

**IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA PRODUTIVIDADE DO EUCALIPTO NA
REGIÃO NORTE DO ESPÍRITO SANTO E SUL DA BAHIA**
THE IMPACT OF CLIMATIC CHANGES ON EUCALYPTUS PRODUCTIVITY IN NORTHERN
ESPIRITO SANTO AND SOUTHERN BAHIA

Raquel Couto Evangelista Baesso¹ Aristides Ribeiro² Mariano Pereira Silva³

RESUMO

Cenários de mudanças climáticas associados a modelos de crescimento baseados em processos podem ser úteis para identificar os riscos da produtividade futura de florestas plantadas, podendo ser utilizados para mitigar os impactos das mudanças climáticas e avaliar meios de adaptação. Este trabalho teve como objetivo analisar os impactos das mudanças climáticas na produtividade futura do eucalipto na região norte do Espírito Santo e sul da Bahia. Os dados de entrada de clima utilizados no modelo de crescimento 3-PG foram dois cenários de mudanças climáticas (A2 e B2) do modelo global CCSR/NIES, para três períodos futuros: 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100. As mudanças futuras no clima provocaram decréscimos na produtividade de eucalipto, chegando a apresentar uma redução de até 40% no cenário A2 para o período de 2071-2100 e 24% para o cenário B2. Apesar dos modelos globais convergirem para uma tendência de aumento da temperatura, há ainda incerteza com relação às possíveis mudanças na precipitação e quanto às modificações na frequência de extremos climáticos, não sendo possível prever a verdadeira magnitude das perdas de produtividade do eucalipto.

Palavras-chave: modelo 3-PG; manejo; incremento médio anual; *Eucalyptus*.

ABSTRACT

Scenarios of climatic change linked to growth models based on ecophysiological processes may be useful to identify risks of serious consequence on the yield of planted forests, presenting the possibility to lessen the gravity of climatic change impacts and also to assess means of adaptation. The main objective of this paper is to analyze climatic change impacts on eucalyptus yield in Northern of Espírito Santo and Southern Bahia. The climate input data used in the 3-PG growth model were from two scenarios of climatic change (A2 and B2) from global model CCSR/NIES, for three periods of time: 2011 -2040, 2041-2070 and 2071-2100. It was found that future climatic changes are most likely to decrease the eucalyptus yield, reaching a 40% reduction in scenario A2 for the 2071-2100 period and 24% for scenario B2. In spite of global models converging on the possible incremental temperatures, there is still skepticism about the change in precipitation, as well as the change in the frequency of climatic extremes, making it impossible to predict the true magnitude of eucalyptus yield losses.

Keywords: 3-PG model; management; annual medium increment; *Eucalyptus*.

-
1. Engenheira Agrícola e Ambiental, Doutoranda em Meteorologia Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola, Campus Universitário, CEP 36570-000, Viçosa (MG). Bolsista CNPq. raquel.evangelista@ufv.br
 2. Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor Associado do Departamento de Engenharia Agrícola, Campus Universitário, CEP 36570-000, Viçosa (MG). ribeiro@ufv.br
 3. Matemático, Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa, Campus Universitário, CEP 36570-000, Viçosa (MG). mariano@mariano.pro.br

Recebido para publicação em 15/04/2008 e aceito em 31/03/2010.

INTRODUÇÃO

As florestas plantadas visam em especial à garantia do suprimento de matéria prima para as indústrias de papel e celulose, siderurgia a carvão vegetal, lenha, serrados, compensados, lâminas e, painéis reconstituídos (aglomerados, chapas de fibras e MDF- *Medium Density Fiberboard*).

Segundo a Sociedade Brasileira de Silvicultura – SBS (2007), as florestas plantadas existentes no Brasil em 2005, totalizaram cerca de 5,6 milhões de hectares, sendo 3,4 milhões de hectares com eucalipto; 1,8 milhão de hectares com pinus e 326 mil hectares de outras espécies, como acácia-negra, gmelina, pópulus, seringueira, teca e araucária. As florestas plantadas de eucalipto estão distribuídas estrategicamente, em sua maioria, nos estados de Minas Gerais, com maior área plantada, São Paulo, Bahia, Espírito Santo e Rio Grande do Sul.

O eucalipto oferece diversas vantagens em comparação a outras espécies florestais, inclusive as nativas. Graças ao clima favorável do Brasil e ao avanço alcançado pelas pesquisas e tecnologia florestal, o eucalipto pode ser colhido num prazo de 5 a 7 anos para a produção de celulose, quando atinge até 35 metros de altura e produtividade que supera $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

A demanda mundial de madeira para os vários usos até o ano de 2010 deverá crescer, em média, 33%, atingindo um total de 8,14 bilhões de metros cúbicos, sendo 61% desse total destinado às indústrias de papel e celulose (FAO, 1995). Apesar da participação das plantações florestais estarem aumentando em todos os segmentos em relação a das florestas nativas, há um fator amplamente discutido que é o chamado “apagão florestal”, ou seja, a oferta de madeira está sendo menor do que a demanda. O setor acredita que com base nas expectativas de crescimento de demanda, haverá uma necessidade de plantio em torno de 630 mil hectares ao ano, em vez dos 200 mil hectares atuais, e as previsões de médio-prazo são de crescimento nesse diferencial. Segundo Alves (2005), já existe a necessidade de duplicar a área plantada no estado de Minas Gerais. A preocupação em garantir fornecimento de madeira tem levado indústrias siderúrgicas e de celulose a investirem em mais áreas plantadas, já que a baixa oferta tem elevado o preço do produto em até 75%.

