

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

SIMULATING THE DURATION OF THE SEEDLING PHASE IN EUCALYPTUS UNDER ELEVATED TEMPERATURE SCENARIOS

Daniele Barbosa da Costa¹ Nereu Augusto Streck²

RESUMO

A mudança climática é um tema atual em debates científicos e de interesse na área florestal, porém, estudos da vulnerabilidade de espécies florestais cultivadas às mudanças climáticas 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-RS, considerando várias datas de emergência. A fase de mudas foi considerada da emergência das plântulas até o aparecimento da 25ª 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, com coeficientes para as espécies *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*. 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). Os cenários climáticos constituem-se séries sintéticas de cem anos de dados de temperatura mínima e máxima diária do ar. Em cada um dos anos dos cenários climáticos e em cada data de emergência, o modelo de TAF para cada espécie foi rodado e contabilizado o número de dias da emergência até o aparecimento da 25ª folha. A análise estatística constou de análise de variância para a variável duração da fase de mudas, considerando um experimento tri-fatorial 6 x 12 x 2 (cenários climáticos x datas de emergência x espécies), em delineamento inteiramente casualizado, sendo cada ano da simulação uma repetição (n=100). Os resultados indicaram uma diminuição na duração da fase de mudas em cenários climáticos mais quentes nas emergências ocorridas de março a setembro, e um aumento na duração nas emergências de outubro a fevereiro e, ao final de um ano, o aumento de temperatura tende a diminuir o tempo de mudas no viveiro e assim aumentar a produção anual de mudas de eucalipto. Benefícios e desvantagens destes resultados devem ser considerados em políticas de mitigação dos efeitos do aquecimento global na silvicultura.

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

ABSTRACT

Climate change is currently part of the agenda in scientific debates and of interest in forest sciences, but studies of vulnerability of cultivated forest species to climate change are rare. 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. The seedling phase was considered from the emergence of the seedlings until the appearance of the 25th leaf on the main stem. Leaf appearance rate (LAR) was estimated using a multiplicative model with a non-linear response function of LAR to daily mean air temperature, with coefficients for the species *Eucalyptus saligna* and *Eucalyptus grandis*. Twelve emergence dates (day 15 of each month of the year) and six climate scenarios (current, +1°C, +2°C, +3°C, +4°C, and +5°C) were considered. The Climate scenarios are made up of synthetic series with one hundred years of daily minimum and maximum air temperature synthetic series. The LAR model was run in each year of the climate scenarios for each emergence date and species, and the number of days from emergence to the appearance of the 25th leaf was counted (seedling phase

1 Engenheira Florestal, Rua Presidente Getúlio Vargas, 67, Bairro Centro, CEP 95185-000, Carlos Barbosa (RS), Brasil. danielecosta_ufsm@yahoo.com.br

2 Engenheiro Agrônomo, PhD., Professor do Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS), Brasil. nstreck1@smail.ufsm.br

Recebido para publicação em 26/05/2011 e aceito em 4/07/2017

duration). Statistical analysis consisted of analysis of variance for the variable duration of the seedling phase, assuming a three-factor experiment (Factor A= six climates scenarios, Factor B= twelve emergence dates, Factor C= two species) in a completely randomized design, with each year of simulation as a replication. The results indicated a reduction of the seedling phase duration in the warm climate scenarios for emergences from March to September, and a increase in the duration for emergences from October to February and on an annual basis, the increase in temperature leads to a decrease in time of seedling in a nursery and thus increases the annual seedling production of *Eucalyptus*. However, low seedling vigor and disease related problems may increase, mainly during summer. Benefits and disadvantages of these results should be considered in policies for mitigating the effects of global warming in silviculture.

Keywords: global warming; silviculture; plant development; climate risk.

