



Impactos da correção de viés sobre projeções de mudanças climáticas aplicadas a simulações de rendimento de culturas

Santiago Vianna Cuadra^{1(*)}, Rosmeri Porfírio da Rocha², Marta Pereira Llopart³, Daniel de Castro Victoria⁴,
Ivan Rodrigues de Almeida¹ e José Renato Bouças Farias⁵

¹Embrapa Clima Temperado. Rodovia BR 392 km 78, Cx. Postal 403, CEP 96.010-971 Pelotas, RS. E-mails: santiago.cuadra@embrapa.br e ivan.almeida@embrapa.br

²Universidade de São Paulo (USP), Instituto de Astronomia Geofísica e Ciências Atmosféricas. São Paulo, SP. E-mail: rosmerir.rocha@iag.usp.br

³Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Faculdade de Ciências, Instituto de Pesquisas Meteorológicas - Campus Bauru. Bauru, SP. E-mail: marta@fc.unesp.br

⁴Embrapa Informática Agropecuária. Campinas, SP. E-mail: daniel.victoria@embrapa.br

⁵Embrapa Soja. Londrina, PR. E-mail: joser Renato.farias@embrapa.br

(*) Autor para correspondência.

INFORMAÇÕES

História do artigo:

Recebido em 25 de outubro de 2018

Aceito em 26 de fevereiro de 2020

Termos para indexação:

Soja

Glycine max (L.) Merrill

Mudanças Climáticas

CROPGRO-Soybean

RESUMO

O presente trabalho avaliou os erros sistemáticos das simulações climáticas e seus impactos nas simulações da produtividade agrícola da soja na região Sul do Brasil no clima atual e nas projeções climáticas. As simulações climáticas foram realizadas com o modelo RegCM4 (Regional Climate Model version 4), aninhado no modelo climático global HadGEM2-ES para o cenário RCP8.5, e as simulações do rendimento da soja foram realizadas com o modelo CROPGRO-Soybean, dentro da plataforma DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer). As produtividades simuladas pelo CROPGRO-Soybean com os dados do RegCM4 sem correção de viés apresentam desvios em relação às simulações com os dados derivados das observações da ordem de até 50%. As simulações com os dados do modelo climático corrigidos, com todos os métodos de correção de viés, apresentaram valores similares aos obtidos com os dados climáticos observados. Por fim, foram avaliados os mapas dos impactos dos cenários de mudanças climáticas sobre a média e o desvio padrão da produtividade agrícola simulada. Os resultados com os cenários climáticos gerados através do método Delta resultou em uma subestimativa dos impactos das mudanças climáticas sobre o rendimento médio e na variabilidade interanual da produção de soja simulada pelo modelo CROPGRO-Soybean. As anomalias do rendimento com os dados originais do RegCM4 apresentaram diferenças em relação aos resultados com correção de viés, atingindo diferenças de 40%.

Introdução

Os impactos ambientais, econômicos e sociais das alterações do clima global são um dos maiores desafios da humanidade. Emissões antrópicas de gases de efeito estufa e a mudança do uso da terra (Scott et al., 2018) deverão alterar o clima global nas próximas décadas (Meehl et al., 2007). Por exemplo, são projetados aumentos da temperatura média global, da intensidade da precipitação, do número de dias secos e das ondas de calor como resultado das atividades antrópicas (Meehl et al., 2007). Tais mudanças deverão impactar significativamente diversos agroecossistemas em todo o globo (Stevanović et al., 2016; Zhao et al., 2017). No Brasil, o setor agrícola tem papel de destaque no Produto Interno Bruto (PIB) nacional, 23% do PIB e 42% das exportações, assim como na taxa de emprego, sendo responsável por 37% dos empregos diretos e indiretos no país. Como o clima é o fator ambiental que exerce maior influência no desempenho da agricultura, a determinação dos potenciais impactos das mudanças climáticas neste setor e a proposição de medidas de adaptação às mudanças climáticas são estratégicos para o desenvolvimento econômico e social do país.

Diversos estudos têm avaliado os impactos potenciais das mudanças climáticas sobre a agricultura e segurança alimentar (Stevanović et al., 2016; Zhao et al., 2017), que serão particularmente negativos nas regiões em desenvolvimento (Easterling et al., 2007). Atualmente, o método preditor mais empregado para se avaliar as respostas da produtividade agrícola às condições climáticas são os modelos de crescimento e produtividade de culturas agrícolas (modelos de cultura - MC), que empiricamente e/ou mecanisticamente descrevem as relações entre o crescimento e a produtividade das culturas e as condições ambientais. Diversas iniciativas brasileiras de quantificação dos impactos das mudanças climáticas na agricultura brasileira vêm usando esses MCs (Fagundes et al., 2010; Silva et al., 2013; Vianna et al., 2012).

Entretanto, uma questão fundamental na aplicação dos modelos climáticos para estudos de impactos, como os da mudança climática na agricultura, é considerar as influências e incertezas relacionadas aos erros sistemáticos dos modelos climáticos; seja qual for a natureza desse estudo, como por exemplo, aqueles aplicados à hidrologia e à agricultura (Haim et al., 2008; Khazaei et al., 2012). Os modelos climáticos apresentam erros significativos, que podem ter alta influência nos resultados das avaliações dos impactos das mudanças climáticas. Portanto, correções ou, ao menos, avaliações dos erros dos modelos climáticos são fundamentais para reduzir as incertezas dos cenários de mudanças climáticas gerados, contribuindo para obtenção de melhores resultados, por exemplo, em aplicações no setor agrícola.

O presente trabalho tem por objetivo apresentar alternativas para tratar os erros sistemáticos dos modelos climáticos para sua aplicação na geração de cenários dos impactos das mudanças climáticas sobre a produtividade agrícola. Para tal, foram avaliados os erros sistemáticos das simulações climáticas e seus impactos na produtividade simulada da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) na região Sul do Brasil, no clima atual e nas projeções climáticas futuras.

Material e Método

As simulações climáticas utilizadas foram realizadas com o modelo climático regional RegCM4 (Regional Climate Model version 4; Giorgi et al. 2012); uma descrição completa das simulações RegCM4 para CORDEX (Coordinated Regional Downscaling Experiment) é dada em Giorgi et al. (2014). As simulações do RegCM4 foram realizadas através das saídas do modelo climático global HadGEM2-ES. As simulações consideradas foram do RegCM4 para o cenário de concentração de gases de efeito estufa (Representative Concentration Pathways, RCP8.5), como descritas em Llopart et al. (2014) e da Rocha et al. (2014). O conjunto de dados utilizados como referência para o clima atual estão descritos em Xavier et al. (2016), campos das variáveis meteorológicas gerados através da interpolação de dados das estações meteorológicas.

Existe na literatura, metodologias para correção de erros sistemáticos de modelos climáticos, como métodos de correção de viés ou uso de anomalias médias derivadas dos modelos climáticos, sobrepostas aos dados históricos observados (ex., “Método Delta”), usualmente aplicado afim de reduzir as influências dos erros sistemáticos na geração de cenários climáticos. Para a correção dos erros sistemáticos nas simulações climáticas do RegCM4, foram implementados três métodos de correção de viés, gerando assim um conjunto de quatro séries climáticas para cada par de séries de observação e saída dos modelos climáticos. No primeiro método os erros médios mensais foram removidos das séries das simulações climáticas originais. O segundo método consiste na aplicação de uma correção do tipo quantil-quantil correction, considerando as distribuições de frequência anual. Por último a correção quantil-quantil correction foi aplicada para cada mês do ano. Posteriormente foram processados seis conjuntos de simulações para o rendimento da soja, diferindo em função do conjunto de dados climáticos: (i) dados climáticos observados (XAVI), Xavier et al. (2016); (ii) simulações originais do modelo RegCM4 (REGO); (iii) simulações do RegCM4 com as correções pelo método Bias (REGB) – os erros médios mensais são removidos das séries dos modelos climáticos; (iv) simulações do RegCM4 com as correções pelo método Quantil (REGQ) – o método consiste na aplicação de uma correção do tipo quantil-quantil correction, consideran-

do as distribuições de frequência anual; (v) simulações do RegCM4 com as correções pelo método Quantil Mensal (M) - a correção quantil-quantil correction é aplicada para cada mês do ano.

