



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

Impacto das mudanças climáticas sobre o desenvolvimento e a produtividade do arroz irrigado no Estado do Rio Grande do Sul



Santiago Vianna Cuadra¹; Silvio Steinmetz²; Alexandre Bryan Heinemann³; Ivan Rodrigues de Almeida⁴

¹ Meteorologista, Dr., Pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas – RS, Fone (19) 3211-5881, santiago.cuadra@embrapa.br

² Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas – RS

³ Eng. Agrônomo, Dr., Pesquisador do Centro Nacional de Pesquisa Arroz e Feijão, Santo Antonio de Goiás - GO

⁴ Geógrafo, Dr., Pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas – RS

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi avaliar os impactos dos estresses abióticos associados às mudanças climáticas no desenvolvimento e rendimento do arroz irrigado (*Oryza sativa* L.), através da aplicação do modelo de crescimento de cultura CERES-Rice/DSSAT, sobre o Estado do Rio Grande do Sul, maior estado produtor do Brasil. O modelo CERES-Rice foi calibrado e validado para quatro cultivares com ciclo de desenvolvimento distintos, de acordo com os principais grupos de maturação utilizados comercialmente. Para avaliação dos impactos das mudanças climáticas considerou-se duas séries climáticas para cada uma das seis regiões orizícolas do estado e as projeções climáticas de trinta e nove modelos climáticos (setenta e seis projeções) que compõem a atual base do IPCC. As simulações foram realizadas para as quatro cultivares considerando quatro datas de semeadura (cobrindo todo o período de semeadura atualmente recomendado). Os resultados mostram que devido ao aumento da temperatura haverá uma diminuição no ciclo do arroz irrigado. Entretanto, a intensidade da redução do ciclo é diferenciada de acordo com as distintas regiões produtoras do estado, com maior impacto sobre a região da Zona Sul. Para o rendimento, os resultados mostram um acréscimo geral da produtividade, em particular para as últimas datas de semeadura e nas regiões mais frias do estado. Esse aumento está associado com a redução da frequência e intensidade das temperaturas noturnas mais baixas, que causam esterilidade de espiguetas e redução de produtividade. Nas regiões mais quente do estado observou-se uma redução na produtividade para algumas datas de semeadura e cultivares devido as altas temperaturas diurnas e noturnas.

PALAVRAS-CHAVE: *Oryza sativa* L., Aquecimento Global, Modelo CERES-Rice.

Impacts of climate change on paddy rice development and yield over the Rio Grande do Sul state

ABSTRACT: The aim of this work was to evaluate the impacts of abiotic stresses associated with climate change in the rice (*Oryza sativa* L.) development and yield, by applying the crop growth model CERES-Rice/DSSAT over the state of Rio Grande do Sul, the main producing state of Brazil. CERES-Rice model was calibrated for four cultivars with distinct development cycles, covering the main maturity groups currently used in the state. To evaluate the impacts of climate change were used two climatic series for each one of the six rice production regions of the state and the climate projections of thirty-nine climate models (seventy-six climate projections) that are part of the current IPCC base. The simulations were performed for all the cultivars considering four sowing dates (covering all currently recommended planting window). The results show that in general, due to the temperature increase, all cultivars (different maturity groups) will have a shorter growth cycle. However, there are different patterns along the producing regions in the state, with the greatest impacts on the southern region. In relation to yield, the results show a general increase in productivity, in particular for the latest sowing



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:



O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

dates and in the colder regions of the state. Models suggest that these yield increase are associated with the reduction in the frequency and intensity of the colder nighttime temperature, which reduce the cold-induced sterility in rice. Over the warmer regions, results show a yield reduction, for some sowing dates and cultivars, associated with high daytime and nighttime temperatures.

KEY WORDS: *Oryza sativa L.*, Global Warming, CERES-Rice crop model.

INTRODUÇÃO

Em decorrência das emissões antrópicas de gases de efeito estufa e das mudanças do uso e cobertura da terra (Foster et al., 2007; Houghton, 2007; Rramakutty et al., 2008; Rraupach et al., 2007) o clima global deverá mudar nas próximas décadas (Meehl et al., 2007). Os impactos ambientais, econômicos e sociais das alterações do clima global são um dos maiores desafios da humanidade. No Brasil o setor agrícola tem uma importância central na econômica e no desenvolvimento social. Como o clima é o fator ambiental que exerce maior influência na variação do desempenho da agricultura, a determinação dos potenciais impactos das mudanças climáticas na agricultura e a proposição de medidas de adaptação às mudanças climáticas são estratégicos para o desenvolvimento econômico e social do país.

