

Modelagem da aptidão climática do *Eucalyptus grandis*
frente aos cenários de mudanças climáticas no BrasilModeling suitable climate for *Eucalyptus grandis*
under future climates scenarios in BrazilLara Gabrielle Garcia¹, Silvio Frosini de Barros Ferraz², Clayton Alcarde Alvares³,
Katia Maria Paschoaletto Micchi de Barros Ferraz² e Rosana Clara Victoria Higa⁴**Resumo**

O presente trabalho teve como objetivo mapear as áreas aptas ao material de origem do *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden no Brasil para o clima atual, e prever possíveis mudanças nestes locais frente os cenários climáticos futuros. Para tal se utilizou a Modelagem de Distribuição de Espécies (MDE), gerando áreas potenciais na Austrália e projetando-as para o Brasil no tempo presente e futuro, utilizando-se o princípio da máxima entropia (Maxent, 3.3.3k.). Foram utilizados 70 pontos de ocorrência natural da espécie na Austrália e sete variáveis bioclimáticas, sendo: temperatura média anual, variação da temperatura anual, precipitação anual, precipitação do mês mais chuvoso, precipitação do mês mais seco, variação da precipitação e altitude. Para a modelagem do clima atual, o período de tempo utilizado foi de 1950 a 2000. As projeções climáticas foram retratadas por meio do cenário A1B e o modelo HadCM3 para os três períodos de tempo: 2010 - 2039, 2040 - 2069 e 2070 - 2099. Todos os modelos foram significativos ($p < 0,001$), apresentaram elevados valores de AUC ($> 0,95$) e baixos erros de omissão. A área adequada para o material genético testado no Brasil no tempo presente foi de, aproximadamente, 1.500.000 km², concentrando-se nas regiões sul, sudeste e centro-oeste. Para os cenários futuros a mesma área sofreu redução de 2,8, 4,7 e 3,8% para os cenários 2010 - 2039, 2040 - 2069 e 2070 - 2099, respectivamente. As principais mudanças foram a diminuição da área na região sudeste e aumento na região norte. Para os cenários futuros, a modelagem mostrou uma diminuição da área total da espécie. Embora novas áreas tenham sido consideradas aptas, houve uma diminuição das áreas já conhecidas como adequadas. O uso da modelagem pode ser útil no planejamento do melhoramento genético e na expansão do material genético para novas regiões, além de auxiliar na identificação de áreas em que a cultura se torne mais vulneráveis ao clima, doenças e pragas.

Palavras-chave: modelos de distribuição de espécie, nicho ecológico, Maxent, mudanças climáticas, zoneamento climático, *Eucalyptus grandis*.

Abstract

This study aimed to map areas climatically favorable for *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden in Brazil for the current climate, and predict possible changes in these sites in relation to future climate scenarios. For doing this we used the Species Distribution Modeling (DEM), generating potential areas in Australia and projecting them to Brazil in the present and future climate scenarios, using the concept of maximum entropy (Maxent 3.3.3k.). We considered 70 sites of natural occurrence of *E. grandis* in Australia and seven bioclimatic variables, as follows: mean annual temperature, variation of annual temperature, annual precipitation, precipitation of wettest month, precipitation of driest month, variation of rainfall and altitude. The modeling of the current climate considered the period from 1950 to 2000. The climatic projections were considered as the A1B scenario and the HadCM3 model for three periods: 2010-2039, 2040-2069 and 2070-2099. All models were significant ($p < 0.001$); showed high AUC values (> 0.95) and low omission errors. The favorable areas for *E. grandis* at the present time was approximately 1.500.000 km², concentrating on southern, southeastern and midwestern Brazil. When we simulated future climates, the area decreased by 2.8, 4.7 and 3.8% for the scenarios 2010-2039, 2040-2069 and 2070-2099, respectively. The major changes were the decrease in the southeastern region and increase in the northern region. The modeling

¹Engenheira Florestal pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo – Caixa Postal 9 - Piracicaba, SP – 13400-970 – e-mail: lara.garcia@usp.br.

²Professor(a) Doutor do Departamento de Ciências Florestais - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo – Caixa Postal 9 - Piracicaba, SP – 13400-970 – e-mail: silvio.ferraz@usp.br; katia.ferraz@usp.br

³Doutor em Recursos Florestais. Pesquisador Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais - Av. Comendador Pedro Morgante, 3500 – Piracicaba, SP – 13415-000 – e-mail: caalvares@yahoo.com.br

⁴Engenheira Agrônoma. Pesquisadora Embrapa Florestas – Caixa Postal 319 – Colombo, PR – e-mail: rosana.higa@embrapa.br

showed a decrease in the area when considering the future scenarios. Although new areas have been identified as suitable areas, there was a decrease of already known as suitable areas. The use of modeling can be useful in planning the breeding and expansion of genetic material to new areas, and assist in identifying areas in which eucalypt culture becomes more vulnerable to climate, disease and pests.

Keywords: species distribution model, ecological niche, Maxent, climate change, climate zoning.

INTRODUÇÃO

Os primeiros registros de introdução do gênero *Eucalyptus* sp. no Brasil datam do início do século XX, tendo como propósito o uso da espécie como alternativa para as necessidades de lenha da Cia. Paulista de Estradas de Ferro (FERREIRA, 2001). As primeiras sementes de *Eucalyptus* foram introduzidas no Brasil no século XIX (GONÇALVES et al., 2013), porém foi Edmundo Navarro de Andrade que iniciou os estudos de silvicultura e manejo de várias espécies e procedências australianas (ANDRADE, 1928; 1961).

