



Projeção populacional, mudanças climáticas e efeitos econômicos: uma avaliação a partir de blocos econômicos agrícolas

Weslem Rodrigues Faria*
Fernando Salgueiro Perobelli**
Daniele Lima de Oliveira Souza***

A trajetória populacional futura e as mudanças climáticas são aspectos que geram incertezas quanto aos seus prováveis efeitos sobre a economia, especialmente a produção agrícola e indústria de alimentos. O artigo simula os efeitos de cenários populacionais e um de mudanças climáticas a partir do modelo de equilíbrio geral computável GTAP. É construída uma versão do GTAP 10 para reconhecer as atividades da agropecuária e silvicultura e indústria de alimentos, além de oito regiões denominadas blocos econômicos agrícolas, construídos a partir de técnicas de análise multivariada. As simulações dinâmicas do desvio acumulado entre o *baseline* e os cenários de política até 2050 apontaram, isoladamente, efeitos negativos generalizados das mudanças climáticas sobre o PIB e atividades econômicas dos blocos. Os resultados dos cenários populacionais indicaram que os blocos constituídos por países mais ricos e com economias mais diversificadas tenderiam a ganhar em detrimento dos demais em termos de PIB. Por outro lado, seria incentivada, de forma generalizada, a produção da agropecuária e silvicultura e da indústria de alimentos dos blocos. Em termos conjuntos, os efeitos negativos das mudanças climáticas tenderiam a superar os efeitos positivos dos cenários populacionais e de forma mais intensiva naqueles que projetam menor crescimento populacional.

Palavras-chave: Projeção populacional. Mudanças climáticas. Blocos econômicos agrícolas. Efeitos econômicos.

* Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Juiz de Fora-MG, Brasil (weslem.faria@ufjf.edu.br; <https://orcid.org/0000-0002-4398-3321>).

** Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Juiz de Fora-MG, Brasil (fernandosalgueiro.perobelli@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-2364-8865>).

*** Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Juiz de Fora-MG, Brasil (daniele.limolisouza@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0823-6037>).

Introdução

As questões que permeiam as discussões sobre oferta de alimentos e crescimento populacional estão, em geral, ligadas à conservação da sobrevivência humana. Acredita-se que, à medida que as práticas agrícolas e da domesticação de animais evoluíram, as necessidades básicas da população foram sendo asseguradas, permitindo sua expansão (COLLINS, 2012; TORREY; TORREY, 2015).

Thomas Malthus foi um dos precursores na discussão sobre os efeitos do crescimento desequilibrado da população na economia. Sua visão era de que, devido ao desgaste dos nutrientes, à limitação na quantidade de terras férteis disponíveis e à expansão da demanda, o crescimento do número de indivíduos conduziria ao aumento da ocupação de terras menos férteis e, conseqüentemente, à produção insuficiente de alimentos. Apesar da relevância dessas constatações, com a revolução industrial, a urbanização, o controle de natalidade e o surgimento da indústria alimentícia, a teoria malthusiana se tornou, naquele ponto, obsoleta (THOMPSON, 1928; DAVIS, 1945). Outras questões tomaram lugar nas discussões econômicas, mas a relação “crescimento populacional e produção de alimentos (em especial a produção agrícola)” nunca foi excluída por completo (LEWIS, 1955; KUZNETS, 1971; ROSTOW, 1960).

Segundo a Divisão Populacional das Nações Unidas (UNITED NATIONS, 2019b), o mundo pode abrigar cerca de 7,8 bilhões de pessoas até o final de 2020. Isso equivale a uma população quase três vezes superior à de 1950. Estima-se que a tendência de crescimento seja contínua e, considerando uma variação média de fecundidade, em 2050 poderá haver 9,3 bilhões de pessoas no planeta. No entanto, apenas 40% da superfície terrestre do globo é usada para agricultura (FAO, 2020).

Sabendo desta contínua expansão da população e da relação existente entre a mesma e a produção de alimentos, um dos desafios empreendidos neste artigo é mensurar os efeitos da expansão populacional para os períodos futuros (2015-2050) sobre a produção agrícola e de alimentos. Espera-se que, quanto maior for a população, maior será a necessidade de intensificar as atividades agrícolas (BOSERUP, 1965; HAYAMI; RUTTAN, 1970; VAN MEIJL *et al.*, 2006; FEDOROFF *et al.*, 2010; GODFRAY *et al.*, 2010).

De acordo com as estimativas de Fuglie *et al.* (2012) acerca do crescimento médio da produtividade total dos fatores (PTF) da agropecuária e as estimativas de crescimento populacional das Nações Unidas (UNITED NATIONS, 2019a), a PTF da agropecuária mundial aumentou, em média, 7,17% entre 1961 e 2009, enquanto o crescimento populacional mundial médio foi de 16,59% entre 1960 e 2010. Considerando-se os mesmos períodos para as estimativas da PTF da agropecuária e de crescimento populacional em diferentes regiões, têm-se, respectivamente, os seguintes valores: 7,17% e 19,87% para as regiões em desenvolvimento ou menos desenvolvidas; 2,38% e 26,70% para a África Sub Saariana; 8,08% e 19,73% para a América Latina e Caribe; 10,52% e 19,95% para o Brasil; 9,01% e 21,07% para a Ásia (exceto Ásia Oriental); 10,47% e 14,58% para a China; 8,31% e 24,28%

para a Ásia Oriental e Norte da África; 8,66% e 5,96% para as regiões desenvolvidas ou mais desenvolvidas; 8,65% e cerca de 11% para Estados Unidos e Canadá; 6,68% e cerca de 4,5% para a Europa Oriental e Central; e 4,1% e 3,02% para a Europa Ocidental.

Tendo em vista que as atividades agrícolas de cada região são diferenciadas, não seria possível encontrar uma compatibilidade nos resultados entre os países, mesmo tendo eles um grau de desenvolvimento similar. Por isso, o presente artigo mensura não os níveis de eficiência, mas sim o nível de produção da agropecuária e silvicultura e da indústria de alimentos, considerando um cenário mundial cujos países são classificados de acordo com suas semelhanças nas atividades agrícolas.

A categorização de blocos econômicos, já consolidados de forma internacional, como Mercosul, União Europeia, Bric ou até mesmo a divisão da amostra entre países desenvolvidos e em desenvolvimento, poderia ser considerada uma classificação arbitrária, pois na definição destes não foram incluídas apenas características econômicas, mas também atributos políticos, sociais e de proximidade geográfica. Assim, uma vez que esta investigação tem como foco a produção agrícola de alimentos, propõe-se uma desagregação do mundo em blocos de países de acordo com suas semelhanças nessas atividades, chamados de blocos econômicos agrícolas (BEA). Para tanto, foram utilizadas duas técnicas de análise multivariada (AM): análise de *cluster* (AC) e análise discriminante (AD).

Em geral, estudos empíricos mostram que, quando se deseja classificar países de acordo com suas semelhanças, faz-se o uso dos métodos de AM (em especial AC), como em Curi (1993), Leite *et al.* (2001), Aküinal e Erol (2016), Tolentino *et al.* (2017), entre outros. Já a AD é usada como um “*check up*” detalhado, uma vez que seu algoritmo permite observar as probabilidades de pertencimento de cada objeto ao seu *cluster*.

Após os procedimentos da AM, foram feitas as simulações de crescimento populacional. Para tanto, foi utilizado o *Global Trade Analysis Project* (GTAP) versão 10, a mais recente, com dinâmica recursiva. Em seu banco de dados são encontradas para cada país informações de produção, demanda dos fatores, salários, impostos, etc. Por ser um modelo de equilíbrio geral, o mesmo está em linha com os objetivos deste artigo, por captar seja as interdependências setoriais e/ou espaciais, seja os efeitos encadeados do choque para as diversas economias.

