



## IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO ZONEAMENTO AGROCLIMÁTICO GLOBAL PARA *EUCALYPTUS GRANDIS* E *PINUS TAEDA*

Rafael Esteves Dohler<sup>1</sup>, Andréia Hollunder Klippel<sup>2</sup>, Alexandre Cândido Xavier<sup>3</sup>, Luciano Roncete Pimenta<sup>4</sup>, Fábio da Silveira Castro<sup>5</sup>.

1. Graduando em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias- Alegre-ES, Brasil.(rafaelesteves\_123@hotmail.com)
2. Graduanda em Agronomia da Universidade Federal do Espírito Santo.
3. Professor Doutor da Universidade Federal do Espírito Santo.
4. Doutorando em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa.
5. Doutorando em Produção Vegetal da Universidade Federal do Espírito Santo. Universidade Federal do Espírito Santo - Centro de Ciências Agrárias, Caixa Postal 16, 29500-000. Alegre – ES – Brasil

Recebido em: 06/10/2012 – Aprovado em: 15/11/2012 – Publicado em: 30/11/2012

### RESUMO

Com o objetivo de avaliar o impacto das mudanças climáticas na aptidão agroclimática do *Eucalyptus grandis* e *Pinus taeda*, foi realizado o zoneamento agroclimático para o mundo nos cenários de 1980, 2020 e 2050. Utilizaram-se dados meteorológicos de uma série histórica para o cenário de 1980 e projeções do modelo climático ECHAM4 referentes aos cenários de 2020 e 2050 para confecção do balanço hídrico. Os elementos climáticos usados para determinar a aptidão, foram a temperatura média do ar e a deficiência hídrica anual para a capacidade de água disponível de 300 mm. De acordo com os resultados, haverá uma diminuição de 4,28% e 0,71% da área apta no mundo para o *E. grandis* e o *P. taeda*, respectivamente, até o cenário de 2050.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Eucalyptus grandis*; *Pinus taeda*; mudança climática; zoneamento agroclimático.

### IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON GLOBAL AGROCLIMATIC ZONING FOR *EUCALYPTUS GRANDIS* AND *PINUS TAEDA*.

#### ABSTRACT

Aiming to assess the consequences of climate change on agroclimatic suitability of *Eucalyptus grandis* and *Pinus taeda*, was performed agroclimatic zoning of the world for the scenarios of 1980, 2020 and 2050. We used meteorological data from a series of scenario for 1980 and projections of climate model ECHAM4 scenarios relating to 2020 and 2050 to manufacture water balance. The climate elements used were air temperature and annual water deficiency, calculated for a soil water storage capacity of 300 mm. According to the results, there will be a decrease of 4,28% and 0,71% in suitable area in the world of *E. grandis* and *P. taeda*, respectively, until the 2050s.

**KEYWORDS:** *Eucalyptus grandis*; *Pinus taeda*; climate change.

## INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas vêm sendo identificadas atualmente, como uma das maiores preocupações a nível mundial. A mudança de uso ou cobertura do solo, e a queima de combustíveis fósseis associadas ao crescimento populacional vêm contribuindo para a intensificação do efeito estufa (BUCKERIDGE *et al.*, 2007). As alterações no clima levaram a Organização Meteorológica Mundial (OMM) e a United Nations Environment Programme (UNEP) a criarem o IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).

Alguns estudos mostram que a temperatura média da atmosfera terrestre aumentará de 1,8 a 4 °C neste século (IPCC, 2007) e que, conseqüentemente, causarão alterações na umidade atmosférica e nos regimes de precipitação (BUCKERIDGE *et al.*, 2007). Com o aumento da temperatura média, várias espécies animais e vegetais poderão ter que migrar para maiores latitudes e/ou altitudes em busca de condições mais favoráveis para seu desenvolvimento (GODOY, 2007).