INTRODUÇÃO

As florestas, naturais e plantadas, são um importante patrimônio do Brasil, com inúmeros benefícios sociais, ambientais e econômicos ao país. Na falta de programas de manejo de florestas nativas, as florestas plantadas visam à garantia do suprimento de matéria-prima para as necessidades energéticas, a fabricação de celulose e papel, a manufatura de painéis, a obtenção de produtos serrados e a produção de madeira roliça para os mais diversos fins, entre outros produtos florestais (EMBRAPA, 2014). Em 2012, a área total de florestas de *Eucalyptus* e *Pinus* no Brasil atingiu cerca de 6,66 milhões de ha, sendo que, destes o *Eucalyptus* representa cerca de 76,6% e *Pinus* 23,4% da área total (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS, 2013).

Uma das espécies florestais mais cultivadas no Brasil é o eucalipto em razão de suas características como rápido crescimento, elevado rendimento econômico, facilidade de manejo, diversidade de espécies e atendimento a vários propósitos industriais. Na região sul do Brasil, a expansão do setor florestal para a indústria do papel e celulose tem se concentrado nas espécies exóticas de eucalipto e de *Pinus*, sendo o eucalipto a segunda espécie florestal mais cultivada. O Rio Grande do Sul é um dos maiores produtores de eucalipto da Região Sul do Brasil e o quinto maior produtor do País, com uma área plantada de 284.701 mil ha em 2012 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS, 2013).

O desempenho de um povoamento florestal depende, entre muitos fatores, da qualidade das mudas (vigor e estado sanitário). Cenários de mudanças climáticas associados a modelos podem ser úteis para conhecer os riscos de consequências negativas na produtividade futura de florestas plantadas, podendo-se, assim, mitigar os impactos das mudanças climáticas e analisar estratégias de adaptação. Assim, a modelagem é uma ferramenta que ajuda a identificar e sintetizar conhecimentos, projetar e prever o comportamento diante de diversas condições e ainda avaliar os riscos da variação e mudanças climáticas na produção e rentabilidade florestal (BAESSO; RIBEIRO; SILVA, 2010).

O desenvolvimento e o crescimento vegetal são afetados por fatores bióticos e abióticos. Entre os fatores abióticos, a temperatura do ar é o fator que mais influencia o desenvolvimento das plantas (HODGES, 1991) incluindo o eucalipto (SCURFIELD, 1961; MARTINS; STRECK, 2007). O número de folhas acumuladas na haste principal (NF) é a principal variável que caracteriza o desenvolvimento vegetativo das culturas (HODGES, 1991) e está ligada à evolução da área foliar da planta, a qual determina a interceptação da radiação solar usada na fotossíntese do dossel vegetativo. Portanto, a estimativa do NF é de interesse em estudos ecofisiológicos das culturas agrícolas e florestais.

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; INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007; STRECK et al., 2010). As mudanças na temperatura global durante o último milênio estão associadas com variabilidade natural decorrentes de forçantes internas, como vulcanismo, e forçantes externas como radiação solar devido às alterações na atividade solar (MANN et al., 1998; 1999; MCINTYRE; MCKITRICK, 2005). Já as alterações na temperatura global no último século estão sendo

atribuídas ao aumento da concentração de gases de efeito estufa da atmosfera, principalmente do CO₂, a partir de 1950, de causas antrópicas (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007). Estas alterações de elementos climáticos em nível global nem sempre são verificadas em nível regional e local, mas no Rio Grande do Sul, há evidências de que as temperaturas mínimas e máximas do ar têm aumentado no último século em alguns locais e épocas do ano como em Pelotas (STEINMETZ et al., 2005), no Planalto Meridional Rio-grandense (KUINCHTNER; SIMÕES; BURIOL, 2007) e em Santa Maria (STRECK et al., 2011) e na média de várias estações meteorológicas do estado (MARENGO; CAMARGO, 2008; SANSIGOLO; KAYANO, 2010).

