

Subsídios do geoprocessamento para análise integrada dos dados de mudanças climáticas e de problemas fitossanitários

Emília Hamada¹
Renata Ribeiro do Valle Gonçalves²

¹ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Meio Ambiente
Caixa Postal 69 - 13820-000 – Jaguariúna - SP, Brasil
emilia.hamada@embrapa.br

² Universidade Estadual de Campinas – Unicamp - Cepagri
Cidade Universitária "Zeferino Vaz" - 13083-970 - Campinas - SP, Brasil
renata@cpa.unicamp.br

Abstract. Brazil is highly dependent on agriculture, which is directly dependent on climatic factors. Due to the intense relationship between environment and disease, changes in the geographical and temporal distribution of disease occurrence may occur as an impact of climate change. The responses of different pathosystems to climate change vary widely. The objective of this study was to present a proposal for the integrated analysis of climate change projections and phytosanitary problems, by using geoprocessing supports. The integrated analysis allows a better understanding of the interaction of these two climatic and biological systems in space and time. The prediction of the climate change scenarios of geographic distribution of pests obtained with the support of Geoprocessing presents great potential, allowing the development of tactics of control and strategies, in order to facilitate the decision making, with significant time and resource saving.

Palavras-chave: geoprocessing, climate change, pests, agriculture, geoprocessamento, mudanças climáticas, pragas, agricultura,

1. Introdução

As mudanças climáticas representam uma ampla gama de riscos, amplificando os riscos existentes e criando novas ameaças aos sistemas naturais e humanos. Esses riscos são distribuídos de forma desigual e são geralmente maiores para pessoas e comunidades desfavorecidas de países em todos os níveis de desenvolvimento, constituindo-se em ameaça fundamental para a segurança alimentar mundial, o desenvolvimento sustentável e a erradicação da pobreza (IPCC, 2014).

A produção agrícola é muito variável em função das condições meteorológicas a que a cultura está sujeita durante o seu ciclo de cultivo, influenciando no seu crescimento, desenvolvimento e produtividade (Sentelhas e Monteiro, 2009). Além disso, a coevolução das plantas com suas pragas e doenças fez com que, de modo geral, as condições do ambiente que favorecem a planta cultivada também favoreçam os patógenos e as pragas; assim, os organismos tendem a ocorrer em maior frequência em regiões onde as condições do ambiente são favoráveis ao seu desenvolvimento (Hamada e Ghini, 2015).

Plantas, animais e ecossistemas se adaptaram às condições climáticas predominantes e à medida que essas condições mudam, eles serão afetados em maneiras que são difíceis de prever com precisão, podendo seus impactos variar desde reduções de rendimento e maior variabilidade de rendimento, ao deslocamento de culturas e à perda de agrobiodiversidade e dos serviços ecossistêmicos (FAO, 2016). Todos os setores agrícolas - cultura, pecuária, pesca e silvicultura - serão afetados de formas distintas e a maioria dos impactos das mudanças climáticas deve ser negativa. Segundo Porter et al. (2014), os impactos negativos tendem a ser mais comuns que os positivos, geralmente reduzindo os rendimentos de cereais básicos, tais como trigo, arroz e milho, diferindo, no entanto, entre diferentes regiões e latitudes. Por outro lado, ainda segundo esses autores, a elevação da concentração de CO₂ poderia beneficiar o rendimento das culturas em curto prazo em função do aumento das taxas de fotossíntese,

embora ainda exista grande incerteza na magnitude do seu efeito e no significado da interação com outros fatores.

A importância de um problema fitossanitário pode ser observada pela redução da sua produção agrícola ou, em casos extremos, até perda completa da safra. Por exemplo, no Brasil, estima-se que a doença ferrugem-asiática-da-soja, na safra 2001/2002, ocorreu em cerca de 60% da área de soja no Brasil, com perdas da ordem de US\$125,5 milhões (Yorinori et al., 2004). Globalmente, em média, as pragas de insetos reduzem as produtividades agrícolas de 10% a 16% antes da colheita e uma quantidade similar no consumo pós-colheita (Bebber et al., 2013), com prejuízos na agricultura associados com insetos invasores de US\$25 bilhões por ano (Bradshaw et al., 2016), sendo previsto em 2050 aumento de 18% da área de ocorrência dos atuais invasores artrópodes, em função das mudanças climáticas (Bellard et al., 2013).