Foram avaliados os impactos dos erros sistemáticos dos modelos climáticos nas simulações da produtividade agrícola e os efeitos dos métodos de correção de viés (dos modelos de clima) nas simulações da produtividade da soja através do modelo CROPGRO-Soybean (Boote et al., 1998), dentro da plataforma DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer, Jones et al., 2003). A plataforma DSSAT destaca-se como uma das principais plataformas de modelagem de culturas agrícolas, incluindo modelos de simulação de mais de 28 culturas, em uso no Brasil e no mundo. O DSSAT simula o crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas, considerando o crescimento em uma área uniforme sob condições prescritas ou simuladas de manejo, assim como os ciclos da água, do carbono e do nitrogênio no sistema solo-planta-atmosfera que ocorrem sob o sistema de cultivo ao longo do tempo. A plataforma modular do sistema conta com um módulo do solo, um módulo de cultura (que pode simular diferentes culturas através da definição de parâmetros específicos para cada espécie), um módulo gerador de tempo (WGEN), e um mó-

dulo que simula a competição por recursos (ex., luz, água) pelas culturas, dentro do sistema solo-planta-atmosfera. As simulações foram realizadas para a região Sul do Brasil.

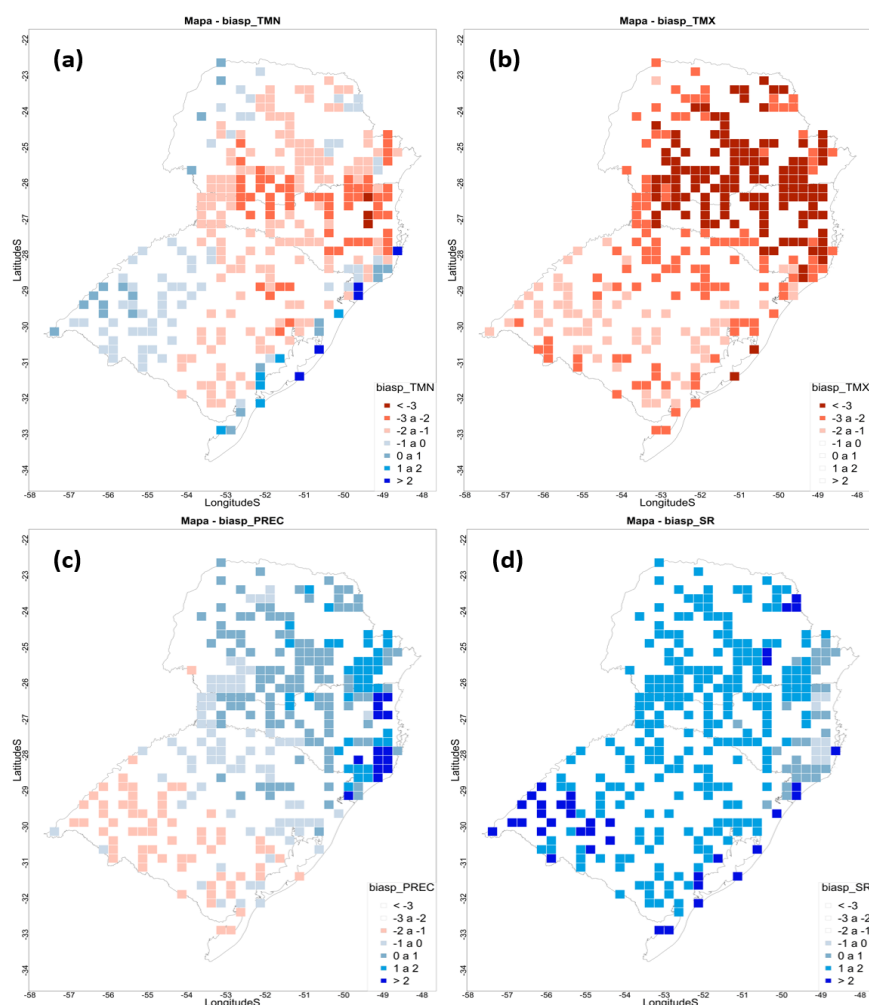
Foram utilizadas duas fontes de dados para ajustar o modelo CROPGRO-Soybean (Boote et al., 1997). Dados registrados nos Ensaios de Cultivares em Rede (ECR) da região Sul do Brasil e da produtividade agrícola municipal estimada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O modelo foi ajustado para uma cultivar moderna, com dados dos últimos 5 anos, ajustando os coeficientes genéticos associados com o desenvolvimento fenológico e a produtividade agrícola (considerando mais de cem ciclos). Posteriormente, os dados do IBGE foram ajustados para que os máximos municipais coincidisse com os valores máximos simulados, removendo-se lacuna de produtividade agrícola ("yield gap") - que varia entre regiões produtoras.

Resultado e discussão

Avaliação das simulações climáticas

Na Figura 1 são apresentados os erros médios (ou bias) das simulações do modelo climático regional RegCM4 quando comparados aos dados interpolados por Xavier

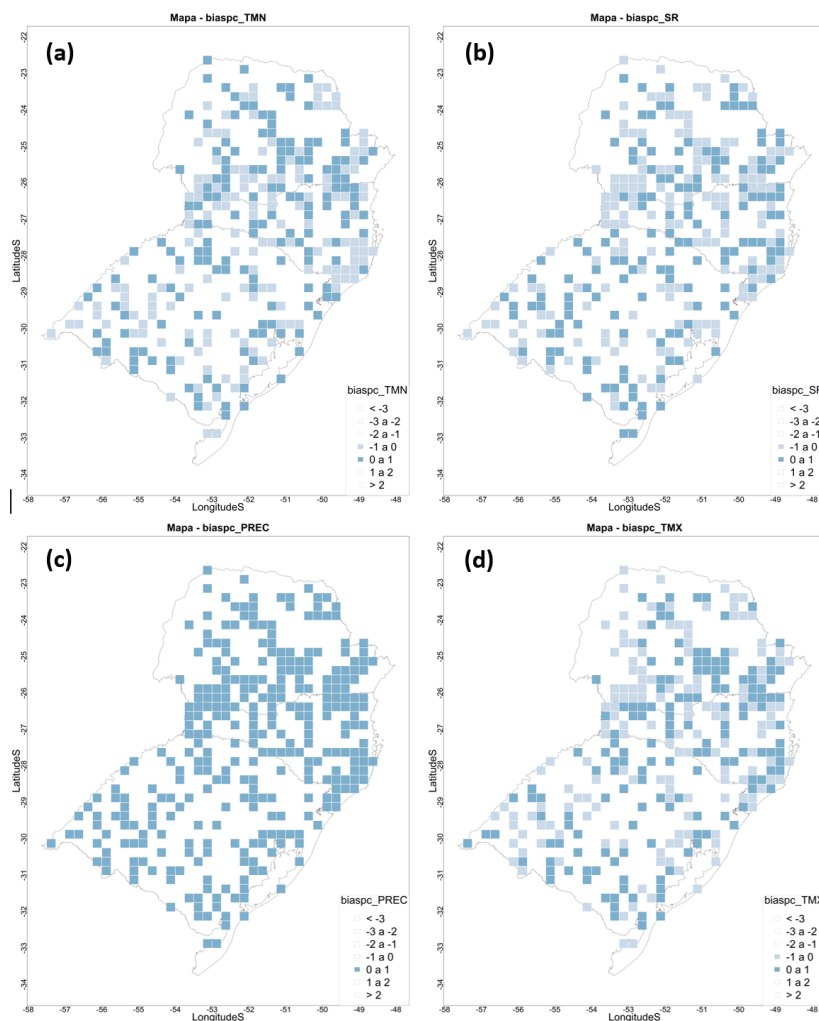
Figura 1. Diferença entre os dados do modelo climático regional RegCM4 (down-scaling das rodadas do modelo HadGem) e os dados interpolados por Xavier et al. (2016), da climatologia (1986-2005), para (a) temperatura mínima do ar (°C), (b) temperatura máxima do ar (°C), (c) precipitação média anual (mm dia⁻¹) e (d) radiação Solar Global (MJ m⁻² dia⁻¹) para o período de 1986 a 2005 para o Sul do Brasil.