As mudanças de clima que o planeta vem sofrendo representam uma grave ameaça para o setor

florestal. As teorias apontam as atividades humanas, em especial as emissões dos chamados gases de efeito estufa (GEE) em quantidades maiores do que a natureza pode assimilar, como a principal causa das mudanças no clima. Estudos têm demonstrado que mudanças na concentração de dióxido de carbono atmosférico e no clima influenciarão a produção, o consumo e o comércio internacional de produtos de madeira por meio de efeitos no crescimento das árvores (PEREZ-GARCIA et al., 2002).

Sem as condições favoráveis, os plantios de eucalipto não conseguiriam se desenvolver e atingir a produtividade necessária para alimentar as unidades fabris. Partindo do princípio de que o aquecimento é inevitável faz-se necessário conhecer os fatos, monitorar localmente as mudanças e traçar estratégias que garantam a sustentabilidade do negócio florestal.

Modelos baseados em processos descrevem a produtividade florestal associada a processos ecofisiológicos que controlam o crescimento (fotossíntese, alocação de biomassa, respiração, transpiração, nutrição e queda de folhas e galhos). Para isso, Landsberg e Waring (1997) desenvolveram um modelo de crescimento florestal baseado em processos fisiológicos, intitulado *Physiological Principles for Predicting Growth* (3-PG), considerando as relações fisiológicas variáveis e constantes. O uso de modelos de crescimento como o 3-PG permite a avaliação dos riscos da variação climática e a identificação de novas áreas aptas ao plantio florestal.

A importância econômica do eucalipto é muito grande, pois seu plantio e beneficiamento têm participação importante no desenvolvimento de grande parte dos setores da economia nas regiões onde é plantado. Todos os números citados anteriormente demonstram a importância do eucalipto para a economia do País e a necessidade de buscarmos sempre a máxima competitividade num mercado altamente disputado.

Este trabalho teve como objetivo analisar os impactos das mudanças climáticas na produtividade futura de eucalipto em uma importante região produtora do Brasil, o norte do Espírito Santo e sul da Bahia.

MATERIAL E MÉTODOS

O Modelo 3-PG

O modelo 3-PG utiliza princípios fisiológicos para estimar a produtividade de

povoamentos florestais. É de simples aplicação, pois envolve poucos parâmetros, os quais podem ser facilmente estimados pela literatura ou por medidas de campo. O 3-PG roda em passo de tempo mensal, e requer basicamente como dados de entrada as médias mensais das temperaturas extremas, a radiação solar global, precipitação e ainda a fertilidade e a capacidade de retenção de água no solo.

Essencialmente, o modelo 3-PG estima a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelo dossel (RFAA), considerando que a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) é 50% da radiação solar (RS). Quantificada a RFAA pelo dossel, o modelo 3-PG estima a quantidade de CO₂ fixado por unidade de energia radiante absorvida (fótons), que representa a eficiência quântica do dossel (α_c). O valor dessa eficiência de conversão é calculado tomando por base um valor de eficiência quântica máxima do dossel (α_{cx}) que considera as limitações ambientais impostas pelo déficit de pressão de vapor (f_{VPD}), pela temperatura (f_T), pelas geadas (f_F) e pela disponibilidade hídrica (f_A) e nutricional (f_N) e pela idade da população (f_I).

Essas limitações ambientais são incorporadas ao modelo 3-PG pela multiplicação de moduladores adimensionais cujos valores variam de 0 (condições de alta limitação) a 1 (condições sem limitação). Os moduladores que tratam sobre balanço de água no solo (f_A), déficit de pressão de vapor (f_{DPV}) e idade da população (f_I) compõem o chamado modulador fisiológico (ϕ), definido como:

$$\phi = f_I \min \{ f_{DPV}, f_A \}$$

O modulador ϕ atua diretamente no processo fotossintético. Os moduladores f_{DPV} e f_A não atuam de forma aditiva ou multiplicativa e, sim, considerando a limitação mais restritiva (modulador de menor valor), ou seja, se a água no solo é mais limitante ao crescimento do que o déficit de pressão de vapor (DPV), então o modulador f_A atuará limitando o crescimento no período de estimativa considerado (LANDSBERG et al., 2001). Os outros moduladores f_T , f_F e f_N , que atuam de forma independente do processo fotossintético, são aplicados multiplicativamente (SANDS e LANDSBERG, 2002). Portanto, a eficiência quântica do dossel é calculada da seguinte forma:

$$\alpha_c = \alpha_{cx} f_T f_F f_N \phi$$

A fertilidade do solo influencia indiretamente a eficiência quântica do dossel, por meio do f_N , o

qual é dependente do nível de fertilidade do solo (FR), que pode variar de 0 (baixa fertilidade) a 1 (sem limitação nutricional).

