmica diária (°C dia). Itajubá, MG, 2022/2024.

Método de STd (°C)	**Filocrono médio (°C dia folha^{-1})**				
	B. forficata	*C. speciosa*	*H. chrysotrichus*	*H. impetiginosus*	*T. roseoalba*
M1	246,0 **c** (± 52)	183,2 **b** (± 26)	202,3 **b** (± 64)	200,8 **b** (± 45)	218,0 **b** (± 54)
M2	248,8 **c** (± 54)	188,3 **b** (± 27)	206,4 **b** (± 65)	217,0 **b** (± 47)	223,9 **b** (± 56)
M3	220,4 **b** (± 46)	153,9 **a** (± 22)	161,7 **a** (± 52)	173,1 **a** (± 37)	182,6 **a** (± 46)
M4	185,0 **a** (± 38)	130,0 **a** (± 19)	138,7 **a** (± 44)	146,7 **a** (± 32)	153,7 **a** (± 39)
M5	202,2 **a** (± 40)	142,2 **a** (± 20)	145,3 **a** (± 47)	158,2 **a** (± 34)	168,5 **a** (± 42)
M6	201,1 **a** (± 40)	142,3 **a** (± 20)	145,4 **a** (± 47)	158,4 **a** (± 34)	168,6 **a** (± 43)

Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5%. Os dados foram transformados (Ln) porque não atenderam à pressuposição de normalidade para o teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$).

A escolha do melhor método de ST_d pode ser feita entre os métodos M4, M5 e M6 (e M3 para *C. speciosa*, *H. chrysotrichus*, *H. impetiginosus* e *T. roseoalba*), pois apresentaram os menores valores de filocrono e desvio padrão, além de não diferirem estatisticamente entre si. Apesar dos 3 (4) métodos serem eficientes no cômputo do tempo térmico, foi dada preferência para o M5, uma vez que, os processos que governam o desenvolvimento (como o aparecimento de folhas e a duração da fase de desenvolvimento inicial), são intrinsecamente associados às temperaturas cardinais (BAATH et al., 2022; MARTINS et al., 2022ab) e o M5 considera todas as temperaturas cardinais (T_b, T_{ot} e T_B) das espécies. Assim, o M5 consegue representar o acúmulo de energia de forma mais completa e adequada para espécies florestais tropicais (MARTINS et al., 2022a), além de ter ótimo desempenho nas condições deste experimento.

Analisando os valores de filocrono, houve interação entre as espécies e as DS ($p<0,05$). Ou seja, cada espécie se desenvolve de forma diferente em cada DS, o que pode indicar a influência da temperatura e do fotoperíodo no filocrono das cinco espécies florestais nativas (MARTINS et al. 2022a). As DS que apresentaram maior valor de filocrono pelo M5 e, consequentemente, menor desenvolvimento inicial em todas as espécies analisadas foram: DS8, DS9, DS10 e DS11 (Tabela 6). Nestas DS o menor desenvolvimento ocorreu devido as plantas

se desenvolverem em condições de menor T_{min}, T_{med} e T_{max} (Tabela 4). A relação entre valores menores de filocrono nas épocas mais quentes e maiores nas épocas com temperaturas mais amenas também foi observada por Rosa et al. (2009) para o trigo e por Martins et al. (2022a) para as espécies florestais tropicais *P. guajava*, *C. myrianthum* e *B. orellana*, onde pode-se sugerir que, além da temperatura do ar, as plantas também sejam sensíveis ao fotoperíodo e à emissão de folhas (LISBOA et al., 2012).

Tabela 6: Comparação de médias do filocrono (°C dia folha^{-1}) entre as datas de semeadura (DS) e espécies arbóreas nativas: *B. forficata*, *C. speciosa*, *H. chrysotrichus*, *H. impetiginosus* e *T. roseoalba*. Itajubá, MG, 2022/2024.

DS	Filocrono (°C dia folha^{-1}) pelo método de soma térmica M5				
	B. forficata	*C. speciosa*	*H. chrysotrichus*	*H. impetiginosus*	*T. roseoalba*
DS1	207,1 **aB**	119,8 **bA**	196,0 **bB**	178,8 **bB**	251,0 **bB**
DS2	197,7 **aB**	125,3 **bA**	134,9 **aA**	159,6 **bA**	147,9 **aA**
DS3	165,8 **aB**	101,8 **aA**	121,2 **aA**	149,3 **bB**	165,9 **aB**
DS4	195,4 **aB**	109,0 **aA**	105,7 **aA**	129,1 **aA**	149,5 **aB**
DS5	189,9 **aB**	132,9 **bA**	114,9 **aA**	135,6 **aA**	138,3 **aA**
DS6	189,5 **aB**	169,3 **cB**	121,6 **aA**	170,9 **bB**	150,6 **aA**
DS7	183,1 **aC**	177,5 **cC**	104,5 **aA**	137,6 **aB**	133,0 **aB**
DS8	245,0 **bA**	222,2 **dA**	208,7 **bA**	211,8 **bA**	203,6 **bA**
DS9	253,4 **bC**	136,3 **bA**	192,4 **bB**	159,9 **bA**	188,5 **bB**
DS10	231,3 **bC**	174,3 **cB**	127,3 **aA**	156,4 **bA**	178,5 **bB**
DS11	230,1 **bA**	170,1 **cA**	188,5 **bA**	198,9 **bA**	189,8 **bA**
DS12	172,8 **aB**	129,5 **bA**	168,0 **bB**	111,5 **aA**	158,7 **aB**
DS13	188,5 **aB**	122,6 **bA**	150,6 **bA**	180,5 **bB**	155,2 **aA**
DS14	181,6 **aC**	100,2 **aA**	99,3 **aA**	134,5 **aB**	148,4 **aB**
Média	202,2 **C**	142,2 **A**	145,3 **A**	158,2 **B**	168,5 **B**

