

CRISTIANE CAMPOS TOLEDO

**ZONEAMENTO AGROCLIMÁTICO PARA CULTURA DO PINHÃO  
MANSO, NO ESTADO DE MINAS GERAIS EM CENÁRIOS DE MUDANÇA  
CLIMÁTICA**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Viçosa, como  
parte das exigências do Programa de Pós-  
Graduação em Solos e Nutrição de  
Plantas, para obtenção do título de  
*Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2009

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

T649c  
2009

Toledo, Cristiane Campos, 1983-

Zonamento agroclimático para cultura do pinhão manso, no estado de Minas Gerais em cenários de mudança climática / Cristiane Campos Toledo. – Viçosa, MG, 2009. ix, 58f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui anexos.

Orientador: Elpídio Inácio Fernandes Filho.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 43-53.

1. Solo - Uso. 2. Solos - Umidade - Medição. 3. Precipitação (Meteorologia) - Previsão. 4. Mudanças climáticas. 5. Meteorologia agrícola. 6. Climatologia agrícola. 7. Balanço hidrológico. 8. Biocombustíveis. 9. *Jatropha curcas* - Condições hídricas. 10. Plantas - Efeito da umidade do solo. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22. ed. 631.47

CRISTIANE CAMPOS TOLEDO

**ZONEAMENTO AGROCLIMÁTICO PARA CULTURA DO PINHÃO  
MANSO, NO ESTADO DE MINAS GERAIS EM CENÁRIOS DE MUDANÇA  
CLIMÁTICA**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Viçosa, como  
parte das exigências do Programa de Pós-  
Graduação em Solos e Nutrição de  
Plantas, para obtenção do título de  
*Magister Scientiae*.

APROVADA: 21 de dezembro de 2009.

---

Prof. Ivo Jucksch  
(Coorientador)

---

Prof. Genelício Crusoé Rocha

---

Felipe Nogueira Bello Simas

---

Marcelo Cid de Amorim

---

Prof. Elpídio Inácio Fernandes Filho  
(Orientador)

Ao meu avô Sebastião,  
Meu maior mestre...  
Dedico.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, pela minha vida.

Aos meus pais pela educação e pela ajuda nos momentos mais difíceis.

Ao Vanderson, meu marido, pelo incentivo e compreensão nos momentos em que estive ausente.

Ao Gustavo, meu filho, pela compreensão e carinho.

À Cristina, minha irmã, pela preocupação e ajuda.

Ao professor Elpídio Inácio Fernandes Filho, pela orientação, compreensão e pelo meu crescimento profissional.

À Elizabeth Nogueira Fernandes, pela amizade, pelos ensinamentos e desenvolvimento profissional.

Aos colegas do Departamento de Engenharia Agrícola, Marcelo Cid de Amorim, Gustavo D'angiolella, Valquíria e ao professor Flávio Justino, pela imprescindível ajuda com os dados meteorológicos.

À amiga Ecila Villani, pela amizade e imensurável ajuda.

Ao Programa de Pós-Graduação de Solos e Nutrição de Plantas pela oportunidade.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudo.

## **BIOGRAFIA**

CRISTIANE CAMPOS TOLEDO, filha de Luiz Mourão Toledo e Maria Aparecida de Campos Toledo, nasceu em 10 de março de 1982, na cidade de Juiz de Fora, MG.

Em 2002, iniciou o curso de Geografia na Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), em Juiz de Fora, MG, graduando-se em janeiro de 2007.

Em agosto de 2007, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas da UFV, em nível de mestrado, submetendo-se à defesa da dissertação em dezembro de 2009.

## CONTEÚDO

	Páginas
RESUMO .....	vi
ABSTRACT .....	viii
1. INTRUDUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	4
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	15
3.1 Informações Pedológicas .....	15
3.2 Informações Meteorológicas .....	17
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	22
4.1 Espacialização dos dados climáticos .....	22
4.1.1 Precipitação .....	22
4.1.2 Evapotranspiração Potencial .....	25
4.2 Disponibilidade Hídrica .....	27
4.3 Zoneamento para cultura do pinhão manso .....	33
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	43
ANEXOS .....	54

## RESUMO

TOLEDO, Cristiane Campos, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2009. **Zoneamento agroclimático para cultura do pinhão manso no estado de Minas Gerais, em cenários de mudança climática.** Orientador: Elpídio Inácio Fernandes Filho. Coorientadores: Ivo Jucksch e Elizabeth Nogueira Fernandes.

O presente trabalho teve como objetivo estimar a disponibilidade hídrica dos solos de Minas Gerais, em cenários de aquecimento global e elaborar um zoneamento agroclimático para a cultura do pinhão manso no estado de Minas Gerais, levando em consideração destas possíveis mudanças climáticas. Foram utilizadas informações pedológicas como textura, profundidade dos horizontes, carbono orgânico, entre outras do levantamento exploratório e de reconhecimento dos solos do Brasil, realizados pelo Projeto RadamBrasil e pela Embrapa, para determinação da capacidade de água disponível dos solos, dado este necessário para o cálculo do balanço hídrico segundo o método de Thornthwaite. As informações meteorológicas foram extraídas do Modelo de circulação geral da atmosfera HadRM3 com intervalo de dados dos períodos de 1960 - 1989 e 2070 - 2100, para o cenário A2, pessimista, e B2, otimista, segundo o Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (IPCC). A disponibilidade hídrica dos solos foi determinada de acordo com o índice "R" e, posteriormente, todas as informações foram interpoladas utilizando o interpolador spline no software ArcGis 3.2. Apesar dos cenários apresentarem progressiva tendência positiva quanto à precipitação, eles prevêm redução na disponibilidade hídrica em todo estado com índices inferiores a 0.6, que indicam déficit de umidade do solo, representando 0,7 % no período atual e, nos cenários B2 e A2, 20 e 16 %, respectivamente. Além de perdas na área total das classes que representam umidade favorável ao desenvolvimento da cultura. O zoneamento para a cultura do

pinhão manso indicou que, até mesmo nas condições mais extremas de alterações climáticas, o estado de Minas Gerais poderá contribuir com a produção do biodiesel, apresentando pequenas áreas com restrições térmicas à cultura, cerca de 7 %, no cenário B2, e 12 % no A2. Quanto à aptidão hídrica, 37 % das áreas do estado foram consideradas aptas ao cultivo no cenário B2, chegando a 42 % no cenário A2.

## ABSTRACT

TOLEDO, Cristiane Campos, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa. December, 2009. **Agroclimatic zoning for cultivation of *Jatropha curcas* in Minas Gerais state in climate change scenarios.** Adviser: Elpídio Inácio Fernandes Filho. Co-advisers: Ivo Jucksch and Elizabeth Nogueira Fernandes.

The present study aimed to estimate the water availability of soils from Minas Gerais, in scenarios of global warming and develop a culture for agroclimatic zoning of *Jatropha curcas* in the state of Minas Gerais, taking into account these possible changes. Information was used as soil texture, depth horizons, organic carbon, and other lifting discovery and recognition of the soils in Brazil, conducted by RADAMBRASIL and EMBRAPA, to determine the available water capacity of soils, given this need for calculation of water balance according to the method of Thornthwaite. The meteorological data were extracted from the model of atmospheric circulation HadRM3 with data range from 1960 to 1989 and from 2070 to 2100, for the pessimistic scenario A2 and B2 optimistic according to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). The availability of soil water was determined according to the index "R" and then the information was interpolated using the spline interpolation in the software ArcGIS 3.2. Although the scenarios present a gradual upward trend as the precipitation, they envisage a reduction in water availability throughout the state index of water availability below 0.6, indicating a deficit of soil moisture, accounting for 0.7 % in the current period and the B2 scenario and A2 now represents about 20 and 16 % respectively. In addition to losses in the total area of classes that represent moisture favorable to the development of culture. The zoning for the cultivation of *jatropha* has indicated that even under the most extreme change the state of Minas Gerais may contribute to the production of biodiesel. Introducing small areas with thermal constraints of culture, about

7 % under the B2 and 12 % in A2 and the ability to 37 % of the water areas of the state were considered suitable for cultivation in B2, reaching 42 % in the A2 scenario.

## 1. INTRODUÇÃO

A alteração climática na Terra é um fenômeno natural e aconteceu diversas vezes durante períodos geológicos anteriores. Atualmente, esse fenômeno é considerado um sério problema, quando analisado em escala global, devido ao ritmo acelerado em que está ocorrendo.

Em 1988, a Organização Meteorológica Mundial e o Programa das Nações Unidas para o Ambiente (PNUA) criaram o IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) para avaliar as informações sobre as alterações climáticas e, deste então, publica relatórios com informações sobre o tema e a construção de cenários de possíveis alterações climáticas baseadas na influência antrópica no Planeta.

Segundo o relatório do IPCC (IPCC, 2007), até 2100 a temperatura média do planeta poderá aumentar entre 1,6 °C e 5,8 °C, elevação resultante do aumento nas emissões de gases de efeito estufa, principalmente CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O. Em países desenvolvidos, e mesmo nas economias emergentes, como China e Índia, a queima de combustíveis fósseis é responsável por 60 a 80 % das emissões. No caso do Brasil, 55 % das emissões são provenientes das alterações da vegetação, em especial, os desmatamentos na Amazônia e no Cerrado, e 25 % decorrentes da agricultura, devido ao metano emitido por ruminantes.

Segundo Marengo (2006), desde o início do século XX observou-se aumentos na temperatura no Brasil, principalmente na temperatura mínima no período do inverno, indicando aumento de dias mais quentes. Com relação às precipitações, apesar de poucos estudos, já foi identificada maior ocorrência de eventos extremos de precipitação nas regiões Sul, Sudeste e, também, na Amazônia.

Estudos demonstram que alguns ecossistemas e espécies serão mais vulneráveis às mudanças climáticas (Phoenix & Lee, 2004; Meehl *et al.*, 2007; Calaghan *et al.*, 2005), principalmente aqueles localizados em altas latitudes. Entretanto, a floresta amazônica, localizada em baixas latitudes,

também poderá sofrer com estas alterações podendo evoluir para florestas menos exuberantes ou, até mesmo, para pastagens ou campos (Cox, 2004; Cramer *et al.*, 2004; Woodward & Lomas, 2004)

A economia brasileira é potencialmente vulnerável às mudanças climáticas, uma vez que tem forte dependência de recursos naturais renováveis. Mais de 50 % do PIB estão agregados a esses recursos, como agricultura, hidroeletricidade, biocombustíveis, bionergia, energia eólica, energia solar, entre outros. A utilização desses recursos naturais renováveis pode sofrer alterações negativas e até mesmo tornarem-se inviáveis, causando grandes prejuízos econômicos ao país.

Diversos estudos foram e continuam sendo desenvolvidos sobre os impactos destas mudanças em ambientes urbanos e rurais, principalmente para as culturas agrícolas e suas estratégias de adaptação. Entretanto, maiores esforços no cenário mundial direcionam-se para as políticas de mitigação e de redução da emissão, como a adoção do Protocolo de Quioto visando adequar o desenvolvimento econômico dos países e torná-lo sustentável (Dessai & Trigo, 2001).

Dentre essas políticas de redução, pesquisas com o objetivo de mudar a matriz energética do mundo têm sido realizadas em maior número, visto que a atual é baseada em recursos não renováveis. Dentre as alternativas, a utilização de biocombustíveis tem se destacado no cenário mundial.

Os biocombustíveis podem tornar-se uma opção social e ambientalmente correta tanto para a geração de divisas e de renda quanto para contribuir na redução da emissão de gases do efeito estufa. O Brasil torna-se, então, altamente competitivo na produção destes combustíveis, pois apresenta fatores favoráveis à implementação dessa atividade, tais como clima, grande extensão de solo agricultável e vocação para o agronegócio.

O biodiesel, obtido a partir de óleos vegetais ou animais, é considerado um combustível de queima limpa, podendo ser usado para alimentar motores ou para a geração de energia elétrica (Inovação

Tecnológica, 2003). O crescimento da demanda por esses óleos incentiva a produção de plantas oleaginosas, fazendo-se necessárias mais pesquisas com essas espécies. O pinhão manso (*Jatropha curcas L.*), planta da família das Euphorbiaceas, apesar de pouco conhecida, é uma oleaginosa potencial para a obtenção de óleo a ser utilizado como matéria prima para a produção de biodiesel (Beltrão, 2005).

No Estado de Minas Gerais, que possui grande diversidade de clima e solos, prefeituras e associações de produtores rurais têm demonstrado interesse no plantio de pinhão manso (Saturnino *et al.*, 2005). No entanto, são necessárias mais informações técnicas para garantir o planejamento da atividade.

Neste sentido, é grande a demanda por pesquisas que viabilizem os plantios de pinhão manso em condições atuais, e também em cenários futuros de mudanças climáticas, por meio da avaliação de possíveis alterações nos regimes hídricos, tendências e alterações do padrão climático com aumentos na temperatura e alterações no ciclo hidrológico. Desse modo, os objetivos deste trabalho foram retratados por duas vertentes:

a) Mapear a disponibilidade hídrica do estado de Minas Gerais no cenário atual e no cenário A2, mais pessimista, e no cenário B2, mais otimista, propostos pelo IPCC, e.

b) Elaborar um zoneamento agroclimático para a cultura do pinhão manso no Estado de Minas Gerais, nas condições climáticas atuais e em cenários de alteração climática mais severa, cenário A2, e menos severa, cenário B2, fornecendo subsídios para inserir o Estado nas políticas nacionais de produção de combustíveis alternativos.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

O planeta vem passando, nas últimas décadas, por intensos e acelerados processos de alteração das paisagens naturais. Tais processos resultam em impactos negativos ao meio ambiente e são motivados, principalmente, por ações antrópicas de exploração desordenada dos recursos naturais. O cenário atual leva a alterações no clima com danos irreparáveis aos diversos biomas e às condições de vida humana em diversas regiões do planeta (IPCC, 2007; PNUD, 2008).

Atualmente, o estudo das mudanças climáticas e seus efeitos são objeto de diversas pesquisas e têm por base Modelos Globais de Circulação Atmosféricas (GCMs) ou Modelos Globais Acoplados Oceano-Atmosfera (AOGCMs). De acordo com Marengo (2006), esses modelos simulam o clima em nível global e regional como resposta às mudanças na concentração de gases de efeito estufa e de vários outros aerossóis. Por esses modelos é possível simular as interações dinâmicas entre os sistemas água-solo-planta-atmosfera-oceano-gelo retratando, assim, os cenários futuros de clima.

Há concordância entre as pesquisas já existentes quanto ao aumento na concentração de gases causadores de efeito estufa na atmosfera como: dióxido de carbono, metano, nitratos, clorofluorcarbono (CFC), aerossóis, dentre outros. Esses estudos encontram-se nos relatórios do Intergovernmental Painel on Climate Change (IPCC), que servem de base para diversas pesquisas pelo mundo.

Os estudos de modelagem climática indicam que as alterações no clima terrestre, nos últimos 50 anos, estão ligadas diretamente às atividades antrópicas por meio de emissões de gases do efeito estufa (GEE). Essas mudanças provocam impactos na temperatura atmosférica, aquecimento das águas oceânicas, alterações em correntes marítimas, derretimento de geleiras, aumento na quantidade e intensidade de tempestades, entre outros (IPCC, 2007).

O relatório do IPCC publicado em 2007 sinaliza a probabilidade de ocorrer aumento de 1,4 °C a 5,8 °C na temperatura média do planeta nos próximos 100 anos. Esse resultado retrata os dados observados e os modelos utilizados para simular as mudanças climáticas, baseando-se em taxas de crescimento demográfico e em níveis de desenvolvimento tecnológico e econômico, construindo cenários de diferentes intensidades de emissão de gases de efeito estufa, como apresentado a seguir:

A1 - Rápido crescimento econômico, crescimento da população chegando a 9 bilhões em 2050, seguido por um declínio gradual, e rápida introdução de tecnologias mais eficientes. Este cenário é subdividido em outros três grupos com diferentes alternativas de mudança tecnológica para o sistema energético. O cenário A1FI com uso intensivo de combustíveis fósseis; o AIT, com utilização de fontes de energia não fóssil, e A1B, com equilíbrio entre todas as fontes e o consumo;

A2 - Mundo muito heterogêneo, elevado crescimento populacional, desenvolvimento econômico orientado regionalmente e mudança tecnológica mais lenta;

B1 - Mundo convergente, aumento da população chegando a 9 bilhões em 2050, declinando em seguida como em A1, e introdução de técnicas limpas e mais eficientes;

B2 - Crescimento populacional moderado, com níveis intermediários de desenvolvimento econômico e menor mudança tecnológica do que A1 e B1.