Após a consideração de todas essas limitações impostas pelo ambiente, por meio dos moduladores, o modelo 3-PG estima o relacionamento entre a produção primária bruta (PPB) e a radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelo dossel (RFAA):

$$PPB = \alpha_c RFAA \quad \therefore \quad \alpha_{cx} f_T f_F f_N \phi RFAA$$

A relação entre produção primária líquida (PPL) e PPB equivale a um coeficiente de uso do carbono, o modelo 3-PG considera um valor fixo para a referida relação, o que elimina a necessidade de cálculos referentes às perdas de carbono por meio da respiração.

O balanço de água no solo é calculado pela diferença entre precipitação (mais irrigação, quando aplicada) e a transpiração, calculada usando a equação de Penman-Monteith com o apropriado valor de condutância estomática do dossel (g_c), e interceptação da água pelo dossel. A condutância estomática em nível de folha (g_s) é calculada baseando-se num valor máximo (g_{smax}) de condutância estomática, o qual decresce na dependência das limitações impostas pelo ambiente, por meio do modificador fisiológico (ϕ). O produto entre a g_s e o índice de área foliar (IAF), para valores de IAF até 3, resulta no valor da g_c (LANDSBERG e WARING, 1997; SANDS e LANDSBERG, 2002).

Área de estudo

A área estudada compreendeu o norte do Espírito Santo e sul da Bahia, respectivamente, entre as latitudes 16°45'S e 20°15'S e longitudes 39°15'W e 41°15'W (Figura 1). A parametrização do modelo 3-PG para as condições da região analisada foi realizada por Almeida et al. (2004a), em plantações de *Eucalyptus grandis* híbrido no norte do Espírito Santo.

O modelo 3-PG foi rodado considerando-se um ciclo de 7 anos e plantios com idade inicial de 1 ano, também foi considerado que não havia limitação nutricional no solo, ou seja, nível de fertilidade (FR) igual a 1.

Dados Climáticos

As projeções de clima utilizadas neste estudo consistem dos cenários de clima futuro denominado

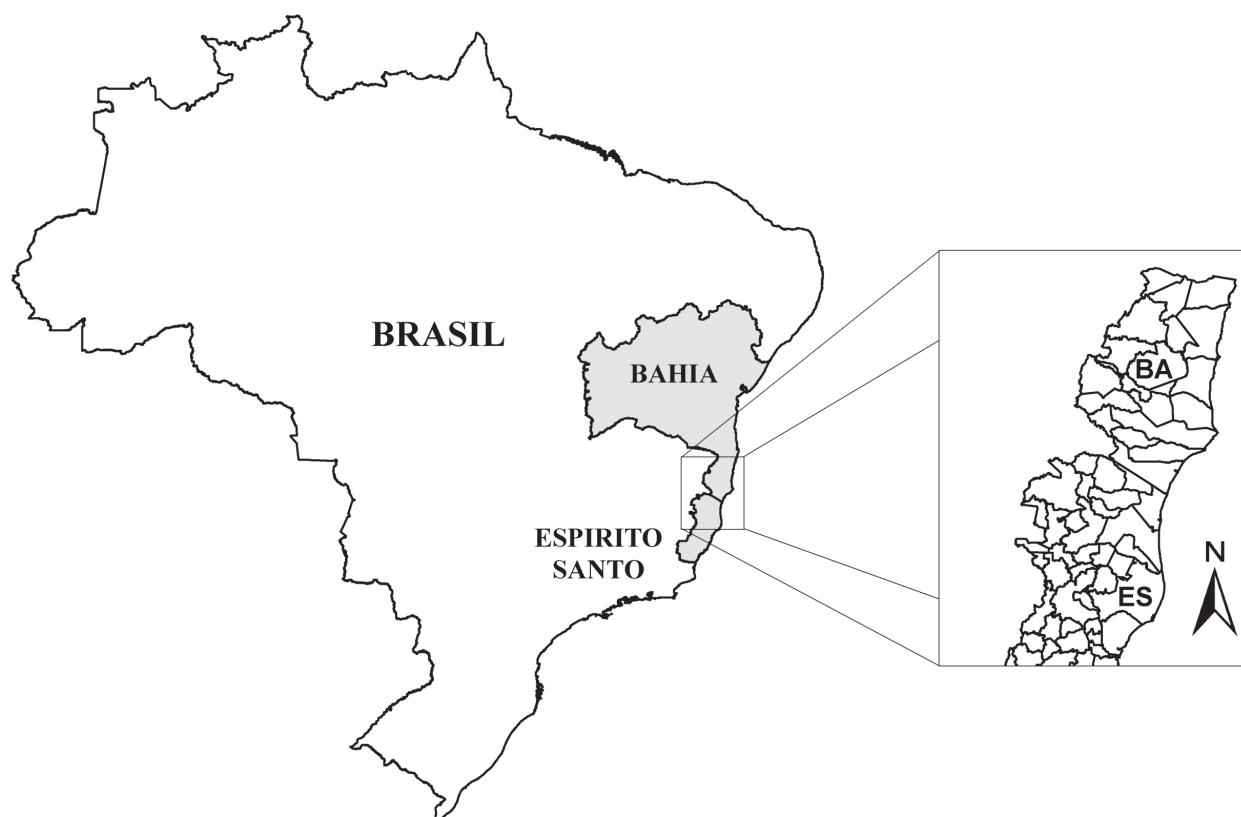


FIGURA 1: Área de estudo compreendendo o norte do Estado do Espírito Santo e sul do estado da Bahia.
 FIGURE 1: Study area comprising the northern Espírito Santo State and southern Bahia State.