Os recorrentes incentivos fiscais do governo e a demanda por madeira expandiram o setor florestal no Brasil nos anos de 1965, com isso também aumentaram as necessidades de estudos referentes à adaptação deste gênero no país (FERREIRA, 2001; GONÇALVES et al., 2013). Neste período tiveram início os zoneamentos bioclimáticos das regiões brasileiras, embasados no fato de que a adaptação das espécies tem maior possibilidade de êxito quando plantadas em regiões cujas condições ambientais sejam parecidas com as da sua área de origem, e de que o plantio de uma espécie não adaptada ao clima predominante da região ocasiona um rendimento aquém do potencial da espécie (GOLFARI et al. 1978). O zoneamento bioclimático para o gênero *Eucalyptus* baseou-se na identificação de regiões climáticas semelhantes entre a origem das espécies na Austrália e no Brasil, principalmente considerando as variáveis temperatura e precipitação (GOLFARI et al., 1978).

Além dos zoneamentos, existem outras metodologias para o mapeamento de áreas potenciais de adaptação das espécies, como, por exemplo, o mapeamento da distribuição do nicho ecológico da espécie (AUSTIN, 2002), por meio dos Modelos de Distribuição de Espécies (MDE) (ELITH; LEATHWICK, 2009; PEARSON, 2007). Estes modelos partem do princípio de que as variáveis ambientais da área de estudo representam uma aproximação ambiental do nicho de determinada espécie (PHILLIPS et al., 2006). Para isto, combinam os dados de ocorrência da espécie com as variáveis ambientais destes locais, buscando identificar áreas com condições ambientais adequadas para a sobrevivência da popula-

ção (ELITH; LEATHWICK, 2009; HANNAH et al., 2005; PEARSON, 2007; THUILLER, 2007).

Os MDEs são ferramentas utilizadas no campo da ecologia, conservação e evolução (AUSTIN, 2002), sendo muito utilizados também para prever alterações na distribuição potencial das espécies frente às mudanças climáticas (ELITH; LEATHWICK, 2009; NEWELL et al., 2009; PEARSON, 2007; THOMAS et al., 2004).

Os modelos baseados apenas em variáveis climáticas e ambientais têm limitações, pois não consideram a adaptação das espécies e interações bióticas (DAVIS et al., 1998; PEARSON; DAWSON, 2003). Apesar destas limitações, oriundas da complexidade dos sistemas naturais, os resultados de sucesso dos mesmos podem ser encontrados, principalmente, quando aplicados em macro escala, pois nestes cenários a influência climática prevalece sobre as interações bióticas (PEARSON; DAWSON, 2003).

Entender a distribuição potencial das espécies utilizadas no reflorestamento é uma etapa importante nos programas de melhoramento (WREGE et al., 2011). O melhoramento genético do eucalipto encontra-se em estado avançado no Brasil, e os MDEs podem ser ferramentas úteis para conhecer as áreas aptas das populações bases no Brasil, uma vez que estas são importantes fontes de material genético a serem melhoradas (FERREIRA, 1992).

Recentemente, os modelos de distribuição vêm sendo utilizados também para avaliar os efeitos das mudanças climáticas (AUSTIN; VAN NIEL, 2011). Existem evidências de que o clima mundial vem sendo alterado nas últimas décadas, principalmente por meio do aumento das temperaturas e mudanças de precipitações (IPCC, 2007). Essa modificação resultará também em alterações nas regiões bioclimáticas definidas como potenciais para plantações das espécies de reflorestamento. Estas variações no clima já são sentidas, principalmente, pelas alterações na distribuição das áreas de plantas e animais terrestres (THUILLER, 2007).

Dentro deste contexto, o objetivo do presente estudo foi mapear as áreas climaticamente aptas do material de origem *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden no Brasil, considerando o clima atual e os cenários de mudanças climáticas.

MATERIAL E MÉTODOS

Banco de dados

Foram utilizados 70 pontos de ocorrências naturais do *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden na Austrália (Figura 1) usando o banco de dados *Global Biodiversity Information Facility* (YESSON et al., 2007).



Figura 1. Pontos de ocorrência da espécie *E. grandis* na Austrália.

Figure 1. Occurrence data for *E. grandis* in Australia.

As variáveis climáticas da Austrália e do Brasil foram obtidas na rede *WorldClim*, com resolução espacial de 30 arco-segundo (~ 1 km) (HIJMANS et al., 2005). Para a modelagem dos cenários futuros foram utilizadas as previsões calculadas pelo método Delta (RAMIREZ-VILLEGAS; JARVIS, 2010), baseadas no quarto relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2007), com resolução espacial de 30 arco-segundo (~ 1 km).

Os dados de altitude foram obtidos do projeto *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) (FARR; KOBRICK, 2000), na sua atual quarta versão (JARVIS et al., 2008). Foi usado o mosaico SRTM do Brasil, na resolução espacial de 90 m, organizado por Alvares et al. (2013a), porém no presente estudo a resolução espacial foi reduzida para 30 arco-segundo, ficando assim compatível com os dados climáticos.