De forma a tornar a análise mais completa, foram realizadas projeções econômicas dos efeitos de mudanças climáticas. Como o artigo procura avaliar efeitos econômicos de projeções populacionais, especialmente sobre atividades agrícolas e de alimentos, faz sentido analisar os possíveis impactos das mudanças climáticas sobre a produtividade da terra. A literatura acerca da estimação de tais efeitos é ampla. Os trabalhos de Easterling e Wehner (2009), Gornall *et al.* (2010), Lobell e Gourdji (2012), Assunção e Chein (2016) e Tanure (2020) apresentam um detalhamento sobre os tipos de modelos, abordagens e pressupostos que foram utilizados nas estimativas. Uma das abordagens mais utilizadas é a ricardiana (preços hedônicos) do uso da terra (MENDELSON, 1994), em que fatores biofísicos, como tipos de solo e regimes de chuvas segundo estações,

são levados em conta. Essa análise baseia-se em modelos econométricos em que os produtores objetivam maximizar suas funções de receita de acordo com a alocação da terra nos diferentes usos possíveis. Tal abordagem já foi extensivamente aplicada para o Brasil (SANGHI *et al.*, 1997; TIMMINS, 2006; SANGHI; MENDELSONH, 2008; FÉRES *et al.*, 2009; FARIA; HADDAD, 2017).

Em geral, as pesquisas a respeito das atividades agrícolas, usando modelos de equilíbrio geral computável (EGC), estão relacionadas ao meio ambiente, à emissão de gases de efeito estufa, ao uso do solo, entre outros (BURNIAUX, 2002; LEE, 2009; HEISTERMANN *et al.*, 2006; VAN MEIJL *et al.*, 2006; FARIA; HADDAD, 2017; TANURE, 2020). Já em relação ao GTAP, podem-se destacar pesquisas sobre comércio internacional e competitividade (FIGUEIREDO *et al.*, 2001; GURGEL; CAMPOS, 2006, PEROBELLI *et al.*, 2017). Os trabalhos de Barbieri *et al.* (2010) e Ferreira Filho e Horridge (2018) utilizaram modelos EGC para analisar efeitos de mudanças climáticas e migração para o Brasil.

As principais contribuições do artigo residem em alguns aspectos. Inicialmente, realizou-se uma classificação de regiões mundiais de acordo com suas características agrícolas e aplicação da mesma para análise com o GTAP. Tal procedimento é alternativo à análise similar mais comum baseada em zonas agroecológicas realizada por Lee (2009). Em segundo lugar, foram feitas simulações para projetar efeitos econômicos de diferentes cenários futuros acerca da trajetória populacional e de um cenário de mudanças climáticas. Os resultados podem ser observados de forma conjunta ou isolada. Em terceiro lugar, a narrativa do artigo baseia-se nos impactos para os blocos também sobre a perspectiva das atividades da agropecuária e silvicultura e da indústria de alimentos. Portanto, tem-se uma discussão entre cenários populacionais (e de mudanças climáticas) e de produção e comércio de bens agrícolas primários e alimentos processados. Não foram encontrados trabalhos na literatura que realizaram esses procedimentos e análises.

Além desta introdução, o artigo possui mais quatro seções. A seguir apresentam-se as metodologias utilizadas. Posteriormente são descritos os cenários utilizados, analisados os resultados e, por fim, tecidas as considerações finais.

Metodologia

Análise multivariada (AM)

Análise de cluster (AC)

A função dessa análise é particionar os 100 países da amostra em grupos distintos, com base na sua similaridade agrícola e da terra, a partir das 15 variáveis específicas apresentadas no Quadro 1. O objetivo é maximizar a homogeneidade intragrupo e a heterogeneidade intergrupo (JOHNSON; WICHERN, 2007; MINGOTI, 2007). A AC foi aplicada para 2004, sendo necessárias quatro etapas para se chegar à partição

final: escolha do critério de dissimilaridade; aplicação dos métodos de aglomeração hierárquicos; testes para decisão (*pseudo-F* e *pseudo-T*); e processo de aglomeração não hierárquico.

A relação entre as observações é medida por suas dissimilaridades. O primeiro passo da AC é a definição deste critério. Segundo Kageyama e Leone (1999), a medida mais usual de distância utilizada neste critério é a euclidiana. Neste caso, quanto menor ela for, mais semelhantes serão os indivíduos. Essa foi a medida utilizada.

Após a definição do critério de dissimilaridade, o próximo passo é a seleção da técnica de aglomeração, que é dividida em métodos hierárquicos e não hierárquicos. O artigo utiliza as duas técnicas. Para a primeira, são escolhidos os métodos aglomerativos, que iniciam o processo com objetos individuais executando uma série de fusões até a similaridade diminuir, sendo que o restante é colocado em um só grupo. Já o método não hierárquico inicia-se com um número de grupos predefinidos. O objetivo é encontrar uma partição de n elementos e k clusters conservando a semelhança interna e isolando esses grupos que foram formados (JOHNSON; WICHERN, 2007). Além disso, é necessário definir quais são os k centroides iniciais para a implementação do método.

Ambos os métodos são aplicados para a seleção do melhor agrupamento de países. Primeiramente, são utilizados os métodos hierárquicos (*single linkages*, *complete linkages*, *average linkages* e *Ward*) e definida a partição dos grupos, de acordo com os testes *pseudo-F*¹ e *pseudo-T*.² Depois, essa mesma partição é utilizada para a definição dos centroides e aplicado o método não hierárquico (*k-médias*), de forma a definir a partição final dos elementos. O método não hierárquico K médias foi escolhido para determinar os clusters devido à interatividade envolvida no seu processo de estimação.

Análise discriminante (AD)

O propósito da análise discriminante (AD) é estimar a relação entre uma variável dependente categórica e um conjunto de variáveis independentes métricas. Os clusters identificados pela AC são transformados nessas variáveis categóricas não métricas e as 15 variáveis (Quadro 1), nas métricas. Este é um método para tratamento dos dados *a posteriori*, visando à validação de hipóteses levantadas a partir de outros métodos. Além disso, é capaz de descrever as diferenças entre os grupos e explorar tais diferenças ao classificar as novas observações como membros em um dos grupos já existentes (JOHNSON; WICHERN, 2007).

¹ Proposto por Caliński e Harabasz (1974). Este teste é baseado na variância entre os grupos em cada nível de agregação. O valor alto do teste é desejável. A implicação é a rejeição da hipótese de homogeneidade entre os grupos criados.

² Proposto por Duda e Hart (1973). O valor alto do teste não é o desejável, pois implicaria a rejeição da hipótese de que os elementos intragrupos são semelhantes.

Em outras palavras, a AD é utilizada para comparar as diferenças entre os *clusters* (definidos para 2004), reclassificando os países no grupo com perfil mais semelhante em 2011. Dessa forma, é possível encontrar países em “transição” no período de 2004 a 2011. Esse termo é dado a países que foram classificados no período inicial (2004) em um determinado *cluster*, mas no período final (2011) são mais semelhantes a outro *cluster*. As etapas para a aplicação da AD podem ser divididas em: estimar a taxa de erro aparente (Aper); método de Holdout de Lahenbruch;³ matriz de confusão; e tabela dos erros de classificação.

Base de dados

As variáveis escolhidas para o uso das técnicas de AM foram aquelas utilizadas pelo Banco Mundial (WORLD BANK, 2020) e FAO (2020) para caracterizar o setor agrícola. Esses dados são referentes a 2004 e 2011.⁴ Inicialmente, a amostra era composta por 140 países e 15 variáveis. No entanto, as técnicas de AM empregadas são sensíveis à presença de *outliers* e *missings*. Dessa forma, optou-se por fazer uma triagem da base de dados para detecção destes, resultando em uma amostra global final de 100 países. Os *outliers* foram colocados como “restante do mundo”.

Com as definições dadas pelo Banco Mundial às 15 variáveis, optou-se por dividi-las em três categorias: variáveis de oferta, que dizem respeito à disponibilidade de terra e oferta de recursos; variáveis de produção, que são aquelas que buscam caracterizar o ambiente produtivo pelo lado tanto dos insumos quanto de produtos; e variável de inserção internacional, que caracteriza os países dentro do mercado agrícola internacional (Quadro 1). O teste de Hotelling mostrou que as médias de todas as variáveis são diferentes, com 10% de significância, e que as médias de 2004 são distintas daquelas referentes a 2011. Além disso, a normalidade bivariada das variáveis (teste de normalidade Shapiro-Wilk) também foi encontrada.

³ O método tradicional de Aper subestima as taxas de erro. Por isso, foi utilizado outro método de discriminação, chamado método de Holdout de Lachenbruch, que consiste em uma validação cruzada.

⁴ A AM foi realizada para esse período para captar possíveis mudanças estruturais entre 2004 e 2011, e não foram observadas mudanças significativas entre os dados de 2011 e 2014. Esse último representa o ano de calibragem do modelo EGC utilizado.