Este relatório menciona que a década de 90 foi a mais quente desde as primeiras medições, que se iniciaram na década de 1860. Estudos demonstram que há estreita relação desse aumento com a utilização de combustíveis fósseis. O ano de 1998 foi citado como o mais quente da História, com +0,54 °C acima das Normais Climatológicas considerando o período de 1961 - 1990. O período de 1994 - 2006 apresentou os maiores índices de temperatura. Também é prevista a elevação nos níveis de evaporação e intensificação do ciclo hidrológico, gerado pela maior quantidade de energia disponível causada pelo aumento da temperatura. Na

figura 1 é apresentada a projeção para precipitação, estimada pelo IPCC, para o cenário SRES (Special Report on Emissions Scenarios) A1B.

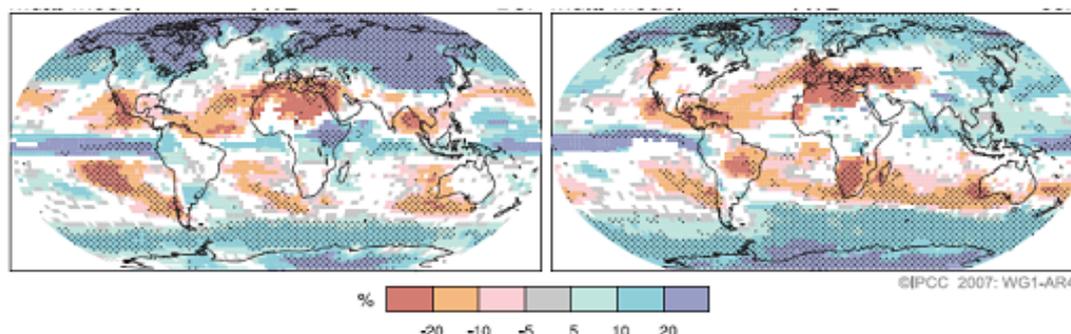


Figura 1. Projeção das precipitações para o período de 2090 - 2099, relativo a 1980 - 1999. Os valores são médias multi-modelos baseados no cenário SRES A1B para dezembro a fevereiro (à esquerda) e julho a agosto (à direita). As áreas brancas representam áreas onde há convergência de menos de 66 % dos modelos e, as pontilhadas, mais de 90 % de convergência.

Fonte: Climate Change (2007) – The Physical Science Basis.

Outros estudos identificaram também indícios de mudanças no regime de precipitação. Ferraz *et al.* (2006), avaliando uma série histórica de 1960 a 2005, na cidade de Santa Maria - RS, observaram tendência de aumento na precipitação total anual.

Marengo (2007) e Marengo *et al.* (2007), ao analisarem as tendências de precipitação nas cinco regiões brasileiras, verificaram tendências positivas de até +120 mm por década na maior parte das regiões Sul e Sudeste do Brasil, no período de 1951 - 2002, assim como tendências negativas nos estados do Amazonas, Bahia e norte de Minas Gerais. Para as regiões Nordeste e Amazônica, os estudos não evidenciaram tendências expressivas no período analisado.

Paez & Cruz-Medina (2009) analisaram a intensidade e distribuição da precipitação no noroeste do México e identificaram pequeno aumento na intensidade média de precipitação.

A intensificação na precipitação pode levar à maior ocorrência de eventos extremos, com chuvas mais intensas e constantes em algumas regiões do planeta, ocasionando impactos diretos e indiretos no cotidiano da sociedade, como inundações, deslizamentos, processos erosivos, perda da produção por secas ou por excesso de chuvas em períodos impróprios para o desenvolvimento das culturas e, até mesmo, perdas na produtividade por possível aumento na temperatura.

Para as culturas, os principais impactos referem-se às alterações nas taxas fotossintéticas, de respiração e no ciclo das culturas, que interferem diretamente sobre a produtividade das mesmas, todavia, a intensidade destes efeitos ainda é difícil de ser quantificada (Ewert *et al.*, 2005).

Nobre (2001) enfatizou que a disponibilidade de água para a agricultura será um fator-chave neste processo de mudança no regime das precipitações, uma vez que, em algumas regiões, as culturas poderão sofrer estresse hídrico, tornando-se muito vulneráveis. Contudo, as previsões atuais não são conclusivas.

A disponibilidade de água para as plantas depende do conteúdo de água armazenado no solo, que, por sua vez, está relacionado às características climáticas. À medida que o solo seca, fica mais difícil para as plantas absorverem água, devido o aumento na força de retenção, diminuindo a disponibilidade hídrica no solo (Rossato, 2001).

A capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP) têm sido empregados como os limites máximo e mínimo de água disponível no solo, respectivamente (Bergamaschi *et al.*, 1992; Rossato, 2001). A partir desses limites, determina-se a capacidade de armazenamento de água disponível no solo, considerando a profundidade do sistema radicular. De acordo com Rossato (2001), com o avanço do conhecimento teórico do estado da água no sistema solo-atmosfera-planta e também de novas

técnicas experimentais, torna-se cada vez mais claro que a dinâmica da água no solo depende da interação de diversos fatores.

O conhecimento do comportamento das variáveis climáticas, dentre elas, as precipitações pluviais e a temperatura, é essencial ao entendimento de como ocorrem estas alterações no estado hídrico do solo, sendo imprescindíveis ao planejamento do uso e ocupação do solo e para prevenir os possíveis impactos associados à ocorrência de episódios de extremos climáticos. Também devem ser consideradas as mudanças de uso e cobertura da terra, sendo muito importante para os estudos relacionados à disponibilidade dos recursos hídricos (Barlage *et al.*, 2002; Klöcking *et al.*, 2003)

Essa possível alteração dos componentes do ciclo hidrológico de ecossistemas terrestres poderá provocar impactos diretos na disponibilidade dos recursos hídricos e na duração dos períodos de enchente e estiagem. Dentre os componentes do ciclo hidrológico, o conteúdo de água no solo tem influência direta na quantidade de água disponível para as culturas agrícolas, interferindo no seu desenvolvimento, crescimento e rendimento, assim como na necessidade de irrigação (Streck, 2005).

Segundo o IPCC (IPCC, 2007), em termos gerais, a mudança climática não interferirá tão intensamente na demanda de água nas cidades e nas indústrias, mas, poderá influenciar o consumo de água para irrigação, que depende diretamente das taxas de evaporação. No caso de ocorrer elevação das temperaturas e, por consequência, elevação da evapotranspiração, a demanda por água para fins de irrigação também se elevará.

Atualmente, cerca de 95 % da agricultura praticada no Brasil se processa de forma extensiva e de sequeiro, ficando sujeita a extremos climáticos (Christofidis, 2002). Isso exige do setor agropecuário melhor planejamento para evitar ou minimizar as possíveis perdas da produção resultantes dessas variações. O relatório do IPCC (IPCC, 2007) aponta que a produtividade das culturas em baixas latitudes, especialmente nas regiões

tropicais, reduzirá caso a temperatura aumente de 1 a 2 °C, gerando aumento nos preços e no risco de escassez de alimentos.

A agricultura é uma atividade muito dependente de fatores climáticos, e as condições de adaptação frente às mudanças climáticas podem ser bem variáveis, colocando-a em posições mais ou menos vulneráveis, em função dos diferentes cenários climáticos. De acordo com o IPCC (IPCC, 2001; 2007), a capacidade adaptativa dos sistemas de produção da América Latina, África e Ásia, é baixa e a vulnerabilidade é alta, principalmente para os produtores de baixa renda, que dependem de sistemas agrícolas mais tradicionais.

Desse modo, é fundamental que as séries históricas de variáveis climáticas e hidrológicas, assim como a adaptabilidade de diversas culturas, comecem a ser avaliadas no sentido de identificar as possíveis tendências de alterações do padrão climático e, como consequência, os possíveis efeitos na agricultura.

Alterações no desenvolvimento das plantas no cenário das mudanças climáticas, com o aumento da temperatura e da precipitação pluvial, estão sendo investigadas em todo o mundo e, indicam que tais mudanças poderão ter impactos consideráveis na produtividade das culturas (Luo *et al.*, 2005; Richter & Semenov, 2005; Zhang & Liu, 2005).

No Brasil, até hoje, poucos estudos foram realizados com o intuito de relacionar alterações na produtividade com possíveis alterações climáticas. Pinto *et al.* (2001) simularam os efeitos das elevações da temperatura e da chuva no zoneamento da cultura do café, nos estados de São Paulo e Goiás, e concluíram que essas alterações poderiam gerar drástica redução nas áreas com aptidão agroclimática para a cultura.

Assad & Luchiari Jr. (1989) investigaram as possíveis alterações na produtividade do milho e da soja, no cerrado, em decorrência do aumento da temperatura. Siqueira *et al.* (1994) e Siqueira *et al.* (2000) se dedicaram a estudos com milho, soja, e trigo em algumas regiões brasileiras com possíveis impactos causados pelo aquecimento global. Sans *et al.* (2001) estudaram a cultura do milho na região Centro Oeste do Brasil e no estado

de Minas Gerais. Assad *et al.* (2004) também investigaram as mudanças na cultura no café com os possíveis aumentos de temperatura e, por fim, Oliveira (2007) estudou os impactos das mudanças climáticas na produção de milho e feijão em Minas Gerais. Em todos os trabalhos citados, os autores concluíram que ocorreriam alterações significativas nas áreas de aptidão agroclimática, com reduções consideráveis de áreas próprias para o cultivo.

Diversos estudos também estão sendo realizados para desacelerar as emissões dos gases de efeito estufa, principalmente por meio do desenvolvimento de fontes de energia mais limpa, para que haja uma mudança na matriz energética do mundo, visto que a atual é baseada em recursos não renováveis, implicando em alterações no clima mundial. Além disso, o elevado preço do petróleo no cenário mundial é um incentivo para pesquisas sobre fontes alternativas de energia. Dentre as alternativas, a que está ganhando mais espaço no cenário mundial atual é a utilização de biocombustíveis (Inovação Tecnológica, 2003).

Os biocombustíveis podem se tornar uma opção social e ambientalmente correta tanto na geração de divisas e de renda quanto na redução da emissão de gases do efeito estufa e recuperação de áreas degradadas.

De acordo com Parente *et al.* (2003), há indícios de que o mercado mundial de energia se torne o maior do mundo, ultrapassando até mesmo o de alimentos, considerando as previsões de incrementos populacionais e o maior desenvolvimento econômico de países periféricos.

O Brasil torna-se, então, altamente competitivo na produção de biocombustíveis, pois possui dimensões continentais, grande diversidade de solos e clima, com mais de 20 % da área agricultável e, aproximadamente, 200 espécies de espermatófitas produtoras de óleos (Beltrão, 2005), além da vocação para o agronegócio. O biodiesel é considerado um combustível de queima limpa, podendo ser usado para alimentar motores ou para a geração de energia elétrica (Inovação Tecnológica, 2003). A utilização do biodiesel como fonte de energia, produzido a partir de óleos vegetais ou gordura

animal, pode reduzir em até 78 % a emissão de poluentes para atmosfera (Agroanalysis, 2005).

Diversas espécies podem ser utilizadas para produção de biodiesel e, dentre as espermatófitas, as oleginosas que mais se destacam na produção de óleo são: soja (*Glycine max* (L.) Merrill), algodão (*Gossypium hirsutum* L. raça *latifolium* Hutch) e milho (*Zea mays* L), com extensas áreas plantadas no território brasileiro (Embrapa, 2004). A soja, apesar de apresentar teor de óleo em torno de 18 %, é a principal fonte de matéria prima para produção do biodiesel brasileiro, devido principalmente ao maior desenvolvimento de pesquisas sobre sua produção.

Outra espécie vegetal que tem se destacado atualmente é o pinhão manso (*Jatropha curcas*) da família Euphorbiaceae, cultivada em várias regiões do mundo, há centenas de anos, mas que somente nas últimas três décadas começou a ser pesquisada para fins agronômicos (Saturnino *et al.*, 2005).

O pinhão manso segue a arquitetura típica de diversas euforbiáceas. É um arbusto suculento que pode atingir até 12 m de altura com diâmetro do tronco variando de 20 a 30 cm (Peixoto, 1973; Drummond *et al.*, 1984). Além de ser perene, é considerado rústico e facilmente adaptável às diversas condições climáticas e nutricionais (Teixeira, 2005). Essa espécie se originou, provavelmente, nas Américas, e adaptou-se em várias regiões brasileiras. Foi introduzida por navegadores portugueses, no final do século XVIII, nas ilhas de Cabo Verde e em Guiné, mais tarde disseminada pelo continente africano (Epamig, 2003). Muito explorada no continente africano, Índia e América Central, o teor de óleo em suas sementes varia de 35 e 38 %, com produtividade agrícola de 5 t ha<sup>-1</sup>.

O pinhão manso não é muito exigente quanto ao tipo de solo, sendo adaptado a solos de baixa fertilidade. Entretanto, para que haja alta produtividade de sementes é necessário que se faça a correção do solo e adubações com cálcio, magnésio e enxofre (Drummond *et al.*, 1984). Recomenda-se cultivar em solos profundos, bem estruturados e pouco compactados (Arruda *et al.*, 2004) e deve-se evitar solos muito argilosos,

rasos, com muita umidade, pouco arejados e de difícil drenagem (Peixoto, 1973; BRASIL, 1985).

Quanto às condições climáticas, o pinhão manso pode ser cultivado em altitudes variando do nível do mar até superiores a 1000 m, e desenvolve-se com precipitações pluviais de 480 a 2.380 mm ano<sup>-1</sup>. De acordo com Hennig (1996), esta espécie tolera longos períodos de estiagem, mas seu crescimento é prejudicado com precipitações pluviais inferiores e 600 mm. É encontrado principalmente em regiões tropicais e temperadas, com menor incidência em regiões frias (Cortesão, 1956; Peixoto, 1973; BRASIL, 1985). Segundo Purdue University (1998), citado em Saturnino *et al.* (2005), o pinhão manso tolera temperaturas médias anuais entre 18 °C e 28 °C, mas não tolera geadas.

Andrade *et al.* (2007) investigaram no estado do Paraná em quais áreas a probabilidade de ocorrência de geadas seria maior, sendo estas consideradas inaptas ao cultivo do pinhão manso. Foram elaborados mapas de probabilidade de ocorrência de geadas com riscos de 10 e 20 %, correspondendo a uma geada a cada 5 e 10 anos, em média, respectivamente. Segundo os autores, no estado do Paraná, grande parte do Norte, Litoral e partes das regiões Oeste e do Alto Ribeira apresentaram baixo risco de perdas da cultura por geadas. Esses resultados dão suporte para definir as regiões aptas para a expansão da cultura do pinhão manso no estado.

Apesar de ser uma cultura que se desenvolve em variadas condições edafoclimáticas, são escassos os estudos referentes à viabilidade e planejamento da produção, levando em consideração as possíveis mudanças nas condições climáticas, como os estudos citados anteriormente, haja vista os incentivos à produção de biodiesel.

A Lei nº 11.097 de 2005 estabeleceu que, a partir de 2008, seria obrigatória a adição de 2 % de biodiesel ao diesel. E, para 2013, estabeleceu a percentagem de 5 % de biodiesel, dentre outras iniciativas por mudanças na matriz energética mundial, aumentando muito a necessidade

de novas fontes de matéria prima e de planejamento eficiente da implantação de novas espécies.

Segundo Saturnino *et al.* (2005), no estado de Minas Gerais já ocorreram diversas manifestações de intenção de plantio de pinhão manso por prefeituras e associações de produtores rurais, no entanto, é necessário gerar maiores informações para garantir o planejamento da atividade, pois o estado possui grande diversidade de clima e solos.

Em Minas Gerais predominam os climas tropical e tropical de altitude. Segundo a classificação de Köopen, o clima Tropical (Aw) ocorre nas regiões mais baixas (Zona da Mata, Depressão do São Francisco e Planalto Cristalino - porção noroeste) com temperatura variando entre 22 e 23 °C, com chuvas predominantes no verão e invernos secos. O índice pluviométrico fica em torno de 1.300 a 1.400 mm (sul) e 700 a 900 mm (norte). O Tropical de Altitude (Cwb) ocorre nas regiões mais elevadas (serras da Canastra, Espinhaço, Mantiqueira e sul do estado), com temperaturas oscilando de 17 a 20 °C; as chuvas ultrapassam facilmente os 1.300 mm anuais.

O estado de Minas Gerais também apresenta grande diversidade de solos (Embrapa, 1980). Nas regiões oeste, sul, sudoeste, Triangulo Mineiro, Alto Paranaíba e Zona da Mata verifica-se o predomínio de Latossolo Vermelho Amarelo; na região central, noroeste, norte, e Vale do Mucuri, Latossolo Vermelho Amarelo; na região do Jequitinhonha e Vale do Rio Doce, Argissolo Vermelho Amarelo; e na região central do estado e no Campo das Vertentes, os Cambissolos.