As variáveis ambientais disponíveis - climáticas e altitude - foram submetidas a um teste de correlação e foram descartadas aquelas que apresentaram uma correlação de Pearson, positiva ou negativa, maior do que 0,8. Foram selecionadas as variáveis ambientais de: temperatura média anual, variação da temperatura anual, precipitação anual, precipitação do mês mais chuvoso, precipitação do mês mais seco, variação da precipitação anual e altitude.

Modelagem de Distribuição de Espécies (MDE)

Os pontos de presença da espécie na Austrália e as variáveis ambientais do clima, presente e futuro para os dois países, foram usados como variáveis para a modelagem. Portanto, foram obtidas duas previsões de áreas favoráveis à adaptação do material no Brasil, uma para o clima atual e outra para os diferentes cenários de mudanças climáticas.

No presente trabalho, optou-se pela modelagem de máxima entropia, com o *software* Maxent, versão 3.3.3k (PHILLIPS et al., 2006). Os parâmetros usados no modelo foram uma *convergence threshold* de $1.0E-5$ com 500 interações e 10.000 pontos de *background*, assim como as opções de *auto features* e *random seed*. A contribuição de cada variável climática foi analisada por meio dos métodos de *jackknifing* e curvas de respostas.

O conjunto de dados foi submetido a 10 repetições do modelo, sendo que para cada uma foi realizada uma validação cruzada (tipo *bootstrap*) com reposição, em que os dados foram divididos em dois conjuntos independentes, 70 e 30% dos dados, utilizados para calibrar e validar o modelo, respectivamente (PEARSON, 2007).

Foram testados três *logistic thresholds* (LIU et al., 2005): limiar logístico de presença no percentil 10; limiar logístico do teste máximo de sensibilidade e especificidade; e limiar logístico de presença mínima. Os limiares são, normalmente, recomendados para reduzir os erros de sobreposição e omissão característicos da modelagem de distribuição de espécie. Foi escolhido apenas um limiar de corte de acordo com a acurácia do modelo final em relação ao que se conhece sobre as áreas aptas a espécie no Brasil (GOLFARI et al., 1978), e nos parâmetros de desempenho do modelo.

Por meio do limiar logístico do teste máximo de sensibilidade e especificidade, os mapas de saída do modelo foram transformados em binários, cada célula do *grid* passou a representar um valor de 0 (*unsuitable*) e 1 (*suitable*).

O modelo final utilizado foi aquele baseado na média das dez repetições realizadas pelo programa. A avaliação do modelo foi realizada pelos parâmetros *Area Under the Curve* (AUC), taxa de omissão do conjunto teste e o valor de *p* (*binominal probability*) (PEARSON, 2007).

Cenários climáticos considerados

Para caracterizar as mudanças climáticas optou-se pelo modelo *Hadley Centre for Climate Predictions and Research* (HadCM3) no cenário A1B (IPCC, 2000). O modelo HadCM3 foi o selecionado, pois é o que mais perto chegou da realidade do comportamento do clima tanto no presente quanto no futuro (VALVERDE; MARENGO, 2010). O cenário A1B se caracteriza por apresentar um futuro de rápido crescimento econômico, com a população mundial atingindo o pico de crescimento na metade do século a partir do qual ocorre o declínio da mesma, aumento de novas tecnologias mais eficientes e um equilíbrio no uso de fontes de energias não fósseis (IPCC, 2000). Além disso o cenário A1B considera um aumento provável de 2,8 °C na temperatura média e diminuição de 20% da precipitação na maior parte das regiões (IPCC, 2000).

Quanto ao clima atual, os dados do *WorldClim* representam o período de 1950 a 2000 (HIJMANS et al., 2005). A distribuição no cenário futuro engloba os anos de 2010 a 2099, divididos em três períodos: 2020 (2010 - 2039), 2050 (2040 - 2069) e 2080 (2070 - 2099).

RESULTADOS

A simulação das áreas potenciais para o *Eucalyptus grandis* no período atual foi significativo ($p < 0,001$), apresentou elevados valores de AUC ($0,9967 \pm 0,001$) e erro de omissão de 0%. O mapa gerado mostrou uma área apta para o material de

origem da espécie no Brasil de 1.499.405 km², correspondendo a 17,6% do território (Figura 2). As maiores áreas estão localizadas nas regiões sul (77,6%) e sudeste (50,3%) do Brasil. Já as regiões norte e nordeste foram as que apresentaram as menores áreas, 2,5 e 0,4%, respectivamente.

As variáveis que mais contribuíram para explicar a adequabilidade das áreas do *E. grandis* no Brasil foram a precipitação do mês mais seco e a precipitação anual (Tabela 1), as curvas de respostas geradas para essas variáveis estão apresentadas na Figura 3.