QUADRO 1
Descrição das variáveis utilizadas nas técnicas de AM

	Variáveis	Descrição
Oferta	Terra arável (1)	Terrenos ocupados por culturas temporárias com relva ou pasto, hortas e terrenos temporariamente em pouso. São excluídos terrenos abandonados.
	Terras de cultivo permanente (1)	Terras com plantações que as ocupam por longos períodos e não precisam ser replantadas após a colheita. Incluem-se terras sob arbustos, árvores frutíferas, noqueiras e videiras. Excluem-se árvores cultivadas para extração madeira.
	Terras agrícolas (1)	% da área de terra arável, com culturas e pastagens permanentes, isto é, terras usadas para cinco ou mais anos de forragem, culturas naturais e cultivadas.
	Áreas de floresta (1)	% de terra sob florestas naturais ou plantadas com árvores de pelo menos cinco metros. Excluídas árvores em produção agrícola, em parques e jardins.
	Fonte de água potável (% da população rural com acesso)	% da população rural que utiliza uma fonte melhorada de água potável, isto é, inclui água canalizada, torneiras públicas ou chafarizes, poços tubulares, etc.
	Crescimento da população rural (2) e população rural (3)	Pessoas que vivem em áreas rurais. Esta variável é calculada como a diferença entre a população total e a urbana.
Produção	Índice de produção vegetal (4)	Mostra a produção agrícola para cada ano em relação ao período base 2004-2006. Incluem-se todas as culturas. Exceto culturas forrageiras.
	Índice de alimentos (4)	Culturas consideradas comestíveis e que contenham nutrientes. Café e chá são excluídos, pois, embora comestíveis, não apresentam valores nutritivos.
	Índice de produção de gado (4) (5)	Incluem-se produção de carne e leite de todas as fontes, produtos lácteos, ovos, mel, seda crua, lã, couros e peles de animais.
	Valor adicionado agrícola (6)	Produção líquida de um setor após somada toda a produção e subtraídos os insumos intermediários. Calculado como % do PIB.
	Consumo de fertilizantes	Calculado pelo quilograma de fertilizante por <i>hectare</i> de terra arável, dividido pela quantidade em quilos de cereais produzida por <i>hectare</i> . Mede a quantidade de nutrientes das plantas por terra arável.
	Índice de produtividade da terra	Calculado pelo rendimento da produção de cereal (kg) produzido por <i>hectare</i> dividido pelo tamanho da terra (em <i>hectares</i>) sob a produção de cereais. O rendimento da produção de cereais é medido por quilograma por <i>hectare</i> de terra colhida.
Inserção internacional	Exportação e importação de produtos agrícolas	Em US\$. Compreendem a seção 2 SITC, exclusive as divisões 22, 27 e 28.

Fonte: Banco Mundial e Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) (WORLD BANK, 2020; FAO 2020). (1) % da área terrestre; (2) % anual; (3) % da população rural; (4) 2004-2006 = 100; (5) Este índice foi incluído uma vez que a produção pecuária é concorrente da produção agrícola pelo uso dos espaços de terra disponíveis. A primeira delas é responsável por ocupar terras que poderiam estar sendo utilizadas pela segunda; (6) Esse índice de produção é calculado pela FAO a partir dos valores em dólares internacionais, normalizados para o período base 2004-2006 (FAO, 2020).

O Global Trade Analysis Project (GTAP)

Características e base de dados

A versão 10 do modelo GTAP dinâmico foi utilizada para mensurar os impactos de projeções populacionais e mudanças climáticas. Originalmente, o GTAP 10 reconhece 65 *commodities*, 141 regiões mundiais e cinco fatores de produção (terra, trabalho qualificado,

trabalho não qualificado, capital e recursos naturais), sendo calibrado com informações de 2014.⁵ A avaliação dos preços no modelo é feita em termos relativos. A documentação completa deste modelo pode ser encontrada em Hertel (1997) e as informações sobre o banco de dados e as características do GTAP 10, bem como as mudanças realizadas em relação à versão anterior (GTAP 9), podem ser encontradas em Aguiar *et al.* (2019). A estrutura teórica do GTAP dinâmico é detalhada por Ianchovichina e McDougall (2000) e análises e informações complementares são descritas por Ianchovichina e Walmsley (2012).

Basicamente, o GTAP é um modelo de EGC multirregional e multissetorial, cujos mercados se encontram em concorrência perfeita e rendimentos constantes de escala. Dois tipos de equações regem o modelo. O primeiro é definido por relações contábeis, permitindo que as receitas sejam iguais às despesas, e o segundo baseia-se na teoria microeconômica, sendo responsável por descrever o comportamento dos agentes. Em geral, a base de dados consiste em matrizes de comércio bilateral e de transporte. Dessa forma, os fluxos de bens e serviços são dados em dólares para a economia mundial, incluindo compras domésticas, fluxos de comércio internacional pelas empresas, governo e famílias (em preços básicos e de mercado), estoque e capital, margens de comércio, depreciação de capital, poupança líquida, etc. Segundo Burfisher (2011), os aspectos inovadores deste modelo são a caracterização do setor privado pelas preferências homotéticas, o comércio bilateral (regido pelo pressuposto de *Armington*⁶) e um setor bancário global que intermedia poupança e consumo internacional.

Para atender às especificidades do artigo, as 141 regiões foram agregadas em oito regiões, seguindo os resultados da AM. Em cada região, as 65 *commodities* foram agregadas em três atividades produtivas: agropecuária e silvicultura; indústria de alimentos; e outras indústrias, comércio e serviços. A agregação seguiu os procedimentos descritos por Villoria e McDougall (2012). Essa agregação das atividades tem o objetivo de concentrar a análise sobre as atividades ligadas à produção de alimentos. A atividade agropecuária e silvicultura inclui toda a produção primária de culturas temporárias e permanentes, de produtos de origem animal e de extração vegetal, englobando 14 das 65 atividades do modelo. A indústria de alimentos considera toda a indústria de processamento de alimentos e bebidas, correspondendo a oito atividades das 65 do modelo original. As demais atividades foram agregadas em outras indústrias, comércio e serviços.

Vale destacar que apenas a atividade agropecuária e silvicultura utiliza terra no processo produtivo. O modelo GTAP empregado reconhece a terra como um fator primário de produção e tem equações que especificam o comportamento regional da demanda e oferta por ela. A oferta de terra é fixa regionalmente e os movimentos de demanda por terra ocorrem, basicamente, via variação de preços relativos dos fatores primários de produção. Se o seu preço tende a aumentar em termos relativos, a demanda por tal fator é passível

⁵ Tal modelo foi disponibilizado no final de 2019 e sua versão dinâmica entre meados de março e início de abril de 2020.

⁶ Um bem produzido em uma região é um substituto imperfeito para bens produzidos pela mesma indústria em outras regiões.

de redução, podendo ser substituída por outros fatores. A estratégia empregada no artigo de realizar uma agregação regional baseada em blocos econômicos agrícolas é justamente para que as características agrícolas e de uso da terra das regiões fossem consideradas pelo modelo. Por isso, não se utilizou uma versão do GTAP com módulo específico do uso da terra, como o modelo GTAP-AEZ (LEE, 2009).⁷

Acumulação de capital

A principal distinção entre a versão de estática comparativa e a de dinâmica recursiva do GTAP diz respeito à acumulação de capital. Na versão dinâmica, o capital possui mobilidade entre as regiões internacionais e ativos financeiros são considerados. O ativo financeiro é separado entre o proprietário do ativo e a sua localização, permitindo que as regiões acumulem não apenas capital físico, mas também sua propriedade (ativos financeiros). O modelo reconhece receitas e pagamentos como contrapartida dos ativos financeiros. Com isso, as principais características do GTAP dinâmico são o capital regional determinado endogenamente, investimentos e ativos internacionais, fluxo de renda e intrínseca dinâmica do estoque de capital físico e de ativos financeiros. Em termos técnicos, a principal distinção para outros modelos EGC dinâmicos é o tratamento do *tempo*. No GTAP dinâmico ele é considerado uma variável exógena. A seguir é descrita brevemente a equação de acumulação de capital e a mesma é implementada no modelo, sendo que todos os detalhes técnicos e motivações estão relatados em Ianchovichina e McDougall (2000).