Special Report on Emissions Scenarios (SRES) A2 (alta emissão) e *B2* (baixa emissão), os quais foram implementados pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas – IPCC. Esses cenários de emissões e concentrações de gases de efeito estufa e de aerossóis na atmosfera são usados como forçantes de modelos climáticos globais (GCM) com a finalidade de se obter projeções futuras do clima global (IPCC, 2005). O *Center for Climate System Research/National Institute for Environmental Studie (CCSR/NIES)* é um dos modelos globais que utilizam os cenários de emissões do IPCC para representar o clima futuro. Esse é um modelo acoplado oceano-atmosfera, com resolução espectral T21 (aproximadamente 5,6° latitude/longitude), com 20 níveis verticais na parte atmosférica e uma grade horizontal de aproximadamente 2,8° e 17 níveis verticais na parte oceânica (NOZAWA et al., 2001).

Os modelos de projeção do clima apresentam sérias limitações, uma delas é a capacidade de resolução dos modelos climáticos globais, que são ferramentas de modelagem tradicionalmente utilizadas para a produção de cenários e projeções

de mudanças climáticas. Os modelos globais têm uma capacidade de resolução bastante limitada (acima de 300 km pode-se perder informações importantes). Consequentemente, esses modelos não são bons para caracterizar variáveis climáticas em muitas regiões do mundo.

Mesmo sabendo das incertezas geradas por simulações produzidas por cálculos matemáticos, que apresentam problemas ao representar a realidade dos processos físicos como acontece na natureza, a aplicação da técnica de “downscaling” (ou ampliação da resolução) torna-se uma ferramenta importante para o usuário poder utilizar a previsão climática em um nível mais compatível com o seu processo de tomada de decisão. Neste estudo, foi realizada uma redução de escala (downscaling) do modelo CCSR/NIES de 5,6° de latitude/longitude para a escala de 0,5° latitude/longitude, por meio de uma técnica simplificada, com o intuito de melhor reproduzir os detalhes climáticos regionais.

Primeiramente, reduziu-se a temperatura ao nível do mar, utilizando o procedimento adotado na aviação para obtenção da temperatura em uma

altitude diferente da estação (IAC, 1989). Esse método apesar de simplificado apresenta bons resultados, considerando que a temperatura do ar decresce um grau a cada 100 metros a mais de altitude. Uma vez reduzidas ao nível do mar, as temperaturas foram interpoladas para uma escala de 0,5° por um processo de interpolação bi-linear, em seguida os valores de temperatura foram convertidos para a latitude dada pela orografia de 30', obtida por meio do modelo digital de elevação gerado pela Shuttle Radar Topography Mission – SRTM (GEOWORLD, 2000). Para a precipitação e a radiação solar foi feita apenas a interpolação bi-linear.

Para avaliar as projeções dos cenários A2 e B2 dadas pelo downscaling do CCSR/NIES GCM, foi utilizado como período base os dados climáticos médios de 1961-1990 do Climatic Research Unit (CRU), climatologia, com resolução de 0,5° de latitude e longitude. A climatologia foi construída partindo da interpolação, em função da latitude, longitude e altitude, de dados observados de estações climatológicas (NEW et al., 1999).

Foram utilizados neste estudo três períodos

de dados médios (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100) para cada cenário, A2 e B2, do downscaling do CCSR/NIES GCM. No entanto, antes de implementar os dados no modelo de crescimento 3-PG, procedeu-se uma correção dos dados modelados para o futuro em relação aos dados observados, como se vê nas equações a seguir:

$$Erro = CCSR / NIES_{Base} - CRU_{Base}$$

$$Correção = CCSR / NIES_{Futuro} - Erro$$

Em que: $CCSR / NIES_{Base}$ = dados do downscaling do CCSR/NIES GCM no período 1961-1990; CRU_{Base} = dados do CRU no período 1961-1990; $CCSR / NIES_{futuro}$ = dados do downscaling do CCSR/NIES GCM nos períodos 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 representa a estimativa do incremento médio anual (IMA) do *Eucalyptus*

