

## IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR E SEUS EFEITOS SOBRE A ECONOMIA DO BRASIL

### Grupo de Pesquisa: 2 – Economia e Gestão no Agronegócio

**Felipe de Souza Andrade**  
Centro de Tecnologia Canavieira - CTC  
andrade.f.s@gmail.com

**Angelo Costa Gurgel**  
EESP/FGV  
angelo.gurgel@fgv.br

#### Resumo

O presente estudo preocupa-se em investigar os impactos econômicos que as mudanças climáticas podem promover ao alterar a produtividade das culturas açucareiras. Para tal, realizou-se uma revisão da literatura sobre os impactos previstos de cenários de mudanças climáticas sobre a produtividade da cana de açúcar e da beterraba açucareira, e posteriormente simulou-se em um modelo de equilíbrio geral computável tais choques de produtividade. Levantaram-se 21 trabalhos, divididos em 10 regiões do mundo de acordo com seus padrões de produção e consumo, que permitiram estabelecer três cenários de choques em produtividade para cada região. O modelo econômico de equilíbrio geral computável GTAPinGAMS foi utilizado, considerando o ano base de 2011. Observou-se que as mudanças climáticas tendem a promover ganhos de produtividade nas culturas açucareiras e na produção de açúcar de diversas regiões do globo. No caso do Brasil, os resultados sugerem que as mudanças climáticas pouco influenciarão os setores de cana-de-açúcar e açúcar do Brasil. A participação destes setores no PIB é pequena de forma que as variações que promoverão para o PIB e bem-estar brasileiro serão modestas, embora positivas. A produção de açúcar cresce entre 1% a 2%, enquanto o PIB cresce entre 0,05% a 0,29%. Os resultados positivos, mas modestos, no Brasil são consequência de efeitos também positivos para a produtividade das culturas açucareiras nas demais regiões do mundo.

**Palavras-chave:** cana de açúcar, beterraba açucareira, mudanças climáticas, impactos econômicos, equilíbrio geral computável

#### Abstract

*This study aims to investigate the economic impacts of the productivity changes on sugar crops due to climate change. We first perform a literature review about the expected impacts from climate change on the productivity of sugar cane and sugar beet production. After, we simulate such productivity shocks from climate changes in a computable general equilibrium model. We identify 21 studies, divided in 10 world regions, considering the specific patterns of production and consumption. These allowed the design of three scenarios of productivity shocks in each region. We use the computable general equilibrium model GTAPinGAMS calibrated for the base year 2011. We observe that the climate changes tend to increase the productivity of sugar crops and sugar production all around the world. In the case of Brazil, the results suggest that the climate changes will promote few changes in the sugarcane production and sugar industry. The share of these sectors in the GDP is small, what causes a very modest impact in the GDP and welfare, although these are positive. The sugar output grows between 1% and 2% and the GDP increases between 0.05% to 0.29%. The positive, but small, results for Brazil are due to the positive impacts on productivity observed also in the case of the other regions.*

**Key words:** sugar cane, sugar beet, climate change, economic impacts, computable general equilibrium

## 1. Introdução

As mudanças climáticas irão impactar as produções agrícolas de maneiras distintas em cada região do mundo. Os impactos sobre culturas açucareiras (cana-de-açúcar e beterraba açucareira) provocarão mudanças na oferta de açúcar com consequentes mudanças econômicas nos países produtores. O presente estudo tem o objetivo de compreender os possíveis efeitos que as mudanças climáticas terão sobre a produção e a produtividade das culturas açucareiras, considerando a inserção das mesmas nos mercados agrícolas e de alimentos nacional e global, bem como identificar como esses impactos afetarão a economia brasileira.

Hoje o mercado de açúcar é dinâmico e global, com produções em todas as partes do globo, sendo negociado como commodity. Estima-se que em 2015 a produção mundial de açúcar somou 180,6 mil toneladas, sendo produzidas no ano 1.807,8 mil toneladas de cana-de-açúcar e 255,8 mil toneladas de beterraba açucareira. No Brasil a produção de açúcar alcançou 37,1 mil toneladas, sendo este volume integralmente proveniente das 655,4 mil toneladas de cana-de-açúcar produzidas em 2015 (OECD; FAO, 2015).

Como uma commodity de grande representatividade na economia mundial, são inúmeros os estudos relacionados à oferta e demanda deste produto, tanto por instituições privadas quanto governamentais. No caso das projeções de oferta um ponto relevante é que não se observam, em geral, considerações sobre aumentos ou diminuições de produção ou produtividade em decorrência de impactos das mudanças climáticas. As projeções no Outlook Agrícola da OECD/FAO (2015) de produção, consumo, estoques, comércio e preços para os diferentes produtos agrícolas dos anos de 2015 a 2024, por exemplo, têm como principais premissas as condições macroeconômicas, políticas agrícolas e comerciais, condições do tempo, tendências de produtividade de longo prazo, bem como a evolução do mercado internacional. Nesse sentido, não são consideradas explicitamente possíveis impactos advindos das mudanças climáticas.

Na mesma direção, a Federação das Indústrias do Estado de São Paulo se mostra otimista em relação às perspectivas de médio e longo prazo do agronegócio brasileiro no Outlook Fiesp 2025 (FIESP, 2015), onde apresenta as expectativas para diversos setores do agronegócio brasileiro considerando os anos de 2015 (final da Safra 14/15) a 2025 (final da Safra 24/25). Também não são mencionados efeitos climáticos advindos de mudanças do clima global no estudo da Fiesp.

O modelo de projeção da produção brasileira tem como premissas um balanço mundial da produção e consumo de alimentos, as previsões de renda do Fundo Monetário Internacional (FMI) e da população da Organização das Nações Unidas (ONU), além de estimativas de crescimento da economia brasileira. As projeções de produção de alimentos são fundamentadas na tendência da produtividade e da área disponível em cada um dos principais produtores, entre os quais o Brasil aparece como variável-chave para o fechamento do balanço internacional por se tratar de uma das poucas regiões onde ainda é possível se obter ganhos de produtividade somados a aumento das áreas de produção.

Impactos na produção e/ou produtividade da cana-de-açúcar podem afetar o Brasil, uma vez que o setor sucroenergético tem representativa participação na economia do país. Neves e Trombin (2014) estimaram que o PIB do setor sucroenergético na Safra 2013/14 foi 43,36 bilhões de USD, o equivalente a quase 2% do PIB nacional de 2013.

Diante disso, é fundamental compreender como as mudanças climáticas devem provocar mudanças na oferta de açúcar, nas diversas regiões produtoras do globo. Os choques na oferta promoverão impactos de ordem econômica nos países produtores de açúcar. Os impactos desses choques, se quantificados, podem orientar agentes públicos e privados em direção ao planejamento de longo prazo não apenas na produção de açúcar, mas também do setor

agropecuário e do agronegócio como um todo, considerando a competição pelo uso de insumos e fatores produtivos, como a terra e o trabalho. Ainda, efeitos na produção agropecuária podem também influenciar a economia dos diferentes países produtores e consumidores. Portanto, torna-se relevante considerar as relações entre os diferentes setores e países nos mercados agrícolas e de alimentos.

Reilly et al. (2007) examinaram os efeitos combinados das mudanças climáticas (temperatura e precipitação), do aumento da concentração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera e de mudanças no ozônio (O<sub>3</sub>) troposférico sobre culturas agrícolas, pastagens e florestas, e as consequências para as economias global e regionais. Para tanto, utilizaram um modelo computável de equilíbrio geral (MCEG) dinâmico para simular essas mudanças. Concluem que os efeitos são geralmente positivos para as produtividades das culturas agrícolas, da pecuária, e da silvicultura na maior parte do mundo. Contudo, o O<sub>3</sub> tem grande potencial para causar perdas significativas de produtividade caso não haja controle de emissões. Ainda, observam que os efeitos econômicos nacionais e regionais são afetados por relações comerciais, de forma que ganhos de produtividade em uma região podem levar a resultados econômicos negativos a outra região, assim como países e regiões podem ter choques de produtividade negativo sobre culturas agrícolas, florestas e pastagens, mas apresentarem resultados econômicos positivos em função da ampliação do comércio.

Já no caso específico do Brasil, Ferreira Filho e Moraes (2014) procuram avaliar os efeitos econômicos das mudanças climáticas sobre a agricultura brasileira em um arcabouço de equilíbrio geral. Para tal, utilizaram um modelo estático e inter-regional de equilíbrio geral computável para o Brasil que contempla os 27 estados mais o Distrito Federal e os conecta através das relações de mercado. Simularam no modelo choques de produtividade na agricultura brasileira devido as mudanças climáticas sobre as culturas de feijão, cana-de-açúcar, café, mandioca, arroz, algodão, milho e soja, considerando cenários climáticos A2 do IPCC para 2020, e o cenário B2 do IPCC para o ano de 2070. Concluíram que os impactos na economia brasileira serão relativamente pequenos no longo prazo, já que, os choques de produção negativos sobre o uso da terra e de produção estão concentrados em regiões de pouca representatividade para a agricultura do Brasil, promovendo pequenas perdas no PIB. No entanto, no nível regional os maiores impactos observados estarão concentrados nas regiões mais pobres do país, afetando trabalhadores mais pobres e famílias nessas regiões.

Esses estudos mostram a importância de se investigar os efeitos das mudanças climáticas sobre as economias, considerando arcabouços que representem as relações entre os diferentes mercados. Nota-se, contudo, que nenhum dos dois estudos foca especificamente em um produto agrícola e nas suas especificidades. Dessa forma, torna-se relevante responder às seguintes questões: como as mudanças climáticas futuras devem afetar a produtividade da cana-de-açúcar no Brasil e nos demais países produtores? Como essas alterações em produtividade devem impactar as relações de oferta e demanda de açúcar tanto em nível nacional quanto mundial? Os impactos nos mercados de açúcar serão capazes de afetar a economia brasileira e dos países mais relevantes na produção?