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna (data de semeadura) e letras maiúsculas na linha (espécie arbórea) não diferiram entre si pelo teste Scott-Knott ($p > 0,05$). Na tabela são mostrados os dados originais, mas os dados foram transformados (Ln) porque não atenderam à pressuposição de normalidade para o teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$) (Freitas et al. 2017a). As letras de 'a' a 'd' e de 'A' a 'C' foram organizadas em ordem crescente do valor do filocrono.

Em relação à comparação entre as espécies arbóreas, as espécies *C. speciosa e H. chrysotrichus* demonstraram menor exigência de acúmulo de energia para a emissão de folhas

(142,2°C dia folha^{-1} e 145,3°C dia folha^{-1} respectivamente), enquanto que *B. forficata* apresentou a maior média de filocrono (202,2°C dia folha^{-1}). Apesar da maior diferença entre a *B. forficata* (média mais alta) e a *C. speciosa* (média mais baixa), ambas apresentaram médias de filocrono de algumas DS semelhantes entre si e com outras espécies, como DS6, DS7, DS8 e DS11. De modo geral, as espécies apresentaram um comportamento similar em relação às exigências de acúmulo de energia para a emissão de folhas.

Já em relação as DS, a espécie *C. speciosa* teve maior variação significativa nos valores de filocrono, o que pode indicar uma influência mais pronunciada da interação com a temperatura e o fotoperíodo no seu desenvolvimento quando comparada às demais espécies. Ou seja, devido a maior sensibilidade, a *C. speciosa* apresenta maior velocidade de emissão de folhas nas DS DS3, DS4, DS14 e menor na DS8. Por outro lado, a espécie *H. chrysotrichus* demonstrou menor variação nos valores de filocrono entre as DS comparada às demais espécies, o que pode indicar uma resposta menos sensível a mudanças sazonais de temperatura comparada à *C. speciosa*.

Quando se analisa o filocrono, espera-se que o maior (menor) valor de filocrono, isto é, maior (menor) requerimento térmico, resulte em maior (menor) duração da fase de desenvolvimento inicial (FAGUNDES et al., 2021; MARTINS et al., 2022a). Neste sentido, de modo geral, a espécie *B. forficata*, assim como as espécies da família Bignoniaceae (*T. roseoalba* e *H. impetiginosus*) apresentaram maior duração média (164 dias, 154 dias e 152 dias, respectivamente) (Tabela 4), desenvolvimento mais lento e consequentemente maiores valores de filocrono. Já a *espécie H. chrysotrichus* apresentou menores valores de filocrono em relação às demais espécies em 10 (DS3, DS4, DS5, DS6, DS7, DS8, DS9, DS10, DS13 e DS14) das 14 DS, além de menor duração média, menor valor de filocrono médio e consequentemente desenvolvimento mais rápido. Apesar desse padrão ter se repetido na maioria das DS, o menor valor de filocrono não resultou em menor duração da fase de desenvolvimento inicial para a *C. speciosa*, que, apesar de ter o segundo menor valor médio de filocrono dentre as espécies, apresentou a maior duração média da fase de desenvolvimento inicial (167 dias) (Tabela 4) e maior variação nos valores de filocrono em relação as demais espécies. Estes resultados são realísticos quando comparados às observações em campo.

Os valores de filocrono encontrados para as cinco espécies são similares à outras espécies florestais como *A. macrocarpa* (163,8°C dia folha^{-1}) (SILVA et al., 2020a), *A. peregrina* (171,5ºC dia folha^{-1}) (FAGUNDES et al., 2021), *D. alata* (166,44°C.dia folha^{-1}) (BORELLA et al., 2020), *P. regnellii* (109,7ºC dia folha^{-1}) (FAGUNDES, 2023). Ao considerar os valores de ST_{ac} obtidas pelo M5 necessários para a finalização do desenvolvimento inicial

(contabilizado desde a emergência até 10 folhas acumuladas na haste principal) das espécies, constatou-se a diferença na necessidade térmica de acordo com as variações entre as DS, em que os valores variaram entre 1262,78°C dia (DS4) e 1685,09°C dia (DS13) para *B. forficata*, 968,57°C dia (DS14) e 1662,31°C dia (DS8) para *C. speciosa*, 853,7°C dia (DS4) e 1314,5°C dia (DS11) para *H. chrysotrichus*, 968,7°C dia (DS1) e 1354°C dia (DS6) para *H. impetiginosus* e entre 1020,41°C dia (DS4) e 1395,75°C dia (DS8) para *T. roseoalba*.

