

DURAÇÃO DA FASE DE MUDAS EM EUCALIPTO EM CENÁRIOS DE AUMENTO DE TEMPERATURA

Daniele Barbosa da Costa¹, Nereu Augusto Streck²

1. Graduanda em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Bolsista do CNPq, Av. Roraima, 1000, CEP 97015-900, Santa Maria (RS). [danielecosta_ufsm@yahoo.com.br](mailto:danielecosta.ufsm@yahoo.com.br)

2. Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor Associado I do Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Av. Roraima, 1000, Campus Universitário, Camobi, 97105-900, Santa Maria (RS). nstreck1@smail.ufsm.br

Apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 18 a 21 de Julho de 2011
– SESC Centro de Turismo de Guarapari, Guarapari - ES.

RESUMO: A mudança climática é um tema atual em debates científicos e de interesse na área florestal, porém estudos nessa área são escassos. O objetivo deste trabalho foi simular a duração da fase de mudas de duas espécies de eucalipto (*Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*) em cenários de aumento de temperatura do ar em Santa Maria, considerando várias datas de emergência. A fase de mudas foi considerada da emergência das plântulas até o aparecimento da 25^a folha na haste principal. A taxa de aparecimento de folhas diária (TAF) foi estimada através de um modelo multiplicativo com uma função de resposta não linear da TAF à temperatura média do ar. Foram considerados doze datas de emergência (dia 15 de cada mês do ano) e seis cenários climáticos (atual, +1°C, +2°C, +3°C, +4°C, +5°C). Em cada um dos anos dos cenários climáticos e em cada data de emergência, o modelo foi rodado e contabilizado o número de dias da emergência até completar a fase de mudas. A análise estatística avaliou a variável duração da fase de mudas. Os resultados indicaram diminuição na duração da fase de mudas em cenários climáticos mais quentes nas emergências ocorridas de março a setembro, aumento na duração nas emergências ocorridas de outubro a fevereiro.

Palavras-chave: aquecimento global; silvicultura; desenvolvimento vegetal.

DURATION OF PHASE IN EUCALYPTUS SEEDLINGS IN TEMPERATURE INCREASE SCENARIOS

ABSTRACT: Climate change is currently part of the agenda in scientific debates and this topic is of interest in forest sciences, but studies of vulnerability of cultivated forest species to climate change are scarce. The objective of this study was to simulate the duration of the seedling phase in two eucalyptus species (*Eucalyptus saligna* and *Eucalyptus grandis*) in elevated temperature scenarios at Santa Maria, RS, Brazil, considering several emergence dates. Seedling phase was assumed from emergence to the appearance of the 25th leaf on the main stem. Leaf appearance rate (LAR) was estimated with a multiplicative model with a non-linear response function of LAR to daily mean air temperature. Twelve emergence dates (day 15 of each month) and six climate scenarios (current, +1°C, +2°C, +3°C, +4°C, and +5°C) were used. Statistical analysis consisted of analysis of variance for the variable duration of the seedling phase, assuming a three-factor experiment in a completely randomized design. Results indicated a reduction of the seedling phase duration in the warm climate scenarios for emergences from March to September, and an increase in the duration for emergences from October to February.

Key words: global warming; silviculture; plant development.

INTRODUÇÃO: As florestas naturais e plantadas são um importante patrimônio do Brasil, com benefício social, ambiental e econômico ao País. Em 2009 a área total de florestas plantadas de eucalipto e pinus no Brasil atingiram 6.310.450 ha, apresentando um crescimento de 2,5 % em relação ao total de 2008, considerado modesto tendo em vista o crescimento médio anual de 5,5 % no período de 2005 a 2008 (ABRAF, 2009).