O arroz é uma das principais culturas brasileiras, tendo um volume total de produção estável nas últimas duas décadas – entre 10 e 13 milhões de toneladas por safra. As principais variações de produtividade da cultura estão associadas com os elementos climáticos (Steinmetz et al., 2013), de maneira que a aplicação dos modelos de crescimento e produtividade agrícola na compreensão e predição dos impactos das variabilidades climática na produtividade agrícola é de suma importância para o desempenho positivo do setor.

Recentemente, tem havido um crescente uso dos modelos de processo biofísico (ex., CROPGRO, APSIM e Agro-IBIS) para a quantificação dos impactos das mudanças climáticas na produtividade agrícola. Especificamente para a cultura do arroz, os modelos de simulação do crescimento e produtividade ORYZA2000 e CERES-Rice vêm sendo utilizados nas últimas décadas em diversas regiões do globo na avaliação dos impactos dos estresses associados às oscilações climáticas na cultura (*Oryza sativa L.*), assim como na quantificação e avaliação dos impactos das mudanças climáticas nessa cultura (e.g., Amien et al., 1999).

No presente trabalho são apresentados os resultados referentes as simulações dos impactos dos estresses abióticos associados às mudanças climáticas no desenvolvimento e rendimento do arroz irrigado (*Oryza sativa L.*), por meio do modelo CERES-Rice/DSSAT para as projeções climáticas do cenário RCP8.5 do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) no Estado do Rio Grande do Sul, maior estado produtor do Brasil.

MATERIAIS E MÉTODOS

No presente estudo, as simulações foram realizadas com o modelo CERES-Rice através da plataforma DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer, Jones et al., 2003). O DSSAT destaca-se como uma das principais plataformas de modelagem de culturas agrícola, incluindo modelos de simulação de mais de 28 culturas, em uso no Brasil e no mundo. O modelo CERES-Rice simula o crescimento, desenvolvimento e produtividade da cultura do arroz, 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. O modelo CERES-Rice foi calibrado e validado para quatro cultivares com ciclo de desenvolvimento distintos, cobrindo os principais grupos de maturação atualmente utilizados.

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

As simulações foram integradas para o período do clima presente através dos dados climáticos das dez estações meteorológicas, identificadas na figura 1. Os dados climáticos foram analisados, substituindo valores inconsistentes por estimados para gerar séries contínuas. Os cenários de mudanças climáticas foram construídos através da obtenção das anomalias associadas às mudanças climáticas (desvios em relação ao clima presente) derivados das projeções dos modelos climáticos para o cenário RCP8.5 (Representative Concentration Pathways) do IPCC. As simulações climáticas dos modelos climáticos globais estão disponíveis dentro do projeto CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 - <http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5>). Foram usadas 76 (setenta e seis) projeções climáticas, advindas de 39 diferentes modelos climáticos.