O efeito de cenários de mudança climática sobre ecossistemas vegetais tem sido bastante estudado em ecossistemas agrícolas (STRECK; ALBERTO, 2006; FAGUNDES et al., 2010; WALTER; ROSA; STRECK, 2010), pois são espécies anuais e de ciclo curto, onde, os resultados desses estudos são obtidos em um curto espaço de tempo e já se encontra na literatura, um amplo banco de dados que pode ser usado como apoio nas novas pesquisas a serem realizadas. Devido ao ciclo longo, os estudos com ecossistemas florestais são escassos (PERES-GARCIA et al., 2002; BAESSO; RIBEIRO; SILVA, 2010) e, no Brasil, são mais frequentes em ecossistemas florestais naturais como a Floresta Amazônica (SALAZAR; NOBRE; OYAMA, 2007; SAMPAIO et al., 2007; LAPOLA; OYAMA; NOBRE, 2009; SALAZAR; NOBRE, 2010). Teoricamente, a vulnerabilidade de ecossistemas com espécies florestais exóticas às mudanças no padrão climático pode ser maior que de espécies nativas, já que as últimas estão mais adaptadas à variabilidade climática do local. Assim, além das condições meteorológicas no local de cultivo, mudanças no padrão climático em meso e macroescala também podem afetar o cultivo de eucalipto (BAESSO; RIBEIRO; SILVA, 2010), uma espécie fortemente influenciada pela temperatura e que tem mostrado um avanço significativo no setor florestal no estado do Rio Grande do Sul. A resposta de espécies florestais em cenários de mudança climática no Rio Grande do Sul ainda não foi estudada, o que constituiu a motivação para realizar este trabalho.

O objetivo neste trabalho que 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-RS, 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 sítio possui clima Cfa (Subtropical com verões quentes e sem estação seca definida) pela classificação climática de Köppen, com temperaturas normais variando de 26°C em janeiro a 19,9°C em julho e precipitação anual de 1686 mm (KUINCHTNER; BURIOL, 2001).

A emissão de folhas foi calculada com o modelo de aparecimento de folhas de Wang e Engel (WE) (WANG; 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:

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

Em que TAF é a taxa diária de aparecimento de folhas (folhas dia⁻¹), TAF_{max} 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:

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

Quando $T_b < T_m < T_{\text{máx}}$, e $f(T) = 0$ quando $T_m < T_b$ ou $T_m > T_{\text{máx}}$, sendo T_b , T_{Tot} e $T_{\text{máx}}$ 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, a partir da data de emergência (WANG; ENGEL, 1998; STRECK et al., 2003). O modelo de WE tem a vantagem de combinar os efeitos do ambiente sobre a TAF de forma multiplicativa, o que é realístico biologicamente, uma vez que as interações entre ambiente e o desenvolvimento vegetal são geralmente multiplicativas (STRECK et al., 2003).

Os coeficientes taxa de aparecimento de folhas máxima ($TAF_{\text{máx}}$), temperatura base ou mínima da espécie (T_b), temperatura ótima da espécie (T_{ot}) e temperatura máxima da espécie ($T_{\text{máx}}$) 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*, respectivamente (MARTINS; STRECK, 2007).

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. Estas datas de emergência foram selecionadas para se obter mudas desenvolvendo em diferentes condições de temperatura do ar, pois, neste local, por ser caracterizado pelo clima subtropical, existe variação anual de temperatura, e as quatro estações do ano (verão, outono, inverno e primavera) são bem definidas. Foram usados 100 anos dos seguintes cenários climáticos: 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 (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007) em vários cenários até o final deste século bem como a faixa de novos cenários que estão sendo desenvolvidos para compor a base física do Quinto Relatório do IPCC que está planejado ser publicado no primeiro semestre de 2014 (VAN VUUREN et al., 2008; MOSS et al., 2010). Estes cenários sintéticos contêm dados diários de temperatura mínima e máxima do ar, criados com o “LARS-WG Weather Generator” (SEMENOV et al., 1998) a partir de uma base de dados diários de temperatura mínima e máxima coletados na Estação Climatológica Principal do 8º Distrito de Meteorologia- Instituto Nacional de Meteorologia no período 1969-2003, e que foram usados anteriormente em outros estudos de mudança climática em Santa Maria-RS (STRECK; ALBERTO, 2006; FAGUNDES et al., 2010).

