

Potencial impacto das mudanças climáticas sobre o zoneamento agroclimático para a seringueira no Espírito Santo

Modification of the climatic zoning of rubber trees for the Espírito Santo State due to climate change scenarios

Wesley Augusto Campanharo¹, Roberto Avelino Cecílio², Huezer Viganô Sperandio¹, Waldir Cintra de Jesus Júnior³ e José Eduardo Macedo Pezzopane¹

Resumo

O presente trabalho teve por objetivo avaliar os possíveis impactos das mudanças climáticas globais sobre o zoneamento climático para a seringueira com vistas a delimitação de áreas de escape ao mal-dasfolhas, no Estado do Espírito Santo (Brasil). Utilizaram-se dados climáticos atuais de 110 estações para realização do balanço hídrico necessário ao zoneamento. Os dados climáticos futuros foram obtidos com base no modelo HadCM3 para a caracterização do clima e balanço hídrico futuro nos cenários A2 e B2. Observou-se que o estado do Espírito Santo atualmente possui boa aptidão para a heveicultura, com predomínio de áreas com pouca probabilidade de ocorrência do mal-das-folhas. Todavia, nos cenários futuros a tendência é de que o estado esteja predominantemente ocupado por áreas inaptas.

Palavras-chave: Hevea brasilienses, HadCM3, balanço hídrico

Abstract

This paper had the objective of evaluating the potential impact of climate change on the potential of geographical distribution of Rubber Tree and South American Leaf Blight in Espírito Santo State (Brazil). Climate data from 110 weather stations were used to calculate the water balance required for the zoning study. The future climate data were obtained from the HadCM3 global climate model to characterize the climate and water balance in future climate scenarios A2 and B2. It was observed that Espírito Santo State now has a good suitability for rubber cultivation, mostly in areas with little likelihood for South American Leaf Blight. However, future scenarios show the trend that the State will be predominantly occupied by areas unsuitable for rubber tree cultivation.

Keywords: Hevea brasilienses, HadCM3, water balance

INTRODUÇÃO

A ocorrência natural da seringueira (*Hevea brasiliensis*) se dá na região Amazônica, entre as latitudes de 3°N e 15°S, todavia, seu cultivo comercial estende-se desde a latitude 22°N, na Ásia, até 25°S, no Brasil, evidenciando grande capacidade de adaptação a diversas condições climáticas (CAMARGO, 1976; PILAU *et al.*, 2007). O mais importante uso comercial da seringueira é a produção de borracha natural, que é, hoje, uma commodity mundialmente valorizada devido a sua múltipla utilidade na indústria (hospitalar/farmacêutico, brinquedos, calçados, construção civil, maquinário agrícola

e industrial e autopeças) (PEREIRA *et al.*, 2000; COELHO JUNIOR *et al.*, 2009).

A demanda mundial da borracha natural é alta e crescente, sendo a China o maior consumidor. Tailândia, Malásia e Indonésia respondem por mais de 80% da produção mundial de borracha, sendo os maiores exportadores (GAMEIRO; SARETTA, 2000). Estima-se que nos primeiros anos desse milênio, a demanda mundial da borracha será bem maior do que a oferta, tornando-se crítica no ano 2020, retratando a importância econômica da cultura (MACEDO *et al.* 2002). A demanda por borracha natural no Brasil é cada vez mais elevada, havendo praticamente quintuplicado no período de 1976 a 2006 (SOARES *et*

¹Eng. Florestal, Depto. de Engenharia Florestal, Mestrando em Ciências Florestais, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre (ES), Brasil. E-mail: wesley-ac@hotmail.com; huezer@gmail.com

²Prof. Adjunto, D.S., Depto. de Engenharia Florestal, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre (ES), Brasil. Alto Universitário, s/n – Caixa Postal 16 – Alegre (ES) – CEP 29500-000. E-mail: reccilio@cca.ufes.br; pezzopane@reitoria.ufes.br. Bolsista de produtividade em Pesquisa do CNPq.

³Prof. Adjunto, D.S., Depto. de Produção Vegetal, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre (ES), Brasil. E-mail: <u>wcintra@yahoo.com</u>. Bolsista de produtividade em Pesquisa do CNPq.

al., 2008; COELHO JUNIOR et al., 2009). Todavia, a produção nacional é baixa, contribuindo apenas 1% do total mundial, tornando o país importador desta matéria prima (PILAU et al., 2007). Com base nestes dados, percebe-se que as perspectivas para o mercado da borracha no Brasil são as melhores possíveis.