O presente trabalho busca compreender e avaliar quais os possíveis impactos na economia brasileira em função de choques de produção de açúcar ao redor do mundo, devido a alterações em produtividade promovidos pelas mudanças climáticas. Para tal, investigou-se na literatura estudos que tenham estimado as mudanças em produtividade da cana-de-açúcar e da beterraba açucareira e então simulou-se em um modelo global de equilíbrio geral essas mudanças.

## 2. Metodologia

O presente estudo foi desenvolvido em duas etapas. Na primeira, realizou-se uma revisão da literatura sobre os impactos previstos nas culturas açucareiras para cenários de mudanças climáticas. Levantaram-se 21 trabalhos, divididos em 10 regiões do mundo de acordo com seus padrões de produção e consumo. A partir desses estudos, foram estabelecidos três cenários de choques em produtividade, denominados de “mínimo”, “médio” e “máximo”, para cada uma das 10 regiões do mundo. Levantaram-se também choques de produtividade mínimos e máximos para as grandes culturas (trigo, milho, arroz e soja) com base em trabalhos divulgados pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), de forma a considerar que as mudanças climáticas impactam várias culturas ao mesmo tempo, e assim, evitar a avaliação individual de apenas uma commodity.

Em uma segunda etapa, de forma a verificar como os choques de produtividade se traduzem em efeitos econômicos, foram simulados em um modelo de equilíbrio geral computável os três cenários de choques em produtividade sobre as culturas açucareiras, e outros seis cenários combinando tais choques aos choques em produtividade sobre as grandes culturas. O modelo econômico de equilíbrio geral computável GTAPinGAMS foi utilizado, considerando a base de dados para o ano base de 2011, para analisar os efeitos sobre o setor sucroenergético e sobre a economia brasileira. Descreve-se a seguir maiores detalhes de cada uma das etapas do estudo.

### 2.1. Identificação e Revisão de Estudos sobre Impactos Climáticos nas Culturas Açucareiras

São diversos os estudos ao redor do mundo que buscam compreender os efeitos das mudanças climáticas, alguns deles avaliando as suas interações com as culturas agrícolas. Prevê-se que até o final do século a temperatura terrestre pode aumentar entre as faixas de 0,3 °C a 1,7 °C às faixas de 2,6 °C e 4,8 °C, para os cenários RCP 2.6 (otimista) e RCP 8.5 (pessimista), respectivamente. Para todos os cenários é previsto o aumento do nível do mar, o que significa que as áreas costeiras de todo o mundo estarão propensas a forte erosão e rios poderão sofrer forte refluxo de água salgada (IPCC, 2014).

O relatório AR5 do IPCC (2014) também assegura que, em termos globais, diminuirá o número de dias e noites frias, enquanto dias e noites quentes aumentarão (90% de confiança). Com confiança próxima a 60% o relatório afirma também que as ondas de calor aumentarão. Em seu relatório, o PBMC (2013) prevê um aumento de 1 °C e 6 °C na temperatura média brasileira de 2100 frente ao final do século 20. Tal aumento acarretará em redução de precipitações em grande parte das regiões central, Norte e Nordeste do país e, em contrapartida, aumento das precipitações nas regiões Sul e Sudeste.

Segundo a avaliação do PBMC (2013) as consequências do aquecimento global serão inúmeras para o setor agropecuário. Até 2030 o Brasil pode perder cerca de 11 milhões de hectares de terras adequadas à agricultura por causa das mudanças climáticas. Ademais efeitos negativos sobre a oferta de commodities devem resultar em preços significativamente mais elevados de algumas matérias-primas, o que promoverá importantes efeitos negativos sobre os pobres e o consumo desses itens básicos.

A fim de criar cenários globais dos impactos das mudanças climáticas sobre a cana-de-açúcar e a beterraba açucareira, foi realizado um extenso levantamento bibliográfico que busca identificar os principais estudos que estimam tais impactos sobre as culturas mencionadas a nível local, regional, nacional e mundial, e então, com base nesses estudos, são delineados cenários de mínimo, médio e máximo choques de produtividade sobre as culturas açucareiras, para posterior simulação e análise dos impactos econômicos destes choques. O trabalhos identificados foram encontrados a partir de critérios de busca envolvendo os termos “cana de açúcar”, “beterraba”, “mudança climática”, “produtividade” e diversas combinações dos mesmos, em língua inglesa, em ferramentas de busca de bibliografias na internet, como *Google*

*Scholar*. Procurou-se selecionar entre os trabalhos encontrados aqueles publicados em revistas com fator de impacto mais elevado, bem como os com maior aderência à temática buscada, de impactos das mudanças climáticas sobre a produtividade das culturas mencionadas.

## 2.2. Modelo Econômico de Simulação

O presente estudo visa analisar os impactos de choques de produtividade nas culturas açucareiras, advindos das mudanças climáticas, sobre a economia. Para tal, um modelo computável de equilíbrio geral (CEG) será utilizado para simular os choques de produtividade sobre o fluxo circular da economia.

Modelos de equilíbrio geral podem ser melhor compreendidos como modelos que consideram a interação de diversos agentes sob um número finito de *commodities* e a otimização constante de recursos ocorre em busca de equilíbrio nos mercados (SHOVEN e WALLEY, 1998). Os modelos CEGs são construídos considerando-se funções de produção e consumo para cada setor da economia, que são regidas pelo sistema walrasiano de equilíbrio competitivo.

No presente estudo foi escolhido o modelo *GTAPinGAMS*, que é construído como um problema de complementaridade mista não-linear (RUTHERFORD, 1995), desenvolvido em linguagem de programação *General Algebraic Modeling System* (GAMS) (BROOKE *et al.*, 1998). O *GTAPinGAMS* permite a modificação da sua estrutura original de acordo com os objetivos da pesquisa. No presente estudo, essa conveniência permite representar as cotas de produção de açúcar na UE, uma vez que o modelo original não representa essa política. O modelo utiliza a sintaxe do algoritmo *Mathematical Programming System for General Equilibrium* (MPSGE), desenvolvida por Rutherford (1999). O MPSGE constrói equações algébricas que caracterizam condições de lucro zero para a produção, equilíbrio entre oferta e demanda nos mercados e definição da renda para os consumidores.

O modelo é estático, multirregional e multissetorial. A base de dados que alimenta o modelo é conhecida como GTAP – *Global Trade Analysis Project*, desenvolvido em 1992 pelo departamento de Economia Agrícola da Universidade de Purdue (HERTEL, 1997). Utiliza-se a versão 9 dessa base de dados, que representa o equilíbrio mundial em 2011, e é composta por um banco de dados de matrizes de insumo-produto e fluxos comerciais de 140 países/regiões e 57 setores econômicos, harmonizada e compatibilizada, e que representa tratados comerciais bilaterais e medidas protecionistas vigentes.

A Figura 1 apresenta a estrutura geral do modelo. Os símbolos subscritos *s* e *r* correspondem aos países e regiões detalhadas no modelo, enquanto os símbolos subscritos *i* e *j* representam setores e bens, respectivamente. As variáveis do modelo econômico são, respectivamente, a produção (*Y*), o consumo privado (*C*), o investimento (*I*), o consumo público (*G*), as importações (*M*), os consumidores (*HH*) o setor público ou governo (*GOVT*) e a atividade através da qual as quantidades de um fator de produção específico a pouco setoressão alocadas para cada setor que usa aquele fator (*FT*). Por exemplo, a produção de um bem *i* na região *r* é representada por  $Y_{ir}$ .

Os setores produtivos minimizam seus custos sujeitos às restrições tecnológicas, e a produção é caracterizada pela escolha de insumos a partir da minimização de custos unitários, utilizando-se uma combinação de fatores primários de produção e de insumos intermediários, sendo esta última uma composição de bens domésticos e importados.

Utiliza-se funções de produção caracterizada como de elasticidade de substituição constante (*constant elasticity substitution functions* - CES), em que componentes do valor adicionado (fatores primários de produção) podem ser substituídos a partir de uma elasticidade de substituição definida com base na literatura econômica (neste caso, a elasticidade considerada são as mesmas do modelo GTAP).

Os insumos intermediários e primários são combinados a partir de uma função Leontief (função para bens complementares). Cada insumo intermediário, nesta função, é uma combinação entre uma parcela doméstica e importada do mesmo bem, equacionadas através de funções CES.

A demanda de um bem importado, para uma determinada região, é considerada como um agregado de bens importados de diferentes regiões. A escolha entre importações de diferentes parceiros comerciais é baseada na pressuposição de Armington, onde um bem importado de uma região é um substituto imperfeito do mesmo bem, diferenciado pela sua origem. Margens de transporte definidas bilateralmente permitem a representação dos custos de transporte no comércio internacional. A substituição entre importações com diferentes origens é governada por uma elasticidade de substituição.