Os impactos das mudanças climáticas sobre pragas e doenças de plantas podem se expressar em diferentes aspectos; cujos danos causados são determinados pelas interações de um grande número de fatores que, direta ou indiretamente, influenciam a ocorrência e a sua severidade (Ghini, 2005). Desta forma, a ocorrência desses impactos de forma diferenciada demandará estudos específicos para diferentes culturas e patossistemas, como por exemplo, para doenças de hortaliças no Brasil, em que Ghini et al. (2015) fizeram o levantamento de estudos sobre os impactos das mudanças climáticas e observaram que das 109 doenças analisadas em sete das principais culturas hortícolas, 66 doenças apresentam tendência de aumento de importância no futuro.

Pela convergência e sinergismo dos temas das mudanças climáticas e dos problemas fitossanitários, os sistemas de informações geográficas permitem a colaboração multidisciplinar por meio da análise integrada, alcançando o crescimento na compreensão dos sistemas climáticos e biológicos no espaço e no tempo. O objetivo deste estudo foi apresentar uma proposta de análise integrada de dados de projeções de mudanças climáticas e de problemas fitossanitários, com subsídios do geoprocessamento, analisando suas vantagens e limitações face às condições atuais de desenvolvimento do conhecimento dos temas envolvidos.

2. Metodologia de Trabalho

Um dos aspectos mais relevantes nos estudos dos efeitos das mudanças climáticas é o emprego das simulações dos cenários climáticos futuros, oriundas das projeções dos modelos climáticos e que, juntamente com as informações adicionais obtidas de dados observados, fornecem uma base quantitativa para estimar as probabilidades de muitos aspectos das mudanças do clima do futuro. Esses modelos são baseados em princípios físicos bem estabelecidos e descrevem características do clima recente e alterações do clima passado e, com considerável confiança, fornecem boas estimativas quantitativas da mudança do clima futuro (Randall et al., 2007).

A partir de 1990, começaram a ser disponibilizados pelo IPCC os relatórios de avaliação e, atualmente, encontra-se no seu Quinto Relatório de Avaliação, lançado em partes, entre setembro de 2013 e novembro de 2014. Por meio de seus Relatórios de Avaliação, o IPCC disponibiliza abertamente em seu sítio na internet as simulações de diversos e sofisticados modelos globais de circulação atmosférica, desenvolvidos por renomadas instituições e executados de acordo com diferentes cenários futuros, com aumento de complexidade e confiabilidade desses modelos ao longo das últimas décadas. O grande volume de dados disponibilizados e sua preparação/adaptação para entrada no banco de dados geográfico é um grande desafio.

Para o Brasil, Hamada et al. (2008a) apresentaram uma base de dados a partir de informações do Terceiro Relatório do IPCC, adotando dois cenários extremos de emissão de

gases estufa A2 (pessimista) e B2 (otimista), centrados nas décadas 2020, 2050 e 2080 e utilizando a média de seis modelos (ECHAM4, HadCM3, CGCM2, CSIRO-Mk2, CCSRNIES, GFDL-R30). Nesse estudo, considerando o objetivo de sua aplicação, o estudo de problemas fitossanitários, para a montagem da base de dados climáticos foram selecionadas as variáveis: temperatura média ($^{\circ}\text{C}$), temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$), temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$), precipitação pluvial (mm dia^{-1}), umidade relativa (%), radiação solar (W m^{-2}) e período de melhoramento foliar (horas dia^{-1} e dias > 10 horas), médias mensais do clima futuro. O clima presente ou período de referência (1961-1990) também foi considerado, como parâmetro de comparação. As informações foram consolidadas e divulgadas na forma de atlas digital (Hamada et al., 2010). Dados de período de molhamento foliar, muito importantes e utilizados nos estudos de doenças, foram derivadas de dados básicos disponíveis, utilizando-se das equações descritas por Hamada et al. (2008b).