A heveicultura é atividade altamente dependente das condições climáticas, que tanto beneficia ou limita o desenvolvimento e a produção da planta, quanto favorece ou inibe a ocorrência de surto do mal-das-folhas, este por sua vez constitui-se um sério obstáculo à implantação de culturas comerciais em zonas tropicais-equatoriais brasileiras (LIEBEREI 2007). A seringueira se desenvolve melhor e produz mais látex quando a temperatura média anual é igual ou maior que 20°C, sendo que em temperaturas inferiores as atividades metabólicas são afetadas, resultando em baixo crescimento e produtividade (GAS-PAROTTO, 1988). Rodrigo (2007) verificou que os folíolos da seringueira têm seu crescimento paralisado quando expostos a temperaturas inferiores a 16°C. Camargo et al. (2003) utilizaram temperatura média anual igual a 18°C como limite inferior para o desenvolvimento da heveicultura, obtendo um mapa de aptidão com boa coerência em relação às áreas produtoras no Estado de São Paulo. Em relação ao mal-das-folhas, Camargo et al. (1967) diagnosticaram que o Microcyclus ulei (P.Henn) v. Arx, causador da doença, exige temperatura elevada e longos períodos com orvalho sobre as folhas para manifestar-se de forma epidêmica e Camargo et al. (1975) enfatizaram que a doença ocorreu apenas em terrenos baixos e mal drenados, expostos por longo tempo a condições úmidas.

Neste sentido, existe necessidade do plantio de seringais em áreas livres do ataque do fungo, o que devem ser definidas por zoneamento de áreas climaticamente desfavoráveis ao estabelecimento da doença, baseando-se no princípio de escape, denominadas "áreas de escape" (AGRIOS, 2005; FURTADO; TRINDADE, 2005). Essas "áreas de escape" são identificadas com relativa segurança por meio de conhecimentos sobre o clima da região e utilização de SIG's, o que torna de extrema importância os estudos de zoneamento agroclimático para a definição de locais para implantação de novos seringais.

A elaboração de estudos de zoneamento de aptidão climática de culturas consiste em importante ferramenta para o desenvolvimento sustentável da produção vegetal, pois servem de base para a proposta de práticas de manejo agrossilvicultural mais adequadas, para a prevenção e controle das doenças em plantas, ou para a potencialização da produção agrossilvicultural, servindo de base para a elaboração de políticas públicas para o setor agrícola. Os mais relevantes estudos brasileiros com respeito ao zoneamento agrícola da seringueira com vistas à delimitação de áreas de escape contra a incidência de Microcyclus ulei foram apresentados por Camargo (1976); Ortolani (1985); Almeida et al. (1987); Camargo et al. (2003); Cecílio et al. (2006) e Pilau et al. (2007).

Estima-se que qualquer mudança no clima possa afetar o zoneamento agroclimático, a produtividade das culturas e as técnicas de manejo, alterando o atual cenário da agricultura brasileira, em cada região, com sérias conseqüências econômicas, sociais e ambientais.

Segundo Siqueira (2001), as pesquisas voltadas ao efeito de mudanças climáticas globais na agricultura brasileira são ainda muito restritas. Considerando algumas questões agroambientais relevantes, observa-se que as pesquisas relacionadas ao manejo de pragas, doenças de plantas e do solo, tornam-se cada vez mais importantes no contexto do efeito estufa, em face dos impactos ambientais esperados. Considerando-se os prognósticos de aumento das temperaturas globais, pesquisadores admitem que as regiões climaticamente limítrofes àquelas de delimitação de cultivo adequado de plantas agrícolas podem se tornar desfavoráveis ao desenvolvimento vegetal (ASSAD et al., 2004). Portanto, a previsão do comportamento do zoneamento da seringueira, face às mudanças climáticas globais, torna-se instrumento de suma importância para a agrossilvicutura nacional.

O presente trabalho tem como objetivo a verificação do efeito que as mudanças climáticas globais podem exercer sobre o zoneamento agroclimático da heveicultura, com vistas à delimitação de áreas de escape contra o mal-dasfolhas, no Estado do Espírito Santo.

MATERIAL E MÉTODOS

A área contemplada no presente estudo é o Estado do Espírito Santo, com superfície total de 46.184 km², situando-se geograficamente entre os meridianos 39°38′ e 41°50′ de longitude oeste e entre os paralelos 17°52′ e 21°19′ de latitude sul. Apresenta áreas planas e elevadas, onde o clima é influenciado de maneira

marcante pelo relevo, altitude e exposição das serras. Conforme o sistema de classificação de Köppen, a região enquadra-se nas zonas climáticas A e C, que identificam climas úmidos. No estado são encontrados os subtipos climáticos Aw, Am, Cf e Cw, e também as variações Cfa, Cfb, Cwa e Cwb (SIQUEIRA et al., 2004), com precipitações médias anuais variando entre 1000 e 1550 mm e temperaturas médias anuais entre 10 e 26°C (CASTRO et al., 2010).

A fim de caracterizar a situação climática atual, calcularam-se, para 110 estações pluviométricas, localizadas no Espírito Santo e nas regiões circunvizinhas (Figura 1), os balanços hídricos a partir do método preconizado por Thornthwaite e Mather (1955), para os valores médios mensais de temperatura do ar e precipitação encontrados, adotando-se 300 mm como capacidade máxima de retenção de água pelo solo (CAD), recomendada por Pereira et al. (2002) para espécies florestais. As precipitações médias mensais de cada estação foram obtidas com o uso de séries de dados de chuva com no mínimo de 20 anos de registros, com auxilio do sistema HidroWeb da Agência Nacional de Águas (http\\:hidroweb.ana.gov.br) e cedidos pelo Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER). Para as estações que não dispunham de dados de temperatura média mensal, estes valores foram estimados por meio das equações propostas por Castro (2008), Sediyama e Melo Júnior (1998) e Medeiros et al. (2005) para o Espírito Santo e Estados vizinhos. Estes dados consistiram nos valores atuais de elementos do clima e do balanço hídrico. A evapotranspiração potencial foi estimada pelo método de Thornthwaite (1948), baseado apenas na temperatura média do ar e nas coordenadas geográficas do local. Escolheuse esse método pela disponibilidade dos dados climáticos e por ter sido desenvolvido para regiões de clima úmido, apresentando boas estimativas para as condições do Estado.