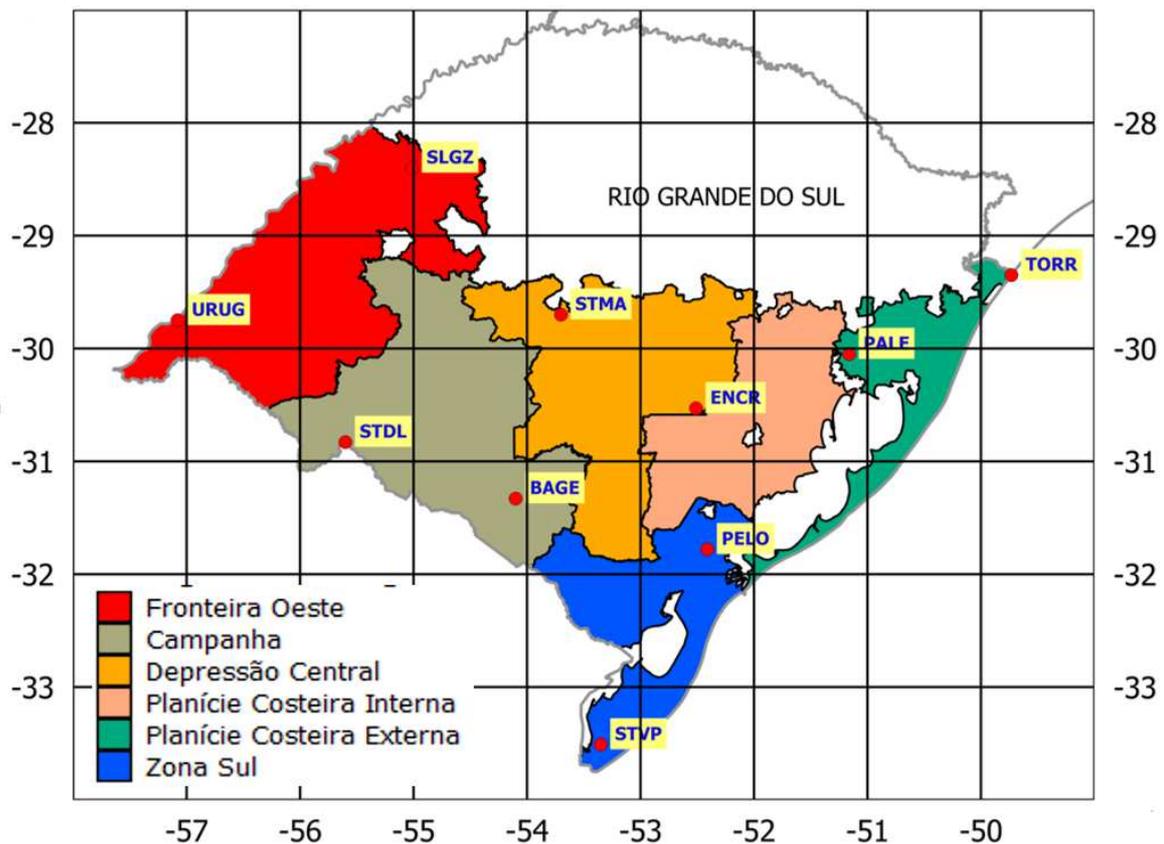


Figura 1. Regiões orizícolas do Estado do Rio Grande do Sul e identificação da localização das estações meteorológicas utilizadas na execução do modelo CERES-Rice: Santa Vitória do Palmar (STVP), Pelotas (PELO), Bagé (BAGE), Santana do Livramento (STD), Uruguaiana (URUG), São Luiz Gonzaga (SLGZ), Torres (TORR), Porto Alegre (PALE), Encruzilhada do Sul (ENCR) e Santa Maria (STMA).

Para cada local, 10 estações foram utilizadas obtendo-se 1248 (78 x 4 x 4) simulações com 20 anos de integração: 78 diferentes séries climáticas – 2 simulações para o clima presente, período base 1990-2009, e 76 projeções climáticas para o fim do século XXI, período 2070-2099; 4 cultivares, representativas dos quatro principais grupos de maturação (Steinmetz et al., 2014) – ciclo muito precoce (ciclo entre 101-105 dias), ciclo precoce (ciclo entre 106-110 dias), médio I (ciclo entre 121-130 dias) e médio II (ciclo entre 131-135 dias); 4 épocas de semeadura – com início em 15 de Setembro e intervalo de ~30 dias entre as datas até 15 de Dezembro (cobrindo todos os meses do calendário recomendado de semeadura para região segundo o Zoneamento Agrícola de Risco Climático, <http://www.agricultura.gov.br/politica-agricola/>).

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

As simulações do clima presente foram integradas com os dados climáticos observados entre os anos de 1990-2009, sendo uma com a concentração de CO₂ atmosférico média do presente (1990-2009), 360 ppm, e outra com a concentração representativa da média do período futuro (2070-2099), 800 ppm; a simulação com o clima presente e concentração de CO₂ atmosférico do clima futuro foi usada como referência para verificar o impacto do efeito da fertilização do CO₂ sobre a produtividade agrícola simulada pelo modelo. O objetivo dessa análise é isolar, em parte, os efeitos das mudanças climáticas associados com as alterações do clima e da concentração do CO₂ na cultura. A figura 2 apresenta a curva de resposta da Eficiência do Uso da Radiação (EUR) em função da concentração do CO₂ atmosférico para cultura do arroz usada nas simulações (CERES-Rice/DSSAT), alguns valores de referências compilados de experimentos (<http://www.co2science.org/>) e a função ajustada por Streck et al. (2012) com base na compilação de experimentos com uso de câmaras de topo aberto e FACE (*Free-Air CO₂ Enrichment*).