Dando seguimento ao estudo, Hamada et al. (2011) utilizaram as projeções disponibilizadas pelo Quarto Relatório do IPCC (2007). Diferentemente do Terceiro Relatório, este disponibiliza simulações mensais de mais de 20 modelos para cada cenário de emissão de gases de efeito estufa, ano a ano, porém, em função do objetivo da aplicação, as projeções dos cenários A2 e B1 foram integradas em períodos de 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100, representando, respectivamente, as décadas centradas do Relatório anterior. Nesse caso, optou-se pelo cenário B1, ao invés do B2, considerando cenários ainda mais distantes entre si. Além disso, o número de modelos climáticos globais considerado para a média variou em função de sua disponibilidade para a variável climática e o cenário climático, com 15 modelos para as variáveis de temperatura média e precipitação pluvial, no cenário A2 e 14 modelos no cenário B1; três modelos para temperatura máxima e mínima, nos cenários A2 e B1; e sete modelos para umidade relativa e período de molhamento foliar. A umidade relativa não foi diretamente disponibilizada, sendo obtida derivando-se de dados básicos, utilizando-se a fórmula de Tetens. Essas informações consolidadas podem ser consultadas em Hamada et al., (2013).

Em estudos de simulação da distribuição espacial e temporal em cenários climáticos futuros, o Geoprocessamento permite vincular projeções de modelos do clima futuro e predições de modelos de pragas. Modelos de desenvolvimento de doenças podem ser utilizados ou equações de lógica matemática que descrevem seu desenvolvimento, relacionando informações climáticas denominadas de variáveis preditoras com um parâmetro relacionado à praga como a variável resposta, que podem ser a severidade da doença, o número de ciclos, o número de gerações e a favorabilidade de ocorrência, entre outros. A utilização desses modelos/equações é uma escolha vantajosa, uma vez que as mudanças climáticas ocorrem de forma lenta e variável, dificultando o estudo de seus efeitos diretamente (Garret et al., 2006). Desta forma, a aplicação de características climáticas quantificadas nesses modelos permite prever o sucesso do organismo em outros locais com climas semelhantes em que o organismo não foi ainda introduzido ou onde é esperado que o clima se altere, tornando-o semelhante ao clima local de referência do organismo.

Existe, ainda, um grande desafio na utilização desses modelos biológicos que é ajustá-los às características dos dados climáticos dos modelos globais a fim de extrapolá-los e validá-los para estudos de distribuição geográfica em larga escala, pois modelos de pragas foram inicialmente obtidos em experimentos com condições controladas ou desenvolvidas para sistemas de previsão, requerendo muitas vezes informações climáticas diárias e até horárias, incompatíveis com os dados de projeções dos modelos climáticos globais. Atualmente, modelos de parâmetros de pragas vêm sendo estudados, procurando incorporar novos conhecimentos, como o potencial de adaptação de plantas e patógenos às novas condições do ambiente, como aumento de temperatura, alterações de padrões de precipitação e de enriquecimento de CO_2 em função das mudanças climáticas.

3. Resultados e Discussão

A proposta de análise integrada de dados de projeções de mudanças climáticas e de problemas fitossanitários, com subsídios do Geoprocessamento é ilustrada na Figura 1.



Figura 1. Proposta de análise integrada de dados de projeções de mudanças climáticas e de problemas fitossanitários.

Para exemplificar os resultados obtidos aplicando-se a análise integrada proposta com suporte do Geoprocessamento, são apresentados a seguir os estudos realizados por Ghini et al. (2008, 2011) e Navia et al. (2016).

Ghini et al. (2008) avaliaram os impactos potenciais da mudança climática sobre a distribuição espacial de nematóides (raças de *Meloidogyne incognita*) e do bicho-mineiro (*Leucoptera coffeella*) da cultura de café. Foram considerados cenários futuros centrados nas décadas de 2020, 2050 e 2080 (cenários A2 e B2) do Terceiro Relatório do IPCC. Por meio de modelos para previsão do número de gerações anuais do nematóide e do bicho-mineiro, foram elaborados mapas de distribuição geográfica. Os mapas obtidos no cenário A2 permitiu verificar que poderá haver aumento na infestação, tanto do nematóide quanto da praga, pelo maior número de gerações por mês, quando se compara com a normal climatológica de 1961–1990. No cenário B2, o número de gerações também foi maior que no cenário atual, porém nota-se que é inferior ao observando no cenário A2.

No trabalho de Ghini et al. (2011) foi feita a simulação dos cenários futuros de epidemias de ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*), pela elaboração de mapas de distribuição geográfica usando modelo que estima o período de incubação do patógeno e dados de três modelos climáticos globais do Terceiro Relatório do IPCC. O período da normal climatológica de 1961- 1990 foi comparado com as décadas de 2020, 2050 e 2080, usando cenários A2 e B1. Foram considerados dez estados produtores de café do Brasil. As variáveis climáticas utilizadas foram temperaturas máximas e mínimas mensais. Os mapas obtidos no cenário A2 permitiu verificar que há tendência de redução do período de incubação, quando se compara os cenários futuros com o clima de 1961-1990. No cenário B1, também foi observada redução do período, porém nota-se que é inferior ao cenário A2.