Os dados climáticos futuros foram obtidos do IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2007). Foram utilizados dois cenários futuros de acordo com Hulme e Sheard (1999), A2 e B2, projetados para as décadas de 2020 (entre 2010 e 2039), 2050 (entre 2040 e 2069) e 2080 (entre 2070 e 2099), em que A2 é o cenário que descreve um mundo futuro muito heterogêneo onde a regionalização é dominante e, B2, é o cenário que descreve um mundo no qual a ênfase está em soluções locais para a

sustentabilidade econômica, social e ambiental. O modelo de previsão do clima a ser adotado foi o HadCM3 elaborado por Hadley Centre for Climate Prediction and Research de onde se obtiveram os dados relativos aos desvios previstos para a temperatura do ar e a precipitação, em escalas mensais, nos cenários futuros em cada região do globo, em pixels de dimensões 3,75° por 2,46°, os quais foram somados ao dados climáticos atuais. De posse dos valores de temperatura do ar e precipitações mensais no futuro, mais uma vez foram calculados os balanços hídricos climatológicos para cada cenário, em cada período de tempo analisado. Desta forma foram caracterizadas seis condições climáticas futuras, relativas a dois cenários e três períodos de tempo em cada cenário.

Delimitaram-se áreas potencialmente aptas ao cultivo da seringueira no Estado do Espírito Santo, levando-se em consideração o risco de ocorrência do mal-das-folhas, nos dados referentes a elementos climáticos e do balanço hídrico climatológico: evapotranspiração real anual (ETR), déficit hídrico anual (Da), excedente hídrico anual (Ea) e precipitação total anual (Pa).

As faixas de aptidão aos elementos climáticos e do balanço hídrico foram adaptadas daquelas consideradas por Ortolani (1985) e por Almeida et al. (1987) em Minas Gerais e no sudeste da Bahia, áreas vizinhas ao Estado do Espírito Santo, o que levou à definição das seguintes classes de aptidão climática para a heveicultura, considerando o risco de ocorrência do mal-dasfolhas:

- Classe A (Preferencial): áreas aptas para a heveicultura, apresentando condições térmicas e hídricas satisfatórias e sendo praticamente livres do mal-das-folhas: Possuem ETR superior a 900 mm, Da entre 0 e 200 mm, Pa entre 1400 e 1600 mm e Ea inferior a 200 mm.
- Classe B (Preferencial com restrição): áreas aptas, mas com restrições hídricas ao cultivo da seringueira, sendo de pouca probabilidade de ocorrência do mal-das-folhas. Possuem ETR superior a 900 mm, Da entre 200 e 300 mm e Pa entre 1200 e 1400 mm.
- Classe C (Preferencial com restrição por umidade): áreas aptas com restrições por excesso de umidade, sendo que a probabilidade de ocorrência do mal-das-folhas vai de baixa a moderada. Possuem ETR superior a 900 mm, Da entre 0 e 200 mm, Pa entre 1600 e 1800 mm e Ea inferior a 200 mm.

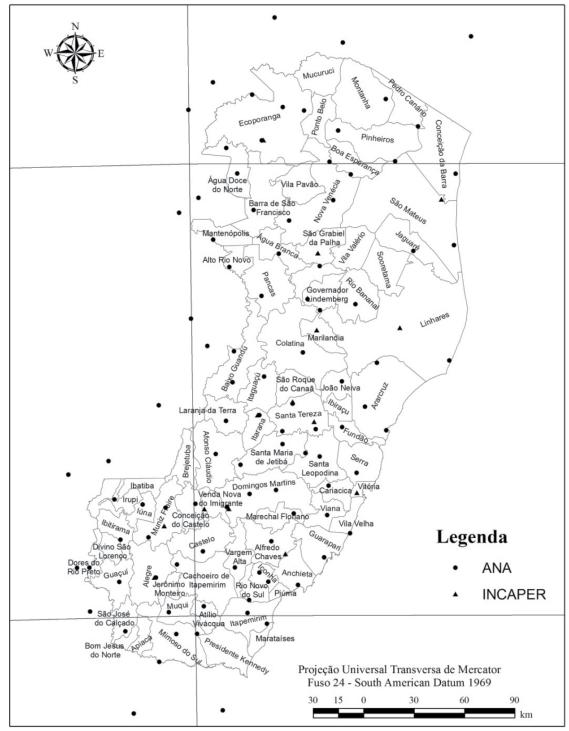


Figura 1. Estações com disponibilidade dos dados climáticos usados no presente trabalho.

Figure 1. Stations with climate data used in this paper.