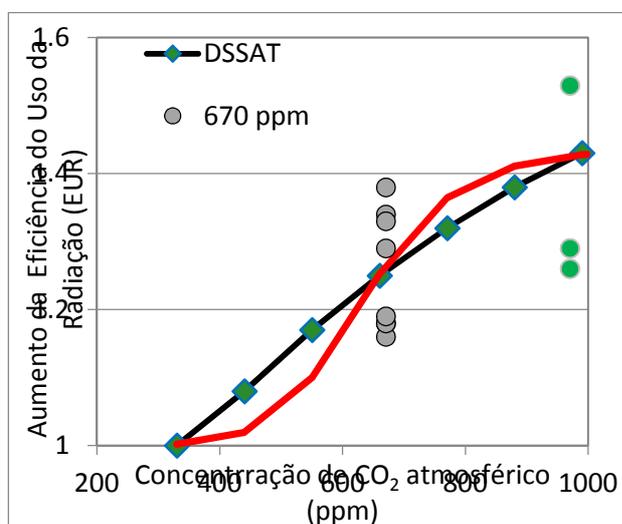


Figura 2. Curvas de respostas da Eficiência do Uso da Radiação (EUR) em função da concentração do CO₂ atmosférico usada nas simulações do CERES-Rice/DSSAT, valores de referências compilados de experimentos de fertilização com CO₂ e função ajustada por Streck et al. (2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 3 apresenta a produtividade média e o desvio padrão da produtividade simulada e reportado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; <http://www.sidra.ibge.gov.br/>) para as seis regiões orizícolas do Estado do Rio Grande do Sul (RS). No geral as produtividades simuladas são, em média, ~20% superiores às reportadas pelo IBGE. Esses valores superiores são explicados, em parte, pela não consideração de uma ampla gama de fatores que podem reduzir a produtividade no campo, como, por exemplo, fatores bióticos, como doenças e pragas, e fatores abióticos, como problemas associados ao manejo da lavoura (ex. controle da lâmina d'água). Com exceção dos valores simulados para a região da Fronteira Oeste, o modelo foi hábil em capturar as variações de produtividade espacialmente, entre as regiões; i.e., o máximo de produtividade na região da Campanha, um decréscimo de produtividade em direção a Planície Costeira Externa e por fim o aumento na região da Zona Sul. Outro fator importante apresentado na figura 3 é a coerente representação da magnitude da variabilidade interanual da produtividade pelo modelo para todas as regiões (expressa pelo desvio padrão, linhas na Figura 3), assim como da variação espacial desse indicador. É interessante notar que, no geral, as regiões que apresentam maior produtividade são também as que têm menor estabilidade da produtividade (maior oscilação).