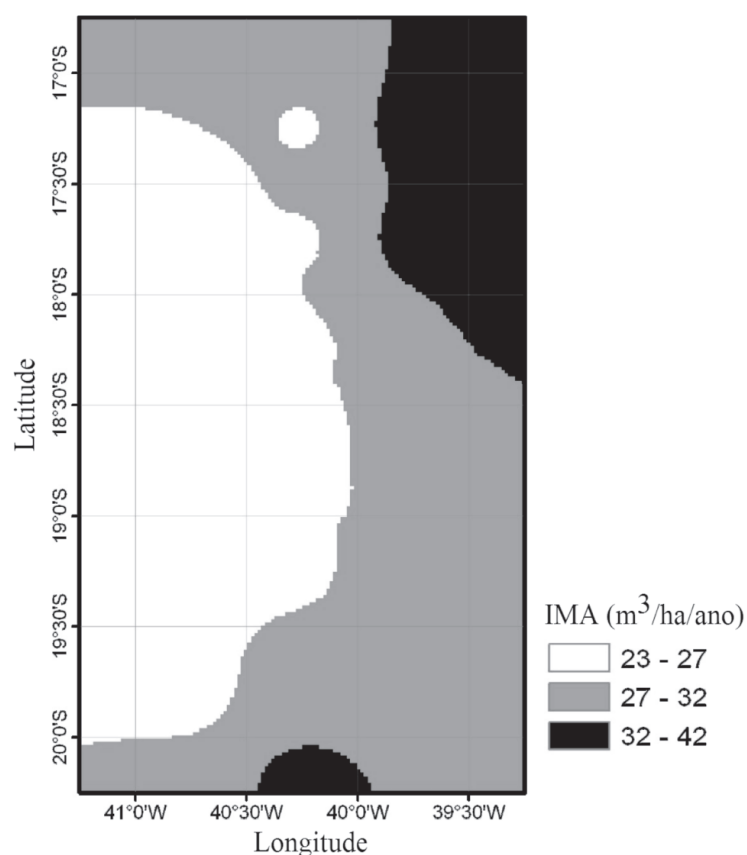


FIGURA 2: Incremento médio anual (IMA, m³ ha⁻¹ por ano) do eucalipto para o clima atual (CRU 1961-1990).
 FIGURE 2: Mean annual increment (MAI, m³ ha⁻¹ per year) of eucalyptus for current climate (CRU 1961-1990).

grandis híbrido para o clima atual, com valores variando entre 23 e 42 m³ ha⁻¹ por ano na área de estudo. Almeida et al. (2004b) encontraram em áreas experimentais com plantações de eucalipto, valores de IMA observados de aproximadamente 24 m³ ha⁻¹ por ano na região de Pastinho (Aracruz) e 41 m³ ha⁻¹ na região de Santana (São Mateus), ambos no norte do Espírito Santo. Valores de IMA simulados pelo modelo 3-PG, para dois clones distintos, num ciclo de seis anos, apresentaram valor médio de 42 m³ ha⁻¹ por ano no norte do Espírito Santo (ALMEIDA et al., 2004a). A simulação do modelo 3-PG com a utilização da climatologia do CRU e com a parametrização de Almeida et al. (2004a), mostrou-se eficiente na representação do clima atual, o modelo também representou bem a distribuição espacial da produtividade, mostrando que as áreas mais produtivas estão localizadas a leste da região estudada.

Por meio da Figura 3, é possível observar o IMA simulado para os cenários de mudanças climáticas A2 e B2 para o período de 2011 a 2100. Nas Figuras 3a e 3b, estão representados os valores de incremento médio anual para o período de 2011-2040, respectivamente, para os cenários A2 e B2. Os valores variaram entre 20 e 39 m³ ha⁻¹ por ano para o cenário A2 e entre 21 e 39 m³ ha⁻¹ por ano para o B2, não havendo grandes diferenças nos valores do IMA de um cenário em relação a outro, já que a curto prazo as diferenças entre os cenários não são tão pronunciadas. Nas Figuras 3c e 3d, estão os valores do IMA simulado com os dados climáticos do cenário A2 e B2 para o período de 2041-2070, com valores variando, respectivamente, entre 18 e 37 m³ ha⁻¹ por ano e 20 e 39 m³ ha⁻¹ por ano. Para o período de 2070-2100, o valor do incremento médio anual decresceu acentuadamente, sobretudo no cenário A2 (alta emissão) com valores variando entre 14 e 29 m³ ha⁻¹ por ano (Figura 3e). No cenário B2, os valores variaram entre 18 e 39 m³ ha⁻¹ por ano (Figura 3f). Mesmo com as mudanças nos valores do IMA para os cenários futuros, não observou-se uma mudança no padrão de produtividade espacial, isso pode ser exemplificado ao se observar que as áreas menos produtivas não avançaram sobre as áreas mais produtivas, apenas apresentaram valores de produtividade menor que o valor encontrado no clima atual.

A Figura 4 representa a porcentagem de variação do IMA estimado pelos cenários de mudanças climáticas em relação ao IMA estimado

no clima atual. Para o cenário A2, de acordo com a Figura 4a, o IMA apresenta um decréscimo entre 6 e 11% em 2011-2040, chegando até 40% para algumas áreas no período de 2070-2100 (Figura 4e). Na Figura 4b observa-se um decréscimo entre 7 e 10% em 2011-2040, e em 2070-2100 esse decréscimo no IMA chega até 24% de acordo com a Figura 4f, ambos para o cenário B2.