Considerando o caso em que o tempo é contínuo, tem-se a seguinte equação para o estoque de capital:

$$QK^r = QK_0^r + \int_{\tau_0}^r I^r(\tau) d\tau \quad (1)$$

Onde: QK^r é o estoque de capital da região r ; QK_0^r é o estoque de capital do ano base (τ_0); e I^r é o investimento líquido.⁸ Após diferenciação total da equação (1) tem-se que:

$$QK^r \cdot \frac{qk^r}{100} = I^r \cdot tempo \quad (2)$$

Onde: qk^r é a variação percentual no estoque de capital da região r ; e *tempo* é a mudança no tempo. Ao multiplicar ambos os lados por 100 vezes o preço dos bens de capital, tem-se que:

$$VK^r \cdot qk^r = 100 \cdot VI^r \cdot tempo \quad (3)$$

Onde: VK^r e VI^r são os valores monetários do estoque de capital e do investimento líquido da região r , respectivamente.

O modelo tem em sua base de dados taxas “normais” de crescimento do capital e da renda e uma taxa bruta de retorno esperado do capital. O modelo considera a eliminação progressiva de disparidades nas taxas esperadas de retorno. Parâmetros são utilizados

⁷ Esse modelo reconhece o uso da terra de acordo com zonas agroecológicas.

⁸ O investimento líquido é o investimento descontada a depreciação. A taxa calculada de depreciação para o banco de dados do GTAP 10 dinâmico foi igual a 4%. Essa taxa é utilizada de forma recorrente, inclusive para análises da economia brasileira (HADDAD; DOMINGUES, 2001; OREIRO et al., 2005; FARIA; HADDAD, 2017).

para definir os ajustes nas taxas de retorno. Assim, na estimação das taxas futuras de retorno, os investidores fazem ajustes em torno das taxas “normais”.

Parâmetros

A estrutura de produção no modelo possui basicamente três níveis. A produção de qualquer bem é definida pela combinação de insumos de produção. A demanda por cada insumo segue uma especificação comportamental (função). Sob a ótica do nível mais baixo, cada bem e fator primário representa uma unidade de insumo a ser utilizada para produzir um produto. No segundo nível, o composto de valor adicionado é formado pela combinação entre os fatores primários. Tal combinação segue uma função CES⁹ e as elasticidades de substituição entre esses fatores são iguais a 0,24 para agropecuária e silvicultura, 1,12 para indústria de alimentos, 1,30 para as outras indústrias, comércio e serviços e 1 para os bens de capital.¹⁰ As elasticidades de substituição entre insumos primários só variam entre as atividades, sendo iguais para os fatores primários. O valor menor para agropecuária e silvicultura indica que é mais difícil substituir um fator primário por outro em seu processo de produção, em termos relativos.

Também no segundo nível, o composto de insumos intermediários é formado pela combinação entre insumos de origens doméstica e importada. Tal combinação segue uma função CES e as elasticidades de substituição entre esses insumos de diferentes origens, chamadas de elasticidades de Armington, são iguais a 2,41 para agropecuária e silvicultura, 2,48 para indústria de alimentos e 2,57 para as outras indústrias, comércio e serviços. Os valores próximos das elasticidades indicam que as atividades possuem níveis similares de substitutibilidade.¹¹ Como o modelo possui oito regiões, os insumos importados podem ter múltiplas origens. Com isso, tem-se um composto com os insumos de origem importada. As elasticidades de substituição regional dos insumos importados, chamadas de elasticidades de Armington regionais, no caso do GTAP para alocação de importados, são maiores e iguais a 4,81 para agropecuária e silvicultura, 4,97 para indústria de alimentos e 7,24 para outras indústrias, comércio e serviços. Isso significa que a sensibilidade ao preço na formação do composto de importados é maior.

Por fim, no nível mais superior, tem-se a combinação entre o composto de insumos intermediários e o composto de fatores primários para formar o produto. É suposta uma função Leontief, isto é, as elasticidades são assumidas como iguais a zero na função CES. Hertel e van der Mensbrugge (2016) apresentam os detalhes sobre como foram selecionados

⁹ CES (*Constant Elasticity Function*) definida como $Z = A[\alpha X_1^\rho + (1-\alpha)X_2^\rho]^{1/\rho}$, em que Z é a quantidade, X_1 e X_2 são os fatores de produção (e.g., capital e trabalho), A , α e ρ são os parâmetros. O primeiro é o indicador de tecnologia, α é o parâmetro de distribuição dos fatores e ρ é a elasticidade de substituição. $A > 0$, $0 < \alpha < 1$. Se $\rho = 1$, a função de demanda se comporta como uma função Cobb-Douglas hierarquizada. Se $\rho = 0$, a demanda segue a forma de Leontief (DIXON et al., 1992).

¹⁰ O GTAP considera em sua estrutura a existência de bens de capital como uma atividade, que está relacionada com o investimento e a taxa de retorno do capital.

¹¹ Os valores da elasticidade são resultados da agregação das atividades e regiões, que consideram no cálculo a ponderação com a matriz de produção.

os parâmetros do GTAP de outros estudos da literatura e realizados os procedimentos da calibragem dos mesmos no modelo. Tais parâmetros foram testados por Lugovoy (2009).

Baseline e análise de política

No GTAP cada equação define o comportamento de um agente específico da economia, sendo que a maior parte das equações tem ligação com pelo menos uma outra. Com isso, hipóteses comportamentais sobre variáveis exógenas têm efeitos sobre o amplo sistema de equações do modelo. As variáveis exógenas podem ser utilizadas como variáveis de política, enquanto as endógenas variam de acordo com os ajustes do sistema econômico aos choques exógenos. A escolha de quais variáveis permanecem endógenas e exógenas no modelo chama-se fechamento (DIXON; RIMMER, 2002).

O uso da versão dinâmica do GTAP requer que sejam definidos dois tipos de soluções sequenciais, uma vez que o modelo é calibrado para um ano específico e, a cada implementação de política, tem-se um novo equilíbrio que representa o sistema econômico transformado. O primeiro tipo é chamado de *baseline* e tem como objetivo traçar uma trajetória tendencial da economia ao longo do período a ser analisado. O segundo tipo é denominado de política, que visa verificar os efeitos provocados ao longo do tempo pela política a ser analisada como um desvio da trajetória especificada no *baseline*.

Na solução de *baseline*, as informações históricas e prospectivas são consideradas choques. As simulações históricas do *baseline* são realizadas levando em conta os dados observados sobre os indicadores econômicos. A utilização desses dados históricos objetiva atualizar a estrutura numérica do modelo para o ano de implementação de política. As simulações prospectivas do *baseline* consideram informações estimadas ou esperadas ou projetadas sobre o comportamento dos indicadores econômicos no período de aplicação da política. A trajetória tendencial da economia, a partir de simulações históricas e prospectivas, é traçada basicamente com hipóteses sobre o comportamento dos principais agregados macroeconômicos. A variável população regional é exógena no fechamento tanto do *baseline* quanto de política no modelo GTAP dinâmico.¹² Como o ano base do modelo é 2014, utilizaram-se as informações da variação da população estimada pelas Nações Unidas para o período 2015-2020 nas simulações históricas do *baseline* (UNITED NATIONS, 2019a).¹³ A escolha da trajetória da população regional para as simulações

¹² Por exemplo, outras variáveis exógenas em ambos os fechamentos são a taxa de emprego regional, a oferta regional de fatores primários (exceto capital), termos tecnológicos que captam mudanças na produtividade do uso de insumos e taxas no comércio internacional. A oferta de trabalho é fixa regionalmente e a mudança na demanda e alocação de trabalho entre as atividades ocorre via variação relativa dos preços dos fatores primários.

¹³ As estimativas utilizadas nas simulações históricas do *baseline* e as projeções sobre a população regional empregadas nas simulações prospectivas do *baseline* e nas simulações de política são referentes à sua última atualização, a revisão realizada em agosto de 2019 pelas Nações Unidas. As informações estavam disponíveis para um grande número de países. Assim, todos os 100 países considerados foram encontrados e não houve problemas de compatibilidade para obter as informações populacionais ao nível de blocos econômicos agrícolas. De acordo com a United Nations (2019a), a população mundial estimada para 2020 é de 7,795 bilhões de pessoas, sendo que os blocos encontrados na AM teriam as seguintes participações: BEA1: 42%, BEA2: 7%, BEA3: 3%, BEA4: 7%, BEA5: 13%, BEA6: 10%, BEA7: 3% e ROW: 14%.

prospectivas do *baseline* baseou-se na análise das variantes de projeção populacional das Nações Unidas.