et al. (2016), onde cada ponto corresponde a uma estação pluviométrica. Na Figura 1a observa-se que em diversas regiões o modelo climático regional RegCM4 simula temperaturas máximas 3 °C abaixo dos valores interpolados por Xavier et al. (2016). Se for considerado um cenário conservador onde projeta-se um aumento de 4 °C em relação ao clima atual, as projeções da temperatura máxima seriam cerca de 1 °C acima das temperaturas atualmente observadas. Portanto, usar estes dados para simular a produtividade agrícola da soja resultaria, provavelmente, em níveis de rendimento muito próximos aos observados para o clima atual. Portanto, correções ou, ao menos, avaliações dos erros dos modelos climáticos são fundamentais para sua aplicação nas avaliações dos impactos das mudanças climáticas, como nas aplicações ao setor agrícola.

Na Figura 2 são apresentados os erros médios (ou bias) das simulações do modelo climático regional RegCM4 após corrigido pelo método quantil-quantil correction, aplicado mensalmente. Pode-se observar que os desvios do modelo em relação aos dados climáticos de referência são reduzidos e, portanto, como será exemplificado nos resultados a seguir, os erros nos dados climáticos não são propagados para as simulações do crescimento de produtividade agrícola da soja.

Figura 2. Diferença entre os dados do modelo climático regional RegCM4 (downscaling das rodadas do modelo HadGem) e os dados interpolados por Xavier et al. (2016), climatologia (1986-2005), após as correções das saídas do modelo climático Regional RegCM4, corrigido pelo método dos Quantis (REGM), para (a) temperatura mínima do ar (°C), (b) temperatura máxima do ar (°C), (c) precipitação média anual (mm dia⁻¹) e (d) radiação Solar Global (MJ m⁻² dia⁻¹).



A Figura 3 apresenta um exemplo dos métodos de correção através da função de distribuição cumulativa empírica para precipitação e temperatura máxima do ar, para o município Santo Antônio das Missões, RS. Como mostra a Figura 3a, os eventos de precipitação são superestimados pelo modelo (REGO). Fazendo apenas a correção do viés (REGB) o modelo apresenta médias próximas dos valores interpolados por Xavier et al. (2016), mas ainda superestima os eventos em diversas faixas de precipitação, nesse caso ainda apresenta poucos eventos entre 50 e 80 mm e um maior número de eventos entre 80 e 90 mm. Para a temperatura máxima, nesse caso, apenas com a correção de viés (REGB) a distribuição de frequência é similar à derivada dos valores interpolados por Xavier et al. (2016) (XAVI).

Avaliação das simulações da produtividade agrícola

A Figura 4 apresenta as curvas de probabilidade cumulativas dos valores de produtividade agrícola do IBGE e simulados para uma média de 556 municípios produtores de soja na região Sul do Brasil, cuja área colhida somava 95% do total da região. Observa-se que o modelo simula a assimetria entre as distribuições dos diferentes estados, com o estado do Paraná apresentando maiores valores de

Figura 3. Funções de distribuição cumulativa empírica (FDCE) da (a) precipitação e (b) temperatura máxima para o município de derivadas dos dados observados (XAVI), RegCM4 original (REGO), RegCM4 correção do viés médio (REGB) e RegCM4 com correção pelo método quantil aplicado mensalmente (REGM).

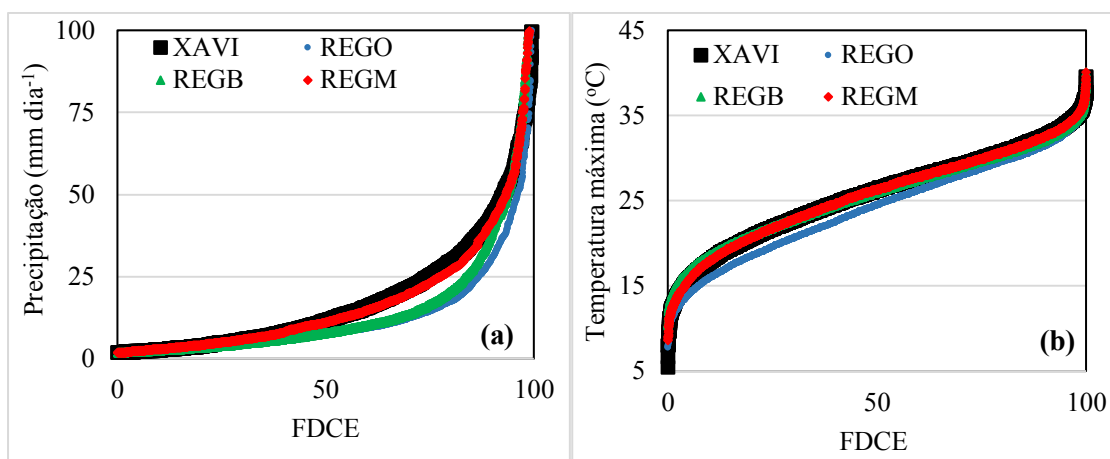
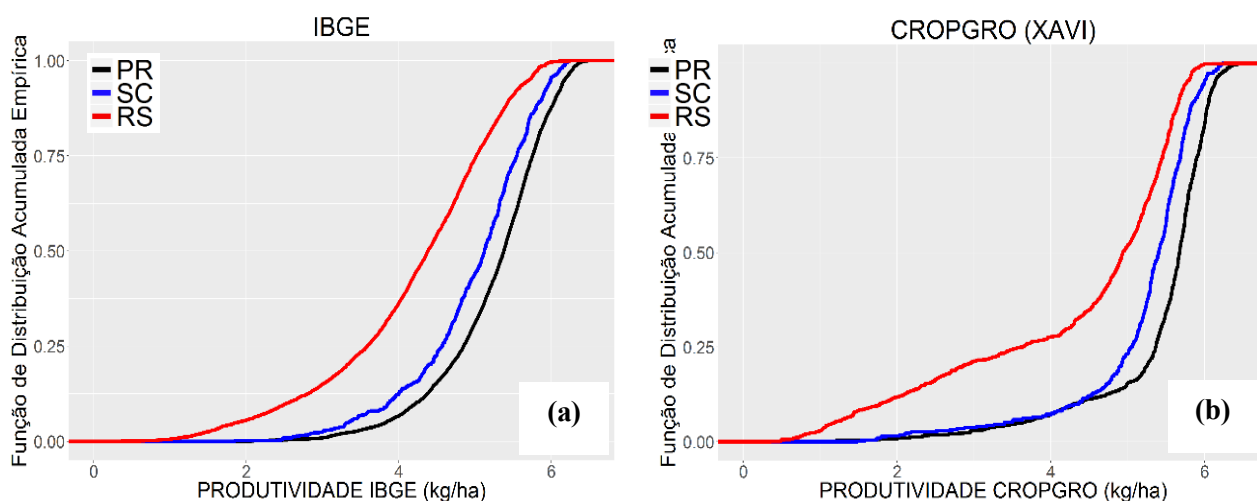


Figura 4. Função de distribuição acumulada empírica da produtividade agrícola atingível (potencial limitada pela deficiência hídrica) estimada com os dados do IBGE e pelo modelo CROPGRO-Soybean para os estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, considerando os 556 principais municípios produtores.



produtividade. A principal diferença ocorre para os valores de produtividade inferiores à probabilidade de 25% para o estado do Rio Grande do Sul, com valores subestimados pelo modelo.