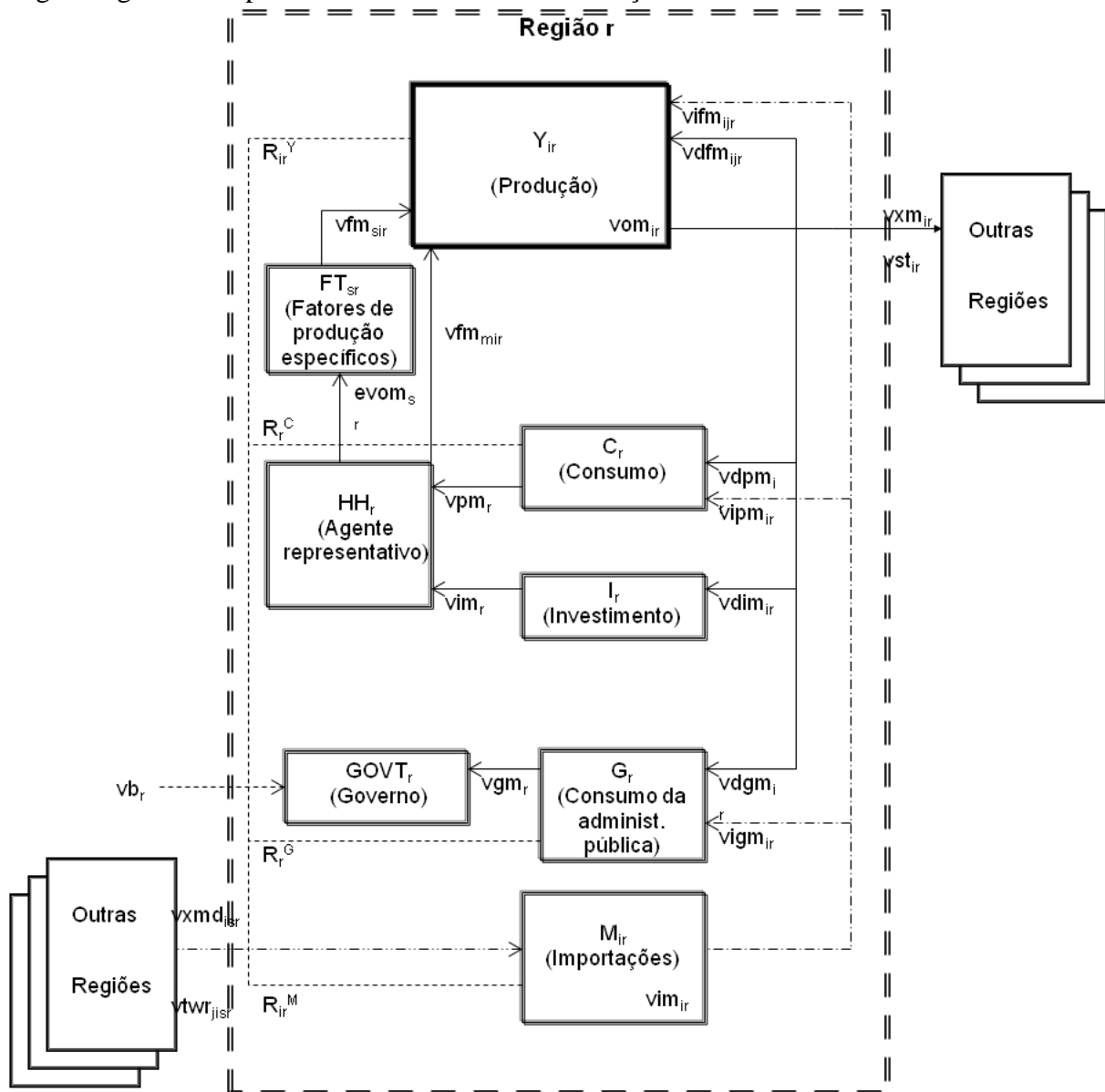


Figura 1 - Fluxos no GTAPinGAMS. Fonte: Rutherford e Paltsev (2000).

Os fluxos comerciais estão sujeitos a subsídios (ou impostos) às exportações e tarifas às importações, sendo que o governo da região exportadora paga os subsídios (ou recebe os impostos), enquanto as tarifas são coletadas pelos governos dos países importadores.

As escolhas de consumo do agente privado funcionam de forma similar, otimizando sua demanda através de uma função Cobb-Douglas entre bens compostos, formados pela agregação de bens domésticos e importados. O consumo da administração pública é representado no modelo como uma agregação Leontief entre bens compostos de parcelas domésticas e importadas. Os diferentes bens compostos não são substituíveis entre si, apenas as parcelas domésticas e importadas são substituíveis entre si.

O fechamento macroeconômico do modelo considera a oferta total de cada fator de produção como fixa, os fatores são móveis entre setores dentro de uma mesma região, porém não podem ser movidos entre regiões. O fator terra é específico aos setores agropecuários enquanto recursos naturais são específicos a setores de extração de recursos minerais e produção de energia. Não há desemprego no modelo e os preços dos fatores são flexíveis.

Pelo lado da demanda, investimentos e fluxos de capitais são mantidos fixos, bem como o saldo do balanço de pagamentos. Dessa forma, mudanças na taxa real de câmbio devem ocorrer para acomodar alterações nos fluxos de exportações e importações após os choques. O consumo do governo pode alterar com mudanças nos preços relativos dos bens, assim como a receita advinda dos impostos está sujeita a mudanças no nível de atividade e no consumo. Maiores detalhes sobre o funcionamento do modelo básico bem como uma completa representação das equações podem ser encontrada em Gurgel (2007).

Os dados originais do modelo GTAP 9 (NARAYANAN, 2015) compreendem 57 setores/commodities desagregadas e 140 regiões, contendo base de dados referentes aos anos de 2011, 2007 e 2004. Utiliza-se a base de dados mais recente, de 2011, no presente trabalho.

Visando atender os objetivos desta pesquisa, e buscando agrupar os resultados de impactos climáticos nas culturas de cana-de-açúcar e beterraba açucareira alinhado às similaridades dos sistemas produtivos adotados e representatividade em área destas culturas nas diversas regiões do globo, os dados do GTAP foram agregados nos setores e regiões apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Agregação GTAP: Regiões e Setores

REGIÕES	SETORES	
(AFR) África	(PDR) Arroz em Casca	(OMT) Produtos de Carne
(BRA) Brasil	(WHT) Trigo	(VOL) Óleos Vegetais e Gorduras
(CHN) China	(GRO) Grãos de Cereais	(MIL) Produtos Diários
(EUR) Europa	(OSD) Sementes Oleaginosas	(PCR) Arroz Processado
(IND) Índia	(C_B) Cana-de-açúcar e Beterraba Açucareira	(SGR) Açúcar
(NAM) Norte das Américas	(OCR) Outras Culturas	(OFD) Produtos Alimentares
(RAM) Demais Países das Américas	(CTL) Bovinos, Ovinos, Caprinos e Cavalos	(B_T) Bebidas e Produtos de Tabaco
(REA) Demais Países da Ásia	(OAP) Produtos de Origem Animal	(TXT) Têxteis
(ROE) Europa Oriental, Países da Antiga URSS e Centro da Ásia	(RMK) Leite Cru	(LMF) Manufatura Leve e Vestuário
(SIO) Sul da Ásia, Indonésia e Oceania	(FRS) Floresta	(HMF) Manufatura Pesada
	(FSH) Pescado	(UTL) Suprimento de Gás e Água
	(EXT) Outros Produtos Agropecuários	(TCM) Telecomunicações
	(CMT) Produtos de Carne Bovina	(SER) Serviços

No presente estudo, implementam-se choques de produtividade em setores de produção agrícola, capazes de representar as mudanças em produtividade previstas pelos estudos revisados. O choque de produtividade é implementado como uma variação na quantidade total

produzida a partir de um conjunto de insumos e fatores produtivos, ou seja, como um aumento na produtividade total dos fatores e insumos empregados na produção da commodity, considerando o valor inicial desses fatores e insumos na base de dados. Dessa forma, se o choque de produtividade sugerido pela revisão de literatura indica uma queda (aumento) de X% na produtividade da cultura, implementa-se no modelo uma redução (incremento) desse mesmo X% na quantidade produzida daquela cultura, sem alterar a quantidade utilizada de insumos e fatores produtivos na base de dados.

Os choques implementados seguem os resultados que serão apresentados na seção de resultados da revisão de literatura, em três cenários diferentes para a cana-de-açúcar e a beterraba açucareira, e outros seis cenários que combinam mudanças em produtividade das culturas açucareiras e de quatro grandes culturas.

### 3. Resultados da Revisão de Literatura sobre Impactos da Mudança Climática sobre as Culturas Açucareiras

Diversos estudos a respeito da fisiologia de plantas indicam respostas positivas das culturas de cana-de-açúcar e beterraba açucareira a aumentos moderados em temperatura ambiente e, principalmente, à concentração de CO<sub>2</sub> no ambiente de crescimento dessas culturas (GHANNOUM et al., 2000; KIMBALL & BERNACCHI, 2006; LEAKEY, 2009; MARCHIORI, 2010; MARIN, 2014).

Um resumo dos resultados quantitativos de estudos sobre impactos das mudanças climáticas sobre as culturas de beterraba açucareira e cana-de-açúcar levantados na revisão bibliográfica apresenta-se nas Tabelas 2 e 3. A grande maioria dos estudos confirma os resultados dos estudos fisiológicos, de que mudanças climáticas tendem a aumentar a produtividade das culturas açucareiras.

**Tabela 1.** Resumo dos resultados quantitativos de estudos sobre impactos das mudanças climáticas sobre a cultura de beterraba levantados em revisão bibliográfica

CULTURA	PAÍS OU REGIÃO	REFERÊNCIA	CENÁRIO ADOTADO PARA FERTILIZAÇÃO POR CO <sub>2</sub>	IMPACTO NA PRODUTIVIDADE [%]		
				MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO
BETERRABA AÇUCAREIRA	EUROPA	JONES, P. D. et al. (2002)	NÃO		9%	
	ITÁLIA	DONATELLI, M. et al. (2002)	SIM - 450 mm	1%	7%	10%
			IPCC - A2 e B1 (2030)	11%		12%
	LESTE DA EUROPA	SUPIT, I. et al. (2012)	IPCC - A2 e B1 (2050)	16%		19%
			IPCC - A2 e B1 (2080)	15%		29%
			IPCC - A2 e B1 (2030)	7%		9%
	OESTE DA EUROPA	SUPIT, I. et al. (2012)	IPCC - A2 e B1 (2050)	9%		14%
			IPCC - A2 e B1 (2080)	5%		13%
			SIM - 525 mm	6%		18%
	REINO UNIDO	RICHTER, G. M. et al. (2006)	SIM - 810 mm	19%		36%
IPCC - A1B e B2 (2030)			10%		13%	
SÉRVIA	STRIČEVIĆ R. J. et al (2008)	IPCC - A1B e B2 (2050)	4%		10%	

Com base nos resultados das Tabela 2 e 3, foram delineados cenários para aplicação de choques no modelo econômico, representados na Tabela 4. Os cenários foram denominados de A, B, C,



sendo o cenário A o relacionado aos impactos menos favoráveis em produtividade e o cenário C o de impactos mais otimistas<sup>1</sup>.