Um tema atual e de interesse na área florestal é a mudança climática e o aquecimento global. Apesar de vigorosos debates sobre as causas (se naturais e/ou antrópicas), há um crescente consenso na comunidade científica de que o clima global mudou no passado, está passando por mudança no presente e deverá mudar no futuro (MANN et al., 1998, 1999; IPCC, 2007; STRECK et al., 2010). Cenários de mudanças climáticas associados a modelos podem ser úteis para identificar os riscos de conseqüências negativas na produtividade futura de florestas plantadas. O efeito de cenários de mudança climática sobre ecossistemas vegetais tem sido mais estudado em ecossistemas agrícolas (STRECK et al., 2010), pois são espécies anuais e de ciclo curto. Devido ao ciclo longo, os estudos com ecossistemas florestais são escassos e se concentra em ecossistemas florestais naturais como a Floresta Amazônica (SAMPAIO et al., 2007; SALAZAR et al., 2007; LAPOLA et al., 2009; SALAZAR e NOBRE, 2009). Assim, importante e mais desafiador é entender como a mudança climática pode afetar o desempenho de mudas ao decorrer do ano, e mesmo de ecossistemas florestais exóticos, o que constitui a motivação deste estudo.

O objetivo deste trabalho foi simular a duração da fase de mudas de duas espécies de eucalipto (*Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*) em cenários de aumento de temperatura do ar em Santa Maria, considerando várias datas de emergência.

MATERIAL E MÉTODOS: Este experimento numérico foi realizado para Santa Maria, RS (latitude: 29°43'S, longitude: 53°43'W e altitude: 95 m). Este local possui clima Cfa (Subtropical com verões quentes e sem estação seca definida) pela classificação climática de Koppen, com temperaturas normais variando de 26°C em janeiro e 19,9°C em julho e precipitação anual de 1686 mm (KUINCHTNER e BURIOL, 2001).

A emissão de folhas foi calculada com o modelo de aparecimento de folhas de Wang e Engel (WE) (WANG e ENGEL, 1998). Este modelo foi selecionado por considerar o efeito multiplicativo e não linear da temperatura do ar sobre a emissão de folhas. A forma geral do modelo de WE é:

$$TAF = TAF_{\text{máx}} \times f(T) \quad (1)$$

Em que TAF é a taxa diária de aparecimento de folhas (folhas dia⁻¹), TAF_{máx} é a taxa máxima diária de aparecimento de folhas (folhas dia⁻¹) e f(T) é a função de resposta da taxa de aparecimento de folhas à temperatura do ar. A f(T) é uma função beta definida como:

$$f(T) = [2(T_m - T_b)^\alpha (T_{\text{ot}} - T_b) - (T_m - T_b)^{2\alpha}] / (T_{\text{ot}} - T_b)^{2\alpha} \quad (2)$$

Quando $T_b < T_m < T_{\text{máx}}$, e $f(T) = 0$ quando $T_m < T_b$ ou $T_m > T_{\text{máx}}$ em que T_b , T_{ot} e $T_{\text{máx}}$ são as temperaturas cardinais, mínima, ótima e máxima, de cada espécie (°C) e T_m é a temperatura média diária do ar (°C). O coeficiente α é calculado por:

$$\alpha = \ln(2) / \ln[(T_{\text{máx}} - T_b) / (T_{\text{ot}} - T_b)] \quad (3)$$

Em que \ln é o logaritmo natural. Para calcular o número de folhas (NF) no modelo de WE, somam-se os valores diários de TAF, ou seja, $NF = \sum TAF$, a partir da data de emergência (WANG e ENGEL, 1998; STRECK et al., 2003).

Os coeficientes taxa de aparecimento de folhas máxima (TAF_{\max}), temperatura base ou mínima da espécie (T_b), temperatura ótima da espécie (T_{ot}) e temperatura máxima da espécie (T_{\max}) foram 0,3180 folhas dias⁻¹, 8°C, 25°C e 35°C para *Eucalyptus saligna*, e 0,4107 folhas dia⁻¹, 10°C, 27°C e 36°C para *Eucalyptus grandis* (MARTINS et al., 2008).