O modelo de WE (Equação 1) 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 surgiu, período considerado como fase de muda (MARTINS; STRECK, 2007). 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 (ANOVA), 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 distinguidas com o teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A ANOVA indicou interação entre os fatores principais e a interação tripla significativa (cenários climáticos x data de emergência x espécies). Assim, a análise estatística foi desdobrada para analisar cada fator dentro dos demais fatores (Figura 1).

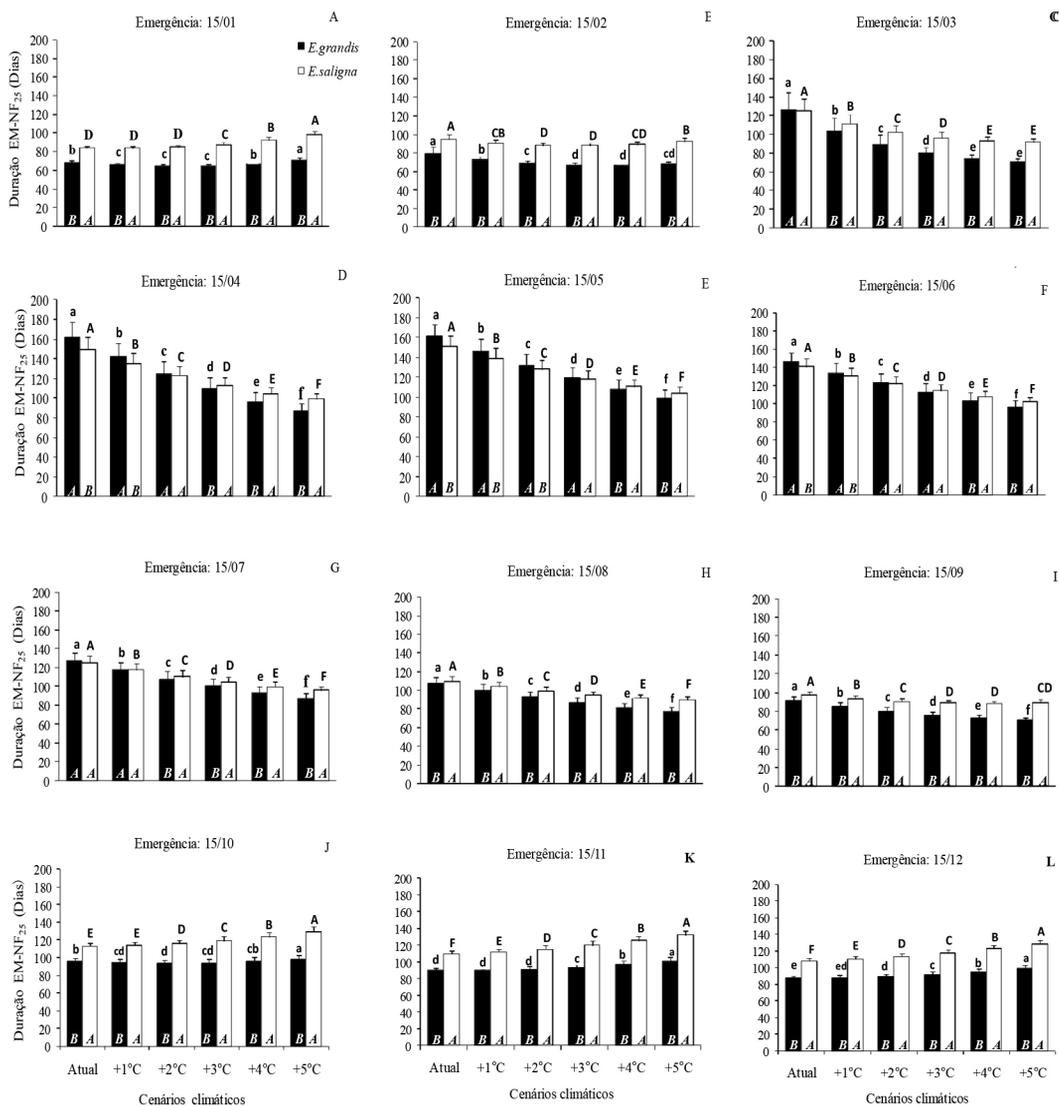


FIGURA 1: Simulação de duração da fase de plântula, da emergência para o aparecimento da folha 25 (EM-LN₂₅) na haste principal de duas espécies de eucalipto (*Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*) em cenários de clima (temperatura atual e elevado) em várias datas de emergência. As barras são a 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 inferior 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 é um desvio padrão da média. Santa Maria-RS.