Em relação à resposta das plantas ao fotoperíodo, as regressões lineares entre o filocrono médio em função do fotoperíodo médio (F_{med}) (Figura 3) apresentaram valores de coeficiente de determinação (R^2) iguais a 0 para *H. chrysotrichus* (R^2 = 0,0000) e *H. impetiginosus* (R^2 = 0,0006), além de coeficientes angulares não significativos ($p > 0,05$) e alto valor de erro padrão (Syx = 39,85 e 29,18 respectivamente). Essa resposta demonstra que o desenvolvimento inicial de ambas espécies não é responsivo ao fotoperíodo e, portanto, as espécies são consideradas fotoneutras (Figuras 3c e 3d). Por outro lado, *B. forficata* (Figura 3a), *C. speciosa* (Figura 3b) e *T. roseoalba* (Figura 3e) apresentaram coeficientes angulares significativos e negativos, o que indica que as três espécies apresentam comportamento típico de plantas de dia longo. Apesar da influência do fotoperíodo nessas espécies, o erro padrão foi alto em todas (Syx = 19,79, 29,46 e 27,4, respectivamente), com baixo coeficiente de determinação (R^2 = 0,5119, 0,3547 e 0,2872, respectivamente), o que, apesar de indicar a influência do fotoperíodo no desenvolvimento inicial dessas espécies, demonstra pouca responsividade ao fotoperíodo, com uma margem considerável de erro.