As mudanças climáticas simuladas pelo modelo global CCSR/NIES para a região de estudo ocorreram em especial por causa do aumento da temperatura e do decréscimo na precipitação causando redução na produtividade futura do eucalipto expressa pelo IMA. Segundo Evangelista (2006), em estudo na mesma região, as temperaturas extremas no cenário A2 no período de 2071-2100 apresentaram aumentos de até 4,1°C (temperatura máxima) e 3,6°C (temperatura mínima). No cenário B2 no período de 2071-2100 a temperatura máxima apresentou acréscimo de até 2,8°C e a temperatura mínima de até 2,6°C. A precipitação decresceu no cenário A2 entre 6,5 mm e 9,0 mm (2011-2040), e entre 16,7 mm e 25,1 mm (2071-2100), no cenário B2 também ocorreram decréscimos no valores da precipitação, com valores variando entre 6,6 mm e 9,3 mm (2011-2040), e entre 4,1 mm e 14,4 mm (2071-2100). As alterações nas variáveis temperatura e precipitação atuaram no modelo de crescimento 3-PG dentro do processo fotossintético, a temperatura de forma direta e a precipitação de forma indireta (água disponível no solo), que são incorporadas no modelo de crescimento 3-PG por meio de moduladores que limitam a produção.

As perdas de produtividades futuras estimadas poderiam ser ainda maiores, já que com o aumento da temperatura, maior seria a respiração de manutenção, fato não considerado pelo modelo, que atribui valor fixo para taxa de respiração, no caso 47% da produção primária bruta. Entretanto, deve-se considerar que o aumento da concentração de CO₂ na atmosfera além de causar o aquecimento (efeito radiativo), causa também o efeito fisiológico (fertilização do CO₂) que seria o aumento da capacidade fotossintética pela maior disponibilidade de CO₂ na atmosfera. Tais efeitos são opostos, enquanto o maior aquecimento pode gerar perdas de produtividade, o efeito fisiológico poderia aumentar a eficiência quântica do dossel e, conseqüentemente, aumentar a produtividade, já que ocorreria uma maior disponibilidade de carbono para ser fixado por meio da fotossíntese. Neste estudo, considerou-se apenas

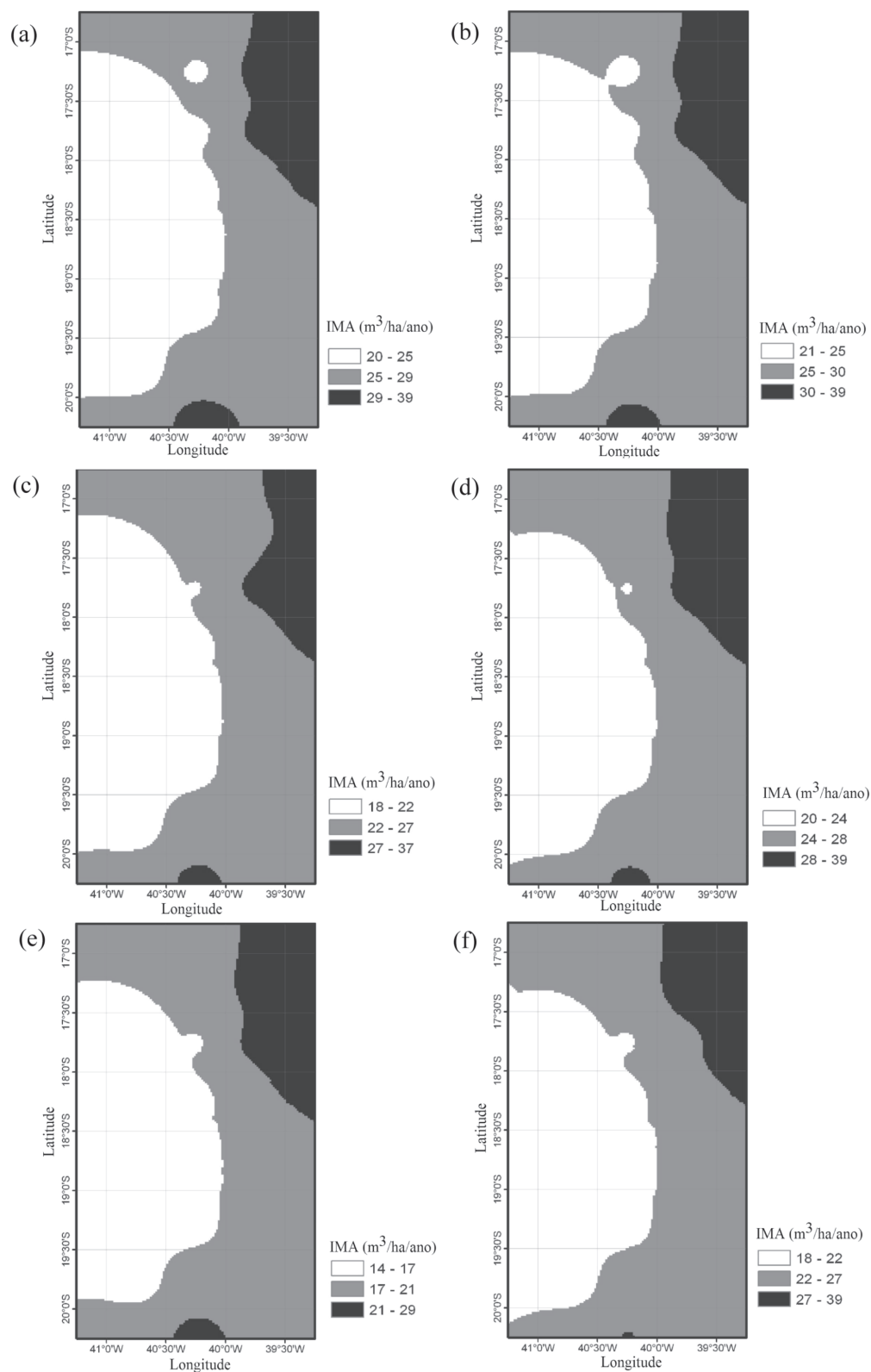


FIGURA 3: Incremento médio anual (IMA, $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ por ano) do eucalipto para os seguintes períodos e cenários de mudanças climáticas (a) 2011-2040 A2, (b) 2011-2040 B2, (c) 2041-2070 A2, (d) 2041-2070 B2, (e) 2071-2100 A2, (f) 2071-2100 B2.