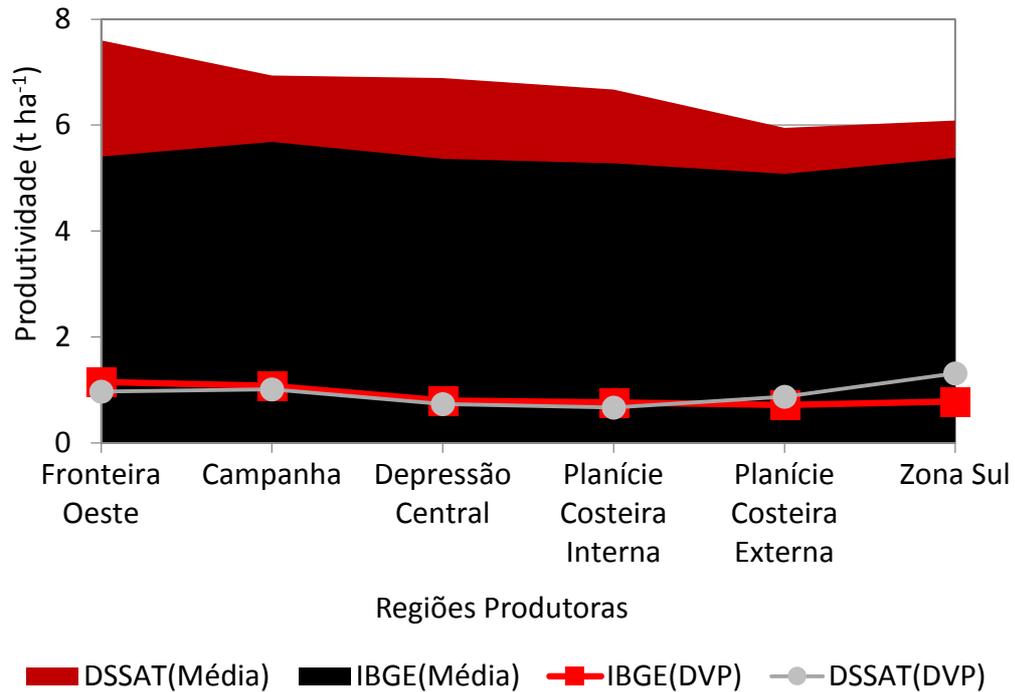


Figura 3. Produtividade média (barras), período 1990-2009, da cultura do arroz irrigado representativas das regiões orizícolas do Estado do Rio Grande do Sul segundo o IBGE (barras pretas) e das simulações (barras vermelhas) com o modelo CERES-RICE. As linhas apresentam os valores de desvio padrão médio das produtividades.

O painel apresentado na figura 4 mostra a produtividade média para as cinco localidades mais ao sul das regiões orizícolas do RS simulada para o clima presente, considerando a concentração de CO₂ atmosférico atual (barras pretas) e futuro (barras verdes), e para o clima projetado para fim século XXI (barras azuis) – considerando o efeito de fertilização do CO₂ e alteração do clima. As médias, para cada data de semeadura, são compostas por vinte anos de simulação para as quatro cultivares dos diferentes grupos de maturação. Comparando-se as barras pretas e verdes observa-se que há um efeito significativo nas produtividades simuladas em função do aumento da concentração do CO₂. Em relação aos efeitos das mudanças climáticas há um padrão de aumento da produtividade em todas as regiões orizícolas do estado, comparando-se as barras azuis com as pretas. Entretanto, como pode ser comparado entre as simulações do clima futuro e clima presente com o uso do incremento da EUR pelo aumento do CO₂ (barras azuis e verdes), o incremento na produtividade está associado ao efeito de fertilização do CO₂, e não necessariamente aos efeitos das mudanças do clima. Para a maioria das regiões estudadas, as produtividades simuladas para o futuro são menores que as simuladas para o clima presente adicionado o efeito de fertilização do CO₂, como exemplifica a Figura 4d, na localidade de Uruguaiana.

As incertezas associadas às diferentes projeções climáticas (barras vermelhas), desvio padrão das diferenças entre as simulações com o clima projetado pelos diferentes modelos climáticos globais, variam entre os locais. No geral as localidades mais costeiras apresentam desvio, entre simulações, mais baixos (ex., Figura 4a,c), ao passo que os locais mais continentais apresentaram maiores desvios (ex., Figura 4b,d). Isso implica que dependendo do modelo climático usado pode se ter conclusões distintas para um mesmo local. Por exemplo, a Figura 5d mostra que as projeções variam entre redução e aumento da produtividade para o clima futuro em relação ao presente para todas as datas de semeadura na região de São Luiz Gonzaga; denotando a importância de se usar um conjunto de projeções climáticas de diferentes modelos nos estudos dos impactos das mudanças climáticas.

■ Clima Presente (CO₂ = 360 ppm) ■ Clima Presente (CO₂ = 800 ppm) ■ Clima Futuro (CO₂ = 800 ppm)