- Classe D (Marginal): áreas marginais ao cultivo devido à carência hídrica. Possuem ETR inferior a 900 mm, Da superior a 300 mm e Pa superior a 800 mm.
- Classe E (Marginal úmida): áreas marginais ao cultivo devido ao excesso de umidade, sendo que a probabilidade de ocorrência do mal-dasfolhas vai de moderada a alta. Possuem ETR superior a 900 mm, Pa entre 1600 e 1800 mm e Ea entre 200 e 800 mm.
- Classe F (Inapta): áreas inaptas ao cultivo da seringueira. Possuem ETR superior a 900 mm e Pa superior a 1800 mm, ou Ea superior a 800 mm, ou ainda, possuir ETR inferior a 900 mm e DEF superior a 300 mm ou Pa inferior a 800 mm.

As informações a respeito dos elementos climáticos foram manipuladas por meio dos softwares IDRISI (da Universidade de Clark, EUA) e SPRING (do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Brasil) de modo a formar um banco de dados que conteve diversas imagens digitais espacializadas, em formato matricial (raster), relativas a cada elemento necessário para realização dos zoneamentos propostos. Os métodos de interpolação utilizados na espacialização dos elementos climáticos foram tomados daqueles sugeridos por Castro *et al.* (2010), e apresentados na Tabela 1.

Para a obtenção dos mapas de zoneamento com a classificação das áreas com diferentes níveis de aptidão climática ao desenvolvimento da heveicultura considerando o maldas-folhas, seguiram-se os procedimentos ilustrados na Figura 2, adaptados das metodologias propostas por Hamada *et al.* (2006) e por Cecílio *et al.* (2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 representa o zoneamento atual da heveicultura com vista à delimitação de zonas de escape para o mal-das-folhas. A Figura 4 representa as projeções futuras (2020, 2050 e 2080) para o cenário pessimista (A2) e a Figura 5 representa as projeções futuras (2020, 2050 e 2080) para o cenário otimista (B2). A Tabela 2 apresenta o percentual de área para o Estado do Espírito Santo ocupado por cada classe de aptidão climática na situação atual e nos cenários de projeções futuras.

Na condição climática atual, conforme pode ser observado na Figura 3 e na Tabela 2, apenas 0,68% do Estado apresenta aptidão plena (Classe A) para o cultivo da seringueira, estando livre da ocorrência do mal-das-folhas, isto é, consiste em área de

Tabela 1. Métodos de interpolação utilizados na espacialização dos elementos climáticos, e seus respectivos dados de entrada.

Table 1. Interpolation methods used for the spacing of the climatic elements and their input data.

Parâmetro	Interpolador	Efeito pepita	Patamar	Alcance
Evapotranspiração real	Krigagem linear	19237,283	24000,263	168,9
Déficit hídrico anual	Krigagem esférica	2984,601	21387,41	134,5
Precipitação anual	Krigagem linear	23125,99	35000,925	105
Excedente hídrico anual	Krigagem exponencial	12059,648	37070,242	45

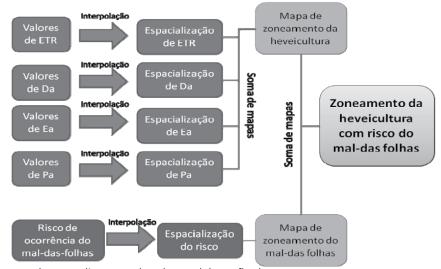


Figura 2. Fluxograma do procedimento adotado na elaboração do zoneamento.

Figure 2. Flowchart procedure adopted for the zoning study.

Tabela 2. Percentuais da área do Estado do Espírito Santo ocupadas por cada classe de aptidão à cultura da seringueira, com vistas ao mal-das-folhas, nos cenários climáticos atual e futuros.

Tablr 2. Percentage area of State Espírito Santo occupied by each class of suitability for the cultivation of rubber trees, considering escape areas to South American leaf blight, in current and future climate scenarios.

Classe	Atual	2020A2	2020B2	2050A2	2050B2	2080A2	2080B2
Classe A	0,68%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Classe B	64,11%	37,82%	51,35%	11,50%	17,87%	1,71%	5,17%
Classe C	18,43%	26,49%	15,76%	11,21%	12,79%	0,37%	5,57%
Classe D	16,58%	32,92%	19,33%	3,23%	7,35%	0,00%	3,91%
Classe E	0,00%	0,00%	0,00%	3,09%	0,00%	0,30%	1,53%
Classe F	0,21%	2,78%	13,57%	70,97%	61,99%	97,62%	83,82%

Classe A – Apta; Classe B – Preferencial com restrição; Classe C – Preferencial com restrição por umidade; Classe D – Marginal; Classe E – Marginal úmida; Classe F – Inapta; Data seguida por: A2 = pessimista; B2 = otimista.

escape. Estas áreas estão localizadas em partes dos municípios de Guarapari, Cachoeiro de Itapemirim, Aracruz, Jerônimo Monteiro e Alegre. Destes dados, observa-se que grande parte do Estado do Espírito Santo está sujeito à ocorrência do maldas-folhas, corroborando desta forma os estudos de zoneamento de risco de ocorrência da doença observados por Silva (2007) e por Silva (2010).