Foram consideradas doze datas de emergência, uma em cada mês do ano 15/01, 15/02, 15/03, 15/04, 15/05, 15/06, 15/07, 15/08, 15/09, 15/10, 15/11 e 15/12. O modelo foi rodado em cem anos de cenários sintéticos: atual (sem mudança) e com aumentos de +1°C, +2°C, +3°C, +4°C e +5°C na temperatura média diária do ar, totalizando seis cenários climáticos, os quais representam a faixa de projeções do IPCC (2007) em vários cenários até o final deste século. O modelo foi rodado em cada um dos cem anos de cada cenário climático iniciando no dia da emergência e terminando no dia que a 25ª folha da haste principal apareceu, período considerado como fase de muda (MARTINS et al., 2008). A variável analisada foi a duração, em dias, da fase de muda. Na análise estatística considerou-se um experimento trifatorial (Fator A= Cenários climáticos, com seis níveis, Fator B= datas de emergência com doze níveis, e Fator C= espécies de eucalipto, com dois níveis), no delineamento inteiramente casualizado, sendo os anos de cada cenário (cem anos) como repetição. Na Análise de Variância, consideraram-se os fatores principais, as interações duplas e a interação tripla, em nível de significância de 5%. As médias dos tratamentos (níveis em cada fator principal) foram testadas com o teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Houve interação dupla e tripla entre os fatores principais e a interação tripla (cenários climáticos x data de emergência x espécies) foi significativa. Assim, a análise estatística foi desdobrada para analisar cada fator dentro dos demais fatores (Figura 1). Entre as espécies, *Eucalyptus saligna* teve maior duração da fase de mudas em todas as datas de emergência e em todos cenários, indicando maior precocidade em *Eucalyptus grandis*. A maior precocidade em *Eucalyptus grandis* é resultado da maior TAF_{\max} e maiores temperaturas cardinais nesta espécie comparada a *Eucalyptus saligna* (Equações 1, 2 e 3). Entre as datas de emergência, no cenário atual a fase de mudas é mais rápida nas emergências durante os meses de verão (dezembro, janeiro e fevereiro) (Figura 1A, Figura 1B e Figura 1L) e mais lenta nos meses de abril, maio e junho (Figuras 1D a 1F). Estes resultados são coerentes com o que se observa a campo neste local, pois nos meses de inverno as baixas temperaturas retardam o crescimento e desenvolvimento de mudas de eucalipto.

Entre os cenários climáticos, o aumento de temperatura causou uma redução na duração da fase de muda quando a emergência ocorreu entre os meses de março a setembro (Figuras 1C a 1I), ou seja, quando a maior parte da fase de muda aconteceu durante os meses mais frios. Já nas emergências ocorridas de outubro a fevereiro, o aumento de temperatura causou aumento na duração da fase de mudas, especialmente de outubro a janeiro (Figuras 1A, 1B, 1J, 1K, E 1L), ou seja, quando a fase de muda aconteceu nos meses mais quentes do ano. O aumento na duração da fase de mudas em cenários mais quentes e nos meses mais quentes do ano ocorreu devido ao aumento na frequência de valores de temperatura média do ar superior à temperatura ótima de aparecimento de folhas das duas espécies de eucalipto. Em temperaturas supra-ótimas, a $f(T)$ no modelo de WE (equação 2 e 3) é menor que um e assim a TAF é menor que a TAF_{\max} . A maior duração da fase de mudas em cenários mais quentes durante os meses mais quentes do ano tem implicações fisiológicas e de manejo na produção de mudas de eucalipto. Os resultados deste estudo indicam que, se por um lado pode-se diminuir o tempo de produção de mudas e assim aumentar a produção de mudas ao longo do ano em

espécies subtropicais, por outro lado indicam alta complexidade da resposta de espécies florestais e elevada vulnerabilidade destes ecossistemas à mudança climática, similarmente ao que acontece com espécies agrícolas (IPCC, 2007) e com florestas naturais como a Amazônia (SAMPAIO et al., 2007; SALAZAR et al., 2007). Portanto, o aumento da temperatura até o final deste século, como projetado pelo IPCC (2007), pode trazer benefícios, mas também desvantagens podem vir acompanhadas com esta mudança, especialmente para a produção de mudas durante os meses de verão. Tais benefícios e desvantagens devem ser considerados em políticas de mitigação dos efeitos do aquecimento global nos sistemas e produção silviculturais.