De acordo com o mapa obtido para o clima atual, a distribuição do *Eucalyptus grandis* no Brasil representa uma área com pluviosidade anual média de 1.830 mm, sendo a mínima de 1.019 mm e a máxima de 2.730 mm. A mesma área possui uma temperatura média de 17,9 °C, sendo que as áreas mais quentes, acima de 26,6 °C, se encontram no centro do país. A altitude média des-

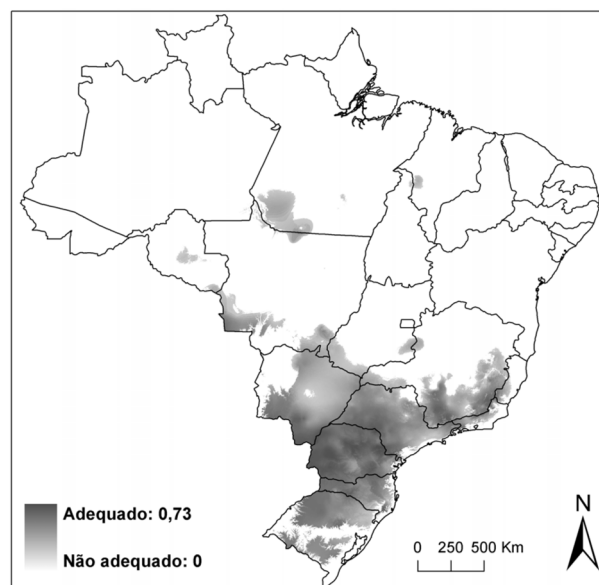


Figura 2. Área adequada de distribuição do *E. grandis* no Brasil para o clima atual.

Figure 2. Sustainable area of *E. grandis* in Brazil at current climate.

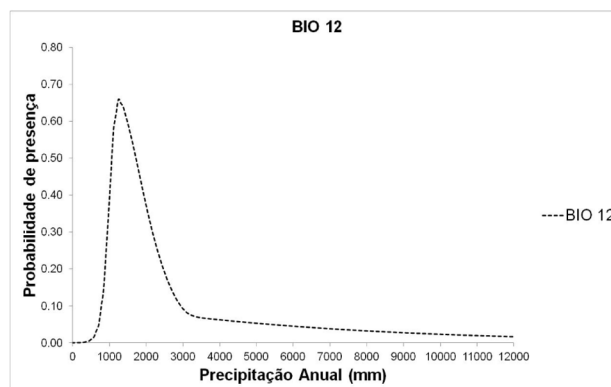
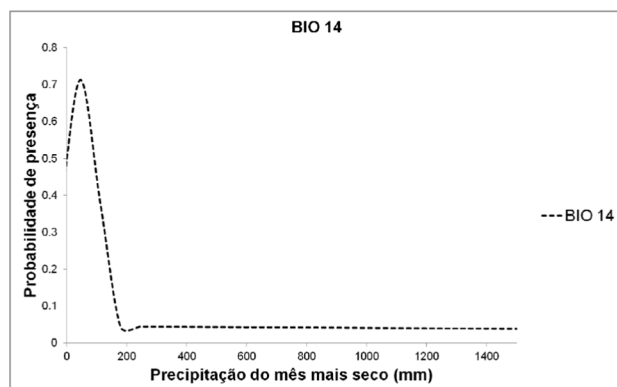


Figura 3. Curva resposta da espécie para as variáveis de precipitação do mês mais seco (BIO 14) e precipitação anual (BIO 12).

Figure 3. Response curve of precipitation of driest month at current climate (BIO 14) and annual precipitation (BIO 12).

Tabela 1. Porcentagem de contribuição de cada variável utilizada na modelagem, cenário atual e futuros.
Table 1. Percentage contribution of climatic variables at current climate and for future scenarios periods.

Variável	Código	Definição	Contribuição (%)			
			Atual	2020	2050	2080
BIO14		Precipitação do mês mais seco	43,44	43,70	45,70	43,4
BIO12		Precipitação anual	22,72	20,20	16,80	19,2
BIO7		Variação da temperatura anual	10,60	13,10	14,70	14,8
BIO13		Precipitação do mês mais chuvoso	10,13	10,50	11,20	10,1
BIO15		Variação da precipitação	8,55	9,30	6,90	8,6
Alt		Altitude	4,02	2,70	3,80	3,1
BIO1		Temperatura média anual	0,54	0,50	0,90	0,8

ta área é de, aproximadamente, 540 metros, com uma máxima e mínima de 2.600 e 130 metros, respectivamente. Nestas regiões de adaptabilidade climática do *E. grandis*, predominam principalmente os climas subtropicais sem estação seca e de verão quente (Cfa) e verão temperado (Cfb), e subtropical com inverno seco e de verão quente (Cwa) e verão temperado (Cwb) (ALVARES et al., 2013b).

A modelagem de mudanças climáticas para *E. grandis* foi significativa para todos os cenários ($p < 0,001$), e apresentou elevados valo-

res de AUC ($0,9962 \pm 0,001$; $0,9969 \pm 0,001$ e $0,9967 \pm 0,001$ para os períodos de 2020, 2050 e 2080, respectivamente). O erro de omissão foi zero para os dois últimos cenários e de 0,05% para o primeiro. A área apta passou de 17,6 para 14,8% no primeiro período, e se manteve entre 12 e 13% nos outros dois períodos de tempo testados (Figura 4). Ocorreu aumento da área potencial na região norte, diminuição nas regiões sudeste, centro-oeste e nordeste, e uma estabilidade nas áreas da região sul (Tabela 2).