A maior parte do Estado (64,11% da área) se enquadrou na Classe B, Preferencial com

Restrições, em que o fator hídrico limita o desenvolvimento da seringueira, pois o déficit é relativamente alto e, onde a probabilidade de ocorrência do mal-das-folhas é baixo. Nestas áreas a utilização de técnicas de irrigação para a implantação inicial dos seringais exagerada ou descontrolada pode promover em determinados locais o aparecimento do mal-das-folhas, devido ao aumento da umidade em microescala.

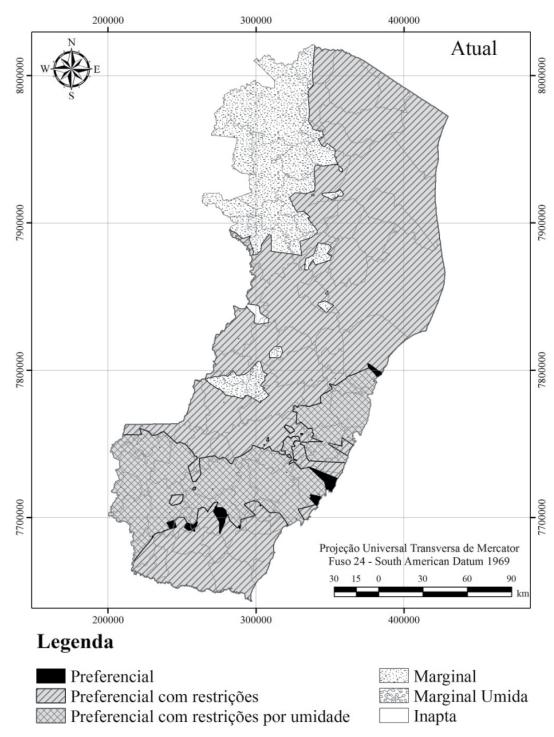


Figura 3. Zoneamento do Espírito Santo para a seringueira com vistas à delimitação de áreas de escape para o maldas-folhas na situação climática atual.

Figure 3. Zoning of Espírito Santo State for rubber tree cultivation considering escape areas to South American leaf blight, under the present climate.

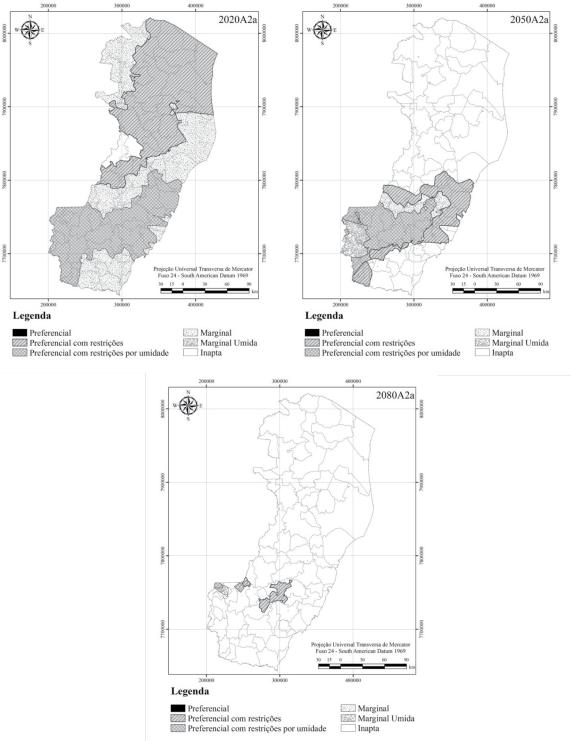


Figura 4. Zoneamento da seringueira com vistas à delimitação de áreas de escape para o mal-das-folhas no cenário A2, para décadas de 2020, 2050 e 2080.

Figure 4. Zoning of Espírito Santo State for rubber tree cultivation considering escape areas to South American leaf blight, at future climates (2020, 2050 and 2080 decades) at A2 scenario.

Nas zonas consideradas como Preferenciais com Restrições por Umidade (Classe C), foram apenas 18,43% do território em estudo, sendo observado em grande parte da região sul do Estado e na região da Grande Vitória. Regiões marginais ao cultivo (Classe D), cerca de 16,58% foram observadas na região noroeste do estado e em pontos na localidade de São Roque do Ca-

naã, Itaguaçú, Itarana, Afonso Claudio e Laranja da Terra. Não se observaram zonas consideradas marginais úmidas (Classe E). As localidades consideradas inapropriadas para o cultivo da seringueira considerando o mal-das-folhas foram apenas parte de Baixo Guandú, Itaguaçú e Colatina, totalizando cerca de 0,21% da área do Espírito Santo.