**Tabela 3.** Resumo dos resultados quantitativos de estudos sobre impactos das mudanças climáticas sobre a cultura de cana-de-açúcar levantados em revisão bibliográfica

CULTURA	PAÍS OU REGIÃO	REFERÊNCIA	CENÁRIO ADOTADO PARA FERTILIZAÇÃO POR CO <sub>2</sub>	IMPACTO NA PRODUTIVIDADE [%]		
				MÍNIMO	MÉDIO	MÁXIMO
CANHA-DE-AÇÚCAR	ÁFRICA DO SUL	SINGELS, A. et al. (2013)	SIM - 734 mm	9%		20%
	AUSTRÁLIA	BIGGS, J. S. et al. (2011)	IPCC - A1FI, A1B e B1 (2030) (+CO <sub>2</sub> )	2%	16%	20%
			IPCC - A1FI, A1B e B1 (2030) (-CO <sub>2</sub> )	-10%	4%	8%
		SINGELS, A. et al. (2013)	SIM - 734 mm		4%	
	BRASIL	EVANGELISA, B. A. et al. (2009)	NÃO	-6%	3%	4%
		MARIN, F. R. et al. (2012)	IPCC - A2 e B2 (2050)	15%		59%
		MARIN, F. R. (2014)	IPCC - A2 e B1 (2050)	4%		8%
		MARIN, F. R. et al. (2009)	NÃO	0%		6%
		SINGELS, A. et al. (2013)	SIM - 734 mm	9%		20%
	MUNDO	SOUZA et al. (2008)	SIM - 720 mm		40%	
		VU et al. (2006)	SIM - 720 mm		37%	
		VU; ALLEN JR. (2009)	SIM - 720 mm	12%		71%
	SUAZILÂNDIA	KNOX, J.W. et al. (2009)	IPCC - A2 e B2 (2050)	4%	9%	15%
TRINDADE E TOBAGO	SINGH, B. e EL MAYAAR, M. (1998)	NÃO	-18%	-31%	-42%	

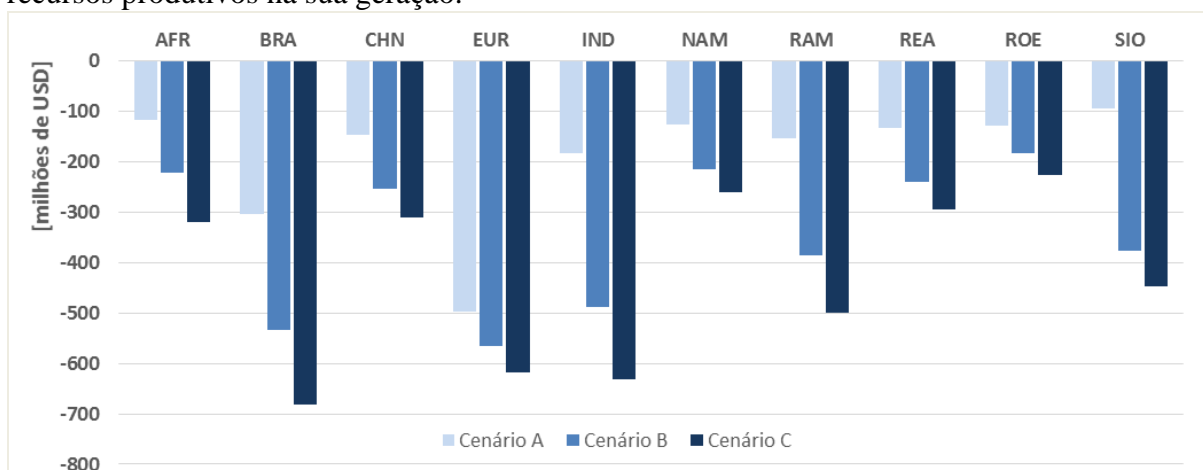
**Tabela 4.** Cenários A, B e C de choques de produtividade nas culturas de cana-de-açúcar e beterraba açucareira

REGIÃO	PRINCIPAL CULTURA	CENÁRIOS			REFERÊNCIA
		A	B	C	
AFR	CANA-DE-AÇÚCAR	4%	9%	15%	KNOX, J.W. et al. (2009)
BRA	CANA-DE-AÇÚCAR	4%	6%	8%	MARIN, F. R. (2014)
CHN	CANA-DE-AÇÚCAR E BETERRABA AÇUCAREIRA	6%	12%	15%	MÉDIA DA CULTURA PRINCIPAL
EUR	BETERRABA	16%	18%	19%	SUPIT, I. et al. (2012)
IND	CANA-DE-AÇÚCAR	3%	10%	14%	MÉDIA DA CULTURA PRINCIPAL
NAM	CANA-DE-AÇÚCAR E BETERRABA AÇUCAREIRA	6%	12%	15%	MÉDIA DA CULTURA PRINCIPAL
RAM	CANA-DE-AÇÚCAR	3%	10%	14%	MÉDIA DA CULTURA PRINCIPAL
REA	CANA-DE-AÇÚCAR E BETERRABA AÇUCAREIRA	6%	12%	15%	MÉDIA DA CULTURA PRINCIPAL
ROE	BETERRABA	7%	9%	12%	STRIČEVIĆ R. J., et al; SUPIT, I. et al. (2012)
SIO	CANA	2%	16%	20%	BIGGS, J. S. et al. (2011)

<sup>1</sup> Como parte dos trabalhos elaborados para o IPCC, Porter et al. (2014), apresentaram um compilado de estudos sobre impactos das mudanças climáticas na agricultura e pecuária. São apresentados 19 estudos para a cultura de trigo, 22 estudos para milho, 11 estudos para arroz e 5 estudos para soja. No presente estudo considera-se apenas choques nas culturas açucareiras. Contudo, futuros estudos pretendem considerar tanto os resultados de choques de produtividade nas culturas açucareiras quanto os nas quatro grandes culturas, todos ao mesmo tempo.

## 4. Resultados

Aplicando os três cenários da Tabela 4 ao GTAPinGAMS, considerando o ano de 2011 como base de referência, observa-se que os choques de produtividade reduzem os valores da produção setorial de Cana-de-açúcar e Beterraba Açucareira (C\_B) em todas as regiões para todos os três cenários, uma vez que os choques de produtividade são positivos em todos os cenários. Isso leva a um aumento generalizado na oferta de cana-de-açúcar e beterraba açucareira, reduzindo seu preço e favorecendo seu principal consumidor, que é a indústria de produção de açúcar (SGR). Os resultados de variação da produção setorial C\_B para as regiões de estudo, em milhões de USD, são apresentados no Gráfico 1. O Gráfico indica que a simulação de maior produtividade da cana-de-açúcar e da beterraba açucareira permite que tais produtos sejam gerados com um menor nível de uso de insumos e fatores produtivos, o que reduz o valor final desses produtos e o tamanho desses setores em relação ao nível inicial da base de dados. Esse resultado é esperado, na medida em que um choque positivo de oferta em um modelo econômico de equilíbrio geral permite a redução de preço do bem e a economia de recursos produtivos na sua geração.



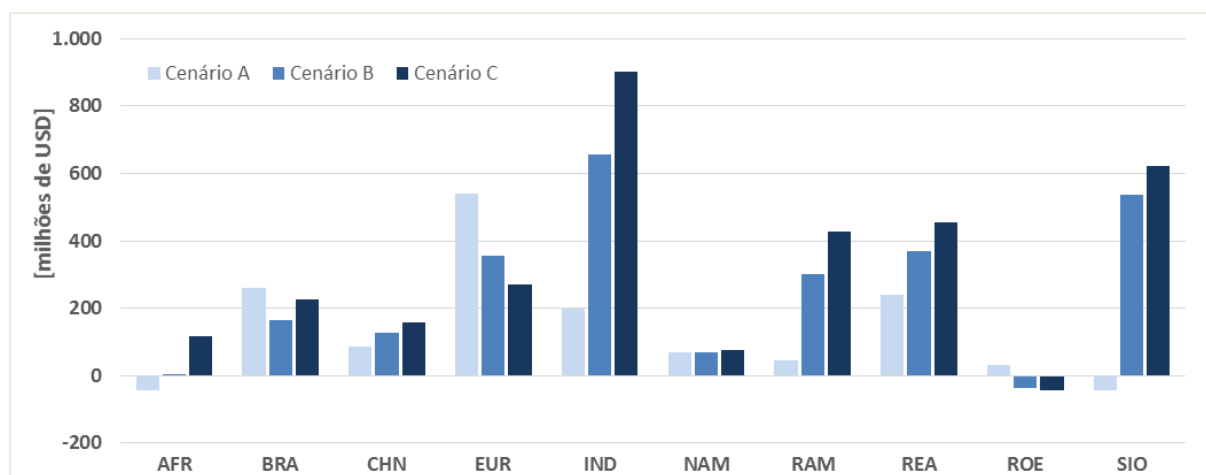
**Gráfico 1.** Variação do valor da produção do Setor C\_B (Cana-de-açúcar e Beterraba Açucareira), em milhões de USD.