FIGURE 1: Simulated duration of the seedling phase from emergence to the appearance of the 25th leaf (EM-LN₂₅) on the main stem of two *Eucalyptus* species (*Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus saligna*) in climate scenarios (current and elevated temperature) at several emergence dates. Bars are the mean of 100 years of simulation. Lower case letters and upper case letters on the top of bars within each panel compare climate scenarios for *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus saligna*, respectively, and italic upper case letters at the bottom inside the bars compare the two *Eucalyptus* species within each scenario. Bars linked by the same letter do not differ according to the Tukey Test at 5% probability. Error bars are one standard deviation of the mean. Santa Maria, RS.

Entre as espécies, *Eucalyptus saligna* teve maior duração da fase de mudas nas datas de emergência de 15/08 a 15/02 (Figuras 1A, 1B, 1H, 1I, 1J, 1K e 1L) em todos cenários, indicando maior precocidade em *Eucalyptus grandis* quando a emergência ocorre no final do inverno, primavera e verão. A maior precocidade em *Eucalyptus grandis* é resultado da maior TAF_{máx} e maiores temperaturas cardinais nesta

espécie comparada a *Eucalyptus saligna* (Equações 1, 2 e 3). Nas demais datas de emergência (15/03 a 15/07), *Eucalyptus saligna* teve maior duração da fase de mudas apenas nos cenários de temperatura elevada (+1°C a +5°C), sendo que nas emergências de maio e junho a maior duração foi apenas nos cenários +4°C e +5°C (Figuras 1E e 1F) e no cenário atual não houve diferença nas datas de 15/03 e 15/07 (Figuras 1C e 1G), indicando que a precocidade de *Eucalyptus grandis* não se verifica no inverno atual, mas se o aquecimento global se confirmar, poderá também ser mais precoce no inverno. Estes resultados são coerentes com o que se observa a campo neste local atualmente, 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 ocasionou uma redução intensa 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. Essa redução chegou a aproximadamente 70 dias e 50 dias para *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, respectivamente, do cenário atual para o cenário +5°C na data de emergência de 15/04 (Figura 1D). Já nas emergências ocorridas de outubro a fevereiro, o aumento de temperatura gerou um pequeno, mas significativo, 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, especialmente em *Eucalyptus saligna* que nas emergências de 15/10, 15/11 e 15/12 chegaram a aumentar aproximadamente 10 dias (Figuras 1J, 1K e 1L). Assim, no cômputo de um ano, o aumento de temperatura tende a diminuir o tempo de mudas no viveiro e elevar a produção anual de mudas de eucalipto, o que geraria o crescimento da produtividade para os viveiristas, já que a muda necessitaria um menor tempo em viveiro.

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, com mais impacto sobre *Eucalyptus saligna*, devido às suas menores temperaturas cardinais comparadas com *Eucalyptus grandis*. Em temperaturas supraótimas, a $f(T)$ no modelo de WE (equação 2 e 3) é menor que 1,0 e assim a TAF é menor que a $TAF_{máx}$. O efeito de temperaturas supraótimas no retardamento do desenvolvimento foliar em cenários de elevada temperatura também foram verificados na cultura da batata (ZANON et al., 2010).

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. Fisiologicamente, um maior tempo para completar a fase de mudas em altas temperaturas leva a maiores perdas por respiração de manutenção e por fotorrespiração do tecido vegetal, resultando em diminuição da fotossíntese líquida diária o que tem consequências negativas por reduzir o acúmulo de fitomassa e o crescimento das mudas, podendo produzir mudas de menor qualidade e vigor.