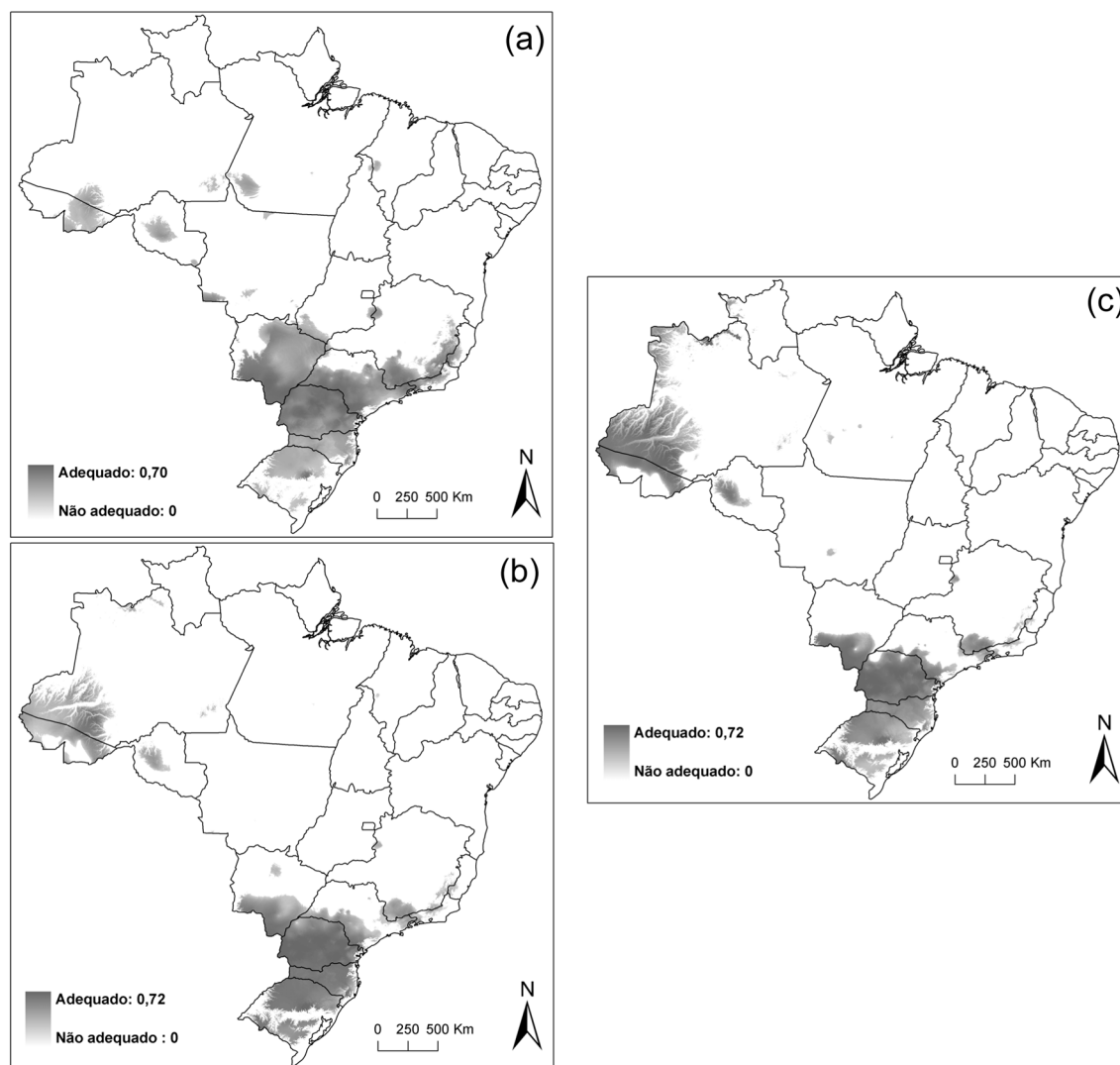


Figura 4. Projeção da área adequada para o *E. grandis* referente às mudanças climáticas nos três cenários futuros, (a) 2020, (b) 2050 e (c) 2080.

Figure 4. Projecting the suitable area from *E. grandis* in face of climate changes during tree time-periods, (a) 2020, (b) 2050 e (c) 2080.

Tabela 2. Porcentagem de áreas adequadas para a espécie no cenário atual e os três cenários de mudanças climáticas testados.

Table 2. Percentage potential sustainable areas of regions at current climate and for future scenarios periods.

Regiões	Cenários (% de área potencial)			
	Atual	2020	2050	2080
Norte	2,5	4,2	8,7	13,3
Centro-Oeste	26,8	20,8	7,4	5,7
Sudeste	50,3	35,1	16,7	11,7
Sul	77,6	67,8	79,2	75,5
Nordeste	0,4	0,3	0,1	0

As variáveis que apresentaram maior contribuição para a modelagem de mudanças climáticas continuaram sendo a precipitação do mês mais seco (BIO 14), seguida pela precipitação anual (BIO 12) para os três cenários (Tabela 1). As curvas de respostas destas variáveis estão ilustradas na Figura 5.

DISCUSSÃO

As áreas modeladas para a Austrália apresentaram-se condizentes com os dados conhecidos da espécie, correspondendo à descrição da área natural de ocorrência da espécie no país, que abrange a faixa costeira australiana, começando ao sul de Nova Gales do Sul (32° 52' S) até a região de Queensland (26° 11' S) (HIGA; WREGE, 2010), com altitude variando do nível do mar até 1.170 m, temperatura média anual de 18,7°C e precipitação anual de 1.435 mm (BOOTH; PRYOR, 1991).