Para o caso do Brasil, onde os choques de produção no Setor C\_B são direcionados unicamente para cana-de-açúcar, os Cenários A, B e C acarretaram variação no valor da produção, para o ano base de 2011 respectivamente de -303,9, -533,1 e -682,0 milhões de USD, que em valores percentuais representam -2,78%, -5,01% e -6,52% do valor da produção do Setor C\_B no país no ano base. Tais variações no valor da produção são inferiores as médias das demais regiões para o Setor C\_B, que foram calculadas em respectivamente -3,92%, -7,60%, -9,64% para os três cenários (Tabela 5).

No entanto, ao contrário do observado para o Setor C\_B, quando avaliamos os choques de produção dos Cenários A, B e C (ano base de 2011) sobre o setor de açúcar (SGR) que contempla a indústria de produção efetiva de açúcar, observam-se majoritariamente valores positivos de variação no valor da produção setorial para as regiões estudadas (Gráfico 2). Tais resultados são consequência do barateamento da matéria-prima agrícola por conta do choque de produtividade, bem como das mudanças relativas em competitividade entre regiões diante de choques de produtividade de níveis diferentes entre elas.

**Tabela 5.** Valor da produção do Setor C\_B (Cana-de-açúcar e Beterraba Açucareira), em bilhões de USD, e variação percentual do valor da produção do Setor C\_B para o Brasil e as Demais Regiões

REGIÃO	Valor da Produção Setorial - C_B [bilhões de USD]			Variação do Valor da Produção Setorial - C_B [%]		
	Cenário A	Cenário B	Cenário C	Cenário A	Cenário B	Cenário C
<b>BRA</b>	10,9	10,7	10,5	-2,8%	-5,0%	-6,5%
<b>DEMAIS REGIÕES</b>	40,5	38,5	37,5	-3,9%	-7,6%	-9,6%



**Gráfico 2.** Variação do valor da produção do Setor SGR (Açúcar), em milhões de USD.

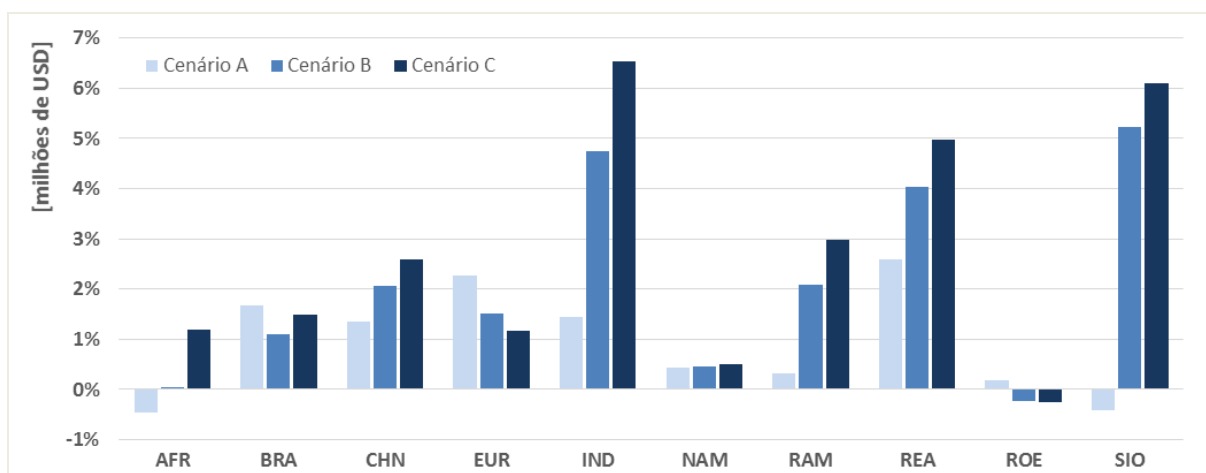
Para o Brasil as variações percentuais no valor de produção do Setor SGR foram para os Cenários A, B e C de 1,7%, 1,1% e 1,5%, totalizando 258,6, 165,9 e 226,1 milhões de USD, respectivamente. Em todos os cenários a variação no valor da produção do Setor SGR para as Demais Regiões foi superior ao Brasil, com valores de 9,3%, 19,9% e 25,1%, respectivamente para os Cenários A, B e C (Tabela 6). Em valores absolutos as variações no valor da produção do Setor SGR nas Demais Regiões para Cenários A, B e C foram respectivamente de 1.122,7, 2.381,9 e 2990,1 milhões de USD. Essas diferenças entre os resultados para o Brasil e demais regiões deve-se aos choques de produtividade aplicados, que, apesar de crescentes, são cada vez menos expressivos para o Brasil em relação às demais regiões quando se transita do cenário A em direção ao cenário C.

**Tabela 6.** Valor da produção do Setor SGR (Açúcar), em bilhões de USD, e variação percentual do valor da produção do Setor SGR para o Brasil e as Demais Regiões

REGIÃO	Valor da Produção Setorial – SGR [Bilhões de USD]			Variação do Valor da Produção Setorial – SGR [%]		
	Cenário A	Cenário B	Cenário C	Cenário A	Cenário B	Cenário C
<b>BRA</b>	15,4	15,2	15,1	1,7%	1,1%	1,5%
<b>DEMAIS REGIÕES</b>	120,7	119,8	119,3	9,3%	19,9%	25,1%

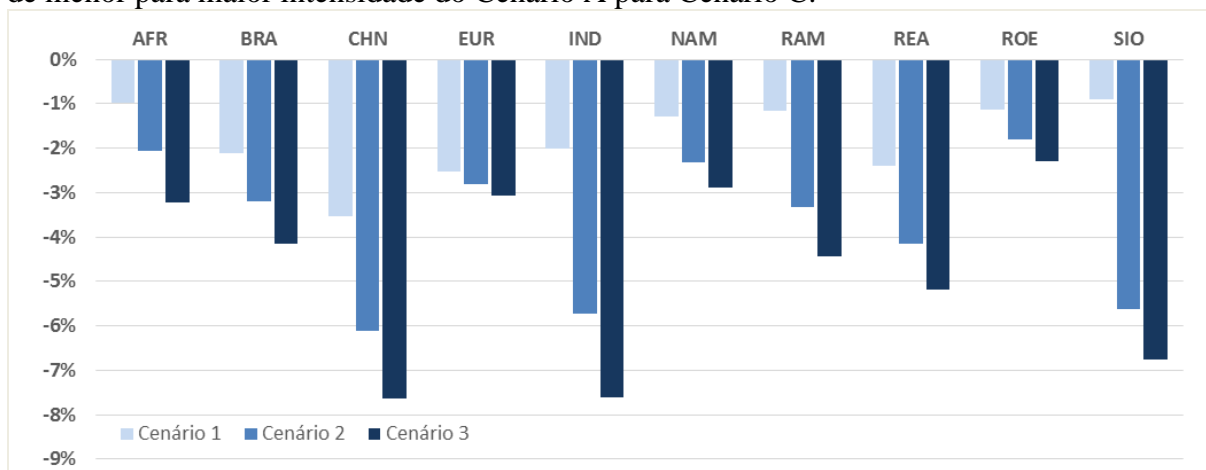
O Cenário C é, entre os três cenários, o que promove no modelo o maior impacto sobre a cana-de-açúcar, a beterraba açucareira e, conseqüentemente, o volume de açúcar produzido. Este cenário, conseqüentemente, foi o que promoveu maior intensidade nas variações positivas sobre o valor da produção do Setor SGR, com destaque para as regiões IND (Índia), SIO (Sul da Ásia, Indonésia e Oceania) e REA (Resto do Leste da Ásia), como observado no Gráfico 3.

Como do Cenário A para o Cenário C ocorrem aumentos cada vez mais pronunciados na oferta de açúcar nos mercados, bem como o valor da produção do Setor SGR se mantém relativamente estável entre os cenários (Tabela 6), conclui-se que o preço do açúcar diminui mais intensamente quanto maior o choque de produtividade. Ainda, como as regiões IND, SIO e REA experimentam aumento na variação do valor de produção do Setor SGR, a população destas regiões tende a consumir mais açúcar em substituição a outros alimentos.



**Gráfico 3.** Variação percentual do valor da produção do Setor SGR (Açúcar).

O Gráfico 4 demonstra que os resultados obtidos pelo modelo (ano base de referência 2011) apontam redução percentual dos preços do açúcar para os mercados das regiões estudadas de menor para maior intensidade do Cenário A para Cenário C.



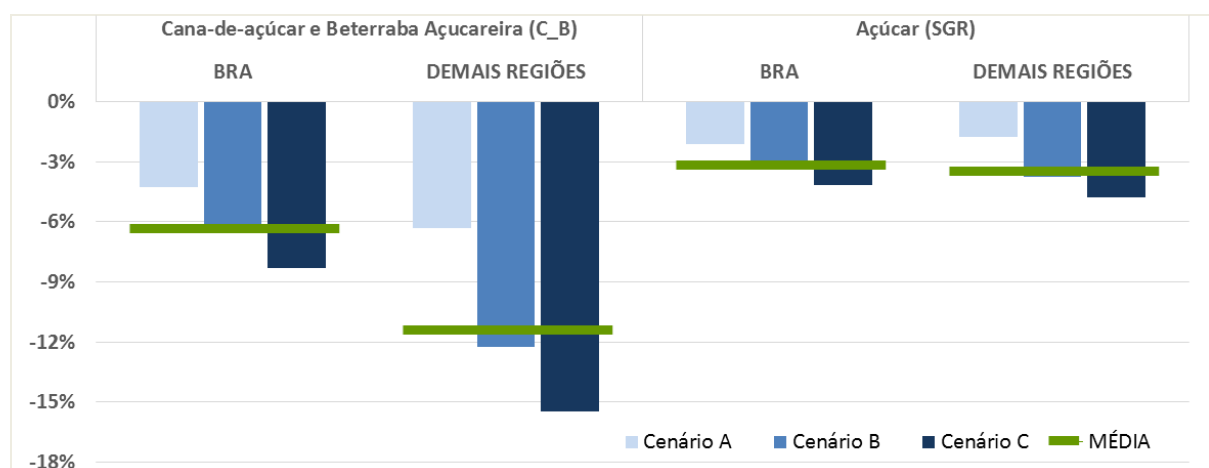
**Gráfico 4.** Variação percentual do preço do açúcar no mercado interno para cada uma das regiões estudadas.