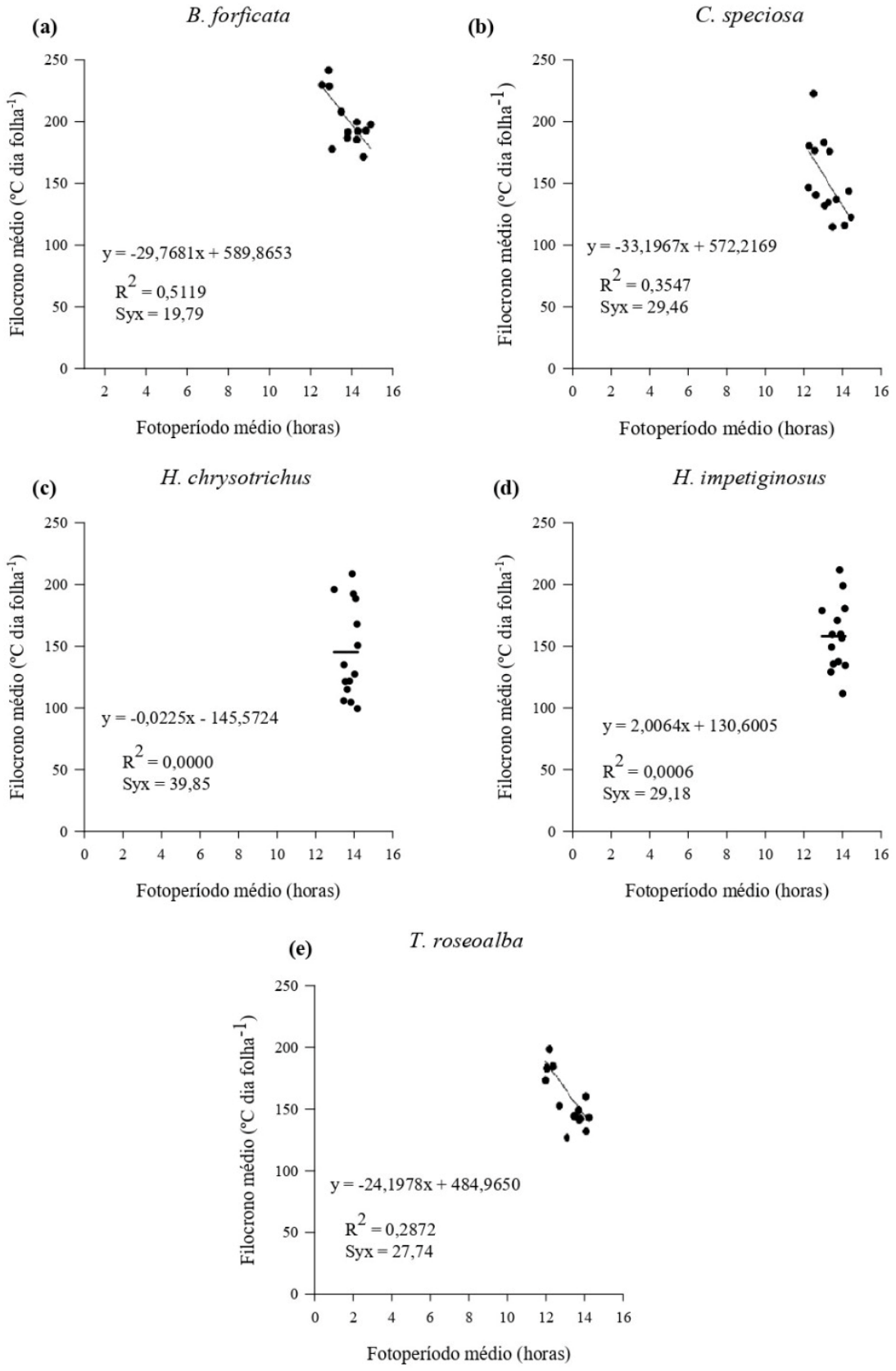

Figura 3: Relação entre o fotoperíodo médio (horas) e o filocrono médio (°C dia folha^{-1}) para as espécies *B. forficata* (painel a), *C. speciosa* (painel b), *H. chrysotrichus* (painel c), *H.*

impetiginosus (painel d) e *T. roseoalba* (painel e). Cada ponto representa uma data de semeadura, enquanto a reta mostra a regressão linear. R^2 é o coeficiente de determinação e Syx é o erro padrão da estimativa.

O fotoperiodismo é a resposta dos organismos à duração relativa do dia e da noite, ou seja, a capacidade de um organismo de perceber o comprimento do dia (BECKER et al., 2019; TAIZ et al., 2017). Nas plantas, pode influenciar em processos biológicos como o alongamento caulinar e o crescimento foliar e radicular (SILVA et al., 2012) e no desenvolvimento e reprodução, como a iniciação do florescimento, a reprodução assexual, a formação de órgãos de reserva e a indução de dormência (BECKER et al., 2019; TAIZ et al., 2017). Apesar das respostas ao fotoperíodo estarem relacionadas ao ciclo circadiano das plantas (SINGH et al., 2017), elas podem variar dependendo da espécie, do estágio de desenvolvimento e das condições ambientais, sendo importante ressaltar que, para muitas espécies florestais tropicais, o desenvolvimento inicial não é responsivo ao fotoperíodo (FREITAS; MARTINS, 2019; MARTINS et al., 2022b). Assim, embora o fotoperiodismo seja um fator importante na regulação do desenvolvimento de muitas espécies, neste estudo todas as regressões entre o filocrono médio e F_{med} tiveram valores baixos de R^2 e foram menores do que aqueles os valores encontrados nas regressões entre o NF e todos os métodos de ST_d, incluindo o M5 ($R^2 > 0,950$), o que indica maior influência da temperatura do ar sobre o comportamento das espécies do que o fotoperíodo.

Segundo Bergamaschi (2017) como o fotoperíodo depende da latitude e muda ao longo do ano devido a translação da Terra, na linha do Equador os comprimentos do dia e da noite são iguais durante o ano todo e, conforme se avança em direção aos polos no Hemisfério Sul (HS), os dias são mais longos no verão e mais curtos no inverno. Assim, plantas de dia curto (longo) se desenvolvem melhor em menores (maiores) valores de fotoperíodo (duração solar menor (maior) que 12 e 14 horas para plantas de dia curto (longo) e em latitudes mais próximas (distantes) ao Equador no HS. Já as plantas fotoneutras, diferentemente das plantas de dia curto e longo, não possuem um requerimento específico de duração do dia para melhor desenvolvimento, sendo menos influenciadas pela variação na duração solar. Neste sentido, as espécies *H. chrysotrichus* e *H. impetiginosus* apresentaram variação significativa no filocrono com as datas de semeadura (Tabela 5), porém, como o desenvolvimento inicial das espécies não é responsivo ao fotoperíodo (são fotoneutras) (Figuras 3c e 3d), o comportamento dessas espécies não é regulado pela duração do dia, sendo influenciado pela temperatura do ar.

Já as espécies *B. forficata*, *C. speciosa* e *T. roseoalba*, que apresentam um comportamento típico de plantas de dia longo, demonstraram tanto uma variação significativa no filocrono (Tabela 5) quanto regressões lineares com coeficientes angulares negativos significativos. Isso indica que o desenvolvimento dessas espécies é influenciado pela temperatura do ar e pelo fotoperíodo, ou seja, se desenvolvem mais rápido, avançando seu ciclo, quando o fotoperíodo está acima do fotoperíodo crítico (FREITAS; MARTINS, 2019). Os menores valores de fotoperíodo mínimo (F_{min}) corresponderam, em sua maioria, às DS8, DS9, DS10, DS11 e DS12 (~11,6h) para todas as espécies. Já os maiores valores de fotoperíodo máximo (F_{max}), corresponderam, em sua maioria, às DS2, DS3, DS4, DS5, DS6, DS7, DS13 e DS14 (14,3h). Os menores valores de filocrono encontrados para a *B. forficata*, *C. speciosa* e *T. roseoalba* ocorreram durante as DS em que houveram os valores mais altos de fotoperíodo. Ou seja, as espécies de dia longo necessitam de um fotoperíodo maior e, quando expostas a dias mais longos, há maior desenvolvimento e consequentemente, menor valor de filocrono.