No manejo de sementeiras, para a redução das altas temperaturas pode-se usar e intensificar técnicas como o sombreamento e a irrigação por microaspersão. O sombreamento adicional, associado às altas temperaturas, no entanto, pode causar um desbalanço entre temperatura e radiação solar e levar ao estiolamento das mudas, o que também diminui sua qualidade.

O aumento na frequência das irrigações e no turno de rega pode propiciar o surgimento de patógenos responsáveis por doenças foliares e de podridões radiculares, fazendo com que haja a necessidade de utilização de fungicidas, o que elevaria o custo de produção das mudas além de ser uma prática de impacto ambiental negativo.

Os cenários climáticos descrevem como o futuro clima terrestre pode se mostrar em função das emissões de gases estufa. Apesar destes cenários não terem a pretensão de prever o futuro, já que as incertezas ainda são grandes, eles são uma ferramenta para se entender melhor as incertezas visando à definição de decisões que sejam robustas em uma ampla faixa de possibilidades futuras, bem como podem aumentar nosso entendimento a respeito das complexas interações nos ecossistemas terrestres (MOSS et al., 2010), incluindo os ecossistemas florestais (BAESSO; RIBEIRO; SILVA, 2010). Originalmente desenvolvidos e utilizados no setor militar e incorporados no setor de negócios nos anos 60, mostrando, até hoje, papel decisivo em estratégias de planejamento para tomadores de decisão que visam analisar as implicações dos investimentos e outras estratégias de decisão com consequências a longo prazo (BRADFIELD et al., 2005), os cenários agora foram estendidos a estudos dos impactos de possíveis climas futuros sobre ecossistemas terrestres, naturais e cultivados.

Os resultados deste estudo indicam que, se por um lado pode-se diminuir o tempo de produção de mudas e assim elevar a produção ao longo do ano em espécies subtropicais, por outro lado indicam alta complexidade da resposta de espécies florestais e alta vulnerabilidade destes ecossistemas às mudança climática, similarmente ao que acontece com espécies agrícolas (STRECK; ALBERTO, 2006; INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007; FAGUNDES et al., 2010) e com florestas naturais com a Amazônia (SALAZAR; NOBRE; OYAMA, 2007; SAMPAIO et al., 2007). Portanto, o aumento da temperatura até o final deste século, como projetado pelo IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2007), pode trazer benefícios, mas também desvantagens podem vir acompanhadas com esta mudança, especialmente para a produção de mudas durante os meses de verão em locais de clima subtropical, como demonstrado no presente estudo. Tais benefícios e desvantagens devem ser considerados em políticas de mitigação dos efeitos do aquecimento global nos sistemas e produção silviculturais.

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 de permanência das plantas no viveiro durante o inverno e assim aumentar a produção.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF 2013**: ano base 2012. Brasília: ABRAF, 2013. Disponível em: <<http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-ABRAF13-BR.pdf>>. Acesso em: 03 jul. 2016.
- BAESSO, R. C. E.; RIBEIRO, A.; SILVA, M. P. Impacto das mudanças climáticas na produtividade do eucalipto na região Norte do Espírito Santo e Sul da Bahia. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 2, p. 335-344, 2010.
- BRADFIELD, R. et al. The origins and evolution of scenario techniques in long range business planning. **Futures**, Guildford, v. 37, n. 8, p. 795-812, 2005.
- EMBRAPA. **Sistemas de Produção Embrapa**. Cultivo do Eucalipto. 4. ed. Brasília: EMBRAPA, 2014. Disponível em: <https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistema%2Fproducao%2F6_1galceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=7811&p_r_p_-996514994_topicoId=8509> Acesso em: 03 jul. 2016.
- FAGUNDES, J. D. et al. Produtividade simulada de tubérculos de batata em cenários de mudanças climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 4, p. 351-360, 2010.
- HODGES, T. F. **Predicting crop phenology**. Boca Raton: CRC, 1991. 233 p.
- 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; New York: Cambridge University, 2007. 989 p.
- KUINCHTNER, A.; BURIOL, G. A. Clima do Estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. **Disciplinarum Scientia. Série: Ciências Exatas**, Santa Maria, v. 2, n. 1, p. 171-182, 2001.
- KUINCHTNER, A.; SIMÕES, J. C.; BURIOL, G. A. Variabilidade da temperatura atmosférica superficial do Planalto Meridional-riograndense. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba, v. 15, n. 3, p. 232-240, 2007.
- 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**, Washington, v. 23, p. GB3003-16, 2009.
- MANN, M. E. et al. Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries. **Nature**, London, v. 392, p. 779-787, 1998.