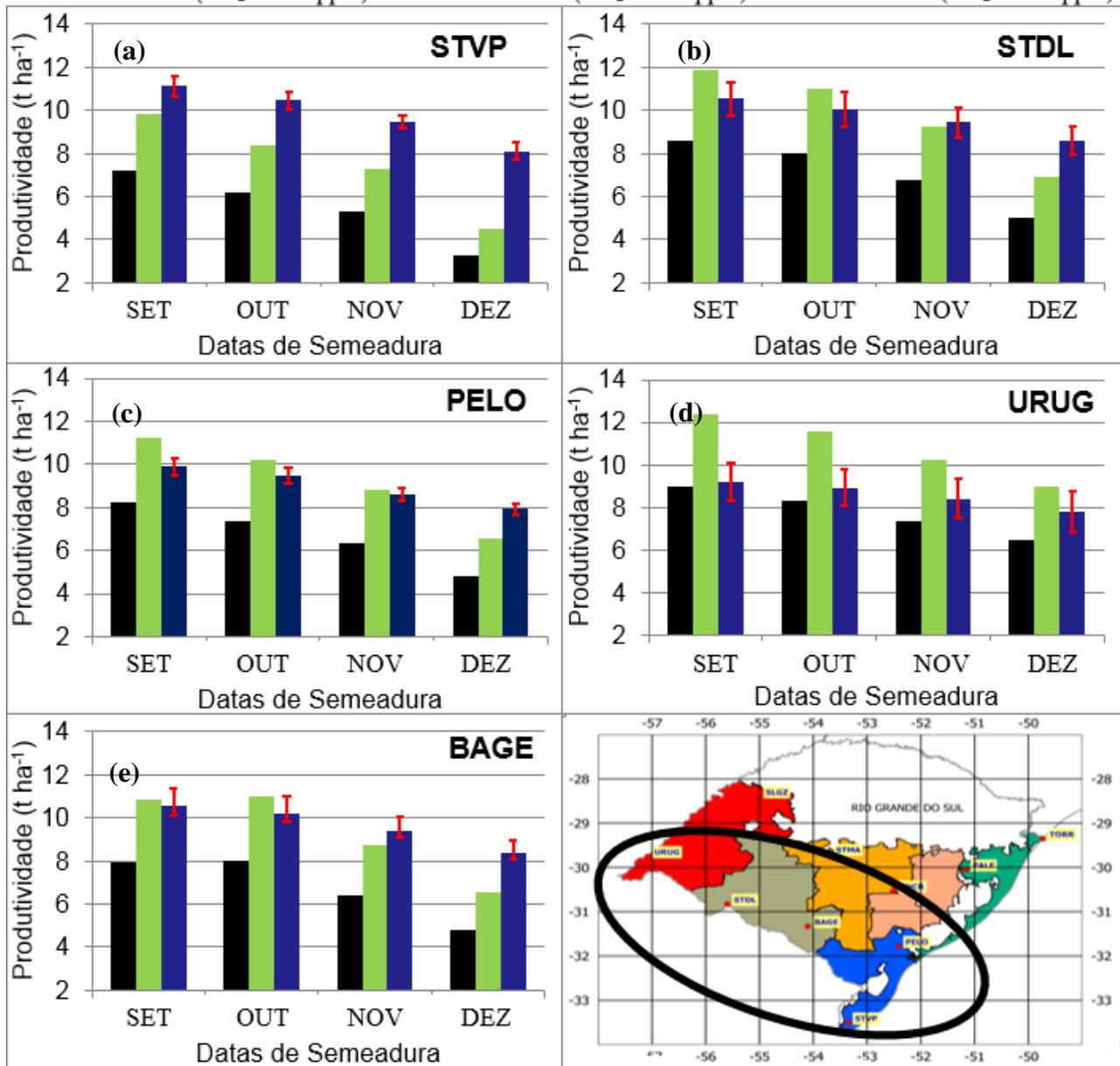


Figura 4. Produtividade média simulada para o clima atual considerando a concentração de CO₂ atmosférico atual (barras pretas), clima atual considerando a concentração de CO₂ atmosférica para o fim do século XXI (barras verdes), clima e concentração de CO₂ atmosférico projetados para fim século XXI (barras azuis) segundo o cenário RCP8.5: (a) Santa Vitória do Palmar (STVP), (b) Santana do Livramento (STDL), (c) Pelotas (PELO), (d) Uruguaiana (URUG) e (e) Bagé (BAGE). As barras vermelhas indicam o desvio padrão da produtividade para as diferentes simulações com o uso das 76 projeções climáticas.

Para as localidades mais ao sul, as simulações para o futuro apresentam valores entre as condições de clima e CO₂ presentes (barras pretas) e clima presente e CO₂ futuro (barras verdes), indicando que o incremento de produtividade projetado para o fim do presente século está relacionado ao efeito do CO₂ e que as mudanças do clima irão desfavorecer a cultura do arroz irrigado em grande parte do estado. Entretanto, há algumas exceções, em locais e épocas de semeadura específicas, como em Encruzilhada do Sul (Figura 5e), para as semeaduras entre os meses de outubro a dezembro. Em análise geral, somente



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:



O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

em Santa Vitória do Palmar há aumento de produtividade relacionado não apenas ao CO₂, como também ao clima para todas as datas de semeadura (Figura 4a).