Um resultado a notar é que as quedas dos Cenários A, B e C para os preços do mercado interno açúcar, produto do Setor SGR, são bastante inferiores as quedas nos preços do mercado

interno para os produtos do Setor C\_B, constituído principalmente pela cana-de-açúcar e pela beterraba açucareira entregues para o Setor SGR como matéria-prima. O Gráfico 5 mostra que, na média dos três cenários, os preços para mercado interno do Setor C\_B variaram -6,31% no Brasil e -11,36% nas Demais Regiões, já no Setor SGR os preços de seu produto para o mercado interno (açúcar) variam -3,16% no Brasil e -3,44% nas Demais Regiões.

Em sendo Setor C\_B no Brasil representado principalmente pela produção agrícola da cana-de-açúcar, a queda média no valor do produto de -6,31% em decorrência do choque de produtividade provindo das mudanças climáticas, recairia principalmente sobre os fornecedores de cana-de-açúcar, enquanto impactos sobre a produção de açúcar das usinas (Setor SGR) seriam menores no que diz respeito a preço de mercado interno, já que a queda percentual do preço matéria-prima seria maior que a queda dos preços de seu produto final, reduzindo os impactos decorrentes dos choques de produtividade sobre seu produto.

Considerando os custos de produção de cana-de-açúcar e de açúcar (VHP) para a Safra 2011/2012 na Região Centro-Sul publicados pelo PECEGE (2012), para fornecedores de cana-de-açúcar a diferença entre os custos de produção e o preço, respectivamente para as sub-regiões Tradicional e de Expansão, foram de 4,88% e 35,57%, ou 3,45 e 20,02 reais por tonelada de cana-de-açúcar. Dessa forma, utilizando os resultados aqui obtidos para ilustrar os impactos dos choques climáticos em condições do mercado atual, a queda nos preços médios do produto do Setor C\_B para o mercado interno de -6,31% promoveria prejuízo líquido para a Sub-região Tradicional de -1,43%, ou 4,67 reais por tonelada de cana-de-açúcar, e reduziria os ganhos da Sub-região de Expansão em 4,82 reais por tonelada de cana-de-açúcar.



**Gráfico 5.** Variação percentual do preço do Setor C\_B (cana-de-açúcar e beterraba açucareira) e do Setor SGR (açúcar) no mercado interno do Brasil e das Demais Regiões Estudadas.

Para as usinas de cana-de-açúcar, considerando a produção de açúcar (VHP), seriam reduzidos os preços de venda do produto no mercado interno, como também os custos para produção deste produto. Sabendo que as usinas têm matéria-prima cana-de-açúcar originada parte pela produção própria e parte adquirida de fornecedores (área própria de 67,5% na Sub-região Tradicional e 73% na sub-região) com base nos resultados levantados pelo PECEGE (2012) é razoável trabalhar com a hipótese que a queda nos preços médios do produto do Setor C\_B reduziria, em um cenário hipotético dos efeitos climáticos na situação do mercado atual, em 6,31% os custos com aquisição de matéria-prima, representando reduções de 3,44% e 3,23%, ou 26,71 e 23,78 reais por tonelada de açúcar VHP nos custos totais de produção do açúcar VHP de para as sub-regiões Tradicional e de Expansão, respectivamente. Em contrapartida, a queda nos preços do açúcar no mercado interno brasileiro de -3,16% provocaria

quedas nos custos de produção de 31,41 e 25,00 reais por tonelada de açúcar VHP para as sub-regiões Tradicional e de Expansão, respectivamente. Como resultado para o Setor SGR, ocorreria uma variação líquida sobre os ganhos da Sub-região Tradicional de -2,16% ou -4,70 reais por tonelada de açúcar VHP e para Sub-região de Expansão de -2,19% ou -1,22 reais por tonelada de açúcar VHP.

De acordo com a UNICA (2015) os principais países destino das exportações de açúcar do Brasil na Safra 2014/15 foram China com 9,6% das exportações, Emirados Árabes Unidos com 8,76%, Bangladesh com 7,7%, Argélia com 6,83% e Índia com 6,4%.

A Tabela 7 apresenta os resultados do modelo sobre a variação das exportações do Setor SGR do Brasil para as demais regiões do modelo, considerando os Cenários A, B e C. Observa-se que apenas o Cenário A promove variação positiva das exportações brasileiras do setor SGR para o ano base 2011. Nesse cenário, o aumento das produtividades nas regiões importadoras do produto brasileiro não foi suficiente para suprimir a vantagem comparativa brasileira preexistente e exacerbada pelo ganho de produtividade do cenário climático. Já nos demais cenários, os ganhos de produtividade maiores em várias regiões em relação ao ganho de produtividade no Brasil acabam por diminuir a vantagem comparativa brasileira, levando à queda das exportações.

**Tabela 7.** Resultados do modelo GATP9inGAMS para os Cenários A, B e C de variações das exportações do Setor SGR (Açúcar) do Brasil para demais regiões, em milhões de USD e valor percentual

REGIÃO	Variação das exportações do Setor SGR (Açúcar) do Brasil para outras regiões					
	Cenário A		Cenário B		Cenário C	
	[Mi de USD]	[%]	[Mi de USD]	[%]	[Mi de USD]	[%]
<i>AFR</i>	16,3	1,0%	-7,4	-0,5%	-23,3	-1,4%
<i>CHN</i>	-0,5	-2,8%	-1,8	-10,5%	-2,1	-12,7%
<i>EUR</i>	-3,1	-1,7%	-1,2	-0,6%	1,7	0,9%
<i>IND</i>	0,0	-0,1%	-0,6	-6,5%	-0,9	-8,9%
<i>NAM</i>	6,1	1,9%	-6,4	-2,1%	-7,5	-2,4%
<i>RAM</i>	4,8	1,7%	-7,0	-2,6%	-9,6	-3,6%
<i>REA</i>	-10,8	-0,8%	-78,1	-6,4%	-92,7	-7,7%
<i>ROE</i>	14,3	1,4%	-24,9	-2,5%	-27,0	-2,8%
<i>SIO</i>	9,5	3,6%	-23,8	-10,6%	-26,3	-11,8%
<b>TOTAL</b>	<b>36,5</b>	<b>3,7%</b>	<b>-151,2</b>	<b>-15,1%</b>	<b>-187,6</b>	<b>-18,8%</b>

No Cenário A os maiores incrementos em milhões de USD no valor das exportações brasileiras de açúcar são dados pelas regiões AFR e ROE, onde as ampliações da produtividade nesses locais não são suficientes para tornar o produto mais competitivo que o de origem brasileira. As reduções de preços do açúcar brasileiro favorecem a importação das regiões que ampliam seu consumo e, conseqüentemente, seu bem-estar.

As regiões CHN, EUR e IND, ampliam suas produções devendo suprir, ou chegar próximo a suprir as demandas internas, o que justificam fortes quedas nos preços destas regiões, em especial CHN e IND.

A região REA, onde países como a Arábia Saudita têm como prática de mercado importar açúcar bruto, em especial do Brasil, e exportar açúcar refinado para o mercado Europeu, também reduz as importações de açúcar brasileiro. Tal redução reforça a posição,

anteriormente apresentada, a região EUR fique próxima de suprir sua demanda apenas com a oferta interna.

Nos Cenários B e C há um crescimento mais acentuado da oferta de açúcar nas regionais e no mercado mundial, e os preços se reduzem ainda mais frente ao Cenário A. Mesmo havendo exportações de açúcar brasileiro para todas as regiões, em todos os cenários ocorre uma variação negativa do valor total das exportações do setor SGR. A exceção é a região EUR. Apesar do choque de produtividade na EUR ser maior no Cenário C, tal choque também é maior neste cenário em todas as regiões. Ainda, o incremento no nível do choque entre os Cenários C e A é menor na EUR do que na maioria das demais regiões. Isso significa que as mudanças em preços relativos entre o açúcar doméstico e importado do Brasil no Cenário C na Europa acabam favorecendo o produto brasileiro. Esse resultado é consequência não apenas das mudanças em produtividade nessas duas regiões, mas também nas demais, que passam a importar menos do Brasil.

Em milhões de USD, para os Cenários A, B e C o Brasil registra variações totais de exportações de aproximadamente 36,5, -151,2 e -187,6 milhões de USD, ou +3,7%, -15,1% e -18,8% respectivamente.

Os choques de produtividade dos Cenários A, B e C atingem com maior intensidade o próprio Setor C\_B e o seu principal consumidor, o setor SGR. Contudo, como tais setores também estão relacionados aos demais setores da economia, seja pela competição por insumos e fatores produtivos, seja por participarem da cesta de consumo das famílias e do consumo intermediário dos demais setores, os choques de produtividade acabam gerando efeitos que se estendem à toda a economia.