No entanto, as áreas geradas para o Brasil apresentaram variações em relação ao esperado. Apesar dos baixos erros de omissão apresentados pelo modelo, foram encontradas diferenças entre as áreas simuladas e as encontradas nos zoneamentos existentes (GOLFARI et al., 1978).

O modelo do clima atual apresentou áreas aptas à adaptação da espécie em todas as regiões do Brasil. No zoneamento de Golfari et al.

(1978), o *E. grandis* apresentava condições ideais de desenvolvimento nas áreas desde o sul do Brasil até o leste do estado de São Paulo e no sul de Minas Gerais.

As diferenças encontradas entre a modelagem e os zoneamentos (GOLFARI, 1975; GOLFARI; CASER, 1977; GOLFARI et al., 1978) podem ser atribuídas em sua maioria as diferentes metodologias utilizadas, pois os estudos de zoneamento se baseiam, principalmente, na avaliação dos sucessos ou fracassos de povoamentos florestais existentes na área, assim como na comparação das variáveis climáticas e definição de zonas bioclimáticas entre Brasil e Austrália.

É importante a contextualização da escolha do modelo em função dos resultados pretendidos, assim como dos possíveis usos destas informações. Os resultados encontrados neste trabalho não devem ser usados para fins de zoneamento, mas para subsidiar programas de melhoramento, especialmente considerando variáveis climáticas (ARAÚJO et al., 2005).

No caso de espécies introduzidas, é difícil prever o desempenho de modelos fora de seu escopo original. O processo de modelagem deve captar toda a essência dos descritores ambientais da área de distribuição natural para evitar superestimar a área de distribuição potencial (BARBOSA; VARGAS, 2009).

Apesar das diferenças, existem pontos em comum entre as áreas dos zoneamentos climáticos da espécie e aquelas simuladas no estudo. Um exemplo disso é a restrição que Golfari et al. (1978) faz ao plantio de *E. grandis* nas regiões de estação seca predominante (cerrado e catinga), como é o caso das áreas ao norte de Minas e a região nordeste do Brasil, o que se repete nas áreas simuladas pelo modelo. Isto pode ser explicado pela restrição que o modelo atribuiu as áreas de baixas precipitações, sendo inclusive a variável de precipitação no mês mais seco a de maior contribuição para esta modelagem.

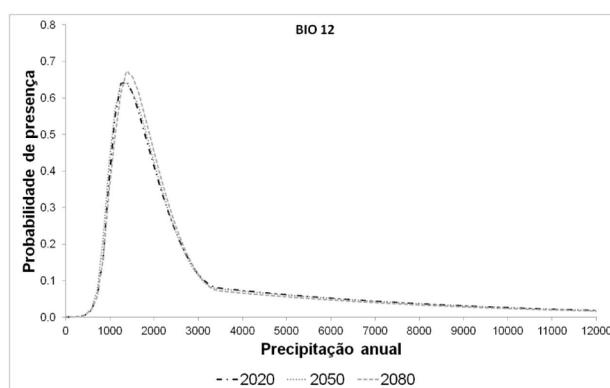
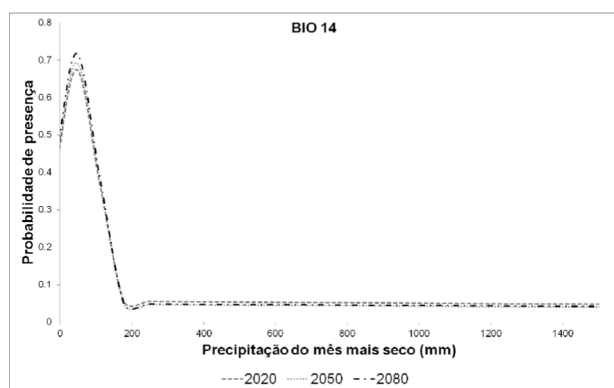


Figura 5. Curvas respostas da espécie para variável BIO 14 e BIO 12 nos três cenários futuros.

Figure 5. Response curves of BIO 14 and BIO 12 for the climate change periods.

Em todas as simulações a precipitação no mês mais seco do ano foi a mais importante, indicando que a espécie é muito sensível a essa variável. Resultados semelhantes foram encontrados por Wrege et al. (2011) na modelagem de uma espécie do mesmo gênero, na qual as variáveis relacionadas a pluviosidade apresentaram maior importância para o modelo. Esta importante relação com a precipitação é evidenciada pelas limitações que a falta de água acarretam na espécie (HIGA; WREGE, 2010; STAPE, 2002).

Outro fator que deve ser considerado, na análise e comparação das áreas, é a ausência de algumas variáveis importantes que não foram submetidas à modelagem, como características pedológicas, potencial de ocorrência de pragas e doenças (SILVA et al., 2013), ocorrência de geadas e fatores econômicos.

Na modelagem de mudanças climáticas, desde o período atual até o último cenário (décadas de 2080s) é possível perceber alterações, tanto aumento quanto diminuição das áreas aptas. No primeiro caso, os estados do norte, notadamente Acre e Amazonas, tiveram um aumento nos cenários futuros. Já a região sudeste apresentou uma diminuição de 76,7% de suas áreas ao longo dos cenários futuros.