As variações (intensidade, qualidade, duração e direção da radiação solar) no fotoperíodo afetam a ST das espécies, influenciando em aspectos do desenvolvimento, como a aceleração ou retardamento na taxa de emissão de folhas em período de formação de mudas (FREITAS; MARTINS, 2019) e levando a diferentes respostas metabólicas em plantas. Considerando que os efeitos do fotoperíodo no desenvolvimento de plantas perenes ainda sejam objeto de debate e investigação, com resultados muitas vezes incipientes e controversos (BASLER; KÖRNER, 2014; PRIMACK et al., 2015) e que estudos sobre os efeitos do fotoperíodo no desenvolvimento inicial de espécies florestais ainda são escassos, os resultados encontrados neste estudo contribuem para o conhecimento do requerimento térmico e fotoperiódico necessário para o cultivo das cinco espécies arbóreas estudadas, servindo de base para futuros estudos em outras espécies arbóreas nativas e possibilitando a otimização da produção e qualidade de mudas florestais em que o desenvolvimento foliar é a resposta de interesse (FREITAS; MARTINS, 2019; FREITAS; MARTINS; ABREU, 2017a), além de auxiliar na escolha de espécies e cultivares mais adaptadas às condições climáticas de uma determinada região.

Informações sobre o requerimento térmico e fotoperiódico do desenvolvimento vegetativo já são utilizadas em estudos ecofisiológicos e em modelos de simulação de desenvolvimento de espécies arbóreas de importância econômica como eucalipto (FREITAS et al., 2019) e oliveira (MARTINS et al., 2014). Os resultados encontrados neste estudo são informações inéditas importantes por demonstrar o efeito da temperatura do ar e do fotoperíodo

no desenvolvimento inicial de cinco espécies arbóreas nativas brasileiras. Tais informações fornecem subsídios para a seleção das espécies mais adaptadas ao clima local, para a escolha da melhor data para semeadura, além de serem dados de entrada para modelos de simulação do desenvolvimento, podendo ser utilizados para o clima presente e futuro.

4. CONCLUSÃO

Os métodos de soma térmica diária (ST_d, °C dia) M4, M5 e M6 apresentaram melhores resultados para o cômputo do requerimento térmico e estimativa do filocrono das espécies arbóreas nativas *B. forficata*, *C. speciosa*, *H. chrysotrichus*, *H. impetiginosus* e *T. roseoalba*. O melhor método de ST foi o M5, que considera as temperaturas basais (T_b e T_B) e ótima da espécie (T_{ot}) e as relaciona com a T_{med}.

A espécie *B. forficata* necessita acumular ~202,2°C dia, *C. speciosa* ~142,2°C dia, *H. chrysotrichus* ~145,3°C dia, *H. impetiginosus* ~158,2°C dia e *T. roseoalba* ~168,5°C dia para emitir uma folha durante o desenvolvimento inicial.

Para atingir ~10 folhas acumuladas, as plantas acumularam entre 1262,78 e 1685,09°C dia (*B. forficata*), 968,57 e 1662,31°C dia (*C. speciosa*), 853,7 e 1314,5°C dia (*H. chrysotrichus*), 968,7 e 1354°C dia (*H. impetiginosus*) e entre 1020,41 e 1395,75°C dia (*T. roseoalba*).

Com relação a resposta fotoperiódica durante o desenvolvimento inicial, as espécies *B. forficata*, *C. speciosa* e *T. roseoalba* apresentam comportamento típico de plantas de dia longo, enquanto as espécies *H. chrysotrichus* e *H. impetiginosus* não são responsivas ao fotoperíodo, ou seja, são plantas fotoneutras.

5. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, D.M.; DA SILVA, B.R.F.; UCELLA FILHO, J.G.M.; DE SOUSA, A.N.; COSTA, T.L.N.; SANTANA, J.A.S. Efeito de diferentes substratos no desenvolvimento inicial de mudas de *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC). **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.5, p. 24619-24631, 2020.

ALONSO, J.M.; ABREU, A.H.MD.; MELO, L. A.D.; LELES, P.S.D.S.; CABREIRA, G.V. Biosolids as substrate for the production of *Ceiba speciosa* seedlings. **Cerne**, v.24, p. 420-429, 2018.

ALVES, J.; LIMA, M.A.P.; ARRUDA, J.; SILVA, J. Produção de mudas de paineira em substratos com rejeito da indústria de caulim. **Gaia Scientia**. v.15, n.2, p.123-138, 2021.