Como o PIB (Produto Interno Bruto) é representado, pela ótica do dispêndio, pela soma de todos os bens e serviços finais produzidos por uma região em um determinado período, os choques de produtividade propostos pelos Cenários A, B e C afetam os volumes de bens produzidos e serviços realizados influenciando de diferentes formas nas diversas regiões do globo. A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos no modelo GTAP9inGAMS para a variação no PIB das regiões estudadas devido aos choques de produtividade promovidos pelos Cenários A, B e C para o ano base 2011.

Observa-se que, para todos os cenários, há uma variação positiva no PIB, com exceção da região REA para o Cenário C. Na média dos cenários as variações positivas mais significativas ocorrem nas regiões AFR (+0,34%), IND (+0,32%) e CHI (+0,21%), que terão maiores produções e os menores preços dos mercados internos e externos possibilitarão maior consumo, ampliando a produção e movimentação de bens e serviços.

Considerando o PIB do Brasil em 2011 de 2.475.066 milhões de USD (BCB, 2011), e as respostas do modelo GTAP, para os Cenários A, B e C, têm-se como resultados de variação do PIB brasileiro em +1.213, +1.782 e +2.351 milhões de USD. É importante ressaltar que frente ao PIB brasileiro tais resultados representam pequenas variações, da ordem de 0,049% a 0,094%. No entanto, considerando que a participação do PIB do setor sucroenergético é de 2% no PIB nacional, as variações promovidas pelos cenários resultariam em ganhos entre 2,45% a 4,74% do valor do PIB deste setor.

Observa-se também que os choques de produtividade promovidos pelos Cenários A, B e C ocasionaram pequenas variações percentuais no PIB brasileiro para o ano de 2011, no entanto, evidenciam que os choques propostos pelos cenários promovem ganhos agregados para a economia brasileira, sendo ampliados à medida que os cenários se tornam mais severos no que tange as mudanças climáticas.

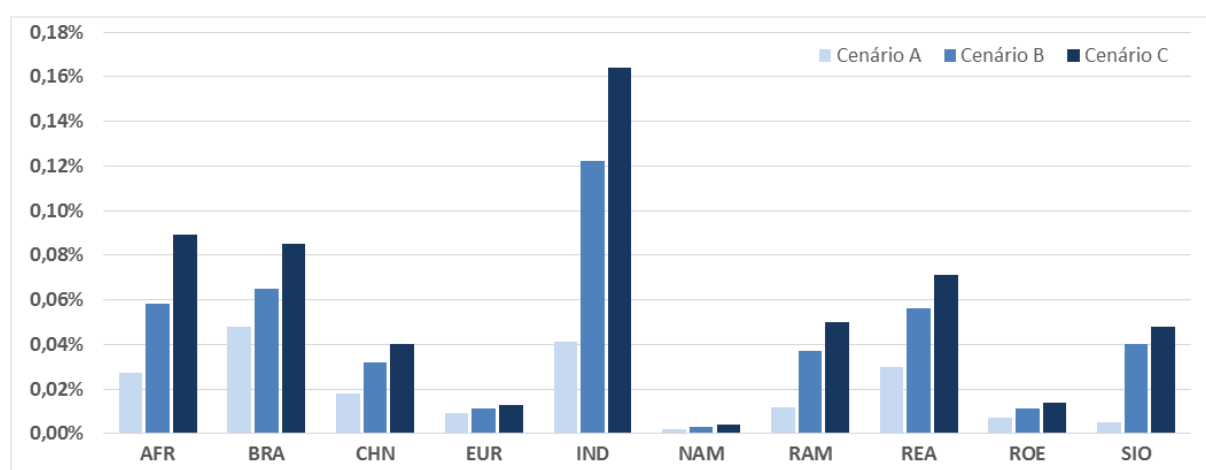
**Tabela 8.** Variação percentual no PIB das regiões estudadas aplicando os Cenários A, B e C ao modelo GTAP9inGAMS, utilizando o ano base 2011

REGIÃO	Cenário A	Cenário B	Cenário C
AFR	0,03%	0,05%	0,95%
BRA	0,05%	0,07%	0,29%
CHN	0,02%	0,03%	0,58%
EUR	0,01%	0,01%	0,14%
IND	0,05%	0,14%	0,77%
NAM	0,00%	0,00%	0,02%
RAM	0,01%	0,04%	0,13%
REA	0,03%	0,05%	-0,27%
ROE	0,01%	0,01%	0,03%
SIO	0,01%	0,04%	0,17%

Outro ponto importante a se observar é que, somadas as diferenças das variações de valor de produção entre os cenários C e A, para os setores C\_B e SGR, que resulta em - 0,41 bilhões de USD, este é um valor muito inferior à variação no PIB entre os mesmos cenários (total de 1,14 bilhões de USD). Isso nos permite dizer que a medida que se aumentam as produtividades entre os cenários e, consecutivamente, a produção de cana-de-açúcar no Brasil, os ganhos dos setores C\_B e SGR em conjunto produzem uma geração de riquezas que é redistribuída para os outros setores da economia.

Esse resultado é reforçado ao analisar-se os impactos dos três cenários de variação do bem-estar, apresentados no Gráfico 6. Os ganhos de bem-estar indicam um aumento no consumo agregado das famílias, oriundo primariamente dos menores custos de produção de cana-de-açúcar e beterraba açucareira e maiores ofertas do produto açúcar, e, em segundo lugar, dos desdobramentos desses efeitos sobre toda a economia.

Em comparação às demais regiões estudadas, o Brasil é uma das que mais se aproveita dos ganhos dos choques de produtividade promovidos pelos três cenários, ficando atrás apenas da Índia e da África. Esse bom resultado, apesar dos choques terem menor intensidade para o Brasil, deve-se à maior importância da cadeia sucroalcooleira na economia do Brasil.



**Gráfico 6.** Variação no bem-estar das regiões estudadas aplicando os Cenários A, B e C ao modelo GATP9inGAMS, utilizando o ano base 2011



## CONCLUSÕES

O presente estudo investigou os potenciais impactos das mudanças em produtividade das culturas açucareiras, decorrentes das mudanças climáticas, sobre a economia mundial e do Brasil. Para tal, foi realizada uma extensa revisão de literatura sobre estudos que estimaram os prováveis impactos de aumento em temperatura e concentração de CO<sub>2</sub> sobre a produtividade de culturas açucareiras, e posteriormente implementou-se em um modelo de equilíbrio geral computável choques refletindo tais mudanças em produtividade.

A revisão da literatura sobre impactos das mudanças climáticas nas culturas açucareiras indica que mudanças futuras no clima implicarão em ganhos de produtividade para as culturas de cana-de-açúcar e beterraba açucareira em diversas regiões do globo. Considerando os cenários e regiões estudadas, em média as mudanças climáticas promoverão ganhos mínimo, médio e máximo sobre a produtividade da cultura de cana-de-açúcar respectivamente da ordem de +6%, +12% e +15%, e para a cultura de beterraba açucareira de 11,5%, 13,5% e 15,5%.

No Brasil, a cana-de-açúcar poderá alcançar ganhos de produtividade entre 4% e 8%. Esses resultados consideram processos relativos à decomposição da palha e ao ciclo do nitrogênio no solo e na planta. Tais resultados deixam claro que a adaptação da cultura de cana-de-açúcar ao clima futuro seja no Brasil, ou nas demais regiões do globo, seguramente precisará levar em conta questões de manejo agrônomo e nutricional.

Os choques de produtividade foram aplicados ao modelo GTAPinGAMS, sendo três cenários avaliando choques mínimo, médio e máximo de produtividade sobre as culturas açucareiras (A, B e C). Como resultado, os cenários provocaram a diminuição na área e valor de produção da cana-de-açúcar e da beterraba açucareira e, conseqüentemente, aumento no volume e no valor da produção de açúcar. O PIB global e bem-estar nos países de produção de açúcar experimenta um pequeno aumento, uma vez que a participação desses setores no PIB é pequena.

Estes resultados permitem concluir que as mudanças climáticas, no médio prazo, não serão prejudiciais para os mercados de açúcar. No entanto os trabalhos que foram utilizados como base para a elaboração dos cenários têm como ano base de análise o ano de 2050. O avanço das mudanças climáticas no longo prazo pode trazer impactos mais severos às culturas e promover mudanças significativas nos mercados. Outro ponto de observação se dá na necessidade de refinamento dos estudos sobre os impactos das mudanças climáticas sobre as culturas agrícolas, regionalizando ainda mais as pesquisas, e considerando os impactos das mudanças climáticas sobre o manejo varietal, nutricional e agrônomo, que muito podem influir nos resultados de produção de agrícola e, consecutivamente, de PIB e bem-estar.

No caso do Brasil, para todos os cenários estudado houve incremento no valor da produção do setor açucareiro e ganhos de PIB e bem-estar. A produção setorial de açúcar tem como resultados variação do valor de produção entre 1% a 2% sobre a economia do ano base de 2011, valor total de produção do setor entre 15,1 e 15,5 bilhões de USD. Para o PIB as variações obtidas entre os cenários foram de 0,05% a 0,29%, ou ganhos de 1,2 a 7,2 bilhões de USD para o ano de 2011, onde o PIB total foi de 2.475 bilhões de USD. O ganho do bem-estar do cidadão brasileiro variou de 0,03% a 0,10% acompanhando os ganhos no PIB.

Vale ressaltar que para este estudo não foram contemplados os choques de produtividade das mudanças climáticas sobre a pecuária e outras importantes culturas agrícolas, que podem ser significativamente influenciadas e seus impactos promoverem novas relações de concorrência por capital, trabalho e terra, frentes às culturas avaliadas neste trabalho, alterando os resultados aqui obtidos.