Uma das possíveis causas destas mudanças de localização e tamanho das áreas, reside no fato de que os cenários de mudanças climáticas testados apresentam diminuição da precipitação para as regiões subtropicais, secas, com latitude média e nos trópicos (IPCC, 2007).

A sensibilidade da espécie ao regime de precipitação ficou ainda mais evidente na modelagem dos cenários futuros, em que a precipitação do mês mais seco continuou sendo a variável com maior contribuição para o modelo, resultado este corroborado pela distribuição original da espécie, concentrada em áreas de elevadas pluviosidade (BOOTH; PRYOR, 1991).

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nas simulações dos cenários permitiram mapear as áreas potenciais de adaptação do material de origem de *E. grandis* no Brasil, considerando sua variabilidade genética natural. Apesar de diferir de outros zoneamentos realizados, o MDE foi capaz de prever áreas já consideradas recomendáveis para a espécie.

Os resultados, em função dos cenários climáticos, independentemente do grau em que

ocorreram as mudanças, deixa claro que haverá diminuição das áreas aptas da espécie, devido às mudanças que ocorrerão no regime de precipitação, em função da sensibilidade desta espécie a estas variações.

É importante incrementar as observações nas áreas onde a aptidão climática pode mudar no futuro, uma vez que podem se tornam mais vulneráveis a ataques de pragas e doenças assim como apresentar menor desenvolvimento e maior mortalidade. Também de grande importância é atentar para a base de dados climáticos, especialmente em regiões onde os dados de clima são escassos, o que pode gerar falsas expectativas nos resultados. Interações como condições edáficas, não consideradas nesse trabalho, também podem modificar completamente o desenvolvimento da espécie e devem ser consideradas sempre que a informação estiver disponível.

A identificação das áreas potenciais por meio do MDE é uma estratégia a ser explorada pelo setor, à medida que abre possibilidades para o melhoramento genético conhecer os locais de maior adaptação do material de origem da espécie e desenvolver estratégias para minimizar os riscos. No entanto, a MDE apresenta limitações quanto ao seu uso, devendo ser utilizada juntamente com outras ferramentas para tomadas de decisões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M. Modeling monthly mean air temperature for Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 113, n. 3-4, p.407-427, 2013a.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Stuttgart, v. 22, n. 6, p.711-728, 2013b.

ANDRADE, E. N. *O eucalypto e suas aplicações*. São Paulo: Typographia Brazil de Rothschild & Comp., 1928. 161 p.

ANDRADE, E. N. *O eucalipto*. 2 ed., Jundiaí: CPEF, 1961. 664 p.

ARAÚJO, M. B.; PEARSON, R. G.; THUILLER, F.; ERHARD, M. Validation of species-climate impact models under climate change. *Global Change Biology*, London, v. 11, n. 9, p. 1504 - 1513, 2005.

- AUSTIN, M. P. Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modeling. **Ecological Modelling**, Kidlington, v. 157, n. 2-3, p. 101 - 118, 2002.
- AUSTIN, M. P.; VAN NIEL, K. P. Impact of landscape predictors on climate change modeling of species distributions: a case study with *Eucalyptus fastigata* in southern New South Wales, Australia. **Journal of Biogeography**, Oxford, v. 38, n.1, p. 9 - 19, 2011.
- BARBOSA, M. R. R.; VARGAS, J. M. Transferability of environmental favourability models in geographic space: The case of the Iberian desman (*Galemys pyrenaicus*) in Portugal and Spain. **Ecological Modelling**, Kidlington v. 220, p. 747 - 754, 2009.
- BOOTH, T. H.; PRYOR, L. D. Climatic requirements of some commercially important eucalypt species. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 43, n. 1 - 2, p. 47 - 60, 1991.
- DAVIS, A. J.; JENKINSON, L. S.; LAWTON, J. H.; SHORROCKS, B.; WOOD, S. Making mistakes when predicting shifts in species range in response to global warming. **Nature**, London, v. 391, p. 783 - 786, 1998.
- ELITH, J.; LEATHWICK, J. R. Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, Palo Alto, n. 40, p. 677 - 697, 2009.
- FARR, T. G.; KOBRICK, M. Shuttle Radar Topography Mission produces a wealth of data, **American Geophysical Union**, v. 81, p. 583 - 585, 2000.
- FERREIRA, M. O histórico da introdução de espécies florestais de interesse econômico e o estado de sua conservação no Brasil. In: WORKSHOP SOBRE CONSERVAÇÃO E USO DE RECURSOS GENÉTICOS FLORESTAIS, 2000, Paranaguá. **Memórias...** Colombo: Embrapa Florestas, 2001. p. 19 - 66.
- FERREIRA, M. Melhoramento e a silvicultura intensiva clonal. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 45, p. 22 - 30, 1992.
- GOLFARI, L. Zoneamento ecológico do estado de Minas Gerais para reflorestamento. **Série Técnica PRODEPEF**, Brasília, n. 3, p. 1 - 65, 1975.
- GOLFARI, L.; CASER, R. L. Zoneamento ecológico da região nordeste para experimentação florestal. **Série Técnica PRODEPEF**, Brasília, n. 10, p. 1 - 116, 1977.
- GOLFARI, L.; CASER, R. L.; MOURA, V. P. G. Zoneamento ecológico esquemático para reflorestamento no Brasil: segunda aproximação. **Série técnica PRODEPEF**, Brasília, n. 11, p. 1 - 66, 1978.
- GONÇALVES, J. L. M.; ALVARES, C. A.; HIGA, A. R.; SILVA, L. D.; ALFENAS, A. C.; STAHL, J.; FERRAZ, S. F. B.; LIMA, W. P.; BRANCALION, P. H. S.; HUBNER, A.; BOUILLET, J-P.; LACLAU, J-P.; NOUVELLON, Y.; EPRON, D. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 301, n. 1, p. 6 - 27, 2013.
- HANNAH, L.; MIDGLEY, G.; HUGHES, G.; BOMHARD, B. The view from the Cape: extirpator risk, protected areas, and climate change. **BioScience**, Washington, v. 55, n. 3, p. 231 - 242, 2005.
- HIGA, R. C. V.; WREGE, M. S. **Zoneamento climático de *Eucalyptus grandis* para a região sul do Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2010.
- HIJMANS, R. J.; CAMERON, S. E.; PARRA, J. L.; JONES, P. G.; JARVIS, A. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 25, n.15, p. 1965 - 1978, 2005.
- IPCC – INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2007: Mitigation - contribution of working group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press. 2007.
- _____. **SpecialReport: Emissions scenarios**. 2000. Disponível em: < http://www.scribd.com/full/7439426?access_key=key-24pl4vyc1b734v2pgkwu >. Acesso em: 05 Jun. 2011.
- JARVIS, A.; REUTER, H. I.; NELSON, A.; GUEVARA, E. **Hole-filled SRTM for the globe Version 4**. 2008. Disponível em: < <http://srtm.csi.cgiar.org/> >. Acesso em: 26 abr. 2012.