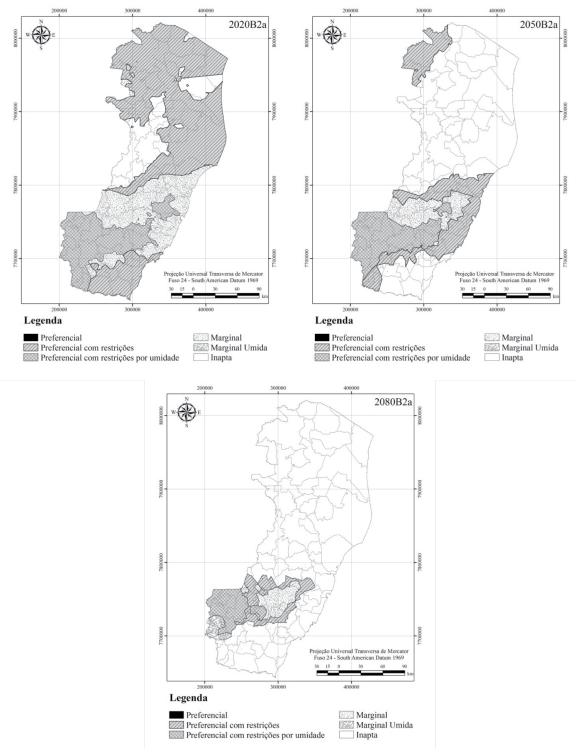


Figura 5. Zoneamento da seringueira com vistas à delimitação de áreas de escape para o mal-das-folhas no cenário B2, para décadas de 2020, 2050 e 2080.

Figure 5. Zoning of Espírito Santo for rubber tree cultivation considering escape areas to South American leaf blight, at future climates (2020, 2050 and 2080 decades) at B2 scenario.

Convém ressaltar que os municípios maiores produtores de coágulo de borracha no Estado são Guarapari, Linhares e São Mateus, aqui classificados como plenamente aptos (Classe A) ou preferenciais com restrição (Classe B), o que demonstra confiabilidade no zoneamento atual apresentado.

Comparando-se o zoneamento atual do Estado do Espírito Santo com outros já realizados no Brasil, percebe-se que as áreas tomadas como de maior aptidão (Classes A e B) seguem, em linhas gerais aquelas delimitadas por Camargo *et al.* (2003) no zoneamento do Brasil em escala macroclimática, exceção feita à parte norte do estado, classificada como marginal pelos autores citados, incluindo municípios considerados como grandes produtores, como São Mateus e Linhares.

Todavia, convém ressaltar que o presente estudo conta com uma densidade de dados climáticos muito maior que aqueles usados por Camargo *et al.* (2003), além de utilizar metodologias de espacialização com resultados melhores do que as convencionais, dando base para as condições topoclimáticas do Estado do Espírito Santo serem melhor representadas. Maior similaridade foi observada com o zoneamento feito por Pilau *et al.* (2007), que usou diferentes índices climáticos para estabelecimento da carta de aptidão.

Com relação às previsões futuras (Figuras 4 e 5), percebe-se claramente a tendência de grande aumento de áreas inaptas à seringueira ao longo das décadas, o que se deve ao incremento excessivo da temperatura. Portanto, conforme se pode visualizar também na Tabela 1, o cenário A2 (pessimista) apresenta maior área enquadrada na Classe E (inapta).

Observa-se que, a partir da década de 2020 e nos dois cenários analisados, as áreas de escape, isto é, livres da ocorrência do mal-das-folhas, passam a inexistir no Espírito Santo, corroborando as previsões feitas por Silva (2010) com respeito ao comportamento das áreas com favorabilidade de ocorrência do fungo M. ulei no futuro.

Como tendências, tem-se que as áreas com melhor aptidão ficarão concentradas na região Sul do estado, basicamente na bacia hidrográfica do rio Itapemirim, em áreas com altitudes um pouco mais elevadas e mais distantes do litoral, ocasionando a interiorização da atividade exploratória de coagulo proveniente da H. brasiliensis. Estas regiões atualmente são consideradas como uma das maiores produtoras de café do Estado, e com esta possibilidade os produtores rurais poderão optar por uma substituição agrícola ou uma diversificação da produção agrícola. Além disso, o Estado terá praticamente todo o seu território inapto para a produção de coágulo, sendo que em regiões que são ditas como pólos e que possuem usinas de beneficiamento estarão sujeitas ao declínio e possível crise no setor agrícola, já que estes locais possuem base econômica total ou parcial ligada à seringueira.

Convém ressaltar que este estudo não consiste em um parecer definitivo com respeito ao comportamento do cultivo e do fungo no futuro, pois as práticas de manejo silvicultural, o melhoramento genético e a utilização de clones mais resistentes podem consistir em estratégias a serem adotadas para contornar os possíveis impactos negativos que o aquecimento global causará na produção florestal. Todavia esta é uma variá-

vel que ainda não tem potencialidade de ser incorporada em estudos de zoneamento climático. Também não se deve ignorar o papel da educação ambiental como ferramenta de conscientização sobre os aspectos das mudanças climáticas globais e suas conseqüências, a fim de serem tomadas medidas para a redução drástica da emissão de gases de efeito estufa, minimizando a magnitude do aquecimento do sistema atmosférico.