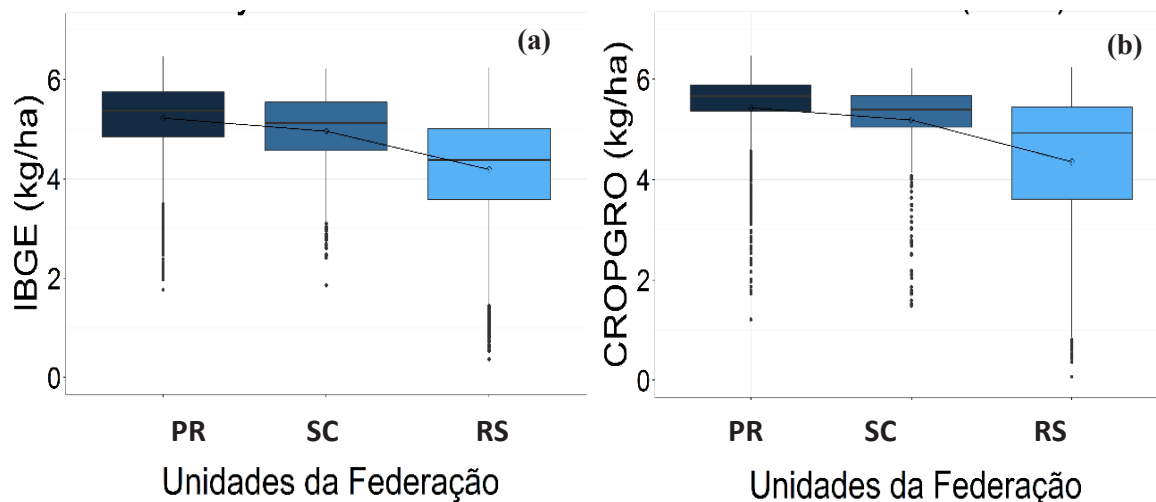
A Figura 5 apresenta o diagrama de caixa (box plot) das produtividades publicadas pelo IBGE e as simuladas pelo CROPGRO para os três estados da região Sul. Observa-se valores de probabilidade de 75%, as médias e medianas da produtividade são maiores para o estado do Paraná (PR), reduzem relativamente pouco para o estado de Santa Catarina (SC) e são cerca de 25% inferiores para o estado do Rio Grande do Sul (RS). Este padrão é bem representado pelo modelo, mas o mesmo tende a simular valores mais elevados para a mediana e percentil de 75%. As estimativas do IBGE mostram que o percentil de 25% tem um desvio maior em relação à mediana para o RS, padrão que é

representado, mas superestimado, pelo modelo.

Avaliação das simulações de produtividade com os dados climáticos do modelo RegCM4

Os modelos climáticos, a priori, apresentam erros que influenciam nos resultados das avaliações dos impactos das mudanças climáticas na produtividade agrícola. Os impactos dos erros sistemáticos dos modelos climáticos nas simulações da produtividade agrícola e o efeito dos métodos de correção de viés (dos modelos de clima) nas simulações da produtividade da soja, podem ser observados na Figura 6. Nesse caso, no experimento REGO, houve superestimativa das médias da produtividade no estado do Paraná e subestimativa no estado do Rio Grande do Sul. Como pode ser observado na Figura 1, para o estado do Paraná o modelo tende a simular valores mais elevados de precipitação e

Figura 5. Box plot da produtividade agrícola atingível (potencial limitada deficiência hídrica) estimada com os dados do IBGE e pelo modelo CROPGRO-Soybean para os estados do Paraná (41), Santa Catarina (42) e Rio Grande do Sul (43).



menores da temperatura máxima do ar. Já para o estado do Rio Grande do Sul, observa-se que o modelo simula temperaturas máximas do ar similares às observadas (Figura 1) e valores de precipitação inferiores, consequentemente, refletindo em maior déficit hídrico neste estado. Outro fator é que, principalmente na região sudoeste do Rio Grande do Sul, o modelo também subestima a radiação solar, que impacta diretamente no acúmulo de biomassa e rendimento da soja. As simulações com os dados do modelo climático corrigidos, com todos os métodos de correção de viés (Fig. 6 c-e), apresentaram valores similares aos obtidos com os dados climáticos observados (Figura 6a).

Os mapas de desvio padrão da produtividade agrícola são apresentados na Figura 7. Todas as simulações, com exceção da REGQ (com menor desvio padrão), simulam a variabilidade interanual da produtividade de maneira similar à simulação realizada com dados observados.

Avaliação das projeções das mudanças climáticas sobre a região do Sul

A sequência de Figuras de 8 a 11 apresentam as anomalias (diferença entre as médias no futuro, período de 2071-2100, em relação às médias no período presente, 1980-2004) das principais variáveis climáticas, utilizadas pela maioria dos modelos de crescimento e produtividade agrícola, integradas ao longo do ciclo das simulações com o modelo CROPGRO; considerando diferentes métodos para gerar os cenários. Para as temperaturas máxima e mínima (Figuras 8 e 9) os métodos de correção apresentaram pouca divergência e, como esperado, os cenários indicam aumento das temperaturas do ar. Para as anomalias de precipitação os métodos de correção de Bias e Quantil Mensal (Figuras 10c e 10e) apresentaram anomalias bem similares aos dados do modelo original (Figura 10b). Para radiação o

método que mais diverge em relação aos demais foi o método Delta (Figura 11a)

Determinação dos impactos das mudanças climáticas na produtividade agrícola da soja na região Sul

As figuras 12 e 13 apresentam os mapas dos impactos dos cenários de mudanças climáticas sobre a média (Figura 12) e variabilidades (Figura 13), desvio padrão, da produtividade agrícola da soja. A simulação que mais se aproxima das anomalias simuladas com os dados originais, sem correção de viés, do modelo (Figura 12b) ocorre com o método Quantil Mensal (Figura 12e). O uso do método Delta, amplamente empregado, resultou em valores muito similares sobre o estado do Paraná (Figura 12a,b), mas sobre o estado do Rio Grande do Sul o método Delta indica baixas anomalias de produtividade (entre -10 e 10%) ao passo que o modelo original (Figura 12b), e demais métodos, indicam perdas entre -10 e -40%.

A Figura 12 apresenta as anomalias do desvio padrão da produtividade agrícola, uma métrica de como a variabilidade interanual poderá ser impactada pelas mudanças climáticas. Assim como para produtividade média, o método Delta resultou em uma subestimativa dos impactos das mudanças climáticas sobre o rendimento da soja no Rio Grande do Sul (Figura 13a,b). O método de correção de Bias (Figura 13c) apresenta resultados similares sobre o Rio Grande do Sul (Figura 13b), mas diverge em alguns municípios do oeste do Paraná. O método Quantil Anual (Figura 13d) em geral subestima os impactos, amortizando a variabilidade, principalmente sobre o Paraná. O método Quantil Mensal (Figura 13e) apresenta resultados similares no Rio Grande do Sul e Paraná, alternando sub/superestimava das anomalias da variabilidade interanual no Paraná.