Antes de implantar uma cultura em determinada região, é preciso avaliar as condições ambientais. O zoneamento agroclimático é uma técnica que tem como objetivo delimitar regiões, que sejam favoráveis ao desenvolvimento de determinadas culturas. Essa técnica constitui uma importante ferramenta para o planejamento da agricultura e utilização racional dos recursos, refletindo na otimização dos investimentos (CASTRO, 2010).

A espécie *Eucalyptus grandis* é a mais cultivada em estandes comerciais no mundo devido à facilidade de adaptação climática em diversas regiões. Essa espécie é intensamente utilizada para o fornecimento de lenha, carvão, moirões e principalmente para a celulose, material especulado por diversos países (BRIZOLLA, 2009).

A importância econômica *Pinus taeda* está relacionada à sua madeira que é amplamente utilizada em construções leves e pesadas, na produção de laminados, peças serradas para estruturas, confecção de móveis, embalagens, produção de celulose de fibra longa e outros fins (CARPANEZZI *et al.*, 1986).

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar as conseqüências das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do *Eucalyptus grandis* e do *Pinus taeda* no mundo.

## METODOLOGIA

A área contemplada no presente estudo é o Globo Terrestre, com área total de 148.847.000 km<sup>2</sup> (CHEN, 2011). Realizou-se um levantamento a respeito das exigências hídricas e térmicas da espécie *E. grandis* e *P. taeda* para avaliar se uma determinada sub-região está apta ou inapta ao cultivo destas (Quadro 1).

Os dados mensais de temperatura média do ar e precipitação total, utilizados para a estimativa do Balanço Hídrico Climatológico foram obtidos do IPCC, os quais correspondem as normais climatológicas de uma série histórica de 30 anos, sendo os que representam o clima atual o período de 1961-1990 ou cenário de 1980 e as projeções futuras realizadas através do modelo climático global ECHAM4 (European Center Hamburg Model version 4) para os períodos de 2010-2039 e 2040-2069 ou cenários de 2020 e 2050 respectivamente.

O modelo climático ECHAM4 foi escolhido por possuir as variáveis de temperatura média mensal (°C) e precipitação total mensal (mm), que são necessárias para a elaboração do zoneamento. Foi escolhido o cenário A2 do IPCC, pois descreve um futuro mais heterogêneo onde a regionalização é dominante, o que o caracteriza como mais pessimista e com maior emissão de gases causadores

do efeito estufa (IPCC, 2007).

A evapotranspiração potencial foi estimada pelo método de THORNTHWAITE (1948), que é um método empírico baseado apenas na temperatura média do ar. Para o cálculo do balanço hídrico admitiu-se a capacidade de armazenamento de água no solo (CAD) de acordo com os parâmetros da realização do zoneamento climático para espécies florestais, que equivale a 300 mm.

Por meio do cálculo do balanço hídrico, realizado pixel a pixel segundo a metodologia de THORNTHWAITE & MATHER (1955), descrita por PEREIRA *et al.*, (2002), obteve-se deficiência hídrica anual (Da). Tal procedimento foi realizado por rotina computacional desenvolvida por SILVA (2008).

O Software Spring 5.1.7 foi utilizado na confecção de cartas climáticas básicas. Com sobreposição das cartas climáticas básicas e o conhecimento das exigências das culturas estudadas, elaborou-se as cartas de aptidão climática, definindo-se:

- Apta: condições térmicas e hídricas da área apresentam-se favoráveis para o bom desenvolvimento e produção da espécie em escala comercial.

- Inapta: quando as características normais do clima não se apresentam adequadas à exploração econômica da espécie, devido a limitações severas dos fatores hídricos ou térmicos ou ambos.

Para o presente trabalho, não se considerou a classe restrita, pois essa acontece quando a área apresenta limitações hídricas e/ou térmicas, necessitando de irrigação para suprir a deficiência hídrica. Tais práticas de manejo tornam-se difíceis e economicamente inviáveis para as culturas em estudo.