AMORÓS, M.C.; MAURI, P.V.; CURTI, M.D. The influence of tree management practices on phenological growth stages of *Ulmus pumila* L. (Siberian elm). **Annals of Applied Biology**, v.179, n.2, p.259–272, 2021.

BAATH, G.S.; KAKANI, V.G.; GOWDA, P.H.; ROCATELI, A.C.; NORTHUP, B.K.; SINGH, H.; KATTA, J.R. Guar responses to temperature: estimation of cardinal temperatures and photosynthetic parameters. **Industrial Crops and Products**, v.145, p.111940, 2020.

BAATH, G.S.; KAKANI, V.G.; NORTHUP, B.K.; GOWDA, P.H.; ROCATELI, A.C.; SINGH, H. Quantifying and modeling the influence of temperature on growth and reproductive development of sesame. **Journal of Plant Growth Regulation**, v.41, n.1, p.143-152, 2022.

BARBOSA, M.R.; SOUZA, L.M.; SOUZA, R.A. de; HOULLOU, L.M. Aspects of the in vitro establishment of *Handroanthus chrysotrichus* (bignoniaceae) for the production of seedlings. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.1, p. 2830–2840, 2020.

BASLER; D.; KÖRNER, C. Photoperiod and temperature responses of bud swelling and bud burst in four temperate forest tree species. **Tree Physiology**, v. 34, n. 4, p.377-388, 2014.

BECKER, T.B.; SCHIAVON, A.V.; DELAZERI, E.; ANTUNES, L.E.C. Desenvolvimento inicial de mudas nacionais de morangueiro em função do diâmetro de coroa e complemento do fotoperíodo em sistema de cultivo sem solo. p.1-4, 2019.

BERGAMASCHI, H. FOTOPERIODISMO. **As plantas e o Clima: princípios e aplicações**. Cap 5. Agrolivros, 2017.

BORELLA, D.R.; de SOUZA, A.P.; da SILVA, A. C.; FELIPE, R.T.A.; SILVA, K.N.C.; de SOUZA, J.H.G. Exigências térmicas e filocrono de Dipteryx alata sob níveis de sombreamento na transição Cerrado-Amazônia. **Scientia Plena**, v. 16, n. 5, 2020.

CAPITANI, L.C.; ROVEDDER, A.P.M.; SILVA JÚNIOR, J.C.C. da.; PECATTI, A. Pollen Viability and Autogamy Fitness in *Bauhinia forficata* Link (Fabaceae). **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 3, p. e20160433, 2018.

CARA, Á.L.; DE ANGELIS, T.; BARROS, L.S.; CARMINATTO, A.A.; MAGENTA, M.A. G. Germinação de sementes de *Handroanthus chrysotrichus* (Mart. ex DC.) Mattos (ipê-amarelo) em água clorada e extrato aquoso de camomila e alecrim. **Anais do Encontro Nacional de Pós-graduação**, v.4, n.1, p.212-217, 2020.

CARVALHO, P.E.R. Pata-de-vaca. *Bauhinia forficata*. In: CARVALHO, P.E.R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas. v.1, p.711-716, 2003.

CECHINEL-ZANCHETT, C.C.; SILVA, R.; ADRIELLI, T.; SIEBERT, D.; MICKE, G.; VITALI, L.; CECHINEL FILHO, V.; ANDRADE, S.; SOUZA, P. de. *Bauhinia forficata* link, a Brazilian medicinal plant traditionally used to treat cardiovascular disorders, exerts endothelium-dependent and independent vasorelaxation in thoracic aorta of normotensive and hypertensive rats. **Journal of Ethnopharmacology**. v.243, p. 112118, 2019.

CHAVES, P.M.D.S.; SILVA, J.R.; BRAGA, M.O; MARQUES, N.S.; FREITAS, A.D.D. Qualidade fisiológica de sementes e crescimento inicial de mudas de *Handroanthus impetiginosus* sob diferentes sombreamentos e substratos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.13, n.1, p.22-26, 2018.

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. p.289-302, 1999.

DE MARCO, R.; MARTINS, C.R.; HERTER, F.G.; CROSA, C.F.R.; NAVA, G.A. Ciclo de desenvolvimento da nogueira-pecã - Escala fenológica. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.20, n.4, p. 260-270, 2021.

EVARISTO, A.D.P.; DO CARMO, C.C.A.; SANTANA, F.A.; ARÊDES, L.C.; DIAS, J.R.M. NPK, limestone and agricultural gypsum in the production of seedlings of *Ochroma pyramidale*. **Advances in Forestry Science**, v.7, n.4, p.1189-1195, 2020.

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.

FAGUNDES, F.F.A.; MARTINS, F.B.; DA SILVA REIS, F.Y.; DA COSTA, H.F. Predicting temperature ranges for the initial development of two native Brazilian tree species using multiple sowing dates. **Forest Ecology and Management**, v.562, p.121912, 2024.