Com relação a variabilidade espacial e temporal dos impactos associados as mudanças climáticas, observa-se claramente que nas regiões mais frias do estado, como em Santa Vitória do Palmar (Figura 4a), ocorrerá o maior incremento de produtividade. Inversamente nas regiões mais quentes, como em Uruguaiana (Figura 4d), espera-se que os efeitos de fertilização do CO₂ sejam suprimidos pelos efeitos adversos das mudanças do clima. Sugere-se que a produtividade nas regiões mais frias – assim como para as datas mais tardias de semeadura (Dezembro), que atualmente são depreciadas em função da ocorrência de temperaturas mínimas abaixo de 15 °C durante a fase reprodutiva, sejam maiores como resultado da redução da probabilidade de ocorrência de temperaturas baixas associadas com a esterilidade de espiguetas por frio (Satake, 1976; Steinmetz et al., 2009; 2012). Em contrapartida, nas regiões mais quentes do estado espera-se o aumento da ocorrência das temperaturas máximas acima de 35 °C durante a fase reprodutiva, decorrendo no aumento da esterilidade (grãos vazios; Seino et al., 1998; Yoshida, 1981), situação já observada nos dias atuais.

■ Clima Presente (CO₂ = 360 ppm) ■ Clima Presente (CO₂ = 800 ppm) ■ Clima Futuro (CO₂ = 800 ppm)