Figura 6. Mapas da produtividade média atingível (potencial limitada pela deficiência hídrica) simuladas pelo modelo CROPGRO-Soybean com os dados climáticos para o período do clima presente (1986-2005): (a) observado (XAVI), (b) RegCM4 original (REGO), (c) RegCM4 correção do viés médio (REGB), (d) RegCM4 correção pelo método quantil (REGQ) e (e) RegCM4 com correção pelo método quantil aplicado mensalmente (REGM).

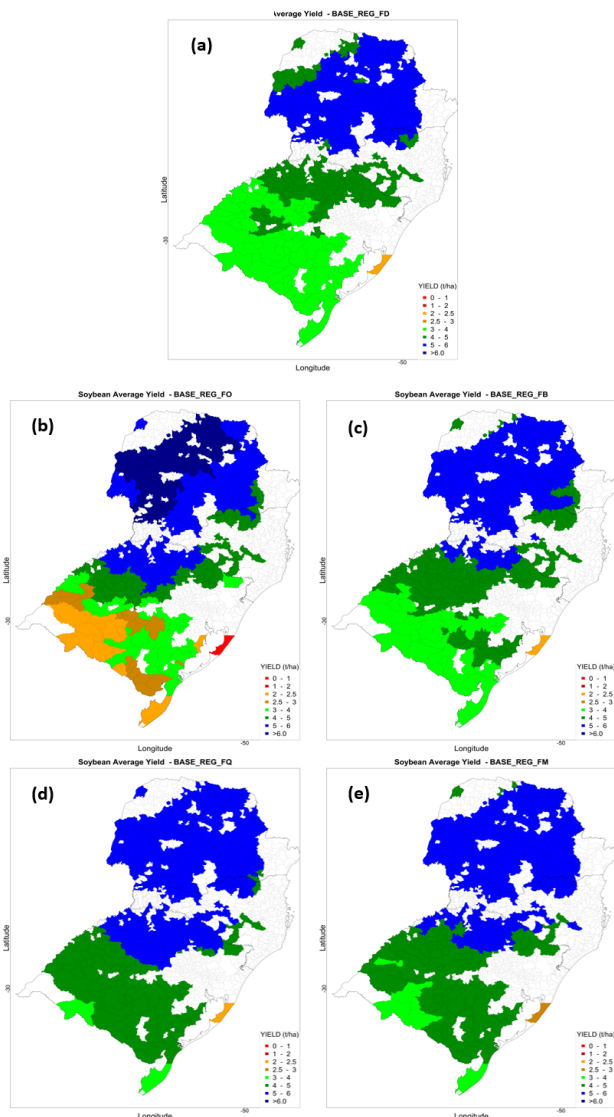
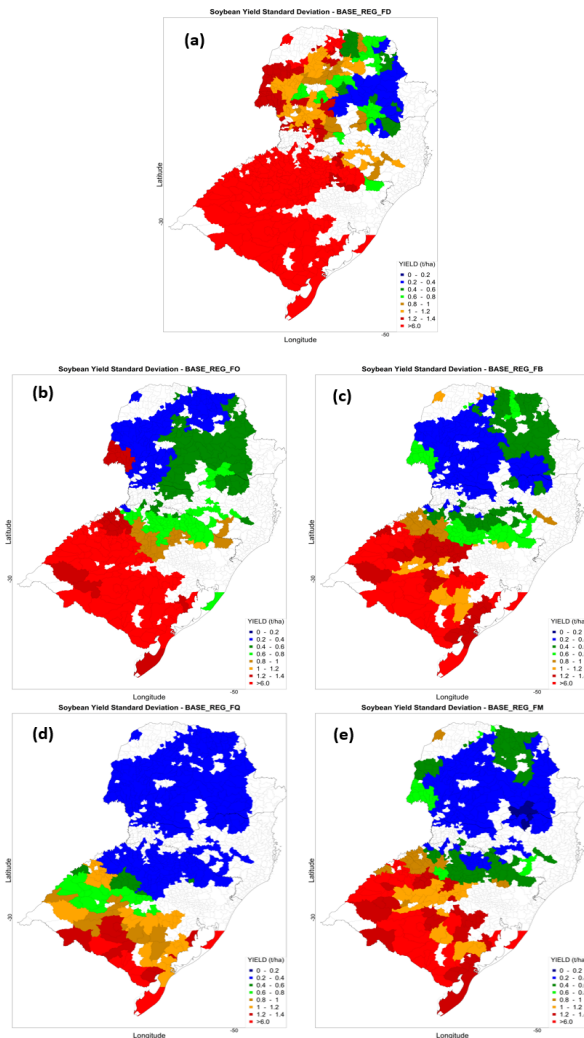


Figura 7. Mapas do desvio padrão da produtividade agrícola atingível (potencial limitada pela deficiência hídrica) simuladas pelo modelo CROPGRO-Soybean com os dados climáticos para o período do clima presente (1986-2005): (a) observado (XAVI), (b) RegCM4 original (REGO), (c) RegCM4 correção do viés médio (REGB), (d) RegCM4 correção pelo método quantil (REGQ) e (e) RegCM4 com correção pelo método quantil aplicado mensalmente (REGM).



Conclusões

As regionalizações das projeções climáticas atuais do modelo climático regional RegCM4 (Llopart et al., 2014; da Rocha et al., 2014) apresentam erros significativos sobre a região Sul do Brasil, quando comparados com os dados interpolados por Xavier et al. (2016);

O uso dos dados climáticos dos modelos de clima sem correção de viés para aplicação em simulações de produtividade não é indicado, desvios em relação às simulações com os dados interpolados por Xavier et al. (2016) são da ordem de até 50%;

A variabilidade interanual simulada com os dados climáticos originais do RegCM4, assim como pelos métodos

de correção de viés, apresentam padrão similar às simulações com os dados interpolados por Xavier et al. (2016);

A aplicação do método Delta resultou em uma subestimativa dos impactos das mudanças climáticas sobre o rendimento da soja no Rio Grande do Sul;

As simulações das anomalias do desvio padrão da produtividade agrícola com os dados climáticos corrigidos pelos métodos de correção de Bias e Quantil Mensal, uma métrica da variabilidade interanual, apresentaram resultados similares aos com os dados originais do RegCM4;

Através da correção dos dados do modelo climáticos foi possível simular valores médios do rendimento, com o modelo CROPGRO-Soybean, e as anomalias dos impactos das mudanças do clima sobre o rendimento.

Figura 8. Anomalias (desvio da média futura em relação à média do período presente) da temperatura mínima do ar média ao longo do ciclo da soja simulado em função dos cenários climáticos gerados com os dados: (a) anomalia climática sobreposta aos dados históricos (“Método Delta”), (b) RegCM4 original (REGO), (c) RegCM4 correção do viés médio (REGB), (d) RegCM4 correção pelo método quantil (REGQ) e (e) RegCM4 com correção pelo método quantil aplicado mensalmente (REGM).