Outro aspecto de relevância diz respeito ao aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera. Segundo o IPCC (2007), a taxa de aumento anual da concentração de CO2 atmosférico foi em média 1,9 p.p.m. no período de 1995 a 2005 e a tendência é atingir entre 730 a 1020 p.p.m. até 2100. Sendo que, associada a este aumento, os seguintes aspectos também podem ser levados em consideração: o dióxido de carbono é um nutriente para os organismos fotoautotróficos, os quais podem ser dessa forma, beneficiados com o aumento de CO2; o dióxido de carbono, como um gás capaz de absorver a radiação infravermelha, exerce uma importante função em relação às mudanças drásticas na vegetação terrestre. Larcher (2000) informa que muitos experimentos têm demonstrado que a taxa fotossíntética pode aumentar em função de um aumento de concentração de CO2 até o equivalente a três vezes a concentração atual, acarretando em aumento significativo no crescimento e um incremento na produção de biomassas. Além disso, em condições de elevadas concentrações de CO₂, os estômatos apresentam uma menor abertura e, dessa forma, menos água é perdida por evapotranspiração. Outro aspecto ressaltado por Larcher (2000) são os efeitos negativos do aumento da concentração de CO₂, que incluem: o carregamento excessivo dos cloroplastos com amido ou hipertrofia dos tecidos foliares; alteração da relação entre a parte aérea\parte subterrânea; aumento da respiração nas raízes e, portanto, perda de produtos fotossintéticos via sistema radicular; baixa produção de flores e frutos pelas plantas; perda do balanço dos bioelementos, podendo acarretar um crescimento sem vigor com efeitos negativos sobre a resistência. Lessin e Ghini (2009), mostram que o aumento da concentração de CO₂ atmosférico pode causar alterações na morfologia e nos processos fisiológicos das plantas, assim como no ciclo dos patógenos e na sua interação com os hospedeiros.

Todos esses são aspectos passíveis de serem considerados em trabalhos futuros, todavia, pouca informação diz respeito especificamente à seringueira e ao fungo causador do mal-dasfolhas, evidenciando a necessidade da condução de experimentos utilizando seringais que naturalmente ocupam habitats com diferentes concentrações de CO₂ para quantificar seu impacto sobre os aspectos ecofisiológicos da própria planta e do M. ulei. Desta forma, podem-se dispor de dados mais precisos e com isso retratar de forma mais fiel um zoneamento que passe a considerar não apenas fatores climáticos, mas também a concentração de CO₂ na atmosfera.

CONCLUSÕES

- 1. No cenário climático atual a maior parte do Espírito Santo apresenta boas condições climáticas para o desenvolvimento da seringueira, com pouca probabilidade de ocorrência do mal-das-folhas.
- 2. As projeções futuras mostram tendência ao drástico aumento de áreas inaptas à heveicultura no Estado do Espírito Santo.
- 3. Com o aumento da concentração de CO₂ atmosférico, pode-se esperar uma melhor eficiência na utilização de água, onde em regiões que apresentam precipitação inferior ou maior déficit hídrico a seringueira poderia se estabelecer, ou ainda apresentar uma maior produtividade.
- 4. Não devemos desconsideras as incertezas inerentes ao zoneamento e á modelagem, de onde se derivou todos os resultados, com isso alguns valores podem não representar o real, necessitando de continuidade nos trabalhos tanto de aperfeiçoamento do zoneamento quanto dos modelos matemáticos utilizados e dos possíveis fatores ecofisiológicos que as mudanças climáticas podem acarretar a seringueira.

AGRADECIMENTOS:

Os autores agradecem o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIOS, G.N. **Plant pathology**. San Diego: Academic Press, 2005. 952p.

ALMEIDA, H.A.; SANTANA, S.O.; SÁ, D.F. Zoneamento edafo-climático para a seringueira no sudeste da Bahia, com enfoque na incidência do maldas-folhas. **Revista Theobroma**, Itabuna, v.17, p.111-123. 1987.

ASSAD, E.D.; PINTO, H.S.; ZULLO JUNIOR, 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.

CAMARGO, A.P. Aptidão climática para a heveicultura no Brasil. **Ecossistema**, Espírito Santo do Pinhal, v.1, p.06-14, 1976.

CAMARGO, A. P.; CARDOSO, R.M.G.; SCHIMIDT, N.C. Comportamento e ecologia do "mal-das-folhas" da seringueira nas condições do Planalto Paulista. **Bragantia**, Campinas, v.26, p1-18,1967.

CAMARGO, A.P.; MARIN, F.R.; CAMARGO, M.B.P. **Zoneamento climático da heveicultura no Brasil**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2003. 19p. Série Documentos Embrapa, n.24.

CAMARGO, A.P.; SCHIMIDT, N.C. South American Leaf Blight Epidemics and Rubber Phenology in Sao Paulo. In: INTERNATIONAL RUBBER CONFERENCE, 1975, Kuala Lumpur, Malaysia. Anais... Kuala Lumpur, 1975. p.251-265.

CASTRO, F.S. **Zoneamento agroclimático para a cultura do** *Pinus* **no estado do Espírito Santo**. 2008, 101p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2008.

CASTRO, E.S.; PEZZOPANE, J.E.M.; CECÍLIO, R.A.; PEZZOPANE, J.R.M.; XAVIER, A.C. Avaliação do desempenho dos diferentes métodos de interpoladores para parâmetros do balanço hídrico climatológico. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande,v.14, n.7, p.871-880, 2010.

CECÍLIO, R.A.; MEDEIROS, S.S.; SILVA JÚNIOR, J.L.C.; SOUZA, J.A. Zoneamento agroclimático para a heveicultura na parte leste do Estado da Bahia. **Revista Bahia Agrícola**, Salvador, v.7, n.1, p.14-17, 2006.