Dentre as alternativas que permitem gerar informações básicas para o planejamento das atividades agrícolas, o balanço hídrico é muito utilizado. A necessidade de se contabilizar a precipitação e a evapotranspiração que ocorre em um ecossistema deu origem ao balanço hídrico, com a finalidade de se conhecer a disponibilidade hídrica para as plantas. Com o objetivo de equacionar essa relação, surgiram diversos métodos para cálculo. Dentre esses, o mais difundido foi proposto por Thornthwaite & Mather (1955), por

considerar que a disponibilidade de água no solo reduz à medida que o armazenamento é diminuído (D'Angiolella, 2003).

O cálculo da evapotranspiração, também foi equacionado por diversos estudiosos, Thornthwaite (1948), Penman (1948), Blaney & Criddle (1950) e Turc (1955), citados por Butler & Miranda (1984), que estimavam a evapotranspiração a partir de parâmetros meteorológicos.

A partir do desenvolvimento científico e tecnológico, há a disponibilização de um número cada vez maior de informações para ser analisado, o que tem impulsionado a utilização de sistemas computacionais para realizar estes estudos. Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) são definidos como um modelo matemático dinâmico com função de integrar e analisar informações espaciais, muito úteis no planejamento e no gerenciamento dos recursos ambientais (Liu, 2006) Atualmente está sendo muito utilizado para análise de recursos hídricos (Giacomoni, 2002). No caso do balanço hídrico, é uma ferramenta eficiente que elucida a variabilidade espacial e temporal dos dados, possibilitando uma interpretação mais abrangente dos resultados.

Os SIGs também têm sido muito empregados na elaboração do zoneamento agroclimáticos para indicar as melhores áreas para cada tipo de cultura, permitindo maiores produtividades. Em termos práticos, o zoneamento conduzido pela Embrapa Arroz e Feijão, ocorrido no estado do Mato Grosso, possibilitou que o estado se tornasse no segundo maior produtor de arroz do Brasil (Lima & Alves, 2008). O zoneamento agroclimatológico permite identificar áreas com maior vulnerabilidade à mudança do clima, assim como áreas que serão mais apropriadas para cada cultura em função do regime de precipitação e temperatura (Lima & Alves, 2008).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

A área em estudo compreende o Estado de Minas Gerais, que se situa na Região Sudeste do Brasil, localizado entre os paralelos 14° 13' 57" e 22° 55' 22" S e os meridianos de 39° 51' 23" e 51° 02' 45" W, com extensão territorial em torno de 586.528 km<sup>2</sup> e população de 20.595.499 habitantes (IBGE, 2006).

Para a realização deste trabalho foram utilizados dados referentes às propriedades físicas dos solos e dados meteorológicos retirados de séries dinâmicas estruturadas no modelo de circulação geral da atmosfera HadRM3P.

#### 3.1. Informações Pedológicas

Foram utilizadas, neste estudo, informações pedológicas de uma base de dados de características física dos solos brasileiros, em que parte dos levantamentos exploratórios e de reconhecimento foram executados pelo projeto Radam/Brasil e pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA.

À Embrapa coube realizar o levantamento pedológico com o objetivo de produzir um mapa de solos do Brasil, de acordo com as normas propostas pelo Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos. O projeto Radam Brasil mapeou o território nacional na escala de 1:1.000.000, utilizando imagens de radar e outros sensores, além de trabalhos de campo no período de 1973 a 1984.

Foram utilizados perfis de solos sistematizados e georreferenciados pelo *Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos* (CPTEC/INPE) para fins de monitoramento do conteúdo de água no solo em áreas

estratégicas, por meio do Programa de Monitoramento de Tempo, Clima e Recursos Hídrico – PMTCRH/INPE/MCT (Embrapa, 1980; Rossato *et al.*, 1998; Souza *et al.*, 2001; Tomasella *et al.*, 2003).

A figura 2 representa a espacialização dos perfis de solos no Brasil pertencentes à base de dados.

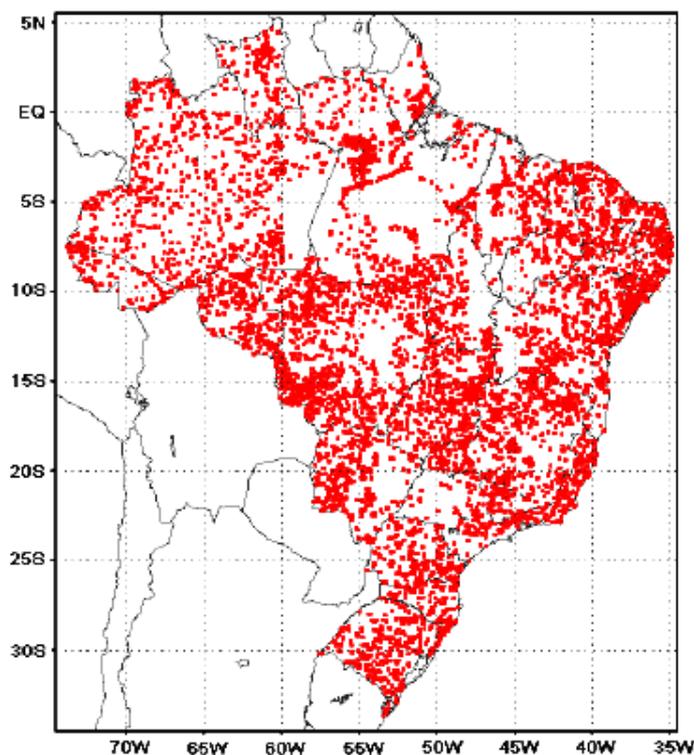


Figura 2. Localização dos perfis de solos da base de dados.

Cada ponto da figura 2 indica a localização de um perfil de solo no território brasileiro, no qual são descritas as informações das características geográficas básicas e físicas dos solos, tais como: profundidade de todos os horizontes; classes de textura (percentuais de areia, silte e argila), carbono orgânico e equivalente de umidade. Desta base de dados foram extraídos os dados de perfis de solo do Estado de Minas Gerais que foram utilizados neste trabalho.

### 3.2 Informações Meteorológicas

A variabilidade do clima e de extremos climáticos tanto para o presente quanto para o longo prazo é baseada em observações meteorológicas e representa aspectos inéditos, como a aplicação de modelos climáticos regionais a partir de uma maior disponibilidade de dados observados. Em termos de tendências futuras de alterações climáticas, foram utilizados dois cenários estabelecidos pelo IPCC: um para os níveis de altas emissões de gases de efeito estufa (A2) e outro de baixas emissões (B2). Para tanto, em Minas Gerais, foram utilizadas as projeções climáticas no período de 1960 - 1989 (no presente) e de 2071 - 2100 (no futuro). As projeções das mudanças climáticas (cenários de temperatura, precipitação e outras variáveis climáticas) foram elaboradas com base nas considerações e modelos globais de clima utilizados pelo Intergovernmental Program Climate Change - Fourth Assessment Report (IPCC AR4). As projeções, em escala global, foram regionalizadas, numa técnica denominada de *downscaling* dinâmico, um refinamento de grade, a partir de modelos regionais climáticos de maior resolução espacial com células de 50 x 50 km sobre a área de interesse, onde as condições de fronteira (ou de contorno) laterais dos modelos regionais são provenientes do modelo climático global.

O cenário A2, considerado mais pessimista em previsões do clima, considera para 2040 emissões cumulativas de CO<sub>2</sub>, na ordem de 530,7 Gt e aumento na temperatura de 2 - 4 °C; o cenário B2, mais otimista, considera a emissão de CO<sub>2</sub> de 446,0 Gt e aumento na temperatura de 1 - 3 °C (Nakicenovic *et al.*, 2000; IPCC, 2001, 2007).

Nesta ordem, foi utilizado o sistema integrado de modelagem climática regional PRECIS ("Providing Regional Climates for Impacts Studies"), versão 1.2 (Jones *et al.*, 2004), desenvolvido no Hadley Centre, Inglaterra, com as condições de contorno do modelo climático regional HadRM3P, o qual foi implementado no Brasil pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Sua dinâmica é baseada no HadRM3, em grade

regionalizada, que é uma versão mais recente da componente atmosférica do modelo de circulação global HadCM3 (Johns *et al.*, 2003). O modelo regional HadRM3P possui resolução horizontal de 50 km com 19 níveis na vertical (da superfície até 30 km na estratosfera) e quatro níveis no solo. A resolução espacial é de 44' x 44' (latitude x longitude), o que corresponde a uma grade aproximada de 50 x 50 km. Para fins de mudança climática, o modelo usa uma representação do ciclo de sulfato e de alguns outros aerossóis.

Dados diários de temperatura mínima e máxima, precipitação e radiação solar foram extraídos do modelo para os intervalos de dados anuais de 1960 a 1989, e de 2071 a 2100, tanto para os cenários atual como para A2 e B2. Foram selecionados 29 pontos centrais das células da grade que compõem o modelo, sendo 14 pontos dentro do estado de Minas Gerais e 15 pontos de estados vizinhos para minimizar possíveis efeitos de borda (Quadro 1, Anexo), e no modelo digital de elevação da área (Figura 3).

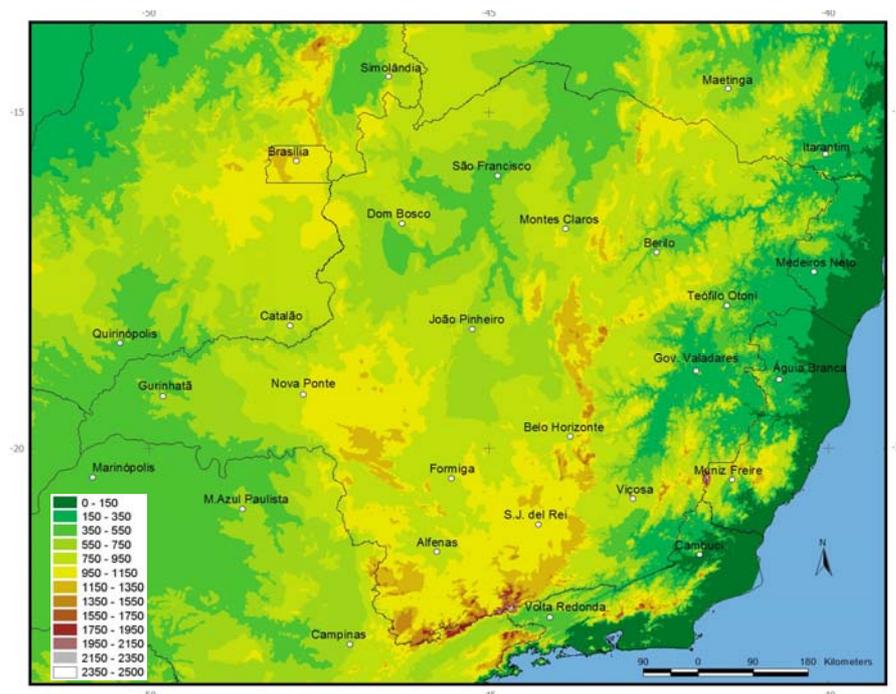


Figura 3. Localização dos pontos de utilização dos dados.

Foram extraídos os dados climáticos dos pontos a partir de reorganização dos dados diários em médias mensais.

A evapotranspiração potencial foi estimada utilizando o método de Thornthwaite (1948), empregando a equação:

$$ETP = 16 \left( 10 \frac{T_i}{I} \right)^a \quad T > 0 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1)$$

$$a = 6,75 \times 10^{-7} I^3 - 7,71 \times 10^{-5} I^2 + 1,7912 \times 10^{-2} I + 0,49239 \quad (1.1)$$

em que, ETP = evapotranspiração potencial (mm mês<sup>-1</sup>);

T<sub>i</sub> = temperatura média mensal (°C); e

I – índice de calor da região.

O índice de calor da região foi calculado com valores normais empregando-se a equação:

$$I = \sum_{i=1}^{12} (0,2T_i)^{1,514} \quad T_i > 0 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1.2)$$

Segundo D'Angiolella (2003), este método originou de uma região de clima temperado continental, no centro e leste dos Estados Unidos, onde apresentou bons resultados. Todavia, em outras regiões, os resultados não foram satisfatórios, mas, mesmo assim, vem sendo utilizada em todas as regiões, por requerer somente dados de temperatura média do ar.

O balanço hídrico climatológico foi calculado de acordo com o método proposto por Thornthwaite & Mather (1955), empregando-se a Planilha BHídrico GD 4.0-2004 (D'Angiolella & Vasconcellos, 2004). Segundo Rossato (2001), esse método é muito utilizado em todas as regiões do mundo por possibilitar a previsão da variação temporal do armazenamento de água no solo, usando estimativas de evapotranspiração real, déficit hídrico e excedente hídrico. O método considera que a taxa de perda de água por evapotranspiração varia linearmente com a quantidade de água armazenada no solo, sendo que a evapotranspiração é máxima quando o

solo apresenta a umidade na capacidade de campo, e é nula quando a umidade corresponder ao ponto de murcha permanente.

Considerou-se a capacidade de água disponível (CAD), que corresponde ao intervalo entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murchamento permanente (PMP) (Quadro 2, Anexo), conforme calculado por Amorim (2008), empregando a equação:

$$CAD = \frac{(U_{cc} - U_{pmp}) \cdot Z_r}{100} \quad (2)$$

em que ,  $U_{cc}$  e  $U_{pmp}$  são as unidades (à base de volume) na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente, respectivamente, e  $Z_r$  a profundidade radicular.

Esses parâmetros foram obtidos por meio dos atributos físicos e químicos dos perfis de solos predominantes nas Mesorregiões de Minas Gerais (GEOMINAS, 2007), retirados da base de dados do Programa de Monitoramento de Tempo, Clima e Recursos Hídrico - PMTCRH/INPE/MCT, (Souza, 2001; Tomasella et al, 2003)

As informações de disponibilidade hídrica foram estabelecidas conforme Yao (1968), sendo definida como a razão entre a evapotranspiração real e a potencial, cujos valores variam de zero (nenhuma disponibilidade hídrica) a 1 (disponibilidade hídrica plena). O valor do índice "R" igual a 0,6 indica o ponto crítico da umidade do solo necessário ao desenvolvimento dos cultivos. Desta forma, solos que apresentam condições favoráveis ao desenvolvimento das culturas devem apresentar valores superiores a 0,6, enquanto que valores inferiores a 0,6 indicam déficit de umidade (Accioly *et al.*, 2001).

Para espacialização dos dados de precipitação, evapotranspiração potencial e do balanço hídrico, foi utilizado o método de interpolação Spline, Sistema de Informação Geográfica ArcView, versão 3.2a, da empresa Environmental System Research Institute (ESRI, 1997), pela valorização dos pontos originais e pela garantia da continuidade dos mesmos, para as

informações de precipitação, evapotranspiração potencial e real, deficiência, excedente e disponibilidade hídrica, sendo gerados mapas dos totais anuais para Minas Gerais.

Para elaboração do zoneamento do pinhão manso foram utilizados dados de temperatura e precipitação pluvial, empregados em zoneamentos realizados para a cultura por Martins et al. (2009) e Gonçalves et al. (2009), conforme tabela 1.

Tabela 1. Temperatura e precipitação para elaboração do zoneamento do pinhão manso.

Condição	Temperatura —— °C ——	Precipitação —— mm ——
Apto	18-27	< 600
Restrito	16-17 e 28- 30	600 - 1000
Inapto	< 15 e 31- 33	> 1000

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Espacialização dos dados climáticos

#### 4.1.1 Precipitação

Depois de extrair os dados do modelo, em uma primeira etapa, os valores referentes à precipitação total anual do período de 1960 - 1989, para o Estado de Minas Gerais, foram espacializados por interpolação para explicar as alterações na precipitação com as mudanças climáticas (Figura 4).