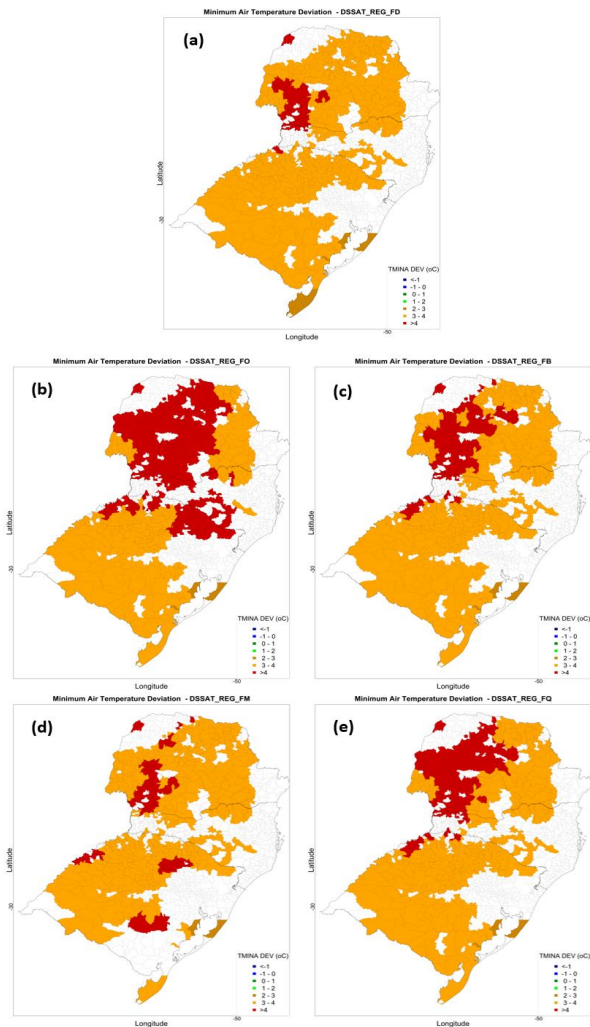


Figura 9. Anomalias (desvio da média futura em relação à média do período presente) da temperatura máxima do ar média integrada ao longo do ciclo da soja simulado em função dos cenários climáticos gerados com os dados: (a) anomalia climática sobreposta aos dados históricos (“Método Delta”), (b) RegCM4 original (REGO), (c) RegCM4 correção do viés médio (REGB), (d) RegCM4 correção pelo método quantil (REGQ) e (e) RegCM4 com correção pelo método quantil aplicado mensalmente (REGM).

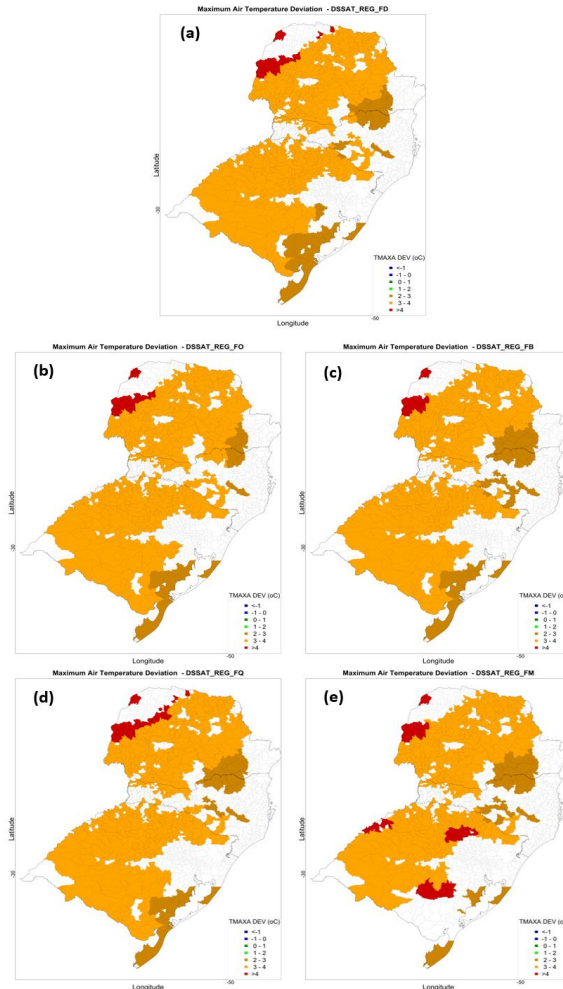


Figura 10. Percentual de mudanças (desvio da média futura em relação à média do período presente) da precipitação acumulada integrada ao longo do ciclo da soja simulado (mm) em função dos cenários climáticos gerados com os dados: (a) anomalia climática sobreposta aos dados históricos (“Método Delta”), (b) RegCM4 original (REGO), (c) RegCM4 correção do viés médio (REGB), (d) RegCM4 correção pelo método quantil (REGQ) e (e) RegCM4 com correção pelo método quantil aplicado mensalmente (REGM).

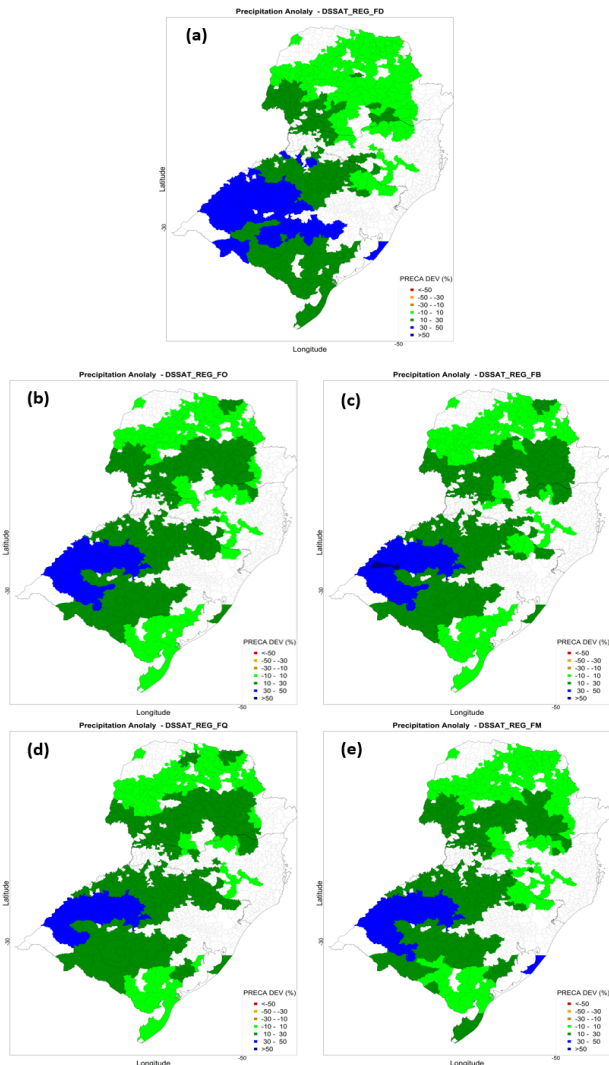


Figura 11. Percentual de mudanças (desvio da média futura em relação à média do período presente) da radiação solar global média integrada ao longo do ciclo da soja simulado em função dos cenários climáticos gerados com os dados: (a) anomalia climática sobreposta aos dados históricos (“Método Delta”), (b) RegCM4 original (REGO), (c) RegCM4 correção do viés médio (REGB), (d) RegCM4 correção pelo método quantil (REGQ) e (e) RegCM4 com correção pelo método quantil aplicado mensalmente (REGM).