**QUADRO 1:** Exigências estabelecidas para a implantação do *E. grandis* e *P. taeda*.

Espécie	Temperatura Média Anual		Deficiência Hídrica Anual	
	Regiões Aptas	Regiões Inaptas	Regiões Aptas	Regiões Inaptas
<i>Eucalyptus grandis</i> *	$6 \leq Ta \leq 32 \text{ } ^\circ\text{C}$	$6 > Ta > 32 \text{ } ^\circ\text{C}$	0 a 400 mm	>400 mm
<i>Pinus taeda</i> **	$13 \leq Ta \leq 19 \text{ } ^\circ\text{C}$	$13 > Ta > 19 \text{ } ^\circ\text{C}$	$\leq 50 \text{ mm}$	>50 mm

\*GOLFARI (1975); FERREIRA (1979)

\*\* CARPANEZZI *et al.*, (1986); GOLFARI (1975)

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo as projeções do modelo ECHAM4 ocorrerá o aumento médio global de 2,1 °C e 1,4% na temperatura média do ar e precipitação total mensal, respectivamente, até o cenário de 2050. Essas alterações do clima afetarão as áreas de aptidão para as espécies em estudo.

Para que a estimativa da evapotranspiração potencial, utilizando o método de THORNTHWAITE (1948), é necessário que as médias de temperaturas sejam superiores a 0 °C, por isso, algumas áreas como as regiões polares, partes da América, Europa e Ásia não aparecem nas Figuras 1 e 2.

### Zoneamento Agroclimático para o *E. grandis*.

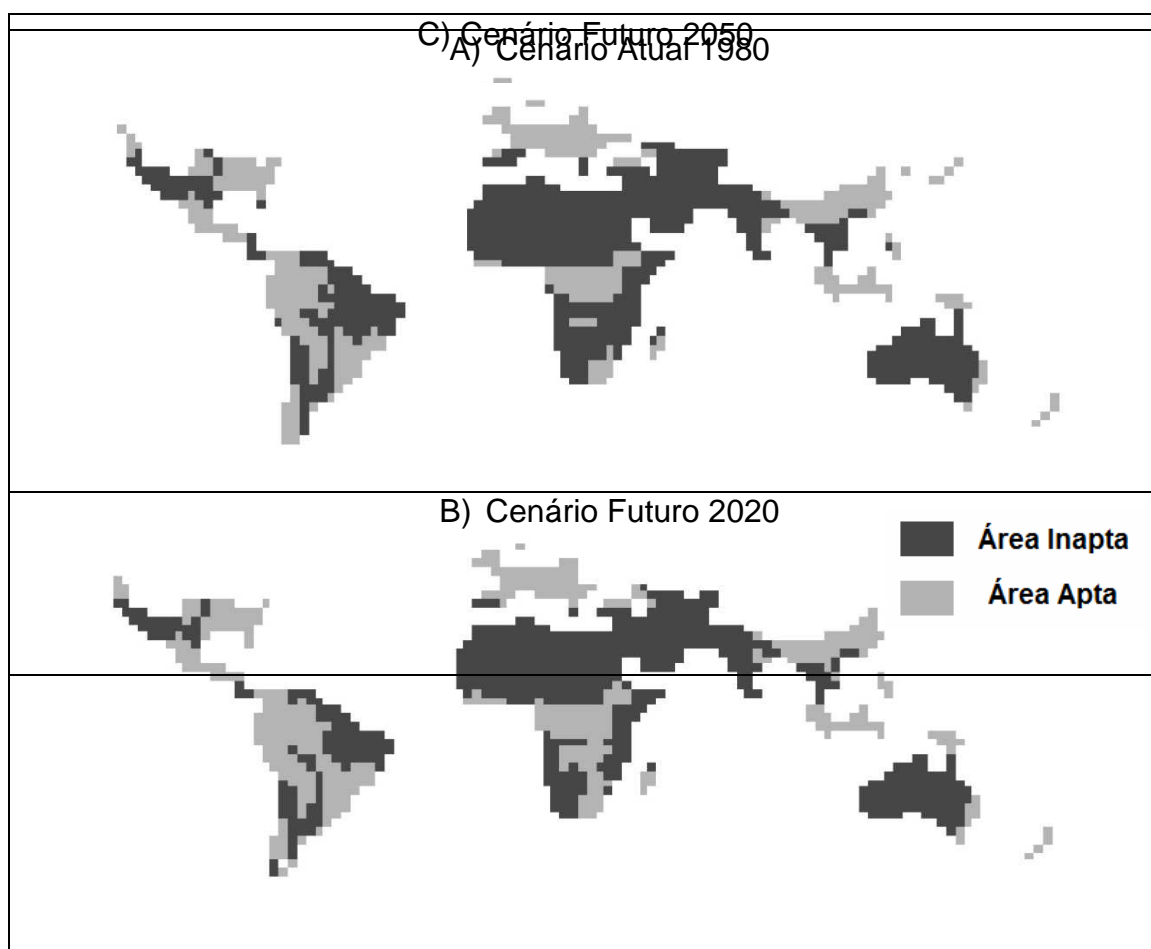
As projeções do modelo ECHAM4 apontam para um aumento médio na temperatura e precipitação, resultando na redução da área apta de *E. grandis* no mundo (Gráfico 1). No cenário atual (Figura 1), observa-se que o continente americano possui a maior área apta para o cultivo de *E. grandis*, principalmente no