- MANN, M. E. et al. Northern Hemisphere temperatures during the past millenium: inferences, uncertainties, and limitations. **Geophysical Research Letters**, Washington, v. 26, n. 6, p. 759-762, 1999.
- MARENGO, J. A.; CAMARGO, C. C. Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960–2002. **International Journal of Climatology**, Chichester, v. 28, p. 893-904, 2008.
- MARTINS, F. B.; STRECK, N. A. Aparecimento de folhas em mudas de eucalipto estimado por dois modelos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 8, p. 1091-1100, 2007.
- MCINTYRE, S.; MCKITRICK, R. The M&M critique of the MBH98 Northern Hemisphere climate index: update and implications. **Energy & Environment**, Brentwood, v. 16, n. 1, p. 69-100, 2005.
- MOSS, R. H. et al. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. **Nature**, London, v. 463, p. 747-755, 2010.
- PEREZ-GARCIA, J. et al. Impacts of climate change on the global forest sector. **Climatic Change**, New York, v. 54, n. 4, p. 439-461, 2002.
- SALAZAR, L. F.; NOBRE, C. A. Climate change and thresholds of biome shifts in Amazonia. **Geophysical Research Letters**, Washington, 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**, Washington, v. 34, p. L09708, 2007.
- SAMPAIO, G. et al. Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. **Geophysical Research Letters**, Washington, v. 34, p. L17709, 2007.
- SANSIGOLO, C. A.; KAYANO, M. T. Trends of seasonal maximum and minimum temperatures and precipitation in Southern Brazil for the 1913–2006 period. **Theoretical and Applied Climatology**, Wien, v. 101, p. 209-216, 2010.
- SCURFIELD, G. The effects of temperature and day length on species of *Eucalyptus*. **Australian Journal of Botany**, Melbourne, v. 9, p. 37-56, 1961.
- SEMENOV, M. A. et al. Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. **Climate Research**, Oldendorf, v. 10, p. 95-107, 1998.
- STEINMETZ, S. et al. Aumento da temperatura mínima do ar na região de Pelotas, sua relação com aquecimento global e possíveis conseqüências para o arroz irrigado no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 14., 2005, Campinas. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2005. 1 CD-ROM.
- STRECK, N. A.; ALBERTO, C. M. Estudo numérico do impacto da mudança climática sobre o rendimento de trigo, soja e milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 9, p. 1351-1359, 2006.
- STRECK, N. A. et al. Incorporating a chronology response into the prediction of leaf appearance rate in winter wheat. **Annals of Botany**, London, v. 92, p. 181-190, 2003.
- STRECK, N. A. et al. **Mudança climática, aquecimento global e agricultura**. Santa Maria: CCR; UFSM, 2010. 4 p. (Informe Técnico, 24).
- STRECK, N. A. et al. Temperatura mínima de relva em Santa Maria, RS: climatologia, variabilidade interanual e tendência histórica. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 3, p. 696-702, 2011.
- VAN VUUREN, D. P. et al. Temperature increase of 21st century mitigation scenarios. **Proceedings of the National Academy of Science of the USA**, Washington, v. 105, p. 15258-15262, 2008.
- ZANON, A. J. et al. 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.
- WALTER, L. C.; ROSA, H. T.; STRECK, N. A. Simulação do rendimento de grãos de arroz irrigado em cenários de mudanças climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 11, p. 1237-1245, 2010.
- WANG, E.; ENGEL, T. Simulation of phenological development of wheat crops. **Agricultural Systems**, Essex, v. 58, p. 1-24, 1998.