FAGUNDES, F.F.A.; REIS, F.Y.S.; MARTINS, F.B. A model for predicting the initial development of two native forest species under current and future climates. **Environmental and Experimental Botany**, v.192, p.104-662, 2021.

FERREIRA, B.H.S.; FREITAS, T.G.; ARAKAKI, L.M.; COVRE, W.S.; DAMASCENO-JUNIOR, G.A.; GALETTO, L.; SIGRIST, M.R. Vegetative and reproductive phenology in seasonal climate vegetation: phenological complementarity between woody and herbaceous plants in the Brazilian Chaco. **Flora**, v. 316, p. 152520, 2024.

FERREIRA, M.C.; MARTINS, F.B.; FLORENCIO, G.W.L. 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.; 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, 2019b.

FERREIRA, M.C., Limiares térmicos do desenvolvimento inicial de espécies florestais nativas brasileiras. 2024, no prelo (artigo sendo confeccionado).

FREIRE, J.A.; RODRIGUES, G.C.; TOM, 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, 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, 2017a.

FREITAS, C.H.; MARTINS, F.B. Thermal requirements and photoperiod influence in the leaf development of two forest species. **Floresta e Ambiente**, v.26, n.4, p.e20190013, 2019.

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.

IBGE. **Biomas** [2019]. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/estudos-ambientais/15842biomas.html. Acesso em: 13 de abr. de 2024.

KEISLING, T. C. Calculation of the length of the day. **Agronomy Journal**, Madison, v.74, p.758-759, 1982.

LACERDA, V.O.; MAPELI, A.M. Efeitos da sazonalidade sobre a fenologia e a fisiologia de *Parkia platycephala* Benth (Fabaceae, Caesalpinioideae) em área de Cerrado. **Ciência Florestal**, v. 31, n. 3, p. 1344-1363, 2021.

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.

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.33, n.1, p.1-12, 2022a.

MARTINS, F.B.; FERREIRA, M.C.; FLORÊNCIO, G.W.L. Agrometeorological models for predicting seedlings development of two native forest species. **Scientia Agricola**, v.79, n.4, p.e20200192, 2022b.

MARTINS, F.B.; FERREIRA, M.C.; XAVIER, R.G.; RIBEIRO, G.T.S.; FAGUNDES, F.F.A.; REIS, F.Y.S., DA COSTA, H.F.; BORGES, B.O. Phenological description and thermal time requirements for the seedling phase of three Brazilian native forest species. **Annals of Applied Biology**, v.184, n.2, p.259–274, 2024.

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 modelos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n.4, p.505-514, 2014.

MARTINS, F.B.; REIS, F.Y.S.; SILVA, L.V.; FAGUNDES, F.F.A., Desenvolvimento vegetativo de *Caesalpinea ferrea* e *Anadenanthera macrocarpa* II - Métodos de graus-dia e influência do fotoperíodo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 2022c.

MAURYA, J.P.; BHALERAO, R.P. Photoperiod- and temperature-mediated control of growth cessation and dormancy in trees: a molecular perspective. **Annals of Botany**. v.120,n.3,p.351-360, 2017.

OLIVEIRA JUNIOR, J.C.; RODRIGUES, M.C. dos S.; OLIVEIRA, E.; SOUZA, F.M.L. de; BEM, E.A.D. Enraizamento de *Handroanthus chrysotrichus* (mart. Ex dc.) Via miniestaquia sob diferentes dosagens do extrato de *Ccyperus rotundus*. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.12, p. 102703–102713, 2020.

PECCATI, A.; ROVEDDER, A.P.M.; STEFFEN, G.P.K.; MALDANER, J.; CAMARGO, B.; DALCUL, L.P.; NEUENSCHWANDER, F.; HUMMEL, R.B.; CAPITANI, L.C. Insumos biológicos na promoção do crescimento de mudas de *Bauhinia forficata* Link. **Ciência Florestal**, v.30, n.2, p. 367–379, 2020.

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

PRIMACK, R.B.; LAUBE, J.; GALLINAT, A.S.; MENZEL, A. From observations to experiments in phenology research: investigating climate change impacts on trees and shrubs using dormant twigs. **Annals of Botany**, v. 116, n. 6, p. 889-897, 2015.

RAWAL, D.S.; KASEL, S.; KEATLEY, M.R.; NITSCHKE, C.R. Climatic and photoperiodic effects on flowering phenology of select eucalyptus from south-eastern Australia. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 214–215, p. 231–242, 2015.

REYES-GONZÁLEZ, E.R.; GOMEZ-MENDOZA, L.; BARRADAS, V.L.; TERÁN-CUEVAS, A.R. Cross-scale phenological monitoring in forest ecosystems: A content-analysis-based review. **International Journal of Biometeorology**, v.65, p.2215–2227, 2021.