território brasileiro que atualmente possui aproximadamente 4.874.000 de hectares plantados de eucalipto (ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA ABRAF, 2012).

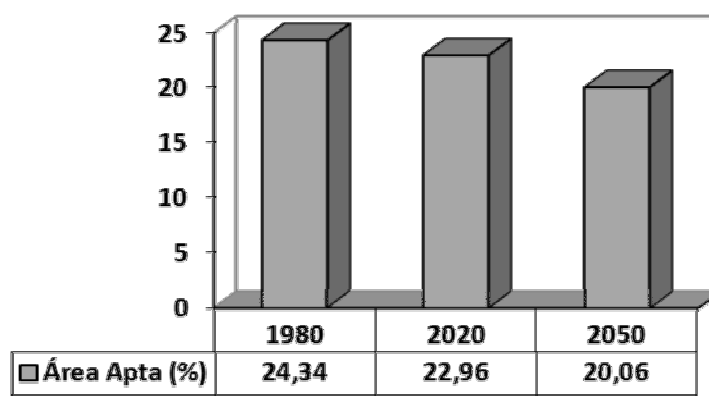
Mesmo com as mudanças no clima a área de aptidão do *E. grandis* na costa leste da Austrália será pouco alterada, haja vista que a Austrália possui as melhores condições climáticas para o desenvolvimento desta espécie (BRIZOLLA, 2009).

No cenário de 2020, é notável o aumento da área apta para o eucalipto na região europeia, isso ocorre devido à modificação do clima, que favoreceu os índices térmicos e hídricos para o desenvolvimento do eucalipto. Apesar desse aumento, a área apta global diminuiu de 24,15% para 22,78% no cenário de 2020 (Gráfico 1). O decréscimo é justificado pela mudança de aptidão nos continentes americano e africano, os quais tiveram as maiores reduções de área apta.

O cenário atual (Figura 1) mostra que a área de plantio de eucalipto da China é uma das maiores do mundo, e analisando o cenário de 2050, percebe-se que a área apta desse país pouco será afetada pelas mudanças climáticas. O Japão passará a ter uma maior área apta ao longo dos anos, já o continente africano terá redução de mais da metade de sua área apta.



**FIGURA 1-** Zoneamento Agroclimático do *E. grandis* para o Cenário Atual 1980 (A), Cenário Futuro 2020 (B) e Cenário Futuro 2050 (C).



**GRÁFICO 1-** Representação da porcentagem de área apta para *E. grandis* no Cenário atual 1980, Cenário Futuro 2020 e Cenário Futuro 2050.

Analisando o Gráfico 1, nota-se a diminuição da área apta para o *E. grandis* no mundo ao longo das décadas. Essa redução é resultado do aquecimento global do planeta, que implica em mudanças não só na temperatura, mas também na precipitação, umidade e ventos. Segundo as projeções, haverá um decréscimo de 4,28% na área apta global ao final do cenário de 2050, um número bastante representativo devido à importância do eucalipto na economia dos países.