Assim como Ferreira Filho e Moraes (2014), os resultados deste trabalho apontam que as mudanças climáticas trarão impactos relativamente pequenos no longo prazo. Os trabalhos

divergem quanto a ganhos e perdas, uma vez que este trabalho apresenta resultados de pequenos ganhos no PIB, enquanto Ferreira Filho e Moraes (2014), apresenta resultados de pequenas perdas. Como comentado anteriormente, tais diferenças podem provir de diferentes choques de produtividades aplicados sobre os modelos, do grupo de culturas avaliado, ou da região de abrangência do trabalho (escala global, ou nacional).

Tal como observado por Relly (2007), os efeitos econômicos regionais se mostram fortemente influenciados por relações comerciais, respondendo de forma pouco dependente aos choques de produtividade atuantes sobre as culturas estudadas neste trabalho. Também alinhado às conclusões de Relly (2007), observou-se que o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera em função das mudanças climáticas pode trazer efeitos positivos para as produtividades de culturas agrícolas, como o caso aqui apresentado para a cana-de-açúcar e da beterraba açucareira em várias regiões. Ademais concorda-se que as culturas agrícolas têm potencial de se adaptar com sucesso aos futuros cenários climáticos, sem mobilidade de áreas, e mantendo os padrões de produtividade, fazendo necessário para tanto o aporte de recursos em pesquisa direcionada.

Para futuros trabalhos deve-se considerar que existem diversas incertezas sobre os choques de produtividade decorrentes das mudanças climáticas nas mais diversas regiões e produções agropecuárias, que acaba por afetar a capacidade da simulação dos impactos econômicos através de modelagem. Sugere-se a incorporação de novas culturas agrícolas e da pecuária aos cenários, buscando também trabalhos mais regionalizados sobre os impactos do clima futuro sobre a produtividade, de modo a melhor caracterizar a conjuntura agrícola mundial e suas relações. Sugere-se também a adoção de modelos econômicos dinâmicos visando representar as alterações nas relações econômicas em decorrência das mudanças climáticas ao longo do tempo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BIGGS, J.S.; THORBURN, P.J.; CRIMPB, S.; MASTERS, B.; ATTARDD, S.J. Interactions between climate change and sugarcane management systems for improving water quality leaving farms in the Mackay Whitsunday region, Australia. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 180, p. 79–89, 2013.
- BROOKE, A.; KENDRICK, D.; MEERAUS, A.; RAMAN, R. **GAMS: A User's Guide**. GAMS Development Corporation. 262p, 1998.
- DONATELLI, M.; TUBIELLO, F.N.; PERUCH, U.; ROSENZWEIG, C. Impacts of Climate Change and Elevated CO<sub>2</sub> on Sugar Beet Production in Northern and Central Italy. **Italian Journal of Agronomy**, v. 6, n. 2, p. 133–142, 2002.
- EVANGELISTA, B.A., MARIN, F.R.; JUNIOR, J.Z. **Impacto das mudanças climáticas sobre a produção de cana-de-açúcar no estado de goiás**. In: XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia (Anais do Congresso), n. 16, Belo Horizonte – MG, 2009, p. 5-10.
- FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Outlook Fiesp 2025: projeções para o agronegócio brasileiro**. Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. - São Paulo: FIESP, 2015. 92 p. : il.
- FERREIRA FILHO, J. B. D. S.; MORAES, G. I. DE. Climate change, agriculture and economic effects on different regions of Brazil. **Environment and Development Economics**, v. 20, n. 01, p. 37–56, 2014.
- GHANNOUM, O.; CAEMMERER, S. VON; ZISKA, L. H.; CONROY, J. P. **The growth response of C4 plants to rising atmospheric CO<sub>2</sub> partial pressure: a reassessment**, **Plant. Cell and Environment**, v.23, p.931-942, 2000.

- GURGEL, A.C. Impactos da integração comercial sobre a agricultura familiar no Brasil. **Pesquisa e planejamento econômico**, v. 37, n. 1, p. 21–74, 2007.
- HERTEL, T. W. (Ed.). **Global trade analysis: modeling and applications**. Cambridge University Press, Cambridge and New York, 1997.
- 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 [BARROS, V.R.; DOKKEN, D.J. [Orgs]. Cambridge University Press, 2014. v. Part A.
- JONES, P.D.; LISTER, D.H., JAGGARD, K.W.; PIDGEON, J.D. Future climate impact on the productivity of sugar beet (*Beta Vulgaris L.*) in Europe. **Climatic Research Change**, v. 58, n. 1, p. 93–108, 2003.
- KIMBALL B.A., BERNACCHI C. J. Evapotranspiration, Canopy Temperature, and Plant Water Relations in Managed Ecosystems and CO<sub>2</sub>, ed. by Prof Dr Josef Nösberger, Prof Dr Stephen P. Long, Prof Dr Richard J. Norby, Prof Dr Mark Stitt, Prof Dr George R. Hendrey, and Dr Herbelt Blum. **Ecological Studies**, 187 (Springer Berlin Heidelberg, 2006), pp. 311–324, 2006.
- KNOX, J.W.; Rodríguez Díaz, J.A.; Nixon, D.J.; Mkhwanazi, M. A preliminary assessment of climate change impacts on sugarcane in Swaziland. **Agricultural Systems**, v. 103, n. 2, p. 63–72, 2010.
- LEAKEY, A.D.B. Rising Atmospheric Carbon Dioxide Concentration and the Future of C4 Crops for Food and Fuel. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v.276 p.2333, 2009.
- MARCHIORI P.E.R. **Variação da fotossíntese no dossel de variedades de cana-de-açúcar**. 2010. 178p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2010.
- MARIN, F.R.; GIAMPAOLO, Q.; PELLEGRINO, F. A.; E.D.; ASSAD, D.S.P.; NASSIF, M.S.V; VIANA, F.A.S.; LÍRIA, L.; CABRAL, D.G. **Cenários futuros para cana-de-açúcar no Estado de São Paulo baseados em projeções regionalizadas de mudanças climáticas**. In: XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia (Anais do Congresso), n. 16, Belo Horizonte – MG, 2009, p. 1-5.
- MARIN F.R.; JONES, J.W.; ROYCE, F. ASSAD, E.D. PELLEGRINO, G.Q.; JUSTNO, F. Climate change impacts on sugarcane attainable yields in Southern Brazil. **Climatic Change**, London v.1, p.101-110, 2012.
- MARIN, F.R. **Eficiência de produção da cana-de-açúcar brasileira: estado atual e cenários futuros baseados em simulações multimodelos**. 2014. 263 f. Tese. (Tese de Livre Docência em Agrometeorologia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2014.
- NARAYANAN, G.; BADRI, A.A.; ROBERT M., Eds. **Global Trade, Assistance, and Production: The GTAP 9 Data Base, Center for Global Trade Analysis**. Purdue University, 2015.
- NEVES, M.F.; TROMBIN, V.G. **A Dimensão do setor sucroenergético - Mapeamento e quantificação da safra 2013/14**. Ribeirão Preto: Markestrat, Fundace, FEA-RP/USP, 2014. 45 p.
- OECD/FAO. **OECD-FAO Agricultural Outlook 2015**. Paris: OECD Publishing, 2015.
- PBMC, 2013: **Contribuição do Grupo de Trabalho 2 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**. Sumário Executivo do GT2. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 28 p.

- REILLY, J. et al. Global economic effects of changes in crops, pasture, and forests due to changing climate, carbon dioxide, and ozone. **Energy Policy**, v. 35, n. 11, p. 5370–5383, 2007.
- RICHTER, G. M.; QI, A.; SEMENOV, M.A.; JAGGARD, K.W. Modelling the variability of UK sugar beet yields under climate change and husbandry adaptations. **Soil Use and Management**, v. 22, n. 1, p. 39–47, 2006.
- RUTHERFORD, T. F. *Applied general equilibrium modeling with MPSGE as a GAMS subsystem: an overview of the modeling framework and syntax*. Computational Economics, v. 14, n.1, p. 1-46, 1999.
- RUTHERFORD, T. F. *Extensions of GAMS for complementarity problems arising in applied economics*. Journal of Economic Dynamics and Control, v.19, n.8, p. 1299-1324, 1995.
- RUTHERFORD, T. F.; PALTSEV, S. V. *GTAPinGAMS and GTAP-EG: global datasets for economic research and illustrative models*. Working Paper, Department of Economics, University of Colorado, 64 p., 2000.
- SHOVEN, J.B.; WHALLEY, J. *Applying General Equilibrium*, Cambridge Surveys of Economic Literature, Cambridge University Press, 1998.
- SINGELS, A.; JONES, M.; MARIN, F.; RUANE, A.; THORBURN, P. Predicting Climate Change Impacts on Sugarcane Production at Sites in Australia, Brazil and South Africa Using the Canegro Model. **Sugar Tech**, v. 16, n. 4, p. 347–355, 2014.
- SINGH, B.; EL MAAYAR, M. Potential impacts of greenhouse gas climate change scenarios on sugar cane yields in Trinidad. **Tropical Agriculture**, v. 75, n. 3, p. 348–354, 1998.
- STRICEVIC, R.J.; VUJADINOVIC, M.P.; DUROVIC, N.L.; COSIC, M.; VUKOVIC, A.J.; PEJIC, B. Application of AquaCrop model for yield and irrigation requirement estimation of sugar beet under climate change conditions in Serbia. **Journal of Agricultural Sciences**, Belgrade, v. 59, n. 3, p. 301–317, 2014.
- SUPIT, I.; DIEPENB, C.A.; WIT, A.J.W.; WOLF, J.; KABAT, P., BARUTHC, B.; LUDWIGA, F. Assessing climate change effects on European crop yields using the Crop Growth Monitoring System and a weather generator. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 164, p. 96–111, 2012.
- UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR – UNICA. **Sugarcane one plant, many solutions sugar, ethanol, bioelectricity & beyond**. 2015. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/documentos/publicacoes/>>. Acesso em: 12/01/2016.