Mais recentemente, Navia et al. (2016) avaliaram os impactos das mudanças climáticas sobre o ácaro-vermelho-das-palmeiras (*Raoiella indica*) para o Brasil. Os mapas foram construídos considerando faixas de favorabilidade de temperatura e umidade relativa, com base nas informações do Quarto Relatório do IPCC. Os níveis de favorabilidade foram definidos a partir da informação disponível sobre a biologia e a dinâmica populacional da praga. Para caracterizar as condições climáticas atuais, informações foram referenciadas para a normal climatológica de 1961 a 1990. Os cenários futuros para os modelos foram os cenários A2 e B1 de emissões de gases, focalizados nos períodos de 2011–2040, 2041–2070 e 2071–2100. Os resultados mostraram que para o período de referência, o Brasil apresenta extensas áreas com condições favoráveis ou muito favoráveis para o estabelecimento de populações do ácaro-vermelho-das-palmeiras. Observou-se aumento de favorabilidade para os cenários futuros quando comparados ao período de referência, o que indica que o impacto da praga se agravará, caso esta já esteja amplamente disseminada e causando danos no País. Nos cenários atual e futuros de mudanças climáticas, a maior parte das áreas favoráveis e muito favoráveis para o ácaro-vermelho-das-palmeiras está no Nordeste do Brasil.

4. Conclusões

O subsídio do Geoprocessamento, por meio da análise integrada dos dados de projeções de mudanças climáticas e de problemas fitossanitários, permite um maior entendimento da interação desses dois sistemas climáticos e biológicos no espaço e no tempo.

A seleção dos parâmetros utilizados na análise integrada é de primordial importância, requerendo a compreensão da relação/interação entre variáveis climáticas e praga.

A simulação dos cenários das mudanças climáticas de distribuição geográfica de pragas obtida com o apoio do Geoprocessamento apresenta grande potencial, permitindo o desenvolvimento de táticas de controle e estratégias, de forma a facilitar a tomada de decisões, com significativa economia de tempo e recursos.

Agradecimentos

Agradecimentos à Embrapa pelo apoio financeiro.

Referências Bibliográficas

Bebber, D. P.; Ramotowski, M. A. T.; Gurr, S. J. Crop pests and pathogens move polewards in a warming world. **Nature Climate Change**, v. 3, p. 985-988, 2013.

Bellard, C.; Thuiller, W.; Leroy, B.; Genovesi, P.; Bakkenes, M.; Courchamp, F. Will climate change promote future invasions? **Global Change Biology**, v. 19, p. 3740-3748, 2013.

Bradshaw, C. J. A.; Leroy, B.; Bellard, C.; Roiz, D.; Albert, C.; Fournier, A.; Barbet-Massin, M.; Salles, J.; Sismard, F.; Courchamp, F. Massive yet grossly underestimated global costs of invasive insects. **Nature Communications**, v. 7, p.1-8, 2016. Disponível em: < <http://www.nature.com/articles/ncomms12986>>. Acesso em: 04 nov. 2016.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. The state of food and agriculture 2016: climate change, agriculture and food security. Rome: FAO, 2016. 194 p. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i6030e.pdf>>. Acesso em: 13 nov. 2016.

Garret, K.A.; Dendy, S.P.; Frank, E.E.; Rouse, M.N.; Travers, S.E. Climate change effects on plant disease: genomes to ecosystems. **Annual Review of Phytopathology**, v. 44, p. 489-509, 2006.

Ghini, R. **Mudanças climáticas globais e doenças de plantas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2005. 104 p.

Ghini R.; Hamada E.; Pedro Junior, M. J.; Marengo, J.A.; Gonçalves, R. R.V. Risk analysis of climate change on coffee nematodes and leaf miner in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.2, p.187-194, 2008.

Ghini, R.; Hamada, E.; Pedro Júnior, M.J.; Gonçalves, R.R.V. Incubation period of *Hemileia vastatrix* in coffee plants in Brazil simulated under climate change. **Summa Phytopathologica**, v.37, n.2, p.85-93, 2011.