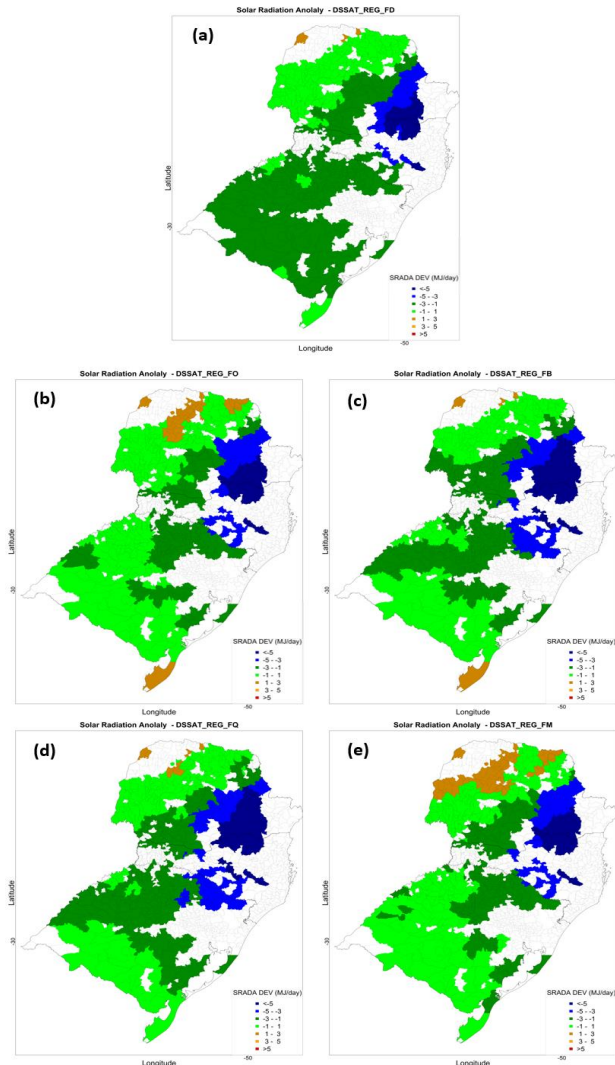


Figura 12. Percentual de mudanças (desvio da média futura em relação à média do período presente) da produtividade média atingível (potencial limitada pela deficiência hídrica) simuladas pelo modelo CROPGRO-Soybean em função dos cenários climáticos gerados com os dados: (a) anomalia climática sobreposta aos dados históricos (“Método Delta”), (b) RegCM4 original (REGO), (c) RegCM4 correção do viés médio (REGB), (d) RegCM4 correção pelo método quantil (REGQ) e (e) RegCM4 com correção pelo método quantil aplicado mensalmente (REGM).

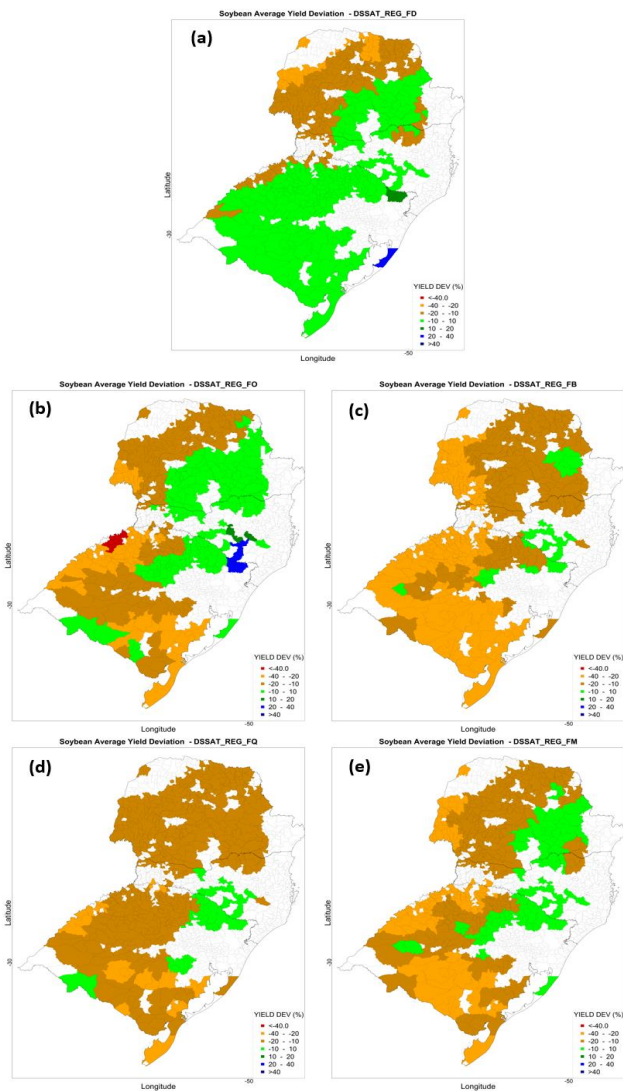
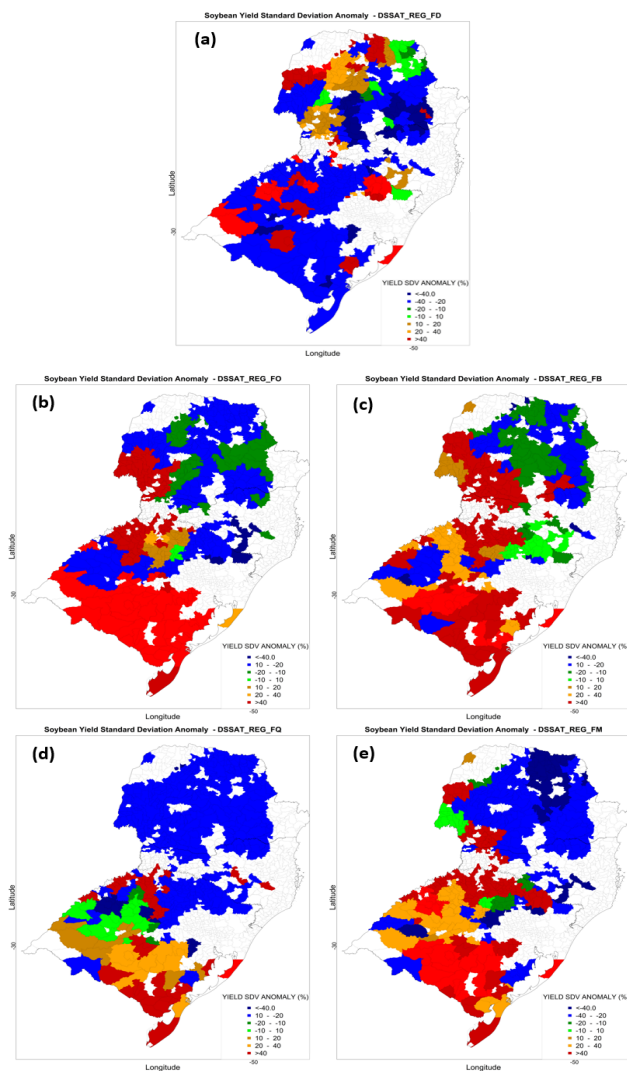


Figura 13. Percentual de mudanças (desvio da média futura em relação à média do período presente) do desvio padrão da produtividade atingível (potencial limitada pela deficiência hídrica) simuladas pelo modelo CROPGRO-Soybean em função dos cenários climáticos gerados com os dados: (a) anomalia climática sobreposta aos dados históricos (“Método Delta”), (b) RegCM4 original (REGO), (c) RegCM4 correção do viés médio (REGB), (d) RegCM4 correção pelo método quantil (REGQ) e (e) RegCM4 com correção pelo método quantil aplicado mensalmente (REGM).