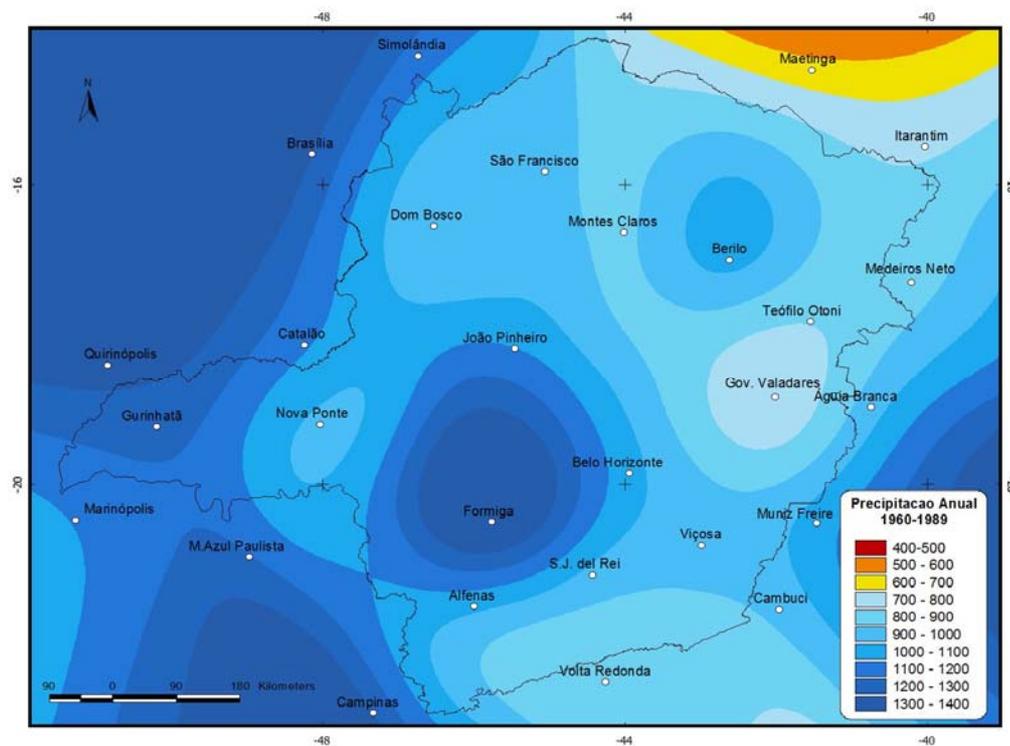


Figura 4. Valores de precipitação total anual, no período de 1960 - 1989, para o estado de Minas Gerais.



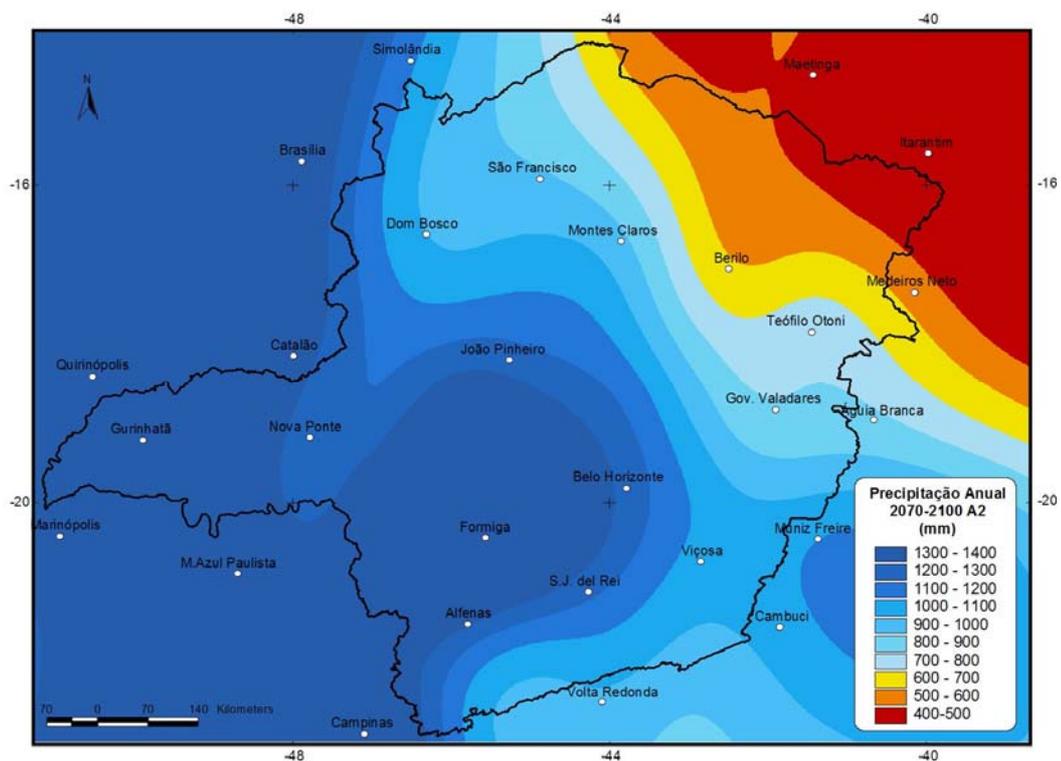


Figura 6. Valores de precipitação total anual, cenário A2, para o estado de Minas Gerais.

#### 4.1.2 Evapotranspiração Potencial

Ainda na primeira etapa deste estudo foram espacializados os dados de evapotranspiração potencial, para análise da variação espacial desta variável com os aumentos na temperatura nos cenários propostos pelo IPCC (Figura 7).

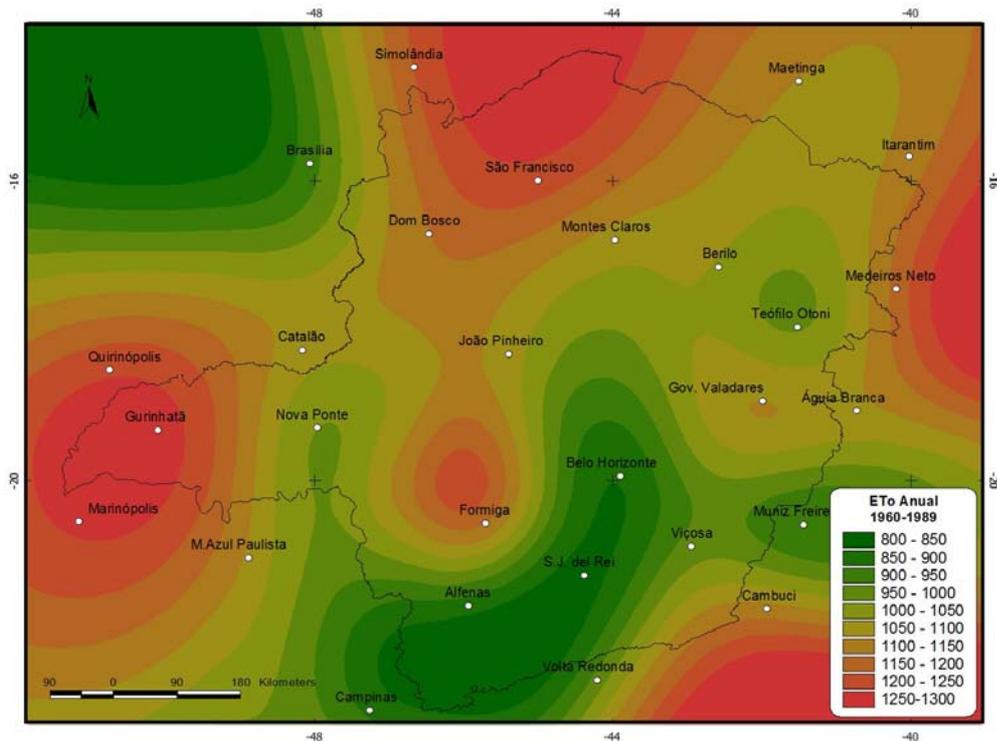


Figura 7. Evapotranspiração potencial anual para o estado de Minas Gerais, no período de 1960 - 1989.

A evapotranspiração no cenário B2 (Figura 8) ,que considera aumento na temperatura entre 2 - 4 °C, apresentou a maior intensificação com relação ao cenário A2 (Figura 9) e ao período de 1960 - 1989 (Figura 7), concordando com os relatórios do IPCC (IPCC, 2001, 2007), nos quais estão previstas essas alterações no ciclo hidrológico, utilizando médias de diferentes modelos para todo o planeta.

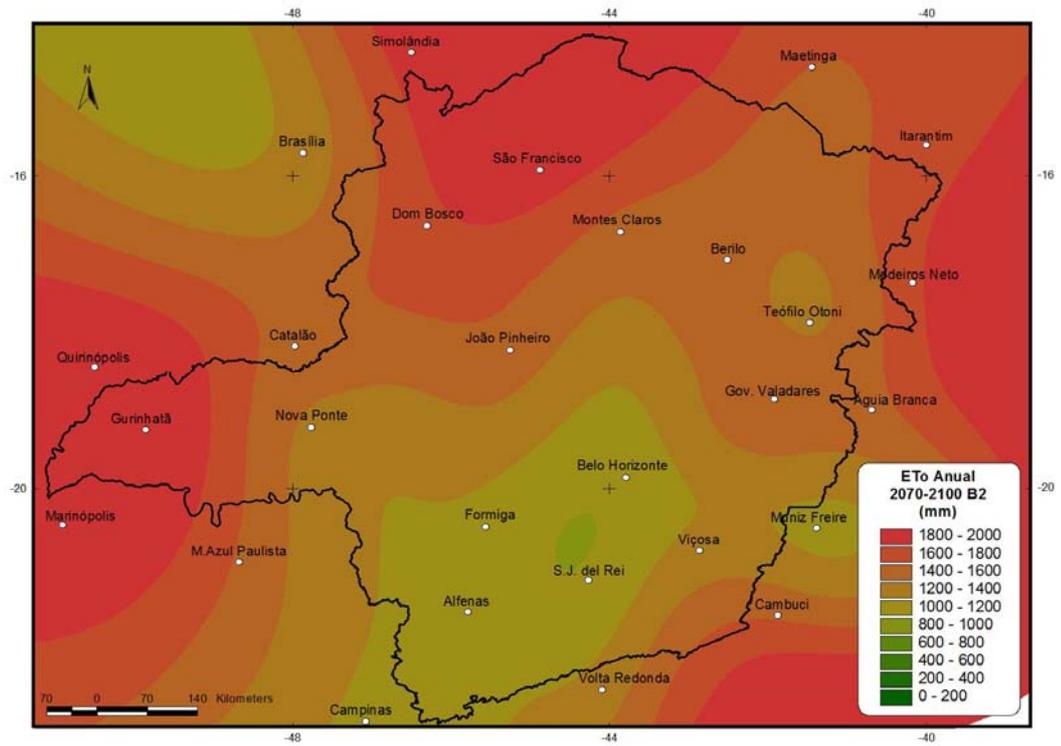


Figura 8. Evapotranspiração potencial anual, cenário B2, para o estado de Minas Gerais.

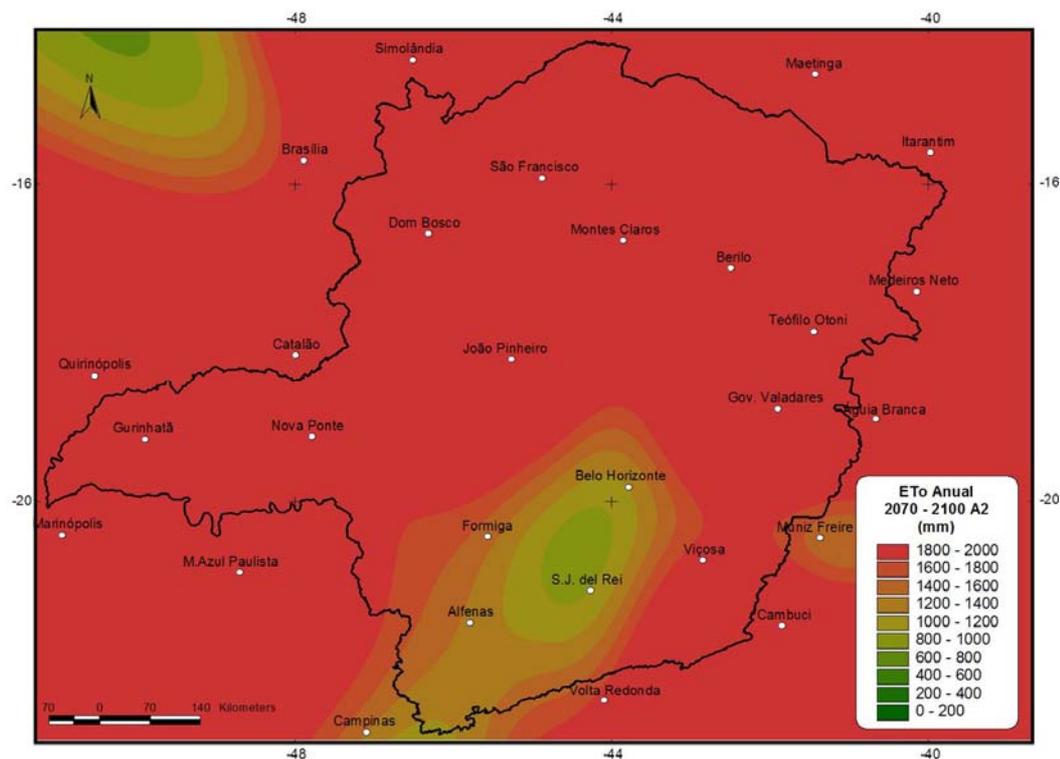


Figura 9. Evapotranspiração potencial anual, cenário A2, para o estado de Minas Gerais.

A intensificação da evapotranspiração potencial, de acordo com Nobre (2001), poderá causar, em algumas regiões, estresse hídrico, pois apesar de apresentar tendências positivas de precipitação, no cenário A2, mais pessimista, este excedente hídrico não estará, necessariamente, disponível para as plantas.

#### 4. 2 Disponibilidade hídrica

A segunda etapa do estudo deu origem aos dados de disponibilidade hídrica para o estado de Minas Gerais, no período de 1961 - 1989, para os cenários B2 e A2, no período de 2070 - 2100, conforme o proposto por Yao (1968).

Com relação ao período de 1961 - 1989 (Figura 10), os cenários B2 (Figura 11) e A2 (Figura 12) apresentaram diminuição na disponibilidade hídrica em diferentes intensidades e em diversas regiões do Estado.

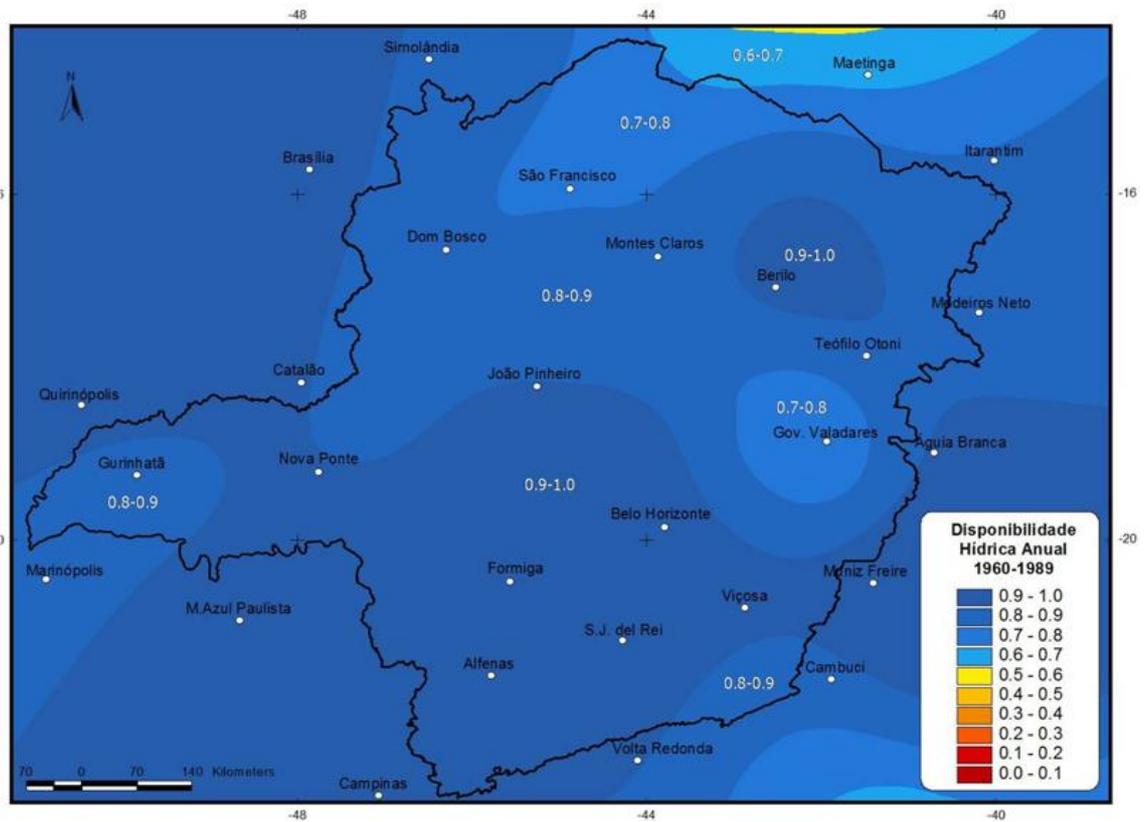


Figura 10. Disponibilidade hídrica anual no período de 1960 - 1989 para o estado de Minas Gerais.