Ghini, R.; Santos, M. S.; Hamada, E. Efeito das mudanças climáticas esperadas para o Brasil sobre a produção e doenças de hortaliças. In: Lima, C. E. P.; Fontenelle, M. R.; Braga, M. B. (Ed.). **Mudanças climáticas e produção de hortaliças: projeções, impactos, estratégias adaptativas e mitigadoras**. Brasília: Embrapa, 2015. p. 107-126.

Hamada, E.; Ghini, R. Mudanças climáticas e seus impactos sobre a distribuição de pragas agrícolas. In: Sugayama, R. L.; Lopes-da-Silva, M.; Silva, S. X. B.; Ribeiro, L. C.; Rangel, L. E. P. (Ed.). **Defesa vegetal: fundamentos, ferramentas, políticas e perspectivas**. Belo Horizonte: SBDA – Sociedade Brasileira de Defesa Agropecuária, 2015. p. 433-447.

Hamada, E.; Ghini, R.; Fernandes, J. L.; Pedro Júnior, M. J.; Rossi, P. Spatial and temporal variability of leaf wetness duration in the State of São Paulo, Brazil. **Scientia Agricola**, v. 65, p. 26-31, 2008b.

Hamada, E.; Ghini, R.; Gonçalves, R. R. V.; Marengo, J. A.; Thomaz, M. C. **Atlas digital dos cenários climáticos futuros projetados para o Brasil com base no Terceiro Relatório do IPCC (2001)**: variáveis de interesse agrícola. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2010. 1 CD-ROM. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 82). Disponível em: < <http://www.cnpma.embrapa.br/climatepest/atlasdigital/>>. Acesso em: 16 nov. 2016.

Hamada, E.; Ghini, R.; Marengo, J. A.; Oliveira, B. S.; Nogueira, S. M. C. **Atlas digital dos cenários climáticos projetados para o Brasil com base no Quarto Relatório do IPCC (2007)**: variáveis de interesse agrícola. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2013. 1 CD-ROM. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 96). Disponível em: < <http://www.cnpma.embrapa.br/climatepest/atlasdigital4r/>>. Acesso em: 16 nov. 2016.

Hamada, E.; Ghini, R.; Marengo, J. A.; Thomaz, M. C. Projeções de mudanças climáticas para o Brasil no final do século XXI. In: Ghini, R.; Hamada, E.; Bettiol, W. **Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011. cap. 2, p.41-74.

Hamada, E.; Gonçalves, R. R. V.; Marengo, J. A.; Ghini, R. Cenários climáticos futuros para o Brasil. In: Ghini, R. Hamada, E. (ed.). **Mudanças climáticas: impactos sobre doenças de plantas no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação tecnológica, 2008a. cap.2, p. 25-73.

IPCC. **Climate change 2001**: the scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 881 p. Disponível em: < <https://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/>>. Acesso em: 16 nov. 2016.

IPCC. **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. 996 p. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg1_report_the_physical_science_basis.htm>. Acesso em: 16 nov. 2016.

Navia, D.; Hamada, E.; Gondim Jr, M. G. C.; Benito, N. P. Spatial forecasting of red palm mite in Brazil under current and future climate change scenarios. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.51, n.5, p.586-598, 2016.

Porter, J. R.; Xie, L.; Challinor, A. J.; Cochrane, K.; Howden, S. M.; Iqbal, M. M.; Lobell, D. B.; Travasso, M. I. Climate change 2014: food security and food production systems. In: IPCC. **Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge: Cambridge University Press, 2014. cap. 7, p. 485-533.

Randall, D. A.; Wood, R. A.; Bony, S.; Colman, R.; Fichet, T.; Fyfe, J.; Kattsov, V.; Pitman, A.; Shukla, J.; Srinivasan, J.; Stouffer, R. J.; Sumi, A.; Taylor, K. E. Climate models and their evaluation. In: IPCC. **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. 589-662. Disponível em: <<http://ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter8.pdf>>. Acesso em: 16 nov. 2016.

Sentelhas, P. C.; Monteiro, J. E. B. A. Agrometeorologia dos cultivos. In: MONTEIRO, J. E. B. A. (Org.). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola.** Brasília, DF: INMET, 2009. p. 3-12.

Yorinori, J. T.; Junior, J. N.; Lazzarotto, J. J. **Ferrugem “asiática” da soja no Brasil: evolução, importância econômica e controle.** Londrina: Embrapa Soja, 2004. 36 p. (Embrapa Soja. Documentos, 247).