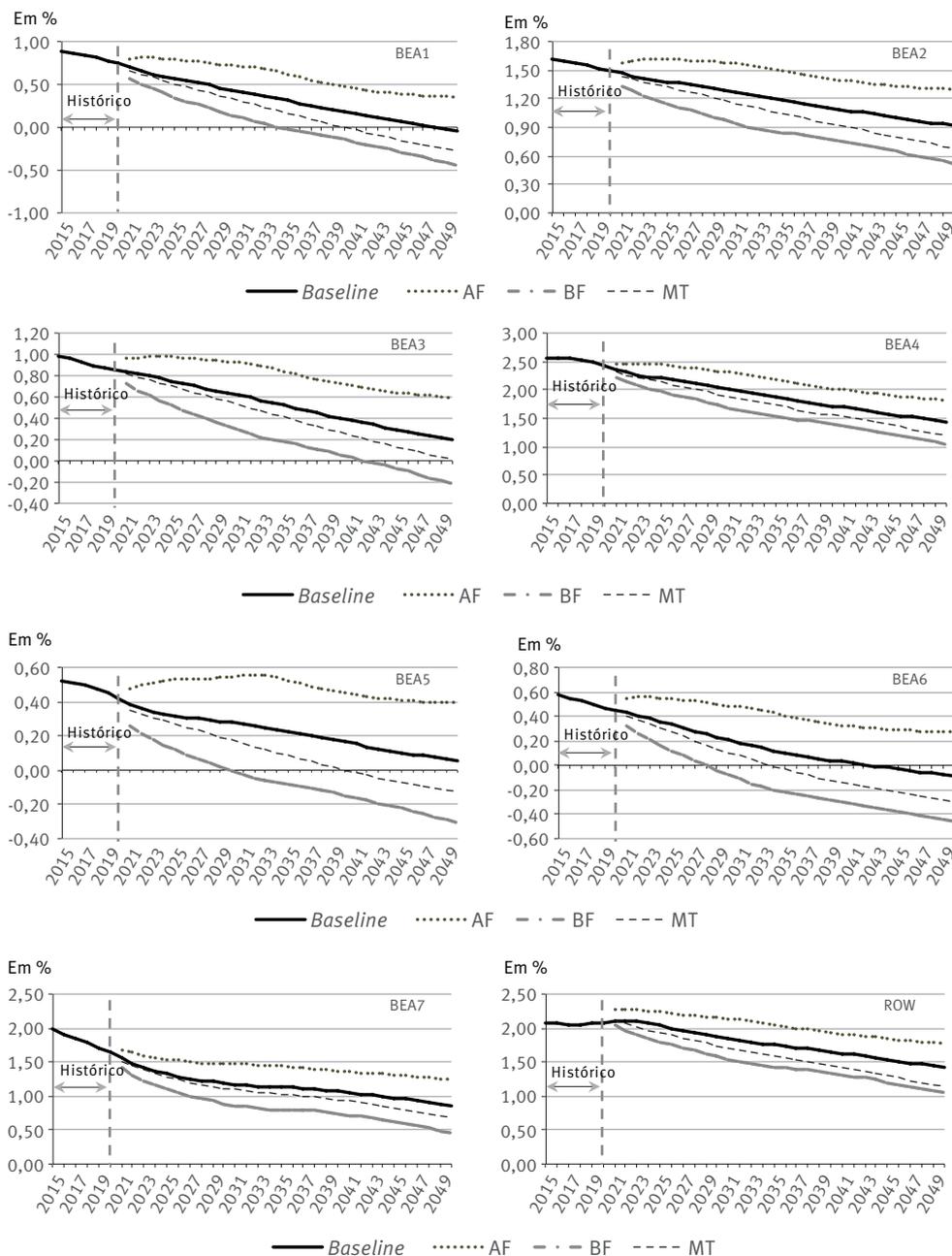
São nove variantes de projeção populacional disponibilizadas pelas Nações Unidas. A primeira é chamada de *variante média*, cuja projeção da população considera métodos probabilísticos para projetar os níveis futuros da fecundidade, mortalidade e migração. Informações históricas e experiências passadas dos países são utilizadas como base para definição de incertezas sobre as trajetórias futuras. A projeção populacional dessa variante inclui a mediana de milhares de trajetórias distintas. Outras quatro variantes são de fecundidade: *baixa*, *alta*, *constante* e *fecundidade de reposição instantânea*. A diferença entre estas e a variante *média* é apenas com relação à fecundidade, isto é, essas variantes consideram as mesmas hipóteses de mortalidade e migração que a variante *média* (UNITED NATIONS, 2019b).

Na variante *baixa*, tem-se uma fecundidade que é projetada ter, em relação à variante *média*, 0,25 nascimento a menos no período 2020-2025, 0,4 nascimento a menos no período 2025-2030 e 0,5 nascimento a menos no período posterior. Na variante *alta*, tem-se uma fecundidade que é projetada ter, em relação à variante *média*, 0,25 nascimento a mais no período 2020-2025, 0,4 nascimento a mais no período 2025-2030 e 0,5 nascimento a mais no período posterior. Na variante *constante*, a fecundidade projetada é a mesma do nível do período estimado para 2015-2020. Na variante *reposição instantânea*, a fecundidade é definida no nível necessário para garantir uma taxa de reprodução líquida de 1,0 a partir de 2020-2025. Para o restante do período de projeção, a fecundidade é definida de modo que a taxa líquida de reprodução sempre seja igual a uma que garanta a reposição da população (UNITED NATIONS, 2019b).

A variante de *mortalidade constante* considera as mesmas hipóteses de fecundidade e migração da variante *média* e supõe que a mortalidade projetada é a mesma daquela estimada para o período 2015-2020. A variante *nenhuma mudança (no change)* considera as mesmas hipóteses de migração da variante *média* e a fecundidade e a mortalidade projetadas são as mesmas em relação às estimativas para o período 2015-2020. A variante *migração nula (zero-migration)* considera as mesmas hipóteses de fecundidade e mortalidade da variante *média* e a migração internacional é assumida como nula a partir de 2015-2020. A variante *momentum* considera as mesmas hipóteses de fecundidade da variante *reposição instantânea*, as mesmas hipóteses de mortalidade da variante *mortalidade constante* e as mesmas hipóteses de migração da variante *migração nula* (UNITED NATIONS, 2019b).

Assim, para as simulações prospectivas do *baseline*, adotaram-se as projeções da variante *média* por essa apresentar pelo menos um dos elementos de referência em comum (fecundidade, mortalidade ou migração). As simulações de política foram realizadas para o período 2021-2050 com base nas projeções de outras três variantes: *alta fecundidade* (AF), *baixa fecundidade* (BF) e *mortalidade constante* (MT). Portanto, pode-se avaliar os efeitos econômicos da variação da população considerando essas três variantes. Para as duas

GRÁFICO 1
Choques para os fechamentos de *baseline* e de política (variação anual), segundo blocos econômicos agrícolas – 2015-2050



Fonte: United Nations (2019a) e resultados da AM. Elaboração dos autores.

Nota: As simulações foram realizadas com base nos cenários populacionais (e de mudança climática). *Baseline*: variante média; AF: alta fecundidade; BF: baixa fecundidade; MT: mortalidade constante.

primeiras, tem-se como controle a mortalidade e, para a segunda, a fecundidade. O Gráfico 1 mostra os choques, em variação percentual anual, nas simulações de *baseline* (histórica – estimativa populacional para 2015-2020; prospectiva – projeção populacional baseada na variante *média* para 2021-2050) e de política (variantes: *alta fecundidade* – AF; *baixa fecundidade* – BF; *mortalidade constante* – MT) aplicados para cada região para o período 2021-2050. Um dos motivos para a escolha do período de simulação é que o mesmo é grande o suficiente para captar possíveis mudanças na trajetória dos resultados projetados pelo GTAP. A estrutura regional dos choques já está em conformidade com os resultados da AM.

Os efeitos de mudanças climáticas sobre a produtividade da terra também são considerados choques de política no período de simulação. Como o artigo objetiva verificar os efeitos de projeções populacionais sobre indicadores econômicos e relacionados à atividade de produção agrícola e de alimentos, faz sentido incluir os efeitos de mudanças climáticas, que constituem um fenômeno que pode alterar a dinâmica da produção de bens que utilizam o fator terra mais intensivamente. Para o *baseline*, foram utilizados os mesmos dados descritos anteriormente das Nações Unidas acerca da estimativa populacional para o período 2015-2020, na simulação histórica, e da projeção populacional da variante *média* para 2021-2050, na simulação prospectiva.