Referências

- BOOTE, K. J. et al. Potential uses and limitations of crop models. *Agron. J.*, Madison, v. 88, p. 704-716, 1997.
- CHALLINOR, A. J., WHEELER, T. R., SLINGO, J. M., CRAUFURD, P. Q., GRIMES, D. I. F., Simulation of crop yields using the ERA40 re-analysis: limits to skill and non-stationarity in weather-yield relationships. *J. Appl. Meteorol.*, v. 44, p. 516-531, 2005.
- DA ROCHA, R. P.; REBOITA, M. S.; DUTRA, L. M. M.; LLOPART, M. P.; COPPOLA, E.. Interannual variability associated with ENSO: present and future climate projections of RegCM4 for South America-CORDEX domain. *Climatic Change*, v. 125, p. 95-109, 2014.
- EASTERLING, W. E., AGGARWAL, P. K., BATIMA, P., BRANDER, K. M., ERDA, L., HOWDEN, S. M., KIRILENKO, A., MORTON, J., SOUSSANA, J.-F., SCHMIDHUBER, J., TUBIELLO, F.N., 2007. **Food, fibre and forest products.** Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 273-313.
- FAGUNDES, J. D., STRECK, N. A., BISOGNIN, D. A., SCHWANTES, A. P., ALBERTO, C. M. Produtividade simulada de tubérculos de batata em cenários de mudanças climáticas. *Pesq. Agropec. Bras.*, v. 45, p. 351-360, 2010.
- GIORGI F., et al. RegCM4: model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains. *Clim Res*, v. 62, p. 7-29, 2012.
- GIORGI, F. The introduction to the CREMA experiment special issues. *Climatic Change*, V. 125, Issue 1, pp 1-5, 2014.
- GRIMM, A.M. The El Niño impact on the summer monsoon in Brazil: regional processes versus remote influences. *J. Climate*, 16, 263-280, 2003.
- KHAZAEI, M. R., ZAHABIYOUN, B., SAGHAFIAN, B. Assessment of climate change impact on floods using weather generator and continuous rainfall-runoff model. *Int. J. Climatol.*, v. 32, p. 1997-2006, 2012.
- LLOPART, M.; COPPOLA, E.; GIORGI, F.; DA ROCHA, R. P.; CUADRA, S. V. Climate change impact on precipitation for the Amazon and La Plata basins. *Climatic Change* (online), v. 1, p. 1-15, 2014.
- MEEHL, G.A., STOCKER, T.F., COLLINS, W.D., FRIEDLINGSTEIN, P., GAYE, A.T., GREGORY, J.M., KITO, A., KNUTTI, R., MURPHY, J.M., NODA, A., RAPER, S.C.B., WATTERSON, I.G., WEAVER, A.J., ZHAO, Z.-C., 2007. Global Climate Projections. In: **Climate Change 2007: The Physical Science Basis.** Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- REBOITA, M.; PABLO, J. ; LLOPART, M., ; ROCHA, R. P.; ALBERTANI, L.; CRUZ, F. T. Assessment of RegCM4.3 over the CORDEX South America domain: sensitivity analysis for physical parameterization schemes. *Climate Research*, v. 60, p. 215-234, 2014.
- SCOTT, C. E.; MONKS, S. A.; SPRACKLEN, D. V.; ARNOLD, S. R.; FORSTER, P. M.; RAP, A.; ÅIJÄLÄ, M.; ARTAXO, P.; CARSLAW, K. S.; CHIPPERFIELD, M. P.; EHN, M.; GILARDONI, S.; HEIKKINEN, L.; KULMALA, M.; PETÁJÁ, T.; REDDINGTON, C. L. S.; RIZZO, L. V.; SWIETLICKI E., VIGNATI E., WILSON C. Impact on short-lived climate forcers increases projected warming due to deforestation. *Nature Communications*, v. 9, p. 1-9, 2018.
- SILVA, V.P.R., OLIVEIRA, S.D., SANTOS, C.A.C., SILVA, M.T. Risco climático da cana-de-açúcar cultivada na região nordeste do Brasil. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.*, v. 7, p. 180-189, 2013.
- VIANNA, J. N. S., PEREIRA, M. C., DUARTE, L. M. G., WEHRMANN, M. E. O Papel das Oleaginosas em um Cenário de Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 5, p. 1426-1445, 2012.
- STEVANOVIĆ, M.; POPP, A.; LOTZE-CAMPEN, H.; DIETRICH, J. P.; MÜLLER, C.; BONNSCH, M.; SCHMITZ, C.; BODIRSKY, B. L.; HUMPENÖDER, F.; WEINDL, I. The impact of high-end climate change on agricultural welfare. *Science Advances*, v. 2, n. 8, p. 1-9 2016.
- XAVIER, A. C., KING, C. W., & SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013). *International Journal of Climatology*, v. 36. p. 2644-2659, 2016.
- ZHAO, C.; LIU, B.; PIAO, S.; WANG, X.; LOBELL, D. B.; HUANG, Y.; HUANG, M.; YAO, Y.; BASSU, S.; CIAIS, P.; DURAND, J.-L.; ELLIOTT, J.; EWERT, F.; JANSSENS, I. A.; LI, T.; LIN, E.; LIU, Q.; MARTRE, P.; MULLER, C.; PENG, S.; PEÑUELAS, J.; RUANE, A. C.; WALLACH, D.; WANG, T.; WU, D.; LIU, Z.; ZHU, Y.; ZHU, Z.; ASSENG, S. Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 114, n. 35, p. 9326-9331, 2017.

REFERENCIAÇÃO

CUADRA, S. V.; ROCHA, R. P.; LLOPART, M. P.; CASTRO VICTORIA, D. C.; ALMEIDA, I. R.; FARIAS, J. R. B. Impactos da correção de viés sobre projeções de mudanças climáticas aplicadas a simulações de rendimento de culturas. *Agrometeoros*, Passo Fundo, v.26, n.2, p.287-298, dez 2018.



Impacts of bias correction over climate change projections applied to crop yield simulations

Santiago Vianna Cuadra^{1(*)}, Rosmeri Porfírio da Rocha², Marta Pereira Llopart³, Daniel de Castro Victoria⁴, Ivan Rodrigues de Almeida¹ and José Renato Bouças Farias⁵

¹Embrapa Clima Temperado, Rodovia BR 392 km 78, Cx. Postal 403, CEP 96.010-971 Pelotas, RS, Brazil. E-mails: santiago.cuadra@embrapa.br and ivan.almeida@embrapa.br

²Universidade de São Paulo (USP), Instituto de Astronomia Geofísica e Ciências Atmosféricas, São Paulo, SP, Brazil. E-mail: rosmerir.rocha@iag.usp.br

³Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Faculdade de Ciências, Instituto de Pesquisas Meteorológicas - Campus Bauru, Bauru, SP, Brazil. E-mail: marta@fc.unesp.br

⁴Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP, Brazil. E-mail: daniel.victoria@embrapa.br

⁵Embrapa Soja, Londrina, PR, Brazil. E-mail: joser Renato.farias@embrapa.br

(*)Corresponding author.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 25 October 2018

Accepted 26 February 2020

Index terms:

soybean

Glycine max (L.) Merrill

climate change

CROPGRO-Soybean

ABSTRACT

The present work evaluated the systematic errors of climate simulations and their impact over soybean yield in southern Brazil under current and future climate scenarios. The climate simulations were performed with RegCM4 (Regional Climate Model version 4), nested in the HadGEM2-ES global climate model for the RCP8.5 scenario. Soybean yield simulations were performed with the CROPGRO-Soybean model, through DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer). CROPGRO-Soybean simulations with RegCM4 data without bias correction present deviations up to 50% when compared with simulations using bias corrected datasets. The simulations with the corrected climate model data for present weather conditions, with all bias correction methods, presented values similar to those obtained with the observed climatic data. Climate change impacts on soybean yield (mean and standard deviation) were compared for the different bias corrections methods. Yield anomalies with the original RegCM4 data presented differences in relation to the simulations with bias correction, reaching up to 40% differences. Results obtained using the Delta method for bias correction underestimated the climate change impacts on the average soybean yield and its interannual variability, related to the bias correction simulations. The results shows the need to correct the systematic errors of the climate models for impacts assessments applications.

© 2020 SBAgro. All rights reserved.

CITATION

CUADRA, S. V.; ROCHA, R. P.; LLOPART, M. P.; CASTRO VICTORIA, D. C.; ALMEIDA, I. R.; FARIAS, J. R. B. Impactos da correção de viés sobre projeções de mudanças climáticas aplicadas a simulações de rendimento de culturas. *Agrometeoros*, Passo Fundo, v.26, n.2, p.287-298, dez 2018.