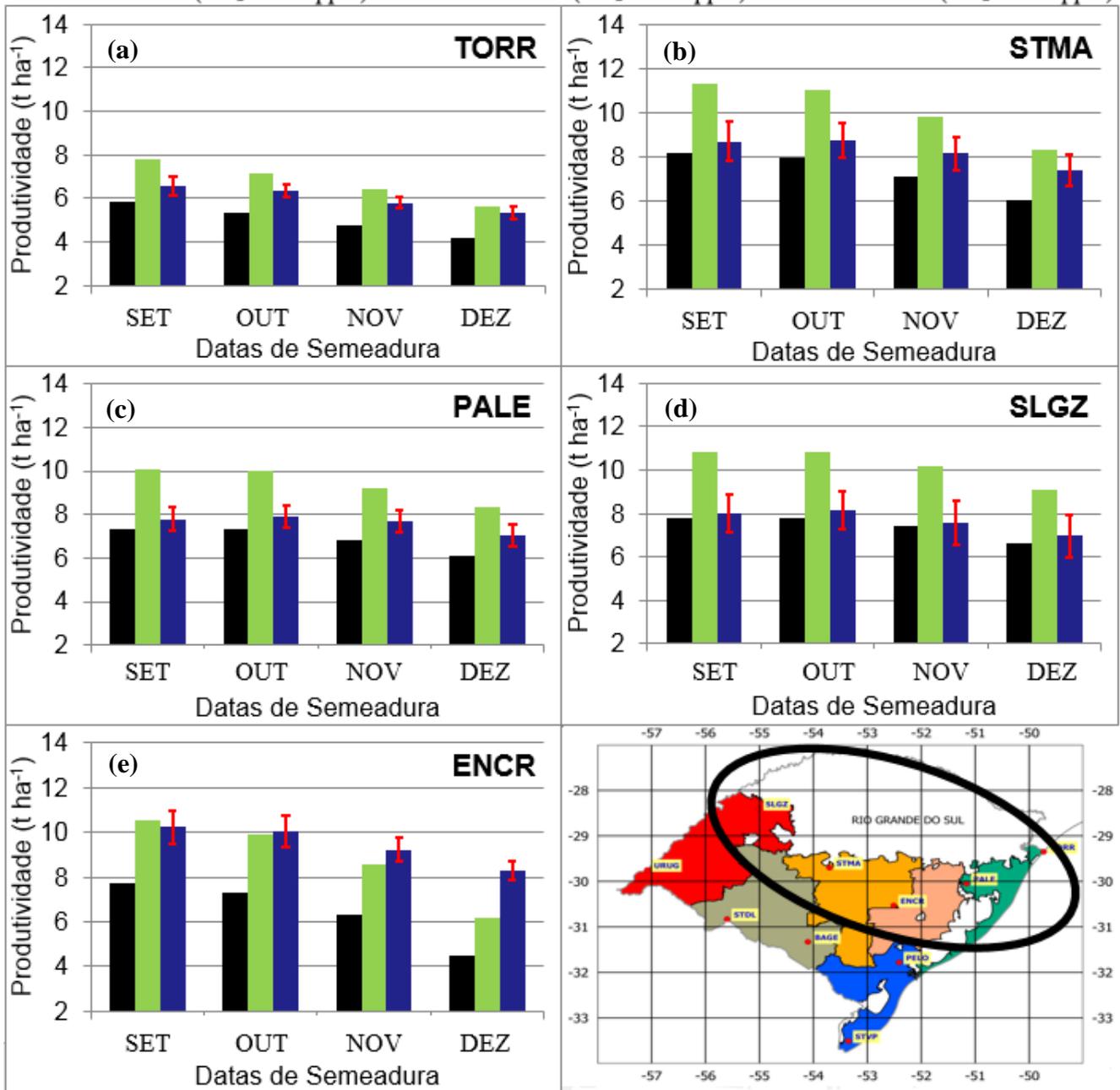


Figura 5. Similar a Figura 4, mas para as simulações com as estações localizadas em: (a) Torres (TORR), (b) Santa Maria (STMA), (c) Porto Alegre (PALE), (d) São Luiz Gonzaga (SLGZ) e (e) Encruzilhada do Sul (ENCR).

CONCLUSÕES

Em função do aumento da temperatura associado as mudanças climáticas, todas as cultivares, para os distintos grupos de maturação, apresentarão um menor ciclo de desenvolvimento. Entretanto há padrões diferenciados desse impacto sobre as distintas regiões produtoras do estado, com maior impacto sobre a região da Zona Sul. As regiões mais frias do Estado do Rio Grande do Sul deverão experimentar um acréscimo geral da produtividade, com menores perdas decorrentes da esterilidade por frio, em particular para as últimas datas de semeadura – possivelmente alongando a janela de semeadura no



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:



O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

estado. Nas regiões mais quente do estado observou-se a redução do rendimento para algumas épocas de semeadura e cultivares, associadas com as altas temperaturas diurnas e noturnas. As incertezas associadas às diferentes projeções climáticas variam espacialmente, chegando a gerar impactos distintos dependendo do modelo climático usado, o que ressalta a importância de se usar um conjunto de projeções climáticas de diferentes modelos nos estudos dos impactos das mudanças climáticas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Processo: 474881/2013-0) e ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) pela cedência dos dados meteorológicos históricos utilizados neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FORSTER, P. et al. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. 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, 2007.

HOUGHTON, R.A. Balancing the Global Carbon Budget. *Ann. Rev. Earth Pl. Sc.*, v. 35, p. 313–47, 2007.

JONES, J.W. et al. The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy*, v. 18, p. 235-265, 2003.

MEEHL, G.A. et al. 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, 2007.

RAMANKUTTY, N. et al. Farming the Planet. Part 1: The Geographic Distribution of Global Agricultural Lands in the Year 2000. *Global Biogeochem. Cycles*, v. 22, GB1003, 2008.

RAUPACH, M.R. et al. Global and regional drivers of accelerating CO₂ emissions. *PNAS*, v. 104, p. 10288-10293, 2007.

SATAKE, T. Sterile-type cool injury in paddy rice plants. In: *INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. Climate and rice*, Los Baños, Philippines, 1976. P. 281-300.

STEINMETZ et al. Produtividade de cultivares de arroz irrigado em função da época de semeadura. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. 23 p (Embrapa Clima Temperado. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 111).

STEINMETZ et al. Caracterização e mapeamento do risco de frio durante o período reprodutivo do arroz irrigado no Estado do Rio Grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2012. 24 p (Embrapa Clima Temperado. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 175).



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros



STEINMETZ et al. Estimativa da produtividade de arroz irrigado em função da radiação solar global e da temperatura mínima do ar. *Ciência Rural*, v. 43, n. 2, p. 206-211, fev, 2013.

STEINMETZ et al. GD Arroz: programa baseado em graus-dia para estimar a data de diferenciação da panícula visando a adubação nitrogenada em cobertura. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2014. 12 p (Embrapa Clima Temperado. Circular Técnica, 155).

STRECK, N. A. et al. CO₂-response function of radiation use efficiency in rice for climate change scenarios. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 47, p. 879-885, 2012.

YOSHIDA, S., 1981. High temperature stress in rice. IRRI Research Paper Series 67.