O grande desafio em utilizar estimativas dos efeitos de mudanças climáticas sobre a produtividade da terra é compatibilizar as estimativas com os pressupostos e estrutura das atividades e regiões do modelo EGC. Bandara e Cai (2014) projetaram os efeitos econômicos para o sul da Ásia a partir de estimativas dos efeitos de mudanças climáticas sobre a produtividade da terra, baseando-se em estudos pontuais desenvolvidos para a região. Mesmo assim, os autores tiveram que adotar a hipótese de efeito uniforme sobre as culturas agrícolas.

Com isso, para a simulação de política, levou-se em conta a estimativa consolidada por Lobell e Gourdji (2012), baseada em resultados de vários estudos a respeito dos efeitos de mudanças climáticas sobre a produtividade da terra. A escolha do uso dessa estimativa deve-se ao fato de terem sido considerados estudos que utilizaram um conjunto amplo de atividades agrícolas na análise, que abarcam aquelas incluídas pelo GTAP. Além disso, as análises foram realizadas com base em um contexto global. Os resultados apresentados por esse estudo são mais gerais, o que está em conformidade com a estrutura de atividades econômicas e regional adotada no artigo. Vale destacar que a escolha de a estrutura regional identificar blocos econômicos agrícolas foi adotada justamente para agrupar as regiões de acordo com níveis de similaridade do setor agrícola.

Lobell e Gourdji (2012) concluíram que as mudanças climáticas poderiam afetar negativamente a produtividade da terra em cerca 1,5% a cada década.¹⁴ Em termos anuais, para um período de dez anos e uma progressão geométrica, tem-se um valor igual a 0,149%.¹⁵ Esse valor

¹⁴ Parte dos estudos realizou estimativas considerando um horizonte temporal até 2050. Isso também foi um dos motivos de o artigo ter escolhido fazer as projeções até 2050.

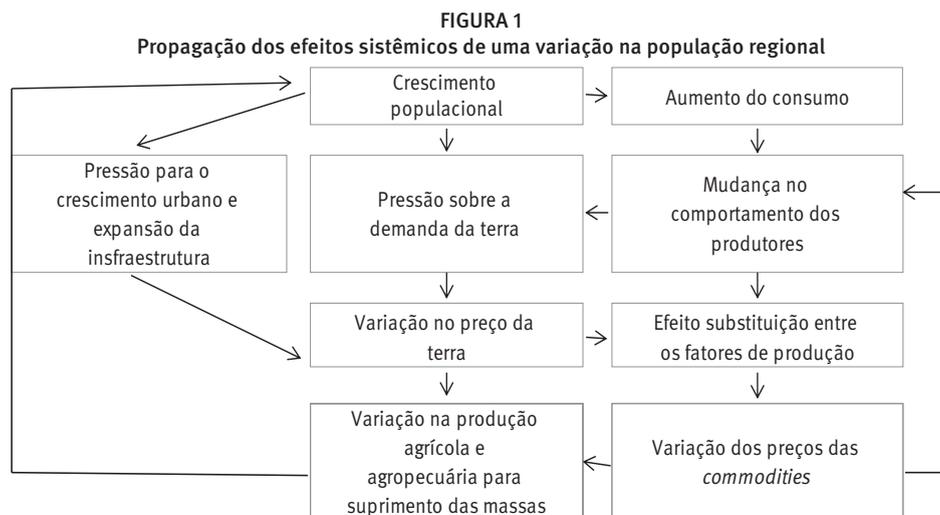
¹⁵ O modelo reconhece a redução da produtividade como um choque com valor positivo no parâmetro, pois isso indica que uma maior quantidade do fator é necessária para alcançar o mesmo nível de produção.

foi adotado como choque de política em cada região e em cada ano do período 2015-2050 para representar a perda de produtividade da terra devido aos efeitos de mudanças climáticas.¹⁶

Mecanismo de transmissão do choque

O principal objetivo deste artigo é avaliar os efeitos de diferentes cenários acerca da trajetória populacional de cada região, especialmente sobre a produção de bens primários e alimentos industrializados. Apesar de o GTAP não possuir um módulo específico para tratar da população, tal modelo permite captar os impactos sistêmicos causados pelo choque sobre a população por meio dos mecanismos de propagação. A Figura 1 resume os mecanismos principais de propagação dos efeitos isolados provocados pela aplicação de políticas exógenas no sistema, devido aos efeitos de mudanças na população regional. A especificação do GTAP liga a população à demanda agregada e ao comportamento das famílias e do governo em termos de demanda, consumo e utilidade. A demanda das famílias está diretamente relacionada com a produção setorial. O aumento da demanda por bens agrícolas afetaria mais diretamente o preço relativo dos fatores de produção, de forma positiva o do fator terra.

Analogamente, têm-se os mecanismos de propagação dos efeitos isolados de mudanças no parâmetro de produtividade da terra, como forma de captar os efeitos de mudanças climáticas. Nesse caso, a mudança na produtividade da terra impactaria a necessidade de uso da terra para manter os mesmos níveis de produção, afetando positivamente os preços desse fator, em termos relativos. Isso teria impacto sobre a formação do composto de fatores primários (quantidade demandada e preços relativos dos fatores).



Fonte: Elaboração dos autores a partir das equações do modelo.

¹⁶ Dada a característica da estimativa utilizada, decidiu-se realizar o choque de política iniciando no período subsequente ao ano base do modelo.

Resultados

Resultados da análise multivariada (AM)

A primeira etapa consistiu na classificação do mundo em blocos de países com base na sua similaridade agrícola. Inicialmente, todos os métodos hierárquicos foram aplicados para 2004. A estatística $Je(2)/Je(1)$ (dos testes *pseudo-F* e *pseudo-T*) indicou que sete é o melhor número de agrupamentos, para os métodos de ligação simples, completo e *Ward*, enquanto sugere cinco grupos para o método de ligação médio. Considerando-se os sete grupos, as estatísticas *pseudo-F* são altas e positivas e as estatísticas *pseudo-T* baixas e positivas. Assim, essa foi a partição final escolhida, pois, além de atender aos testes, preserva, dentro de cada grupo, o número de países mais similares nas suas características agrícolas. Após a escolha dos sete agrupamentos, foi aplicado o método não hierárquico *K*-médias. Neste caso, os centroides escolhidos são os *clusters* dados pelos métodos hierárquicos.

Após a partição final, dada pela AC, foi aplicada a AD. A variável categórica que classifica cada país em cada *cluster* em 2004 foi utilizada para a discriminação na AD, em 2011. Dessa forma, foi possível observar, probabilisticamente, os países em transição. Isto é, países que estavam classificados em um determinado *cluster* em 2004, mas, em 2011, tinham características agrícolas mais semelhantes a outro. A possibilidade de captar essas mudanças foi o principal motivo para a escolha desse período.

A primeira etapa da AD é observar as matrizes de confusão. Nestas, são verificadas as probabilidades lineares e as de Lachenbruch (Loo). As matrizes mostram, em sua diagonal principal, a quantidade de informações classificadas corretamente em cada bloco. Fora da diagonal principal, encontram-se quantas observações foram classificadas incorretamente e a qual bloco deveriam pertencer. A taxa de erro aparente (*Aper*) quando se usa a probabilidade linear foi de 11% e a de Loo foi de 24%. Avaliadas as matrizes de confusão, a análise final dos blocos de países é feita com base nas probabilidades dos erros de classificação.