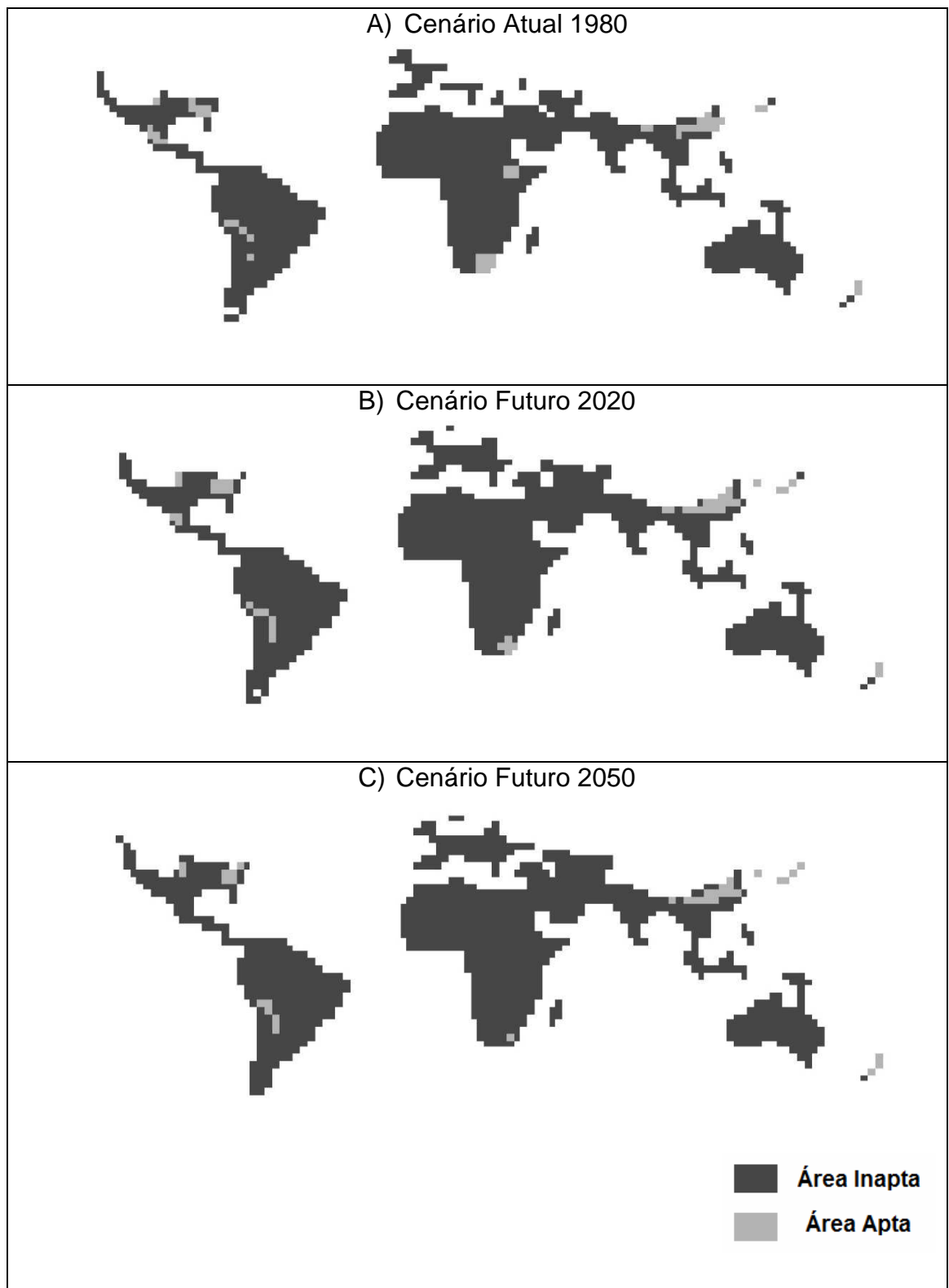
### **Zoneamento agroclimático para o *Pinus taeda***