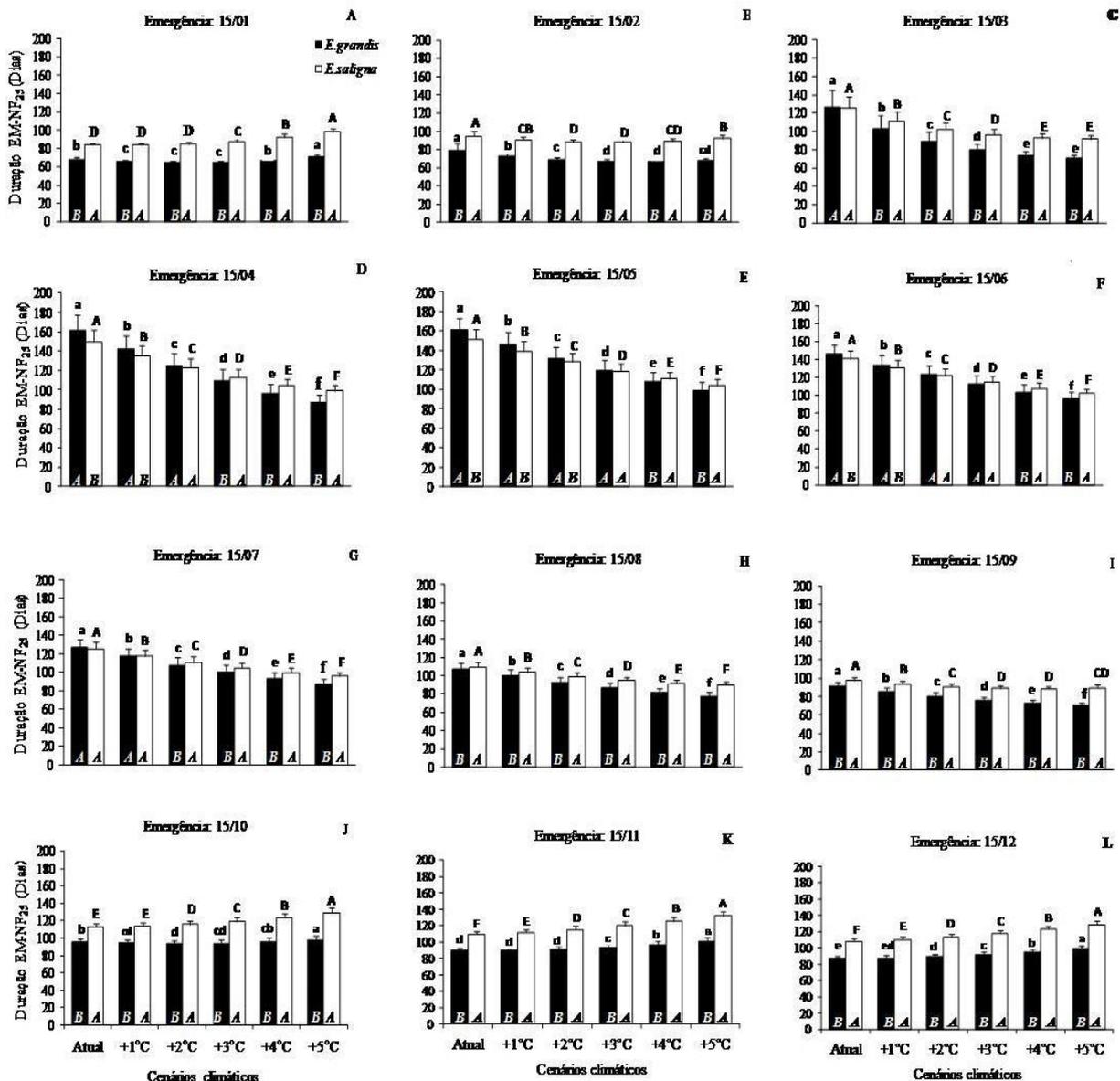


Figura 1: Duração da fase de muda, da emergência para o aparecimento da folha 25 (EM-LN₂₅) na haste principal de duas espécies de eucalipto (*Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*) simulada em cenários climáticos em várias datas de emergência (indicado dentro de cada painel). As barras são a média de 100 anos de simulação. Letras minúsculas e maiúsculas no topo das barras dentro de cada painel comparam cenários climáticos para *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, respectivamente, e letras maiúsculas em itálico na parte superior dentro das barras comparam as duas espécies de eucalipto dentro de cada cenário. Barras ligadas pela mesma letra não diferem de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. As barras de erro são um desvio-padrão da média. Santa Maria, RS.

CONCLUSÃO: Se a temperatura aumentar no futuro, a produção de mudas de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis* será afetada no sentido de diminuir o tempo das mudas no viveiro ao longo do ano. Os benefícios e desvantagens destes resultados devem ser considerados em políticas de mitigação dos efeitos do aquecimento global na área de silvicultura.

REFERÊNCIAS:

- ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF:** Ano base 2009. Brasília, 140 p., 2010. Disponível em: <(<http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-ABRAF-2010-BR.pdf>)> Acesso em: 10 de agosto de 2010.
- IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change]. **Climate change 2007: The physical Science Basis – Contribution of Working Group I to the Fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** United Kingdom and New York: Cambridge University, 2007. 989p.
- KUINCHTNER, A.; BURIOL, G.A. Clima do Estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. **Disciplinarum Scientia**, v.2, p.171-182, 2001.