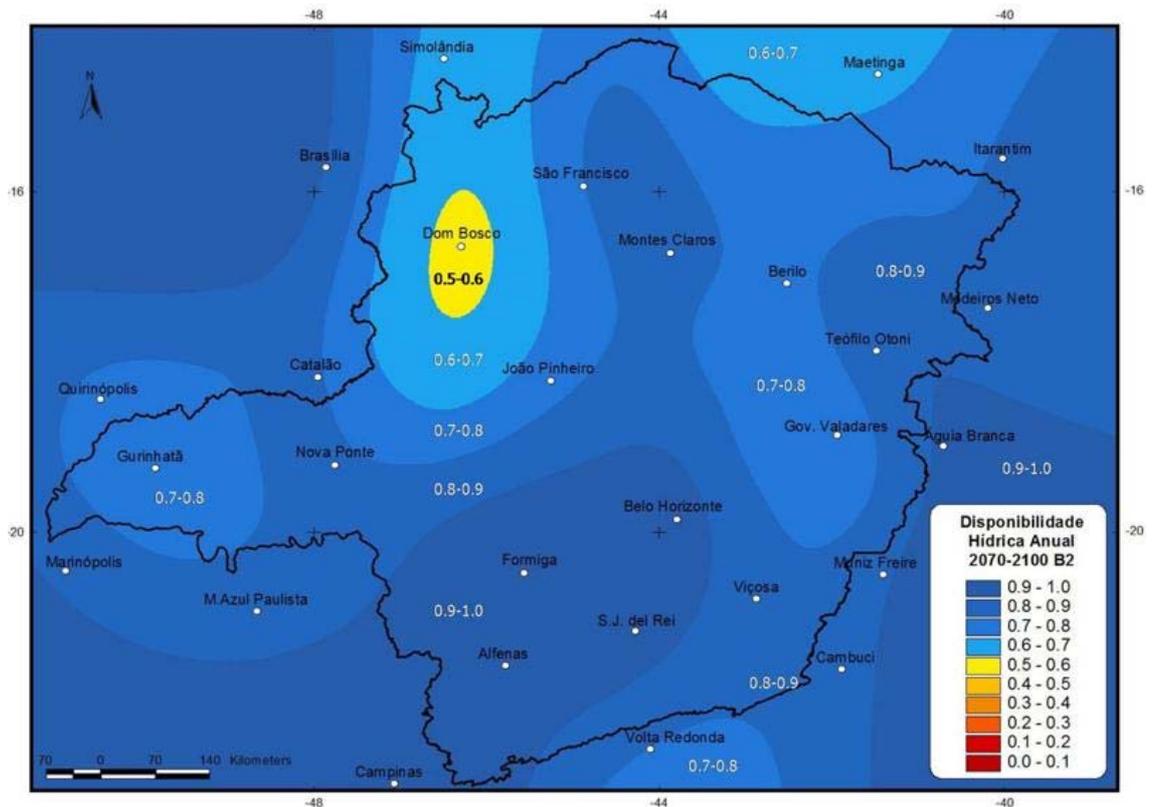


Figura 11. Disponibilidade hídrica anual, cenário B2 (2070 - 2100), para o estado de Minas Gerais.

Essa alteração na disponibilidade hídrica para Minas Gerais coincide com as projeções climáticas para a segunda metade do século XXI, apresentadas no Relatório de Clima do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (Ambrizzi *et al.*, 2007, Marengo *et al.*, 2007), que avaliaram as alterações sobre a distribuição e intensidade das mudanças da temperatura e precipitação no Brasil e América do Sul.

Em todo o estado, a classe de 0.9 - 1.0, no cenário B2, apresentou diminuição na sua área total, na região Sul, Campo das Vertentes e parte da Zona Mata Mineira, próximo à Viçosa, passando a predominar valores de R na ordem de 0.7 - 0.8, quando comparado ao período de 1961 - 1989 (Figuras 10 e 11).

O cenário B2 apresentou intensificação (classe 0.7 - 0.8) do déficit hídrico na região noroeste do estado e numa faixa do Norte para leste (Figura 11). Nesta mesma região, o cenário atual apresentava índices superiores a 0.8 - 0.9. As mudanças na região noroeste se destacam, especialmente aquelas referentes às mudanças de classe de 0.7 - 0.8 para classe de 0.5 - 0.6 (Figuras 10 e 11).

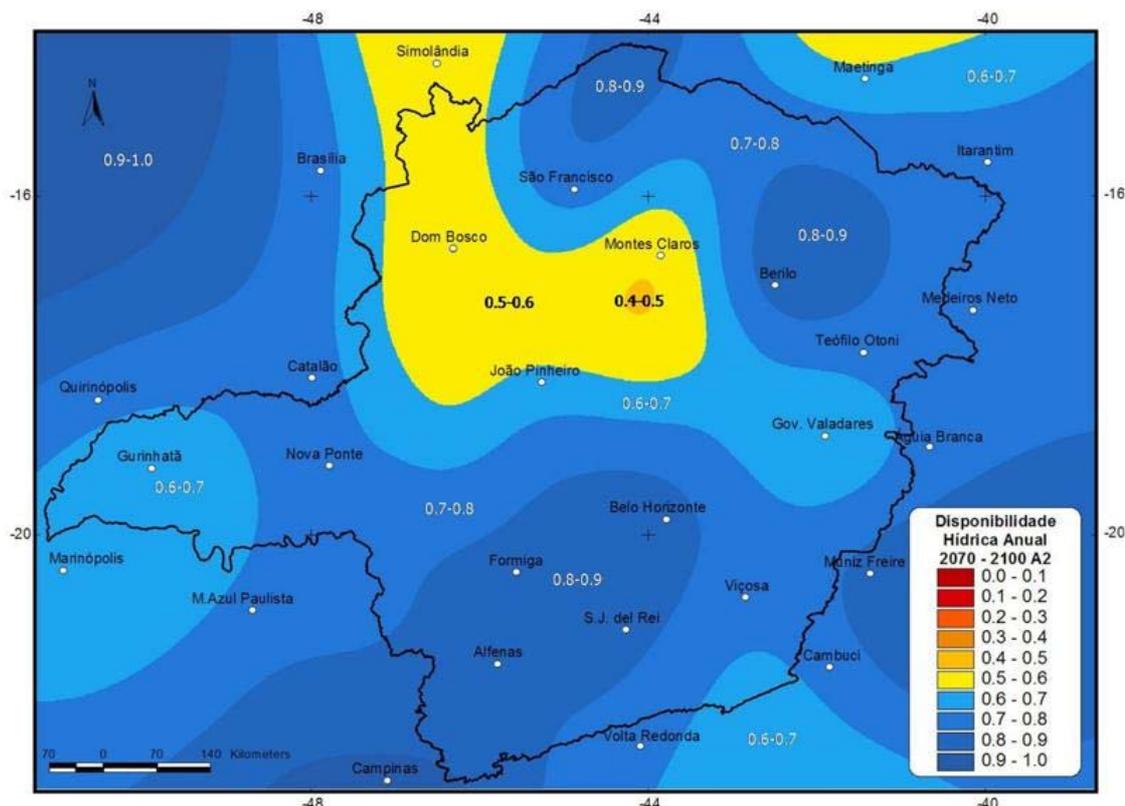


Figura 12. Disponibilidade hídrica anual, cenário A2 (2070 - 2100), para o estado de Minas Gerais.

O cenário A2 mostra a intensificação do déficit hídrico da região noroeste para a região central/norte do estado, onde são observados valores inferiores a 0.6, e até mesmo áreas com valores inferiores a 0.5, próximo à região de Montes Claros (Figura 12).

Esta intensificação observada principalmente no norte do estado condiz com a previsão dos relatórios do IPCC (Magrin et al., 2007) e do

INPE (Marengo et al., 2007; Ambrizzi et al., 2007), nos quais são observadas tendências de redução na disponibilidade dos recursos hídricos para esta região do estado e para os estados do Nordeste do Brasil.

A região Sudeste do estado apresentava, no cenário B2, índices superiores a 0.8 e, no cenário A2, passou a apresentar índices inferiores a 0.8 (Figuras 11 e 12). Na região do Triângulo Mineiro, no cenário B2, os índices eram superiores a 0.7 e, no cenário A2, passou a apresentar índices inferiores a 0.7.

O período de 1960 - 1989 não apresentou a classe de 0.5 - 0.6 que representa restrição hídrica, enquanto no cenário B2 esta classe de umidade ocupa área de aproximadamente 152 mil hectares (3 % da área total do estado), no cenário A2, ocupa cerca de 191 mil hectares, 3,8 % da área do estado de Minas Gerais (Tabela2).

Tabela 2. Disponibilidade hídrica para o estado de Minas Gerais, estimada no cenário atual (1960 - 1989) e nos cenários B2 e A2, ambos no período de 2070 – 2100, e área, em hectares, ocupada por cada classe

Disponibilidade Hídrica	Cenário					
	1960 – 1989		B2		A2	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
0.0 - 0.1	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0.1 - 0.2	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0.2 - 0.3	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0.3 - 0.4	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0.4 - 0.5	0	0,0	0	0,0	0	0,0
0.5 - 0.6	0	0,0	152.630	3,0	191.847	3,8
0.6 - 0.7	35.057	0,7	878.482	17,5	609.056	12,1
0.7 - 0.8	1.394.529	27,8	1.990.712	39,7	2.552.347	50,8
0.8 - 0.9	2.348.318	46,8	1.549.884	30,9	942.939	18,8
0.9 - 1.0	1.241.780	24,7	447.976	8,9	723.495	14,4
Total	5.019.684	100,0	5.019.684	100,0	5.019.684	100,0

Observa-se que a classe que representa o limite da disponibilidade hídrica de 0.6 - 0.7, apresenta no período de 1960 - 1989 apenas 0,7 %, no cenário B2, mais otimista, 17,5 %, e no cenário A2, mais pessimista, 12,1 % (Tabela 2).

A classe de 0.7 - 0.8 que representa umidade favorável ao desenvolvimento das culturas ocupou, no período atual, a menor área, 27,8 %, no cenário B2 passou a ocupar cerca de 40 % e, no cenário mais pessimista, A2, cerca de 51 % da área total do estado. Esses resultados corroboram com as previsões do IPCC (Magrin et al., 2007) e do INPE (Marengo et al., 2007; Ambrizzi et al., 2007), que também previram aumento e intensificação da evapotranspiração na região Sudeste.

Segundo Lima & Alves (2008), estudos indicam que, em função de cenários de aumento da temperatura e, como consequência, mudança do ciclo hidrológico, os riscos de perda de produção de várias culturas poderão aumentar, assumindo-se que as mesmas áreas seriam cultivadas.

No país, cenários de riscos ao zoneamento climático mostram redução de área favorável ao cultivo de importantes culturas. A cultura do café seria a mais prejudicada com as alterações, podendo chegar a uma redução de 92 % de sua área num cenário mais pessimista, seguida pela soja que poderá perder cerca de 10 % no cenário mais otimista e 64 % no cenário pessimista (Assad et al., 2007).

Baseando-se em valores de deficiência hídrica anual, temperatura média anual e probabilidade de geadas, Assad et al. (2004), elaboraram o zoneamento de riscos climáticos para a cafeicultura nos estados de Goiás, Minas Gerais, São Paulo e Paraná e, na simulação, com base nos mapas de temperatura (1 °C, 3 °C, 5,8 °C), apontaram para redução de 95 % da área apta ao cultivo.

O Zoneamento para o território brasileiro, elaborado pelos Ministérios da Agricultura e do Desenvolvimento Agrário, com a coordenação da Embrapa e da Unicamp e a cooperação de outras instituições científicas do país, como o CEPTEC, calculado com base nas prováveis alterações que as áreas potenciais de plantio sofrerão devido a elevação de temperatura nos

cenários A2 e B2, avaliou nove culturas mais representativas do país em termos de área plantada (juntas correspondem a 86,17 % da área total): algodão, arroz, café, cana-de-açúcar, feijão, girassol, mandioca, milho e soja, além de pastagens. Segundo este zoneamento, o aumento da temperatura diminuirá o número de municípios com potencial agrícola nos anos de 2020, 2050 e 2070, em comparação com a situação atual, em quase todas as culturas, com exceção da cana-de-açúcar e da mandioca.

#### **4.3 Zoneamento para cultura do pinhão manso**

Embora o pinhão-manso seja apontado como excelente alternativa para a produção de biodiesel, não existem muitos estudos que delimitem as áreas aptas à produção. A pesquisa e lavouras comerciais são ainda recentes no Brasil, encontrando-se na sua maioria em fase inicial.

Para o período de 1960 - 1989, no estado de Minas Gerais, não foram identificadas áreas inaptas ou restritas ao cultivo, considerando a temperatura (Figura 13). Esses resultados corroboram com os encontrados por Gonçalves et al. (2008) ao elaborarem um zoneamento para o pinhão manso no estado da Bahia. Esses autores observaram que a temperatura não restringe o cultivo dessa oleaginosa no estado, já que quase a totalidade do território apresenta temperatura média anual superior a 18 °C, permitindo o desenvolvimento do pinhão manso, sem restrições de ordem térmica.

Já no estado do Espírito Santo, Martins et al. (2009) encontraram áreas com restrições quanto às baixas temperaturas, localizadas na região oeste do estado, representando cerca de 2 % da área do Estado.

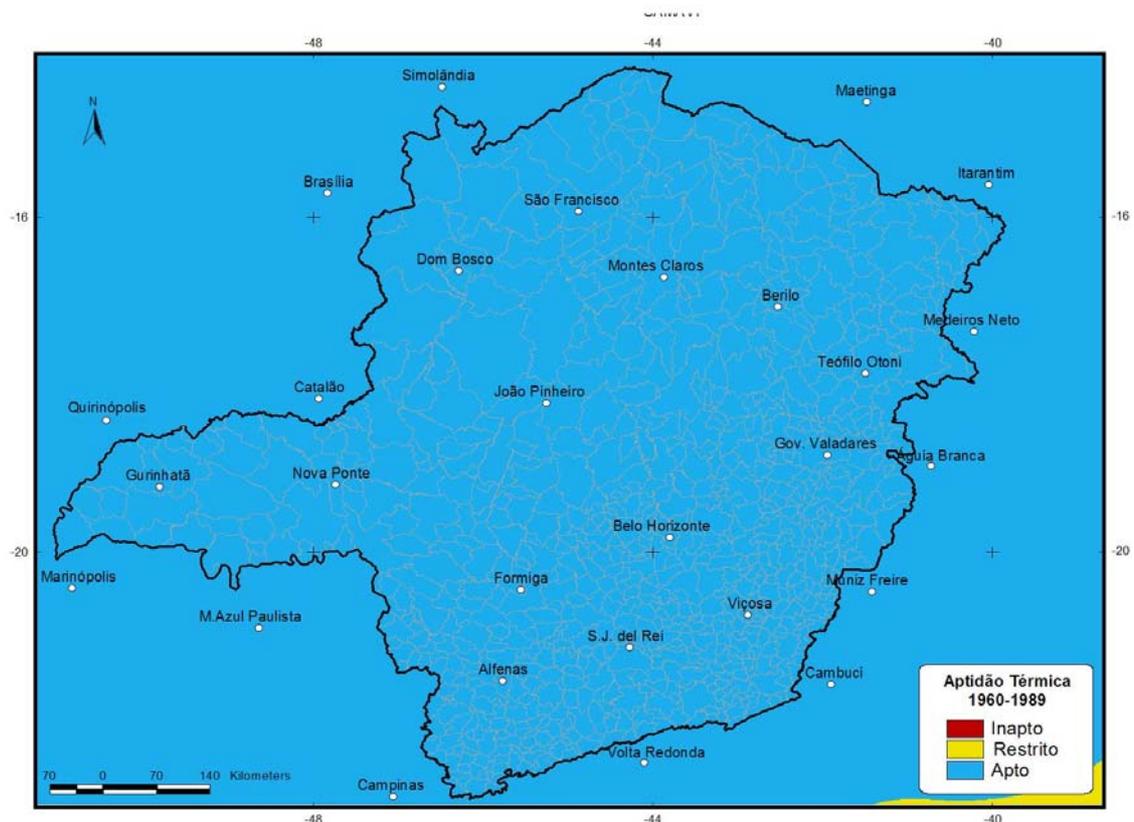


Figura 13. Aptidão térmica para a cultura do pinhão manso, no período de 1960 - 1989, para o estado de Minas Gerais.