De acordo com a Figura 2, as áreas aptas para a implantação do *P. taeda* foram aquelas onde a temperatura é mais amena e a deficiência hídrica inferior a 50 mm. Como era de se esperar a maior área apta no cenário atual se encontra na América, já que, o *P. taeda* é originário da região sudeste dos Estados Unidos, onde a cobertura florestal com a espécie é estimada em 11,7 milhões de hectares (SHIMIZU, 2011).

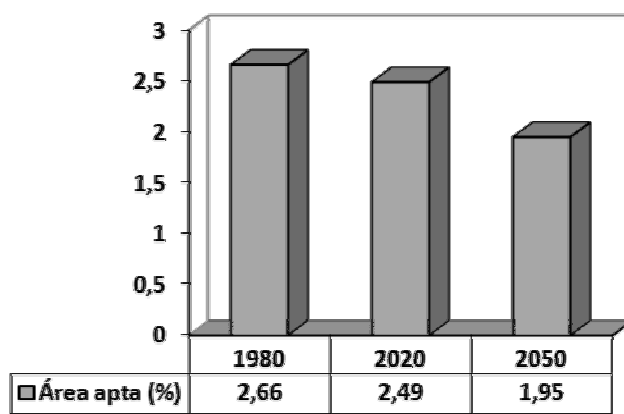
Observa-se que no cenário de 2020 ocorreu um aumento de áreas aptas na América e na Ásia, já na Oceania manteve-se constante. Apesar do aumento nesses continentes, a área de plantio no mundo diminuiu de 2,66% para 2,49% (Gráfico 2). O decréscimo é justificado pela mudança de aptidão no continente africano, onde, a área apta que se situava na região da Etiópia desapareceu e foi reduzida na África do Sul.

No cenário de 2050 haverá um grande aumento de áreas inaptas ao plantio de *P. taeda* na América e na África, assim, a maior área apta no mundo ao plantio da espécie estará situada no continente asiático.

Apesar da Figura 2 não apresentar áreas aptas para o plantio do *P. taeda* no Brasil, sabe-se que o país possui aproximadamente um milhão de hectares plantados com a espécie (SHIMIZU, 2011). A não ocorrência do aparecimento de áreas aptas pode ser justificada pelo fato do zoneamento agroclimático ser elaborado em nível de macroclima, ou seja, o clima regional. Fatores como relevo local e cobertura do terreno podem determinar topo e microclima que, por sua vez, tem a capacidade de tornar a região em que atuam favorável à implantação da cultura. Outra possível explicação é a utilização de variedades que sofreram melhoramento genético e se adaptaram às condições climáticas do Brasil (PEREIRA *et al.*, 2002).



**FIGURA 2-** Zoneamento Agroclimático para *P. taeda*; Cenário atual 1980 (A), Cenário Futuro 2020 (B) e Cenário Futuro 2050 (C).



**GRÁFICO 2-** Representação da porcentagem de área apta para *P. taeda* no Cenário atual 1980, Cenário Futuro 2020 e Cenário Futuro 2050.

Ao analisar o Gráfico 2, percebe-se que as áreas de aptidão para *P. taeda* no globo terrestre são pequenas. Isso ocorre devido à faixa de aptidão térmica da espécie ser estreita e pela mesma possuir baixa tolerância à deficiência hídrica (Quadro 1). Também é possível notar um decréscimo de 0,71% na área apta no mundo ao longo das décadas, um número bastante representativo pelo fato da área apta ser muito pequena.

ASSAD *et al.*, (2004) realizaram trabalho semelhante para a cultura do café arábica, e constataram que se as projeções se concretizarem, haverá decréscimo nas áreas de aptidão nos próximos 100 anos.

Apesar da necessidade de melhorias na resolução dos modelos climáticos, como o ECHAM4, estes se tornam importantes para se descobrir o comportamento da temperatura e precipitação diante das mudanças climáticas no mundo.