- LIU, C.; BERRY, P. M.; DAWSON, T. P.; PEARSON, R. G. Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. **Ecography**, Copenhagen, v. 28, n. 3, p. 385 - 393, 2005.
- NEWELL, G.; WHITE, M.; GRIFFIOEN, P. **Potential impacts of a changing climate on selected terrestrial ecosystems of Northern**. Heidelberg, Vic. : Arthur Rylah Institute for Environmental Research, 2009. 223 p. (Technical report series, n. 187)
- PEARSON, R. G. **Species' distribution modeling for conservation educators and practitioners**. 2007. Disponível em: < <http://ncep.amnh.org> >. Acesso em: 26 abr. 2012.
- PEARSON, R. G.; DAWSON, T. P. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? **Global Ecology & Biogeography**, Oxford, v. 12, n. 5, p. 361 - 371, 2003.
- PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological Modelling**, Kidlington, v. 190, n. 3-4, p. 231 - 259, 2006.
- RAMIREZ-VILLEGAS, J.; JARVIS, A. Downscaling global circulation model outputs: the delta method decision and policy analysis. **Agricultura Eco-Eficiente para Reducir la Probeza**, Leon, n. 1, 2010.
- SILVA, P. H. M.; MIRANDA, A. C.; MORAES, M. L. T.; FURTADO, E. L.; STAPE, J. L.; ALVARES, C. A.; SENTELHAS, P. C.; MORI, E. S.; SEBBENN, A. M. Selecting for rust (*Puccinia psidii*) resistance in *Eucalyptus grandis* in São Paulo State, Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 303, n. 1, p. 91-97, 2013.
- STAPE, J. L. **Production ecology of clonal *Eucalyptus* plantation in northeastern Brazil**. 2002. 225 p. Tese (Doctor of Philosophy) – University of Colorado, Fort Collins, 2002.
- THOMAS, C. D.; CAMERON, A.; GREEN, R. E.; BAKKENES, M.; BEAUMONT, L. J.; COLLINGHAM, Y. C.; ERASMUS, B. F. N.; de SIQUEIRA, M. F.; GRAINGER, A.; HANNAH, L.; HUGHES, L.; HUNTLEY, B.; van JAARSVELD, A. S.; MIDGLEY, G. E.; MILES, L.; ORTEGA-HUERTA, M. A.; PETERSON, A. T.; PHILLIPS, O. L.; WILLIAMS, S. E. Extinction risk from climate change. **Nature**, London, v. 427, n. 8, p. 145 - 148, 2004.
- THUILLER, W. Climate change and the ecologist. **Nature**, London, v. 448, n. 2, p.550 – 552, 2007.
- VALVERDE, M. C.; MARENGO, J. A. Mudanças na circulação atmosférica sobre a América do Sul para cenários futuros de clima projetados pelos modelos globais do IPCC AR4. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 25, n. 1, p. 125 - 145, 2010.
- YESSON C.; BREWER, P. W.; SUTTON, T.; CAITHNESS, N.; PAHWA, J. S.; BURGESS, M.; GRAY, W. A.; WHITE, R. J.; JONES, A. C.; BISBY, F. A.; CULHAM, A. How global is the global biodiversity information facility? **PLoS ONE**, Cambridge, v. 2, n. 11. p. 1 – 10, 2007.
- WREGE, M. S.; HIGA, R. C. V.; MOURA, M. S. B. Modelagem da distribuição geográfica de *Eucalyptus tereticornis* na região nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 17., 2011, Guarapari. **Riscos climáticos e cenários agrícolas futuros: anais**. Guarapari: Incaper, 2011.

Recebido em 28/06/2013

Aceito para publicação em 08/05/2014