Quanto à disponibilidade hídrica, no estado de Minas Gerais foram identificadas restrições ao cultivo desta oleaginosa em parte de todas as mesoregiões do estado (Figura 14 e Tabela 3). Esses resultados coincidem com os resultados apresentados por Gonçalves et al. (2009) para o estado da Bahia, cuja precipitação, que apresenta grande variação no total anual, sugere a existência de três zonas distintas de favorabilidade ao cultivo do pinhão manso, sendo uma favorável na faixa litorânea e outra no extremo oeste (20,89 %), uma marginal em grande parte da região central e sul do estado (63,95 %), e uma desfavorável, no norte (15,16 %).

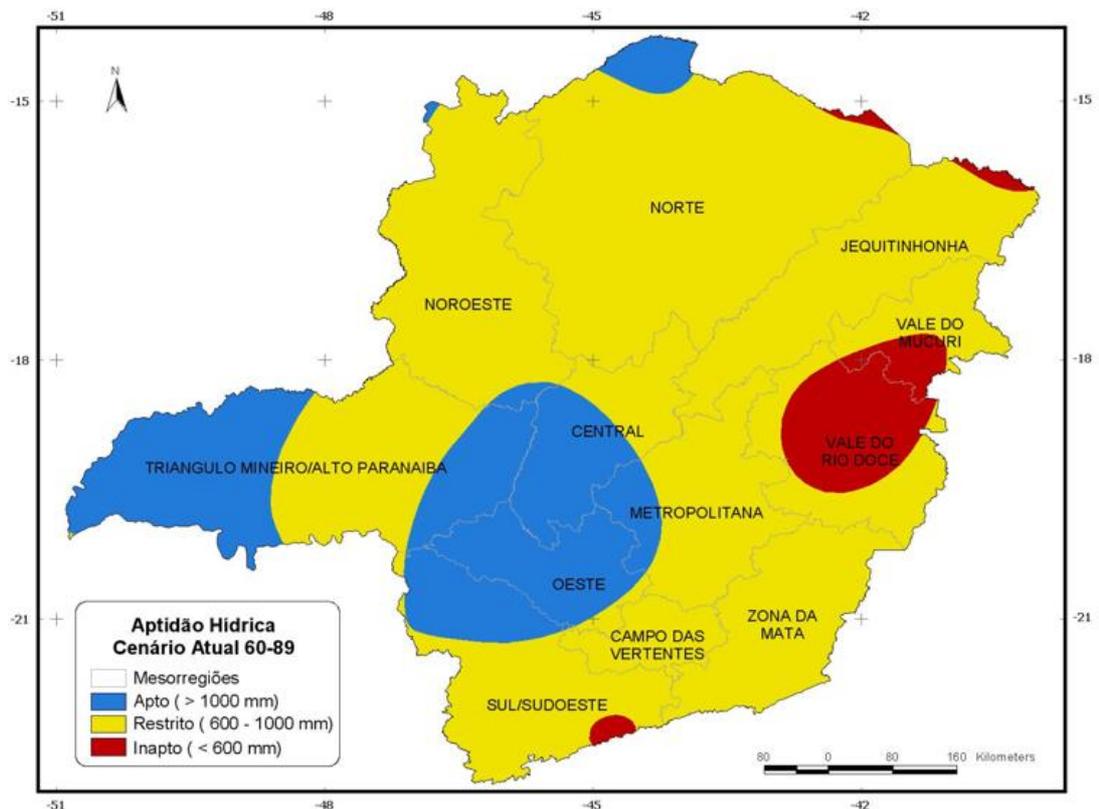


Figura 14. Aptidão hídrica para a cultura do pinhão manso, no período de 1960 - 1989, para o estado de Minas Gerais.

Tabela 3. Aptidão térmica para a cultura do pinhão manso no estado de Minas Gerais, considerando o cenário atual (1960 - 1989), com área, em hectare, e percentagem correspondentes

Aptidão hídrica	Área	
	ha	%
Inapto	274.299	5,4
Restrito	3.695.308	73,6
Apto	1.050.077	21,0
<b>Total</b>	<b>5.019.684</b>	<b>100,0</b>

No Brasil foram elaborados somente três zoneamentos para cultura do pinhão manso e levaram em consideração somente os padrões climáticos

atuais. As possíveis mudanças no clima, causadas pelo aquecimento global, foram ignoradas no estudo da viabilidade da cultura, caso estas mudanças ocorram.

Considerando o cenário mais otimista, B2, com menores incrementos na temperatura, não foram detectadas áreas inaptas termicamente ao cultivo do pinhão manso em Minas Gerais. As áreas restritivas ficam em torno de 7 % da área total, especialmente nas regiões Norte e Extremo Oeste do estado, com restante da área (92,6 %) classificada como apta ao cultivo (Tabela 4 e Figura 15).

Tabela 4. Aptidão térmica para a cultura do pinhão manso no estado de Minas Gerais, no cenário B2, com área, em hectare, e percentagem correspondentes

Aptidão térmica	Área	
	ha	%
Inapto	0	0,0
Restrito	369.949	7,4
Apto	4.649.735	92,6
Total	5.019.684	100,0

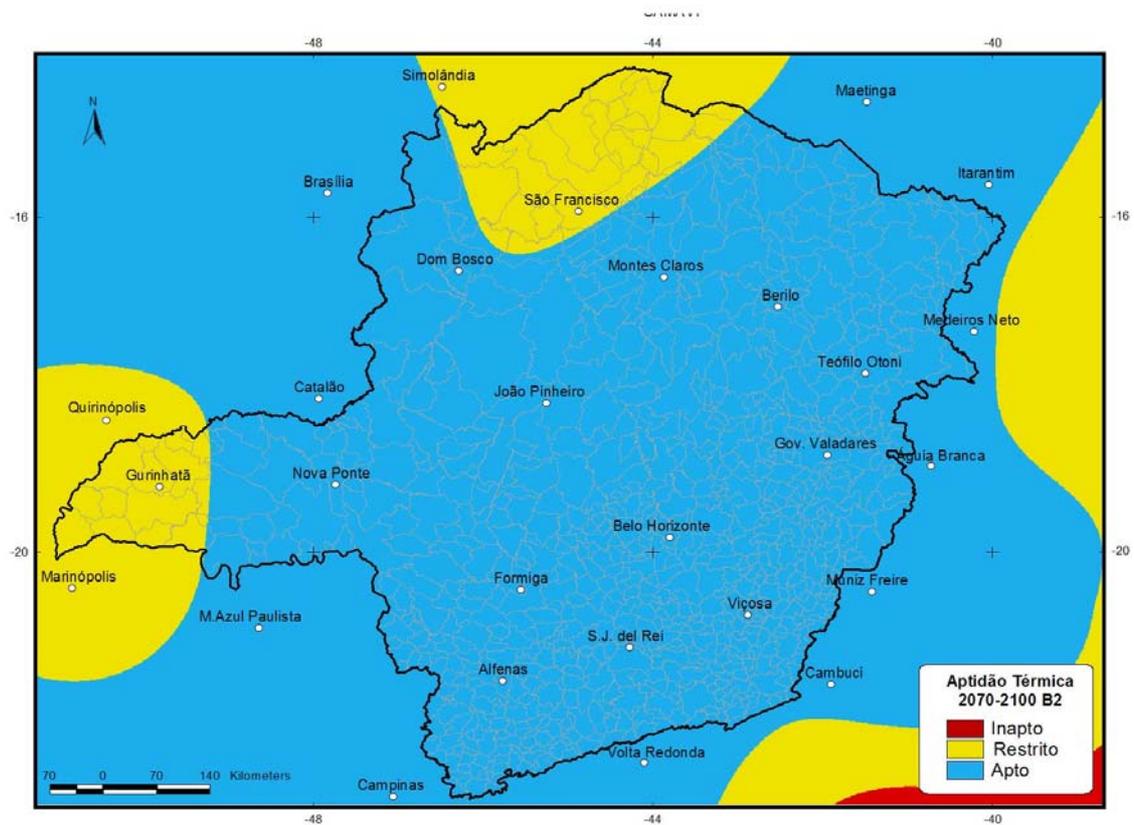


Figura 15. Aptidão térmica para a cultura do pinhão manso, no cenário B2 (2070 - 2100) para o estado de Minas Gerais.

Quanto à aptidão hídrica, o cenário B2 apresentou-se mais restritivo que o atual ao cultivo do pinhão manso em Minas Gerais, com 46 % de áreas inaptas nas mesorregiões Norte, Jequitinhonha e Vale do Mucuri (Tabela 5 e Figura 16) e aumento de áreas aptas nas mesorregiões do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, Central, Oeste, Metropolitana, Campo das Vertentes e Sul/Sudoeste. No período de 1960 - 1989, as áreas consideradas inaptas ocupam em torno de 73 % da área do estado.

Tabela 5. Aptidão hídrica para a cultura do pinhão manso, no cenário B2, com área, em hectare, e percentagem correspondentes

Aptidão hídrica	Área	
	ha	%
Inapto	882.544	17
Restrito	2.326.369	46
Apto	1.810.777	37
<b>Total</b>	<b>5.019.684</b>	<b>100</b>

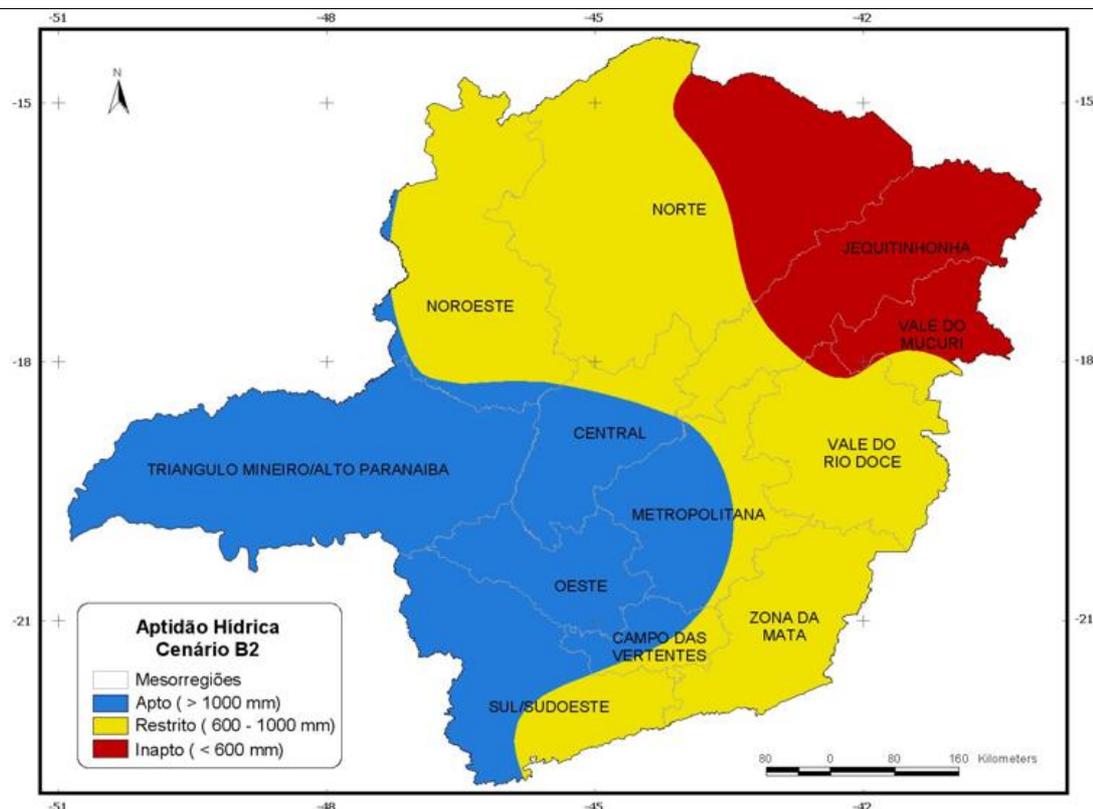


Figura 16. Aptidão hídrica para a cultura do pinhão manso, no cenário B2 (2070 - 2100) para o estado de Minas Gerais.

O cenário A2, apesar de mais pessimista, assim como no cenário B2 e no período atual, não apresentou áreas inaptas termicamente ao cultivo (Tabela 6 e Figura 18). Entretanto, apresentou aumento da área considerada restrita comparativamente ao cenário B2, representando cerca de 12 % da área do estado, nas regiões norte e extremo oeste.

Tabela 6. Aptidão térmica para a cultura do pinhão manso, no cenário A2, com área, em hectare, e percentagem correspondentes

Aptidão térmica	Área	
	ha	%
Inapto	0	0,0
Restrito	598.221	11,9
Apto	4.421.463	88,1
<b>Total</b>	<b>5.019.684</b>	<b>100,0</b>

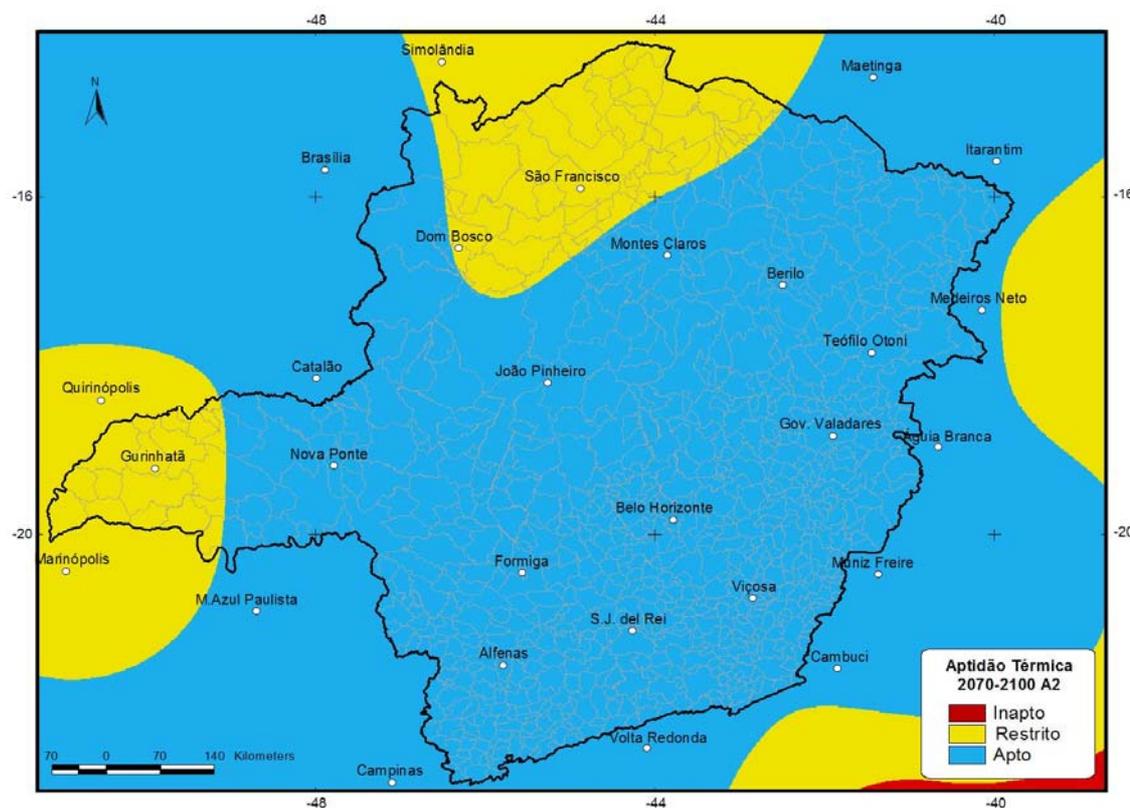


Figura 17. Aptidão térmica para a cultura do pinhão manso, no cenário A2 (2070 - 2100) para o estado de Minas Gerais.

A aptidão térmica, segundo Marengo (2006), aponta que culturas perenes como o pinhão manso, ocuparão regiões com temperaturas máximas mais amenas. As elevadas temperaturas no verão poderão condicionar o deslocamento das culturas para áreas com clima mais favorável, podendo implicar em redução de área plantada, como é o caso do arroz, do feijão e da soja.

Quanto à aptidão hídrica, o cenário A2 apresentou-se ligeiramente menos restritivo do que o B2, com cerca de 13 % de áreas inaptas, localizadas nas mesorregiões Norte, Jequitinhonha e Vale do Mucuri (Tabela 7).

Tabela 7. Aptidão hídrica para a cultura do pinhão manso, no cenário A2, com área, em hectare, e percentagem correspondentes

Aptidão hídrica	Área	
	ha	%
Inapto	659.538	13
Restrito	1.971.105	39
Apto	2.389.041	42
Total	5.019.684	100

As áreas consideradas restritas quanto à aptidão hídrica no cenário atual representavam pequenas faixas nas mesorregiões Norte, Jequitinhonha e parte das mesorregiões do Mucuri e Vale do Rio Doce, representando 5,4 %. No cenário A2, a região Nordeste do estado, assim como no cenário B2, apresenta áreas restritas ao cultivo do pinhão manso representando 13 %. A região Sudoeste do estado foi classificada como área apta para a cultura do pinhão manso no cenário A2, correspondendo a 42 % da área do estado (Figura 18).