## CONCLUSÕES

- Comprovados os cenários atuais preconizados pelo modelo do IPCC, a área apta ao cultivo do *E. grandis* e *P. taeda* no mundo será reduzida em 4,28% e 0,71%, respectivamente, até o cenário de 2050, se mantidas as condições genéticas e fisiológicas atuais das espécies.

- Ao final do cenário de 2050 o *E. grandis* permanecerá com a sua maior área apta nas Américas, já o *P. taeda* terá o deslocamento da maior área produtiva da América para a Ásia.

## AGRADECIMENTOS

A FAPES pelo auxílio financeiro e pela concessão da bolsa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA ABRAF: ano base 2011. Brasília, DF, **Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas**, 150 p. 2012.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; JUNIOR, J. Z.; ÁVILA, A. M. H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília: v. 39, n. 11, p. 1057-1064, 2004.

BRIZOLLA, T. F. **Variabilidade genética de progênes de polinização aberta de Eucalyptus grandis hill ex maiden, correlações e juvenil-adulto e entre caracteres**. 2009. 58f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

BUCKERIDGE, M. S.; MORTARI, L. C. ; MACHADO, M. R. Respostas fisiológicas de plantas às mudanças climáticas: alterações no balanço de carbono nas plantas podem afetar o ecossistema?. IN: REGO, G. M.; NEGRELLE, R. R. B; MORELLATO, L. P. C. Fenologia - Ferramenta para conservação e manejo de recursos vegetais arbóreos (Editores Técnicos) - Colombo, PR: **Embrapa Florestas**, 2007.

CARPANEZZI, A. A.; FERREIRA, C. A.; ROTTA, E.; NAMIKAWA, I. S.; STURION, J. A.; PEREIRA, J. C. D.; MONTAGNER, L. H.; RAUEN, M. de J.; CARVALHO, P. E. R.; SILVEIRA, R. A.; ALVES, S. T. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado do Paraná**. Brasília: EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, 89 p. 1986.

CASTRO, F. S.; PEZZOPANE, J. E. M.; PEZZOPANE, J. R. M.; CECÍLIO, R. A.; XAVIER, A.C. Zoneamento agroclimático para espécies do gênero Pinus no Estado do Espírito Santo. **Floresta**, v.40, n.1, p.235-250, 2010.

CHEN, D. "Area of Earth's Land Surface." **The Physics Factbook**. [online], 2001. Disponível em: <<http://hypertextbook.com/facts/2001/DanielChen.shtml>> Acesso em: 06 de agosto de 2011.

FERREIRA, M. Escolha de Espécies de Eucalipto. **Circular Técnica, IPEF**, V.47, p. 1-39, 1979.

GODOY, J. F. L. **Ecofisiologia do estabelecimento de leguminosas arbóreas da Mata Atlântica, pertencentes a diferentes grupos funcionais, sob atmosfera enriquecida com CO<sub>2</sub>: uma abordagem sucessional**. 2007. 109f. Tese (Doutorado em Biodiversidade e Meio Ambiente) – Instituto de Botânica de São Paulo, São Paulo.

GOLFARI, L., **Zoneamento ecológico do estado de Minas Gerais para reflorestamento**. PNUD/FAO/IBDF –BRA/71/545. 65p. (Série Técnica nº 3), 1975.

IPCC. **Climate change 2007: the physical science basis: summary for policymakers**. Geneva: IPCC, 18p. 2007.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 478 p. 2002.

SHIMIZU, J. Y. **Sistemas de Produção**. Embrapa Florestas. [online], 2005.



Disponível em: [http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus/03\\_2\\_pinus\\_taeda.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus/03_2_pinus_taeda.htm) >. Acesso em 22 de julho de 2011. <

SILVA, K. R.; XAVIER, A. C.; CECILIO, R. A. **Balanço hídrico climatológico**. 2008.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v. 38, p. 55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Publications in climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 104 p. 1955.