RIBEIRO, J.E. DA S.; COÊLHO, E. DOS S.; SOUZA, J. T. A.; MELO, M. F.; DIAS, T. J. Climatic Variation on Gas Exchange and Chlorophyll a Fluorescence in *Tabebuia roseoalba* and *Handroanthus heptaphyllus* (Bignoniaceae). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 65, p. e22210338, 2022.

ROSA, H.T.; WALTER, L.C.; STRECK, N.A.; ALBERTO, C.M. Métodos de soma térmica e datas de semeadura na determinação de filocrono de cultivares de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.11, p.1374-1382, 2009.

ROVERI NETO, A.; PAULA, R.C. DE. Variabilidade entre árvores matrizes de *Ceiba speciosa* St. Hil para características de frutos e sementes. **Revista Ciência Agronômica**, v.48, n.2, p.318–327, abr. 2017.

SALVI, L.C.; BERSCH, B.; REMPEL, C.; STROHSCHOEN, A.A.G. Percepção de indivíduos com diabetes mellitus sobre a utilização de plantas medicinais hipoglicemiantes. **Revista Contexto e Saúde**, v.16, n.30, p.55–63, 2016.

SANTANA, A.S.; GIACOBBO, C.L.; DO PRADO, J.; UBERTI, A.; ALBERTO, C.M. Fenologia e qualidade de frutos de acessos de *Physalis* spp. **Agrarian**, v.13, n.47, p.1-8, 2020.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; ARAÚJO FILHO, J.C.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T.J.F.

Sistema Brasileiro de classificação de solos. **Revista e Ampliada Embrapa**, Brasília. 5ed, 2018. Disponível em: https://www.agroapi.cnptia.embrapa.br/portal/assets/docs/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf.

SCHULZE, M.; GROGAN, J.; UHL, C.; LENTINI, M.; VIDAL, E. Evaluating ipê (*Tabebuia*, Bignoniaceae) logging in Amazonia: sustainable management or catalyst for forest degradation?. **Biological Conservation**, v.141, n.8, p.2071-2085, 2008.

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, A.C.; DA. SILVA, M.P. P. DA.; ZAMITH, R.; GALETTI, G.; PIÑA-RODRIGUES, F.C.M. Osmotic treatment, growth regulator and rooter in *Tabebuia roseoalba* (RIDL.) Sandwith seeds for direct sowing. **Journal of Seed Science**, v.42, p. e202042022, 2020b.

SILVA, J.H.C.S.; AZEREDO, G.A. de; TARGINO, V.A.; COSTA, P.M. de A. Germination of *Ceiba speciosa* seeds collected in Altitude Brejo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.16, n.1, p.97–102, 2021.

SILVA, J.H., PEREIRA, T.M.; NASCIMENTO, J.W.; TANNURE, F.P.; DUARTE, M.M. Germinação e crescimento inicial de tomate italiano (*Lycopersicon esculentum* Mill.): efeitos do fotoperíodo. **Natureza Online**, v. 10, n. 4, p. 183-185, 2012.

SILVA, L.V.; REIS, F.Y.S.; MARTINS, F.B.; CASSEMIRO, J.M. Desenvolvimento vegetativo de *Cesalpinea ferrea* e *Anadenanthera macrocarpa*: I - estimativa das temperaturas cardinais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.35, n.1, p.23-33, 2020a.

SINGH, S.; DHAKAD, A.K.; DHILLON, G.P.S.; DHATT, K.K. Extended BBCH scale of Moringa oleifera Lam. and its implications for growing in Urban Food Forests Trees. **Forests and People**, v.5, p.100107, 2021.

SOARES, C.R.B.; ALEXANDRE, D.R.; BERGAMIN, A.C.; VOLLBRECHT, L.T.; ZANCHETTA, M. L.; SANTOS, L. L. Crescimento inicial de mudas de *Ceiba speciosa* (a. st.-hill.) ravenna em respostas à adubação nitrogenada. **Biodiversidade**, v.20, n.3, 2021.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. **Artmed Editora**, 2017.

VASCONCELLOS, T.; FILHO, M.; CALLADO, C. Dendrochronology and dendroclimatology of *Ceiba speciosa* (A. St.-Hil.) Ravenna (Malvaceae) exposed to urban pollution in Rio de Janeiro city, Brazil. **Dendrochronologia**. v.53, p.104-113, 2019.

VAZ, A.M.S.F. e SANTOS, A.C.B. *Bauhinia* **in Flora do Brasil** [2020]. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: http://floradobrasil2020.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB82666. Acesso em: 11 abr. 2024.

XIMENEZ, E.S.O. C.; SILVA, A.C. DA; SOUZA, A.P. de; SILVA, K.N.C.; ARAGÃO, W. F. D. X.; NOGUEIRA, H. Efeitos de retardantes de fogo sobre a emergência e crescimento inicial

de *Handroanthus ochraceus* (cham.) Mattos e *Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith. **Ciência Florestal**, v.31, n.1, p.367–392, 2021.