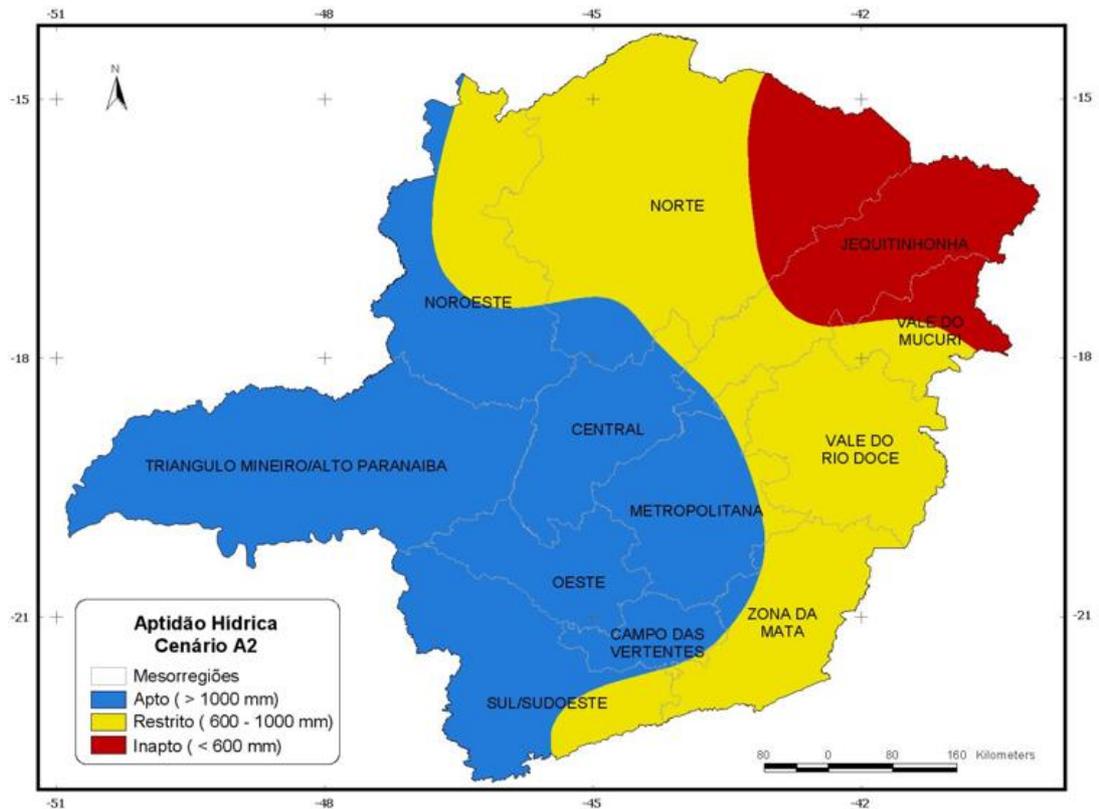


Figura 18. Aptidão hídrica para a cultura do pinhão manso, no cenário A2 (2070 - 2100) para o estado de Minas Gerais.

As mesoregiões Sul/Sudeste, Campo das Vertentes, Oeste, Metropolitana, Central, Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba e parte das mesoregiões Nordeste e Norte, foram consideradas aptas ao cultivo no cenário A2, devido ao incremento na precipitação neste cenário, com precipitações superiores a 1.000 mm.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo HadRM3P, para o estado de Minas Gerais, prevê maior incremento na precipitação e na evapotranspiração potencial no cenário A2 do que no B2, alterando o ciclo hidrológico da região. O conhecimento dessas alterações deve ser levado em consideração para o planejamento do uso e ocupação do solo do estado.

Apesar dos cenários apresentarem progressiva tendência de aumento da precipitação, eles prevêm redução na disponibilidade hídrica em função do aumento da evapotranspiração em todo estado, com índices de disponibilidade hídrica inferiores a 0.6, que indicam déficit de umidade do solo. Esses valores representam 0.7 % da área do estado no período atual, passando a representar, nos cenários B2 e A2, cerca de 20 e 16 %, respectivamente. Além do exposto, poderão ocorrer perdas na área total das classes que representam umidade favorável ao desenvolvimento da cultura, que influenciarão direta nas atividades agropecuárias, como perdas de produção, alteração ou redução das áreas aptas aos cultivos agrícolas.

O zoneamento para a cultura do pinhão manso indicou, que até mesmo nas condições mais extremas de alterações climáticas, o estado de Minas Gerais poderá contribuir com a produção do biodiesel, apresentando pequenas áreas com restrições térmicas à cultura, cerca de 7 % no cenário B2 e 12 % no A2. Quanto à aptidão hídrica, 37 % das áreas do estado foram consideradas aptas ao cultivo no cenário B2, chegando a 42 % no cenário A2.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCIOLY, C.V.; SRINIVASAN, V.S. & RAMANA RAO, T.V. Regionalização agroclimatológica para o estado de Pernambuco baseado no índice R. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 12, 2001, Fortaleza. Anais... Fortaleza: SBA/FUNCEME, 2001. p.9-10.

AGROANALYSIS. São Paulo: Fundação Getúlio Vargas, v. 25, n. 4, abr. 2005. 50p.

AMORIM, M.C. Impacto e projeção de séries meteorológicas na safra de milho em Minas Gerais. Viçosa, MG: UFV, 2008. 310p. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Viçosa, 2008.

AMBRIZZI, T. et al. Cenários regionalizados de clima no Brasil para o século XXI: projeções de clima usando três modelos regionais: relatório 3. Brasília: MMA, 2007.

ANDRADE, G.A.; CARAMORI, P.H.; CAVIGLIONE, J.H.; OLIVEIRA, D. & RIBEIRO, A.M.A. Zoneamento agroclimático para a cultura do pinhão manso (*Jatropha curcas*) no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba, v.15, n.2, p.178-183, 2007.

ARRUDA, F.P.; BELTRÃO, N.E.M.; ANDRADE A.P.; PEREIRA, W.E. & SEVERINO, L.S. Cultivo de pinhão manso (*Jatropha curca* L.) como alternativa para o semi-árido nordestino. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibras*, Campina Grande, v.8, n.1, p.789-799, jan-abr. 2004.

ASSAD, E.D.; PINTO, H.S.; ZULLO JR, J. & MARIN, F.R. Mudanças Climáticas e Agricultura: Uma Abordagem Agroclimatológica. *Ciência & Ambiente*, v.34, p.169-182, 2007.

ASSAD, E.D.; PINTO, H.S.; ZULLO JR, J. & AVILA, 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.

ASSAD, E.D. & LUCHIARI Jr., A future scenario and agricultural strategies against climatic changes: the case of tropical savannas. In: *Mudanças Climáticas e Estratégias Futuras*. USP. Outubro de 1989. São Paulo. SP.

BARLAGE, M.J. et al. Impacts of climate change and land use change on runoff from a Great Lakes watershed. ***Journal of Great Lakes Research***, n.28, p.568-582, 2002.

BELTRÃO, N.E.M. Agronegócio das Oleaginosas no Brasil. *Informe Agropecuário*, v.26, n. 229, p.14-17, 2005.

BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M.A.; MATZENAUER, R.; FONTANA, D.C.; CUNHA, G.R.; SANTOS, L.V.; FARIAS, J.R.B. & BARNI, N.A. *Agrometeorologia aplicada à irrigação*. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1992. 125p.

BRASIL. Ministério da Indústria e do Comércio. Secretária de Tecnologia Industrial. *Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais*. Brasília: STI/CIT, 1985. 364p. (Documentos, 16).

BLANEY, H.F. & CRIDDLE, W.D. Determining water requirement in irrigated areas from climatological and irrigation data. Washington, Soil Conservation Service. 1950. 49p.

BUTLER, D.R. & MIRANDA, R.A.C. Comparação entre os métodos de Penman e Thornthwaite para calcular a evapotranspiração potencial no Sudeste da Bahia. *Revista Theobroma*, Ilhéus, v.14(2), p.127-133, 1984.

CALLAGHAN, T. V. et al. Arctic tundra and polar desert ecosystems. In: SYMON, C.; ARRIS, L. & HEAL, B. (Eds.). *Arctic Climate Impact Assessment (ACIA): scientific report*. Cambridge: Cambridge University Press, 2005. p.243-352.

CORTESÃO, M. *Culturas tropicais: plantas oleaginosas*. Lisboa: Clássica, 1956. 231p.

COX, P. M. Amazonian forest dieback under climate-carbon cycle projections for the 21st century. *Theoretical and Applied Climatology*, n.78, p.137-156, 2004.

CRAMER, W. et al. Tropical forests and the global carbon cycle: impacts of atmospheric carbon dioxide, climate change and rate of deforestation. *Philosophy Transactions of Royal Society of London B*, n. 359, p. 331-343, 2004.

CRAMER, W. Global response of terrestrial ecosystem structure and function to CO<sub>2</sub> and climate change: results from six dynamic global vegetation models. *Global Change Biology*, v.7, n. 4, p.357-373, 2001.

CHRISTOFIDIS, D. Irrigação, a fronteira hídrica na produção de alimentos. *ITEM: Irrigação & Tecnologia Moderna*, Brasília, n.54, 2002. p.46-55.

D'ANGIOLELLA, G.L.B. & VASCONCELLOS, V.L.D. BHÍDRICO GD 4.0-2004: planilha eletrônica para cálculo do balanço hídrico climatológico. **Revista Bahia Agrícola**, v.6, p.14-16, 2004.

D'ANGIOLELLA, G.L.B. Avaliação de métodos para estimativa da evapotranspiração e cálculo do balanço hídrico na mesorregião Sul da Bahia. Brasília: UnB, 2003. 75p. Dissertação de Mestrado.

DESSAI, S. & TRIGO, R. Ciência das Alterações Climáticas. Finisterra, XXXVI, 71, p. 17-132, 2001.

DRUMMOND, O.A.; PURCINO, A.A.C.; CUNHA, L.H.S.; VELOSO, J.M. Cultura do pinhão manso. **Pesquisando**, EPAMIG, Belo Horizonte, n.131, 6p. 1984.

EMPRESA AGROPECUÁRIA BRASILEIRA - EMBRAPA impulsiona o agronegócio. Fórum dinheiro: seminários. São Paulo: Três Editorial, n.371, 2004. p.48-61

EMPRESA AGROPECUÁRIA BRASILEIRA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Mapa de solos do Brasil. Rio de Janeiro, 1980. (Escala 1:5.000.000).

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS - EPAMIG Coletânea sobre pinhão manso. 2003. 86p. Disponível em: <<http://www.epamig.br/index>> Acesso em: 06 fev 2007 .

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. Getting to know Arcview GIS. 2.ed. Redlands: ESRI Press, 1997.

EWERT, F.; ROUNSEVELL, M.D.A.; REGINSTER, I.; METZGER, M.J. & LEEMANS, R. Future cenários of european agricultural land use. I. Estimating changes in crop productivity. Agriculture, Ecosystems and Environment, v.107, p.101-116, 2005.

FERRAZ, S.E.T.; PAMPUCH, L.A.; CERA, J.C. & FOSS, M. Climatologia da precipitação na região central do Rio Grande do Sul e possíveis mudanças no regime de precipitação. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia. Florianópolis. 2006.

GEOMINAS. Programa Integrado de Uso da Tecnologia de Geoprocessamento pelos Órgãos do Estado de Minas Gerais. Informações Sobre Divisão Político Administrativa – 853 municípios. Belo Horizonte: Geominas 2007. Disponível em: < [http:// www.geominas.mg.gov.br](http://www.geominas.mg.gov.br)>. Acesso em: 01 de abr. 2008

GIACOMONI, M.H. Utilização de sistemas de informação geográfica para subsidiar sistemas de outorga de direito de uso de recursos hídricos. Brasília: UnB, 2002. 71p. Trabalho de conclusão de Graduação.

GONÇALVES, M.B. ; RIZZO, R ; SENTELHAS, P. C. . Zoneamento agroclimático da cultura do pinhão manso no estado da Bahia, objetivando a produção de biocombustíveis. In: Simpósio Internacional de Iniciação Científica da Universidade de São Paulo, 2008, Piracicaba. 16o. SIICUSP. São Paulo : Universidade de São Paulo, 2008. v. 1.

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. Pesquisas com Biodiesel se Espalham pelo País. 2003. Disponível em <<http://www.inovacaotecnologica.com.br>> Acesso em 10 nov 2007.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. Climate change 2007: the physical science basis: summary for policymakers. Geneva: IPCC, 2007. 18p. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf>> Acesso em 03 maio 2007.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II. TAR: Summary for Policymakers. Disponível em; <[http://www.meto.gov.uk/sec5/CR\\_div/ipcc/wg1/WG1-SPM.pdf](http://www.meto.gov.uk/sec5/CR_div/ipcc/wg1/WG1-SPM.pdf). 2001>

JOHNS, T.C.; GREGORY, J.M.; IGRAM, W.J.; JOHNSON, C.E.; JONES, A.; LOWE, A.; MITCHELL, J.F.B.; ROBERTS, D.L.; SEXTON, D.M.H.; STEVESON, D.S.; TETT, S.F.B. & WOODAGE, M.J. Anthropogenic climate change for 1860 to 2100 simulated with the HadCM3 model under updated emissions scenarios. *Climate Dynamics*, v.20, p.583-612, 2003.

JONES, R.G.; NOGUER, M.; HASSELL, D.C.; HUDSON, D.; WILSON, S.S.; JENKINS, G.J. & MITCHELL, J.F.B. Generating high resolution climate change scenarios using *Precis*. Exeter: Meteorological Office Hadley Centre, 2004. 39p.

KLÖCKING, B. et al. Development and allocation of land-use scenarios in agriculture for hydrological impact studies. *Physics and Chemistry of the Earth*, n. 28, p. 1311-1321, 2003

LIMA, M.A. & ALVES, B.J.R. Vulnerabilidades, impactos e adaptação à mudança do clima no setor agropecuário e solos agrícolas. *Parcerias Estratégicas*, Brasília, n.27, p.73-111, 2008.

LUI, W.T.H. Aplicações de sensoriamento remoto. Campo Grande: Ed. UNIDERP, 2006. p. 15-242.

LUO, Q.; BELLOTI, W.; WILLIAMS, M. & BRYAN, B. Potential impact of climate charge on wheat yield in South Autralia. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.132, p.273-285, 2005.

MAGRIN, G. et al. Latin America. In: PARRY, M. L. et al. (Eds.) Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007. p.581-615.

MARTINS, L.D.; KLIPPE, V.H.; TOLEDO, J.V.; HOLLANDA, M. P. & COSTA, F.P. Zoneamento agroclimático para cultura do pinhão manso (*Jatropha curca* L.) no estado do Espírito Santo. In: Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel 6. Anais. Lavras, 2009.

MARENGO, J.A. Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade. Sub projeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI (Relatório nº 1: Caracterização do clima no Século XX e Cenários Climáticos no Brasil e na América do Sul para o Século XXI derivados dos Modelos Globais de Clima do IPCC). Ministério do Meio Ambiente. CPTEC/INPE. São Paulo. 2007. p.214.

MARENGO, J.A.; NOBRE, C.A; SALATI, E. & AMBRIZZI, T. Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade. Subprojeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI (Sumário Técnico). Ministério do Meio Ambiente. CPTEC/INPE. IAG/USP. FBDS. São Paulo. 2007.

MAREGO, J. A. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. [S.l.; S.n.], 2006.

MEEHL, G.A. et al. Global climate projections. In: MILLER, H.L. et al (Eds.).

Climate Change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. p. 747-845.

NAKICENOVIC, N. Emissions scenarios: a special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge: Cambridge University Press, 2000. 599p.

NOBRE, C.A., "Amazônia: fonte ou sumidouro de carbono?" Em: *Causas e dinâmica do desmatamento na Amazônia*. Ministério do Meio Ambiente, p.197-224. 2001.

OLIVEIRA, L.J.C. Mudanças climáticas e impactos nas produtividades das culturas do feijão e do milho no Estado de Minas Gerais. 2007. 86f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

PAEZ, F.G. & CRUZ-MEDINA, I. R. Variabilidad De La Precipitación Pluvial En La Región Pacífico Norte De México. **Agrociencia**. v. 43: 1-9, fev 2009.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO - PNUD. Relatório de Desenvolvimento Humano. **Combater as alterações climáticas**: Solidariedade humana num mundo dividido. PNUD, 2008. 402p. Disponível em: <[http://www.pnud.org.br/arquivos/rdh/rdh20072008/hdr\\_20072008\\_pt\\_compl ete.pdf](http://www.pnud.org.br/arquivos/rdh/rdh20072008/hdr_20072008_pt_compl ete.pdf)>. Acesso em: 25 maio 2009.