FIGURE 3: Mean annual increment (MAI, $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ per year) of eucalyptus for the following periods and climate change scenarios (a) 2011-2040 A2, (b) 2011-2040 B2, (c) 2041-2070 A2, (d) 2041-2070 B2, (e) 2071-2100 A2, (f) 2071-2100 B2.

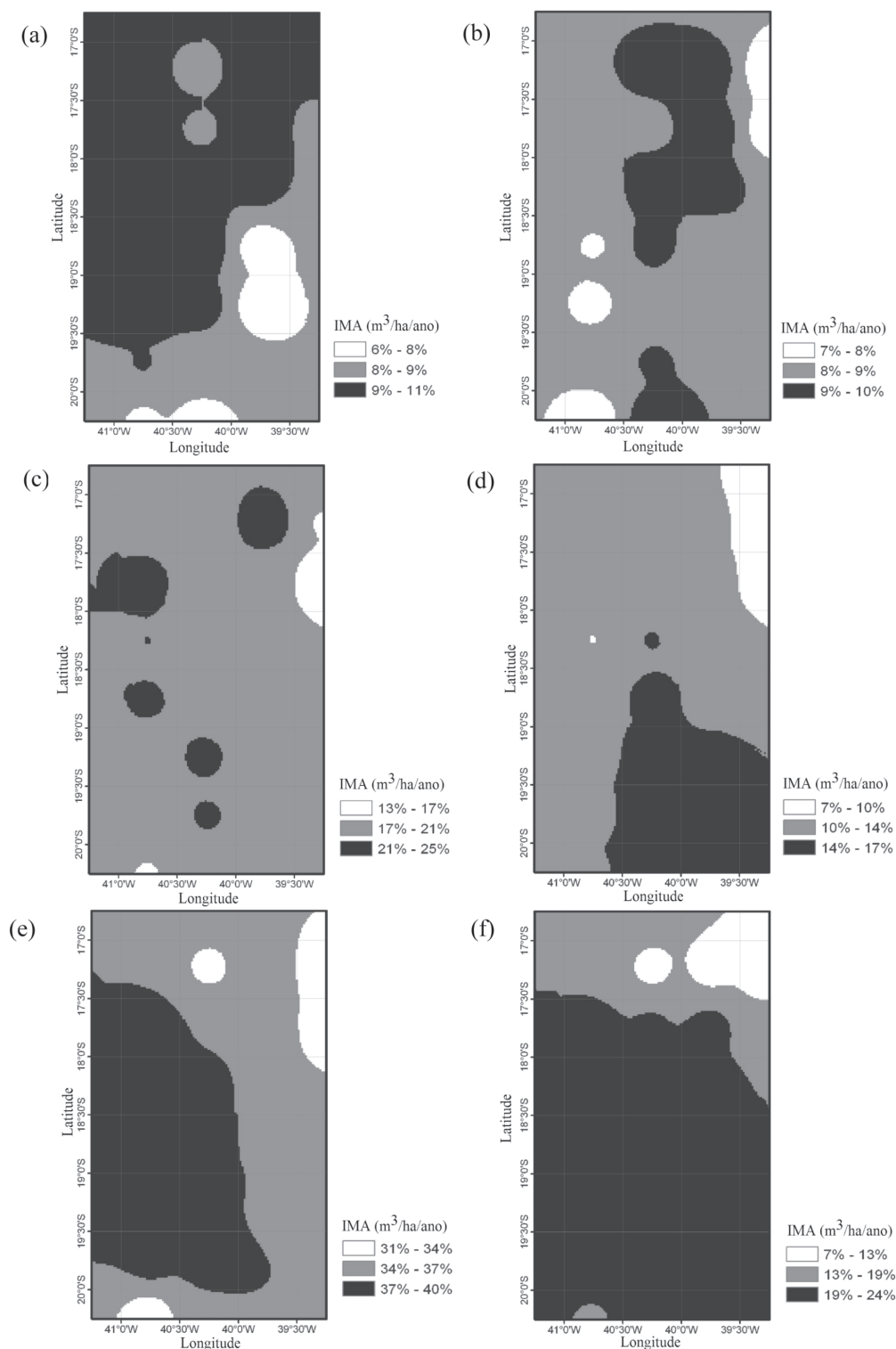


FIGURA 4: Variação do Incremento médio anual (IMA, m³ha⁻¹por ano) futuro do eucalipto em relação ao IMA atual para os seguintes períodos e cenários de mudanças climáticas (a) 2011-2040 A2, (b) 2011-2040 B2, (c) 2041-2070 A2, (d) 2041-2070 B2, (e) 2071-2100 A2, (f) 2071-2100 B2.