COELHO JÚNIOR, L.M.; REZENDE, J.L.P.; BORGES, L.A.C.; OLIVEIRA, A.D. Análise temporal da borracha natural brasileira. **Cerne**, Lavras, v.15, n.1, p.19-26, 2009.

FURTADO, E.L.; TRINDADE, D.R. Doenças da seringueira. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L.E.A. Manual de Fitopatologia: doenças das culturas. 4ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. p.559-569.

GAMEIRO, A.H.; SARETTA, C.B. Preços do petróleo puxam os da borracha. **Revista Preços Agrícolas**, Piracicaba, v.168, p.29, 2000.

GASPAROTTO, L. Epidemologia do mal das folhas (*Microcyclus ulei* (P.Henn) v. Arx) da seringueira (*Hevea* sp.). 1988, 124p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

HAMADA, E; GHINI, R.; GONÇALVES, R.R.V. Efeito das mudanças climáticas sobre problemas fitossanitários de plantas: metodologia de elaboração de mapas. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v.3, n.2, p.73-85, 2006.

HULME, M.; SHEARD, N. Cenários de alterações climáticas para o Brasil. Norwich: Climatic Research Unit, 1999. 6 p.

IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate change 2007: the physical science basis: summary for policymakers. Geneva: IPCC. 2007. 18p.

LARCHER, W. Ecofisiologia Vegetal. São Carlos: Rima Artes e Textos, 2000. 531p.

LESSIN, R.C.; GHINI, R. Efeito do aumento da concentração de CO₂ atmosférico sobre o oídio e o crescimento de plantas de soja. **Tropical Plant Pathology**, Lavras, v.34, n.6, p.385-392, 2009.

LIEBEREI, R. South American leaf blight of the Rubber Tree (*Hevea* spp.): new steps in plant domestication using physiological features and molecular markers. **Annals of Botany**, Oxford,v.100, n.6, p.1125-1142, 2007.

MACEDO, R.L.G.; OLIVEIRA, T.K.; VENTURIN, N.; GOMES, J.E. Introdução de clones de seringueira no Noroeste do Estado de Minas Gerais. Cerne, Lavras, v.8, n.1, p.124-133, 2002.

MEDEIROS, S.S.; CECÍLIO, R.A.; MELO JÚNIOR, J.C.E; SILVAJÚNIOR, J.L.C. Estimativa e espacialização das temperaturas do ar mínimas, médias e máximas na Região Nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.9, n.3, p.247-255, 2005.

ORTOLANI, A.A. Aptidão climática para a cultura da seringueira em Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.11, n.1, p.08-12, 1985.

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

PEREIRA, J.P; DORETTO, M.; LEAL, A.C.; CASTRO, A.M.G.; RUCKER, N.A. Cadeia produtiva da borracha natural: análise diagnóstica e demandas atuais no Paraná. Londrina: IAPAR, 2000. 85p.

PILAU, F.G.; MARIN, F.R.; CAMARGO, M.B.P.; ASSAD, E.D.; PINTO, H.S.; BARBARISI, B.F. Zoneamento agroclimático da heveicultura para as regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.15, n.2, p.161-168, 2007.

RODRIGO, V.H.L. Ecophysiological factors underpinning productivity of *Hevea brasiliensis*. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campinas, v.19, n.4, p.245-255, 2007.

SEDIYAMA, G.C.; MELO JÚNIOR, J.C.F. Modelos para estimativa das temperaturas normais mensais médias, máximas, mínimas e anual no estado de Minas Gerais. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.6, n.1, p.57-61, 1998.

SILVA, L.G. Comportamento de clones de seringueira ao mal das folhas e potencial impacto das mudanças climáticas globais na ocorrência da doença. 2010, 90p. Dissertação (Mestrado e Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2010.

SILVA, L.G.C. Zoneamento do risco de ocorrência do mal das folhas da seringueira com base em sistemas de informações geográficas. 2007. 46p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

SIQUEIRA, J.D.P.; LISBOA, R.S.; FERREIRA, A.M.; SOUZA, M.F.R.; ARAÚJO, E.; LISBÃO JÚNIOR, L.; SIQUEIRA, M.M. Estudo ambiental para os programas de fomento florestal da Aracruz Celulose S. A. e extensão florestal do governo do estado do Espírito Santo. **Floresta**, Curitiba, v.34, p.03-67, 2004

SIQUEIRA, O.J.F. Efeitos potenciais das mudanças climáticas na agricultura brasileira e estratégias adaptativas para algumas culturas. In: LIMA, M.A.; CABRAL, O.M.R.; MIGUEZ, J.D.G. (Ed.). Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2001. p.33-63.

Campanharo *et al.* – Potencial impacto das mudanças climáticas sobre o zoneamento agroclimático para a seringueira no Espírito Santo

SOARES, N.S.; SILVA, M.L.; LIMA, J.A.; CORDEIRO, S.A. Análise de previsões do preço da borracha natural no Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.36, n.80, p.285-294, 2008.

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

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.C. The water balance. Centeron: Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, v.8, n.1).