A disposição final dos países em seus respectivos blocos foi chamada neste artigo de blocos econômicos agrícolas (BEA). Como dito anteriormente, foram sugeridos sete blocos. O resultado final mostrou a seguinte disposição dos países nos blocos (2011):

- BEA1: Armênia, Azerbaijão, Cazaquistão, Quirguistão, Bangladesh, Marrocos, Turquia, Arábia Saudita, El Salvador, Tunísia, Uruguai, Chile, África do Sul, China e Índia;
- BEA2: Honduras, Indonésia, Camboja, Moçambique, Nicarágua, Paraguai, Senegal, Tanzânia, Vietnã, Zâmbia e Zimbábwe;
- BEA3: Albânia, Botswana, Suíça, República Dominicana, Geórgia, Guatemala, Croácia, Jamaica, Lituânia, Namíbia, Filipinas, Portugal, Eslováquia e Tailândia;
- BEA4: Benin, Burkina Faso, Costa do Marfim, Etiópia, Madagascar, Camarões, Paquistão, Ruanda, Togo, Malauí e Uganda;
- BEA5: Argentina, Austrália, Nova Zelândia, Bélgica, Bulgária, Belarus, Rep. Tcheca, Alemanha, Romênia, Dinamarca, Espanha, França, Reino Unido, Grécia, Hungria, Irlanda, Itália, Luxemburgo, Holanda, Polônia, Ucrânia, Estados Unidos e México;

- BEA6: Brasil, Bolívia, Canadá, Colômbia, Costa Rica, Estônia, Finlândia, Japão, Coréia, Letônia, Malásia, Noruega, Peru, Rússia, Eslovênia, Áustria, Suécia, Venezuela e Equador;
- BEA7: Chipre, Egito, Irã, Israel, Jordânia, Malta, Omã.

Foram calculadas as médias aritméticas para cada uma das variáveis, em cada BEA, para conhecer aquelas que eram relevantes e caracterizavam a separação dos países em cada bloco. A intuição está relacionada à procura pela característica agrícola média. Estes resultados mostram que o BEA1, que ficou representado por países do Oriente Médio e Ásia, era aquele que apresentava a maior quantidade de terras aráveis com culturas e pastagens permanentes, bem como a maior necessidade de importações agrícolas. O BEA2 ficou definido por países de menor escala territorial e de clima tropical. Estes eram caracterizados pelos maiores níveis de produtividade vegetal e produção de alimentos. No BEA3 estão países com grandes quantidades de terra sob cultura permanente, baixa necessidade de importação e maior percentual de população rural. O BEA4 foi constituído principalmente por países africanos, os quais eram caracterizados pelos maiores índices de produção de gado, valor adicionado agrícola e maior percentual de população rural.

O BEA5 ficou caracterizado como o bloco dos países desenvolvidos, formado principalmente por países europeus, Estados Unidos e Austrália. Esses países possuíam os menores valores de produtividade vegetal, produtividade de alimento, de gado e menor população rural. Esse resultado era esperado, pois, além de esses países possuírem baixas necessidades de importação agrícola, sua atividade econômica é voltada para produtos industrializados. Ademais, possuíam o maior nível de acesso à água potável e quantidades de terras aráveis. O BEA6 foi composto por países de maior área florestal e de grande extensão territorial, como Brasil, Rússia e Canadá. Por fim, o BEA7 foi caracterizado por países do Oriente Médio e que apresentavam as menores áreas de cultivo permanente, áreas florestais, terras agrícolas e exportação agrícola, no entanto, eram os maiores consumidores de fertilizantes e detinham alta produtividade agrícola. Uma outra região foi criada, chamada ROW, que engloba o restante dos países considerados pelo GTAP. Basicamente essa região é formada por países da Ásia, África e Oriente Médio.

Resultados das simulações

Projeções econômicas de três cenários acerca da trajetória populacional futura de regiões do mundo e de mudanças climáticas foram realizadas. Os resultados representam a variação acumulada anualmente como desvio de um cenário de *baseline*. O cenário de *baseline* foi traçado para representar a trajetória considerando um comportamento médio da população em termos de fecundidade, mortalidade e migração (variante média). Os cenários populacionais de política consideraram um de alta fecundidade (AF), um de baixa fecundidade (BF) e um de mortalidade constante (MT). O cenário de política de mudanças climáticas foi aplicado supondo que esse fenômeno reduz a produtividade da terra ao longo do tempo. Em termos dos mecanismos do modelo, os cenários populacionais tendem a

influenciar diretamente a demanda das famílias e do governo, com efeitos sobre a produção da economia. Uma das principais atividades afetadas é a produção de bens agrícolas e de alimentos. A produção desses bens afeta a demanda por terra, cuja disponibilidade é modelada ser limitada. De forma análoga, tem-se a reação do modelo à variação da produtividade da terra em razão de efeitos de mudanças climáticas (MC). A redução da produtividade da terra exigiria que mais terra fosse utilizada por unidade de produto. Assim, em ambas simulações de políticas, tem-se mudança nos custos de produção e nos preços relativos dos fatores de produção e dos bens da economia.

A Tabela 1 apresenta os resultados macroeconômicos obtidos como desvio acumulado anualmente das simulações de política em relação à trajetória de *baseline* até o último ano de simulação (2050). Os efeitos de cada cenário de política estão separados. Para se obter o efeito conjunto de cada cenário populacional com o de mudanças climáticas, basta considerar a soma dos efeitos.¹⁷ Vale destacar que os resultados são direcionados pela estrutura do modelo, em termos tanto numéricos quanto de suas equações comportamentais. A estrutura numérica é representada por um conjunto de dados que caracterizam o sistema econômico modelado, em que estão presentes as estruturas de comércio (entre setores e regiões – relações de interdependência), de comércio internacional, de produção, de consumo e de demanda por insumos intermediários. Assim, os resultados tendem a refletir as características e estrutura do modelo, dependendo da política analisada. Por exemplo, se uma política exógena tende a reduzir a produtividade da terra (e.g. mudanças climáticas), espera-se que regiões e atividades que demandem ou sejam mais dependentes de terra para produzir sejam mais negativamente afetadas.

Na simulação de MC, todas as regiões teriam variação negativa do PIB, exceto o BEA5. Esse bloco é basicamente formado por países desenvolvidos que possuem maior diversidade produtiva. As maiores quedas ocorreriam nos BEA4 (-6,20%), BEA7 (-2,66%) e BEA2 (-2,52%). Tais blocos são formados por países africanos, do Oriente Médio e da América Central, a maioria pobre. Esses países são caracterizados por terem maior disponibilidade de terra, em termos relativos, baixa produtividade agrícola e maior participação de bens agrícolas em sua estrutura de produção, importação e exportação. Tais características, que são observadas pelo modelo utilizado, aliadas ao fato de que muitos deles são de clima seco e enfrentam problemas como abastecimento de água, tornam esses países mais vulneráveis às mudanças climáticas. Em termos de comparação com resultados de outros estudos que adotaram hipóteses similares acerca da estratégia de análise das mudanças climáticas, Faria e Haddad (2017) projetaram uma queda do PIB de até 0,073%, para o Brasil, e Bandara e Cai (2014) estimaram uma redução de cerca de 3,5% para o sul da Ásia. O painel A do Gráfico 2 mostra a trajetória, em percentual acumulado anualmente, do PIB dos blocos até

¹⁷ Isso é possível em razão de o modelo ter suas equações linearizadas. Existe um erro de aproximação na soma, que é pequeno.

2050 na simulação de MC.¹⁸ O BEA5 é o único com tendência positiva, com pequenas variações. Os outros blocos apresentariam queda contínua do PIB em todo o período.

Na simulação de MC, a maior queda das exportações seria do BEA4 (-10,6%). Apenas os BEA1 e BEA7 aumentariam as exportações (1,31% e 1,22%, respectivamente). Fazem parte do BEA1 a China e a Índia, por exemplo, que possuem economias e pautas exportadoras mais diversificadas. O impacto sobre as importações seria predominantemente negativo. As exceções seriam o BEA5 (0,85%), que teria variação positiva do PIB, o BEA6 (0,26%) e o BEA3 (0,06%) – esses dois últimos com as menores variações negativas do PIB. O painel C do Gráfico 2 mostra a trajetória, em percentual acumulado anualmente, das exportações dos blocos até 2050. O BEA4 apresentaria variações positivas até 2026, iniciaria, em 2027, tendência de queda e teria, em 2032, variação acumulada negativa. O BEA7 teria duas mudanças na tendência e os outros blocos apresentariam tendência ascendente ou descendente no período (Tabela 1).

Os termos de troca representam a diferença entre o preço recebido pelos bens comercializáveis (na exportação) e o preço pago por esses bens (na importação) na simulação de MC. Valor negativo do termo de troca significa que o preço das importações cresceu mais do que o das exportações. Tal cenário é consistente com queda das importações e/ou aumento das exportações. Apenas o BEA5 e o BEA6 apresentariam valor positivo dos termos de troca. O preço da terra aumentaria, em termos relativos, em todos os blocos devido à perda de produtividade simulada exogenamente. A menor variação seria no BEA4 (15,20%), cujos países que o formam possuem maior disponibilidade de terra, em termos relativos. A maior variação relativa do preço ocorreria no BEA5 (32,31%) (Tabela 1). Este resultado é esperado, já que tal bloco é formado por países desenvolvidos da Europa, Austrália, Nova Zelândia e Estados Unidos, que possuem taxa de ocupação da terra elevada (VAN MEIJL *et al.*, 2006).