- LAPOLA, D.M.; OYAMA, M.D.; NOBRE, C.A. Exploring the range of climate biome projections for tropical South America : The role of CO2 fertilization and seasonality. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 23, p. GB3003-16, 2009.
- McINTYRE, S.; McKITRICK, R. The M&M critique of the MBH98 Northern Hemisphere climate index: update and implications. **Energy & Environment**, v. 16, n.1, p. 69-100, 2005.
- MANN, M. E. et al. Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries. **Nature**, v. 392, p. 779-787, 1998.
- MANN, M. E. et al. Northern Hemisphere temperatures during the past millennium: Inferences, uncertainties, and limitations. **Geophysical Research Letters**, v. 26, n.6, p. 759-762, 1999.
- MARTINS, F.B. **Desenvolvimento e estresse hídrico em mudas de *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) e *Eucalyptus saligna* (Smith).**2007.57p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- SALAZAR, L.F.; NOBRE, C.A. Climate change and thresholds of biome shifts in Amazonia. **Geophysical Research Letters**, v. 37, p. L17706, 2010.
- SALAZAR, L.F.; NOBRE, C.A. ; OYAMA, M.D. Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. **Geophysical Research Letters**, v. 34, p. 1-6, 2007.
- SAMPAIO, G.; NOBRE, C.A.; COSTA, M.H.; SATYAMURTY, P. ; SOARES-FILHO, B.S.; CARDOSO, M.F. Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. **Geophysical Research Letters**, v. 34, p. 1-7, 2007.
- ZANON, A.J., STRECK, N.A.; UHLMANN, L.O., LANGNER, J.A.; LAGO, I.; HANAUER, J.G.; BISOGNIN, D.A. Impacto de cenários de mudança climática sobre o desenvolvimento foliar na cultura da batata. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16, 2010. Belém. **Anais...** Belém: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2010. 1 CD-ROM.
- WANG, E.;ENGEL, T.Simulation of phenological development of wheat crops. **Agricultural Systems**, v.58, p.1-24, 1998.