FIGURE 4: Variation on the future mean annual increment (MAI, m³ha⁻¹ per year) of eucalyptus in relation to the current MAI for the following periods and climate change scenarios (a) 2011-2040 A2, (b) 2011-2040 B2, (c) 2041-2070 A2, (d) 2041-2070 B2, (e) 2071-2100 A2, (f) 2071-2100 B2.

o efeito radiativo do CO₂ na produtividade futura do eucalipto, porém seria de grande importância incluir o efeito de fertilização do CO₂ no modelo 3-PG por meio da eficiência quântica do dossel, para assim obter resultados mais precisos de produtividade futura do eucalipto.

De acordo com Nobre e Nobre (2002), a incerteza com relação às mudanças na precipitação torna, no momento, impossível estabelecer precisamente os efeitos das mudanças climáticas globais sobre os ecossistemas e sobre a atividade agrícola, sobretudo considerando que a maior parte do País se situa em regiões tropicais e subtropicais onde o fator climático determinante é o regime de chuvas.

Apesar dos modelos climáticos globais convergirem para uma tendência de aumento da temperatura, há ainda muita incerteza com relação às possíveis mudanças na precipitação e quanto às modificações na frequência de extremos climáticos (secas, geadas, tempestades severas, vendavais, granizo etc). Diante da incerteza dos modelos não é possível prever a verdadeira magnitude das perdas de produtividade do eucalipto, mas se sabe que as mudanças climáticas estão ocorrendo e que alterações na produtividade do eucalipto serão inevitáveis. E mesmo com todas as incertezas advindas da modelagem, a projeção de dois cenários extremos (A2 e B2) confere ao manejador florestal situações para uma melhor tomada de decisão.

CONCLUSÕES

Diante desses resultados, conclui-se que:

- A produtividade futura de eucalipto apresentou redução em seus valores, mostrando a vulnerabilidade dos sistemas florestais à variação climática.
- O modelo de crescimento 3-PG associado aos dados de mudanças climáticas mostrou-se útil na projeção da produtividade futura de eucalipto. Tais projeções são importantes para que se possam mitigar os impactos no setor florestal causados pelas mudanças no clima.
- Deve-se considerar um grau de incerteza no futuro cenário climático do planeta e em particular no Brasil, especialmente em relação ao padrão de precipitação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A. C. et al. Parameterisation of 3-PG model for fast-growing *Eucalyptus grandis* plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 193, n. 1-2, p. 179-195, May. 2004a.
- ALMEIDA, A. C. et al. Needs and opportunities for using a process-based productivity model as a practical tool in fast growing Eucalyptus plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 193, n. 1-2, p. 167-177, May. 2004b.
- ALVES, R. Área plantada é só metade da procura. **Estado de Minas, Economia**, Belo Horizonte, p. 17, 28 abr. 2005.
- EVANGELISTA, R. C. **Impacto das mudanças climáticas na produtividade de eucalipto em duas regiões do Brasil**. 2006. 48 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.
- FAO-FAO **Forestry Statistics Today for Tomorrow, 1945-1993**. Roma: FAO. 1995. 52 p.
- GeoWorld. **Endeavour Maps the World in Three Dimensions**. Disponível em: <(http://www.geoplace.com/gw/2000/0400/0400tec.asp) > Acesso em: 20 de março de 2003.
- IAC - INSTITUTO DE AVIAÇÃO CIVIL. **Piloto Privado**: Avião. Rio de Janeiro. 1989. v. 1, 246 p.
- IPCC - PAINEL INTERNACIONAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Special Report on Emissions Scenarios**. Disponível em: (http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/ddc_envdata.html) > Acesso em: 17 de junho de 2005.
- LANDSBERG, J. J. et al. Applying 3-PG, a simple process-based model designed to produce practical results, to data from loblolly pine experiments. **Forest Science**, Bethesda, v. 47, n. 1, p. 43-51, Feb. 2001.
- LANDSBERG, J. J. et al. A generalized model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 95, n. 3, p. 209-228, Aug. 1997.
- NEW, M. et al. Representing twentieth century space-

- time climate variability. Part 1: development of a 1961-90 mean monthly terrestrial climatology. **Journal of Climate**, Boston, v. 12, n. 3, p. 829-856, Mar. 1999.
- NOBRE, C. A. et al. O balanço de carbono da Amazônia brasileira. *Estudos Avançados*, USP, São Paulo, n. 45, p. 81-90, 2002.
- NOZAWA, T. et al. Projections of future climate change in the 21st century simulated by the CCSR/NIES CGCM under the IPCC SRES Scenarios. In: MATSUO, T.; KIDA, H. (eds). **Present and Future of Modeling Global Environmental Change: Toward Integrated Modeling**. Ibaraki, 2001, p. 15-28.
- 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, set. 2002.
- SANDS, P.J. et al. Parameterisation of 3-PG for plantation grown *Eucalyptus globulus*. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.163, n. 1-3, p. 273-292, June 2002.
- SBS – SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **Fatos e Números do Brasil Florestal**. Disponível em: <<http://www.sbs.org.br/FatoseNumerosdoBrasilFlorestal.pdf>> Acesso em: 09 de outubro de 2007.