PARENTE, E.J.S.; SANTOS JR, J.N.; BASTOS, J.A. & PARENTE JR, E.J.S. Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado. Tecbio, 2003. 68p.

PEIXOTO, A.R. Plantas oleaginosas arbóreas. São Paulo: Nobel, 1973. 284p

PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proceeding Royal Society, London, v.193, p.120-143. 1948.

PINTO, H.S.; ASSAD, E.D.; ZULLO JR., J.; BRUNINI, O. & EVANGELISTA, B.A. Impacto do Aumento da Temperatura no Zoneamento Climático do Café nos Estados de São Paulo e Goiás. Avaliação dos cenários do IPCC. XII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Fortaleza, 2001. p. 605-606

PHOENIX, G.K. & LEE, J.A. Predicting impacts of Arctic climate change: past lessons and future challenges. Ecology Research, n.19, p.65-74, 2004.

RICHTER, G.M. & SEMENOV, M.A. Modelling impacts of climate change on wheat yields in England Wales: assessing drought risks. Agricultural Systems, v.84, p.77-97, 2005.

ROSSATO, L.; ALVALÁ, R.C.S. & TOMASELLA, J. Distribuição geográfica da capacidade de armazenamento de água e das propriedades físicas do solo no Brasil. [CD ROM]. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 10. Congresso da FLISMET, 8., Brasília, 1998. Anais. São Paulo: Mundo Virtual, 1998.

ROSSATO, L. Estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo do Brasil. São José dos Campos: INPE, 2001. 145p. Dissertação de Mestrado.

SANS, L.M.A.; ASSAD, E.D.; GUIMARÃES, D.P. & AVELLAR, G. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de milho na Região Centro-Oeste do Brasil e para o estado de Minas Gerais. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.9, n.3, (Nº Especial: Zoneamento Agrícola), p.1-10, 2001.

SATURNINO, H.M.; PACHECO, D.D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N. & GONÇALVES, N.P. Cultura do pinhão. Informe Agropecuário, v.26, n.229, p.44-78, 2005.

SIQUEIRA, O.J.W.; STEINMETZ, S.; FERREIRA, M.F.; COSTA, A.C. & WOZNIAK, M.A. Mudanças climáticas projetadas através dos modelos GISS e reflexos na produção agrícola brasileira. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.8, n.2, p.311-320, 2000.

SIQUEIRA, O.J.F.; FARIAS, J.R.B. & SANS, L.M.A. Potential effects of global climate change for brazilian agriculture and adaptative strategies for wheat, maize and soybean. Revista Brasileira de Agroclimatologia, Santa Maria, v.2, p.115-129, 1994.

SOUZA; S.S.; TOMASELLA, J.; GRACIA, M.G.; AMORIM, M.C.; MENEZES, P.C.P. & MOREIRA, C.A. "O programa de monitoramento climático em tempo real na área de atuação da Sudene - Proclima." Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia, v.25, n.1, p.15-24, 2001.

STRECK, N.A. Climate change and agroecosystems: the effect of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> and temperature on crop growth, development, and yield. Ciência Rural, v.35, p.734-744, 2005.

TEIXEIRA, L.C. Potencialidades de oleaginosas para produção de biodiesel. Informe Agropecuário, v.26, n.229, p.18-27, 2005.

THORNTHWAITE, C.W. & MATHER, J.R. The water balance. Centerton, Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, v.8, n.1)

THORNTHWAITE, W. An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review, v.38, n.1, 1948.

TOMASELLA, J.; PACHEPSKY, Y.; CRESTANA, S. & RAWLS, W.J. Comparison of two techniques to develop pedotransfer functions for water retention. Soil Science Society of American Journal, Madison, v.67, n.4, p.1085-1092, 2003.

TURC, L. The bilan d'eau des sols: Relations entre les precipitations, l'évaporations et l'écoulements. Annual Agronomique, Paris, v., p.5-131, 1955.

YAO, A.Y.M. The R index for plant water requirement. Agr. Meteorology, v.6, p.259-273, 1968.

WOODWARD, F.I.; LOMAS, M.R. Vegetation dynamics: simulating responses to climatic change. Biology Review, v.79, p.643-670, 2004.

ZHANG, X. C. & LIU, W. Z. Simulating potential response of hidrology, soil erosion, and crop productivity to climate charge in Changwu tableland region on the Loess Plateau of China. Agricultural and Forest Meteorology, Amsterdam, v.131, p.127-142, 2005.

## **7. ANEXOS**

Quadro 1. Localização dos pontos centrais das células do modelo HadRM3

Estado	Cidade	Ponto Central	
		LONG(X)	LAT(Y)
MG	Alfenas	45° 77' S	21° 53' W
	Gurinhata	49° 80' S	19° 23' W
	Dom Bosco	46° 28' S	16° 65' W
	Montes Claros	43° 87' S	16° 73' W
	São Francisco	44° 87' S	15° 95' W
	Berilo	42° 53' S	17° 08' W
	Teófilo Otoni	41° 50' S	17° 87' W
	Governador		
	Valadares	41° 95' S	18° 85' W
	Formiga	45° 55' S	20° 45' W
	São João del Rei	44° 27' S	21° 13' W
	João Pinheiro	45° 25' S	18° 22' W
	Belo Horizonte	43° 80' S	19° 83' W
	Nova Ponte	47° 73' S	19° 20' W
Viçosa	42° 88'	20° 75' W	
SP	Campinas	47° 05' S	22° 90' W
	Monte Azul Paulista	48° 63' S	20° 90' W
	Marinópolis	50° 83' S	20° 43' W
GO	Quirinópolis	50° 43' S	18° 43' W
	Catalão	47° 93' S	18° 17' W
	Brasília	47° 83' S	15° 73' W
	Simolândia	46° 48' S	14° 47' W
BA	Santa Maria da Vitória	44° 18' S	13° 37' W
	Maetinga	41° 48' S	14° 65' W
	Itarantim	40° 05' S	15° 63' W
	Medeiros Neto	40° 22' S	17° 37' W
ES	Águia Branca	40° 73' S	18° 98' W
	Muniz Freire	41° 42' S	20° 47' W
RJ	Cambuci	41° 90' S	21° 57' W
	Volta Redonda	44° 10' S	22° 50' W

QUADRO 2. Propriedades físico-químicas dos perfis de solos predominantes nas Mesorregiões de Minas Gerais (GEOMINAS, 2007). Base de dados do Programa de Monitoramento de Tempo, Clima e Recursos Hídrico - PMTCRH/INPE/MCT (Souza et al., 2001; Tomasella et al., 2003)

Mesorregião Sul/Sudoeste de Minas Gerais (MR01)													
Solo Predominante: Latossolo Vermelho Escuro: (31%) - [Latossolos totais: 50%]													
Hz	Perfil (cm)		Silte	Argila	Areia	Dens. (g/cm <sup>3</sup> )		C	N	UME	%		AD
	Inf.	Sup.				Apar.	Real				CC	PMP	
A <sub>1</sub>	0	25	11	57	32	1,0	2,5	2,4	0,2	28,0	30,2	19,7	1,0
A <sub>3</sub>	26	45	18	55	27	1,1	2,6	1,4	0,1	26,7	30,9	21,1	1,1
B <sub>11</sub>	46	70	18	56	26	1,1	2,6	1,1	0,1	27,2	31,0	21,4	1,1
B <sub>12</sub>	71	110	16	57	27	1,1	2,7	0,9	0,1	27,9	30,9	21,1	1,1

Mesorregião Noroeste de Minas (MR02)													
Solo predominante: Latossolo Vermelho Amarelo: 25% (Latossolos totais: 41%)													
Hz	Perfil (cm)		Silte	Argila	Areia	Dens. (g/cm <sup>3</sup> )		C	N	UME	%		AD
	Inf.	Sup.				(%)	(%)				(%)	Apar.	
A	0	25	4	32	64	1,4	2,7	1,0	0,1	13,0	21,3	10,7	1,5
B	26	80	3	36	61	1,3	2,7	0,4	0,1	13,0	22,5	11,5	1,5

Mesorregião Norte de Minas (MR03)													
Solo predominante: Latossolo Vermelho Amarelo: 32% (Latossolos totais: 39%)													
Hz	Perfil (cm)		Silte	Argila	Areia	Dens. (g/cm <sup>3</sup> )		C	N	UME	%		AD
	Inf.	Sup.				(%)	(%)				(%)	Apar.	
A <sub>1</sub>	0	15	7	55	38	1,1	2,4	1,8	1,3	-	29,0	18,1	1,3
A <sub>3</sub>	15	50	10	55	35	1,3	2,5	0,8	0,5	-	29,6	18,9	1,4
B <sub>1</sub>	50	120	9	56	35	1,3	2,4	0,5	0,4	-	29,6	18,9	1,4

Mesorregião Jequitinhonha (MR04)													
Solo predominante: Podzólico Vermelho Amarelo: 25% (Latossolos totais: 48%)													
Hz	Perfil (cm)		Silte	Argila	Areia	Dens. (g/cm <sup>3</sup> )		C	N	UME	%		AD
	Inf.	Sup.				(%)	(%)				(%)	Apar.	
A <sub>1</sub>	0	15	4	55	41	1,3	2,3	0,6	0,4	-	28,4	17,2	1,5
B <sub>21</sub>	15	50	4	64	32	1,3	2,3	0,1	0,1	-	30,2	19,7	1,4
B <sub>22</sub>	50	80	2	70	28	1,2	2,3	0,1	0,0	-	30,8	20,8	1,2
B <sub>3</sub>	80	100	4	61	35	1,3	2,4	0,3	0,2	-	29,6	18,9	1,4

Mesoregião Vale do Mucuri (MR05)													
Solo predominante: Latossolo Vermelho Amarelo: 50% (Latosolos totais: 67%)													
Hz	Perfil (cm)		Silte (%)	Argila (%)	Areia (%)	Dens. (g/cm <sup>3</sup> )		C (%)	N (%)	UME (%)	%		AD
	Inf.	Sup.				Apar.	Real				CC	PMP	
A <sub>1</sub>	0	26	3	33	64	1,0	2,1	3,6	2,6	-	21,3	10,7	1,1
A <sub>3</sub>	27	50	2	49	49	1,0	2,4	1,3	0,9	-	26,3	15,0	1,2
B <sub>1</sub>	51	96	3	49	48	1,1	3,0	1,0	0,7	-	26,6	15,3	1,2

Mesoregião Vale do Rio Doce (MR06)													
Solo predominante: Podzólico Vermelho Amarelo: 51% (Latosolos totais: 57%)													
Hz	Perfil (cm)		Silte (%)	Argila (%)	Areia (%)	Dens. (g/cm <sup>3</sup> )		C (%)	N (%)	UME (%)	%		AD
	Inf.	Sup.				Apar.	Real				CC	PMP	
A	0	15	7	55	38	1,1	2,4	1,8	1,3	-	29,0	18,1	1,3
B <sub>21</sub>	16	50	10	55	35	1,3	2,5	0,8	0,5	-	29,6	18,9	1,4
B <sub>22</sub>	51	120	9	56	35	1,3	2,4	0,5	0,4	-	29,6	18,9	1,4

Mesoregião Oeste de Minas Gerais (MR07)													
Solo predominante: Latossolo Vermelho Escuro (LVE): 26% (Latosolos totais: 51%)													
Hz	Perfil (cm)		Silte (%)	Argila (%)	Areia (%)	Dens. (g/cm <sup>3</sup> )		C (%)	N (%)	UME (%)	%		AD
	Inf.	Sup.				Apar.	Real				CC	PMP	
A <sub>1</sub>	0	8	9	40	51	1,1	2,6	2,0	0,2	21	25,8	14,4	1,2
A <sub>3</sub>	9	25	19	40	41	1,2	2,6	1,1	0,1	21	28,4	17,2	1,3
B <sub>1</sub>	26	65	17	45	38	1,1	2,6	0,8	0,1	22	29,0	18,1	1,2
B <sub>21</sub>	66	120	17	49	34	1,2	2,7	0,5	0,1	24	29,8	19,2	1,2

Mesoregião Campos das Vertentes (MR08)													
Área predominante: Cambissolo: 69%													
Hz	Perfil (cm)		Silte (%)	Argila (%)	Areia (%)	Dens. (g/cm <sup>3</sup> )		C (%)	N (%)	UME (%)	%		AD
	Inf.	Sup.				Apar.	Real				CC	PMP	
A	0	30	25,8	23,9	50,3	1,5	2,4	1,8	1,3	21,0	26,0	14,6	1,7
B <sub>1</sub>	30	60	46,9	23,7	46,9	1,5	2,5	0,7	0,6	22,0	30,6	20,4	1,5
B <sub>2</sub>	60	90	42,3	20,8	42,3	1,5	2,4	0,6	0,4	24,0	29,3	18,4	1,7

Mesoregião Central Mineira (MR09)													
Área predominante: Cambissolo: 55%													
Hz	Perfil (cm)		Silte (%)	Argila (%)	Areia (%)	Dens. (g/cm <sup>3</sup> )		C (%)	N (%)	UME (%)	%		AD
	Inf.	Sup.				Apar.	Real				CC	PMP	
A	0	11	19	26	55	1,1	2,6	1,9	1,4	21,0	24,5	13,3	1,2
B <sub>1</sub>	11	33	30	34	36	1,2	2,7	1,0	0,1	22,0	29,4	18,6	1,3
B <sub>2</sub>	33	95	35	38	27	1,2	2,9	1,3	0,1	24,0	30,9	21,1	1,1

Mesoregião Metropolitana de Belo Horizonte (MR10)													
Área predominante: Latossolo Vermelho Amarelo: 22% (Latosolos totais: 38%)													
Hz	Perfil (cm)		Silte (%)	Argila (%)	Areia (%)	Dens. (g/cm <sup>3</sup> )		C (%)	N (%)	UME (%)	CC (%)	PMP (%)	AD
	Inf.	Sup.				Apar.	Real						
A <sub>1</sub>	0	13	15	41	44	1,0	2,2	2,2	1,0	-	27,7	16,4	1,2
A <sub>3</sub>	13	27	16	41	43	1,1	2,2	1,6	0,7	-	27,9	16,7	1,2
B <sub>1</sub>	27	52	18	48	34	1,0	2,2	1,0	0,4	-	29,8	19,2	1,1
B <sub>2</sub>	52	180	17	50	33	1,0	2,3	0,5	0,2	-	30,0	19,4	1,0

Mesoregião Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (MR11)													
Solo predominante: Latossolo Vermelho Escuro (LVE): 41% (Latosolos totais: 57%)													
Hz	Perfil (cm)		Silte (%)	Argila (%)	Areia (%)	Dens. (g/cm <sup>3</sup> )		C (%)	N (%)	UME (%)	CC (%)	PMP (%)	AD
	Inf.	Sup.				Apar.	Real						
A <sub>p</sub>	0	10	28	49	23	1,2	2,7	2,0	1,5	28,4	31,4	22,2	1,1
A	10	35	28	49	23	1,3	2,7	1,4	0,9	26,0	31,4	22,2	1,1
B <sub>A</sub>	35	55	29	52	19	1,1	2,9	1,1	0,5	26,9	31,7	23,3	1,0
B <sub>w1</sub>	55	75	27	54	19	1,1	2,7	0,8	0,4	27,9	31,7	23,3	1,0

Mesoregião Zona da Mata Mineira (MR12)													
Solo predominante: Latossolo Vermelho Escuro (LVE): 77%													
Hz	Perfil (cm)		Silte (%)	Argila (%)	Areia (%)	Dens. (g/cm <sup>3</sup> )		C (%)	N (%)	UME (%)	CC (%)	PMP (%)	AD
	Inf.	Sup.				Apar.	Real						
A <sub>1</sub>	0	5	22	54	24	1,2	2,8	3,1	0,3	38,0	31,3	21,9	1,1
A <sub>3</sub>	6	15	20	56	24	1,2	2,7	2,1	0,2	38,0	31,3	21,9	1,1
B <sub>21</sub>	16	60	18	61	21	1,2	2,7	1,2	0,1	36,0	31,6	22,7	1,0
B <sub>22</sub>	61	114	20	59	21	1,1	2,7	0,6	0,1	39,0	31,6	22,7	1,0

Hz: Horizonte; C: carbono; N: nitrogênio; UME: Umidade Equivalente; CC: Capacidade de Campo; PMP: Ponto de Murcha Permanente; e AD: Água Disponível.