Na simulação de AF, a maioria dos blocos apresentaria queda acumulada do PIB até 2050, mais fortemente no BEA4 (-5,69%), BEA7 (-4,65%) e BEA2 (-2,95%). Variações positivas do PIB seriam observadas no BEA5 (0,73%), BEA6 (0,57%) e BEA3 (0,35%). O BEA4 é aquele que possui as maiores variações percentuais anuais da população, seguido por ROW, BEA7 e BEA2 (Gráfico 1). Por isso, as variações percentuais do PIB foram maiores nesses blocos. Em termos de diferença entre a variação percentual da população no *baseline* e da população no cenário de AF, têm-se valores próximos para os blocos. Os resultados do PIB indicam que a variação populacional afeta de forma distinta as economias das regiões analisadas, devido às características particulares das mesmas. O BEA5 é formado, basicamente, por países mais desenvolvidos. O BEA6 e o BEA3 incluem países da Europa e de alto PIB (e.g. Japão, Brasil, Rússia e Canadá). Suas economias são mais diversificadas e a demanda tem maior efeito no direcionamento do desempenho econômico e na produção. Além disso, como ocorre competição internacional por insumos e fatores de produção, a variação populacional regional projetada na simulação AF favorece esses blocos (Tabela 1).

¹⁸ Os painéis do Gráfico 2 não consideram o efeito conjunto das simulações de MC e de AF. Tal escolha ocorreu em virtude de as trajetórias do PIB nas simulações (MC e AF) serem similares, isto é, a curva com a trajetória do PIB da simulação de AF tem mesmo formato com e sem o efeito das mudanças climáticas.

Ainda com relação à simulação de AF, os resultados das exportações e importações desses blocos também indicam isso, ou seja, as exportações do BEA3, BEA5 e BEA6 cairiam e as importações aumentariam. Por outro lado, o BEA1 e o BEA2, que são formados por países tradicionalmente exportadores, como China e Índia, teriam resultado inverso. Os painéis B e D do Gráfico 2 mostram, respectivamente, a trajetória, em percentual acumulado anualmente, do PIB e das exportações dos blocos na simulação de AF até 2050. O preço da terra, em termos relativos, aumentaria em todos os blocos, mais fortemente naqueles com maiores variações da população e menor disponibilidade de terra. Os resultados das simulações de BF e de MT são análogos aos da simulação de AF, em que as diferenças ocorrem apenas na magnitude dos impactos. Como nessas simulações a variação da população é menor, os efeitos também são menores sobre os indicadores (Tabela 1).

TABELA 1
Efeitos macroeconômicos sobre as atividades (desvio acumulado em relação ao *baseline*), segundo cenários e blocos econômicos agrícolas – 2021-2050 (1)

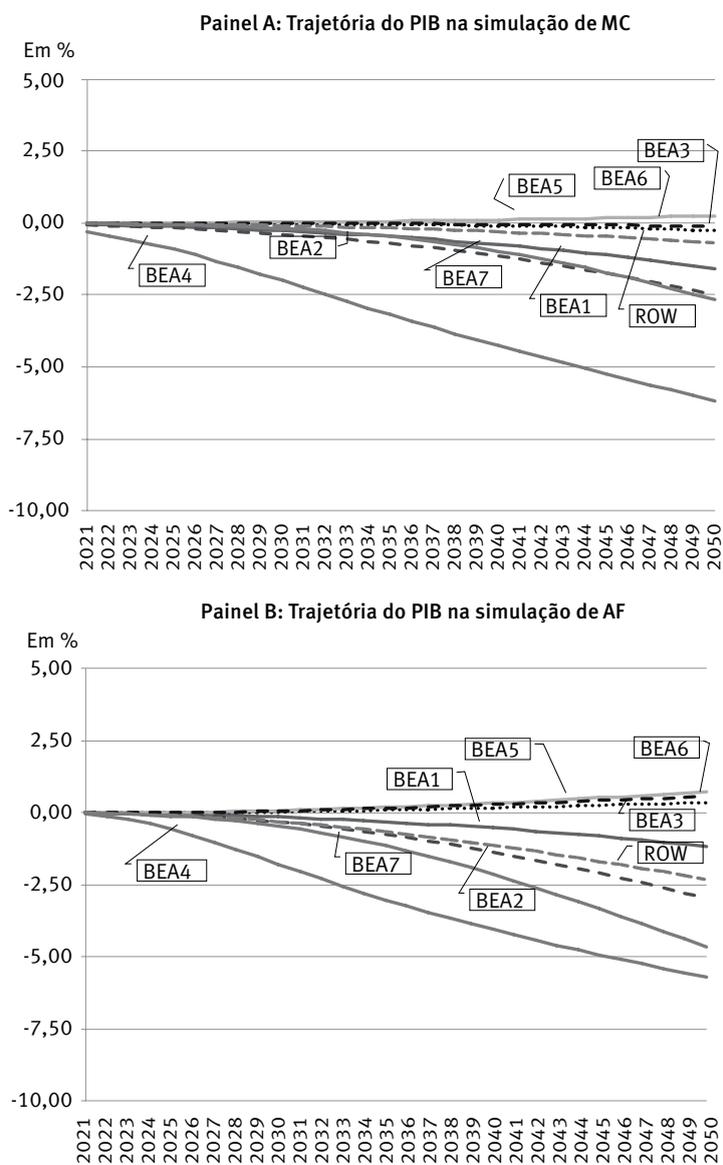
Cenário	Região	Em porcentagem				
		PIB	Exportações	Importações	Termos de troca	Preço da terra
MC	BEA1	-1,60	1,31	-2,49	-1,16	29,97
	BEA2	-2,52	-0,12	-2,51	-1,34	25,67
	BEA3	-0,26	-0,81	0,06	-0,07	30,59
	BEA4	-6,20	-10,28	-9,54	-1,33	15,20
	BEA5	0,25	-1,26	0,87	1,65	32,31
	BEA6	-0,11	-0,90	0,26	0,50	31,34
	BEA7	-2,66	1,22	-3,40	-2,15	28,33
	ROW	-0,69	-0,25	-0,71	-0,78	31,35
AF	BEA1	-1,17	1,53	-2,44	-1,18	29,33
	BEA2	-2,95	1,16	-3,21	-2,23	30,03
	BEA3	0,35	-0,99	1,11	0,07	31,30
	BEA4	-5,69	-8,20	-13,31	-2,51	10,06
	BEA5	0,73	-0,99	1,91	2,36	33,94
	BEA6	0,57	-0,92	1,33	0,95	31,26
	BEA7	-4,65	2,93	-4,47	-3,45	38,51
	ROW	-2,32	0,64	-2,26	-1,94	55,35
BF	BEA1	-0,21	0,26	-0,54	-0,24	7,58
	BEA2	-1,50	0,35	-1,15	-0,93	12,47
	BEA3	0,28	-0,43	0,60	0,12	10,18
	BEA4	-3,52	-5,28	-6,10	-0,82	4,86
	BEA5	0,33	-0,14	0,67	0,81	11,07
	BEA6	0,36	-0,31	0,65	0,44	9,24
	BEA7	-2,46	0,99	-1,67	-1,31	16,78
	ROW	-1,67	0,61	-1,36	-1,07	30,09
MT	BEA1	-0,48	0,52	-1,04	-0,49	13,14
	BEA2	-1,94	0,49	-1,70	-1,26	17,10
	BEA3	0,29	-0,56	0,73	0,10	15,81
	BEA4	-4,15	-6,30	-8,03	-1,23	6,18
	BEA5	0,44	-0,31	0,97	1,20	17,04
	BEA6	0,42	-0,45	0,82	0,57	14,97
	BEA7	-3,18	1,52	-2,46	-1,89	22,99
	ROW	-1,83	0,56	-1,57	-1,27	36,09

Fonte: Elaboração dos autores com base nos resultados das simulações.

(1) Os valores representam os efeitos acumulados até 2050.

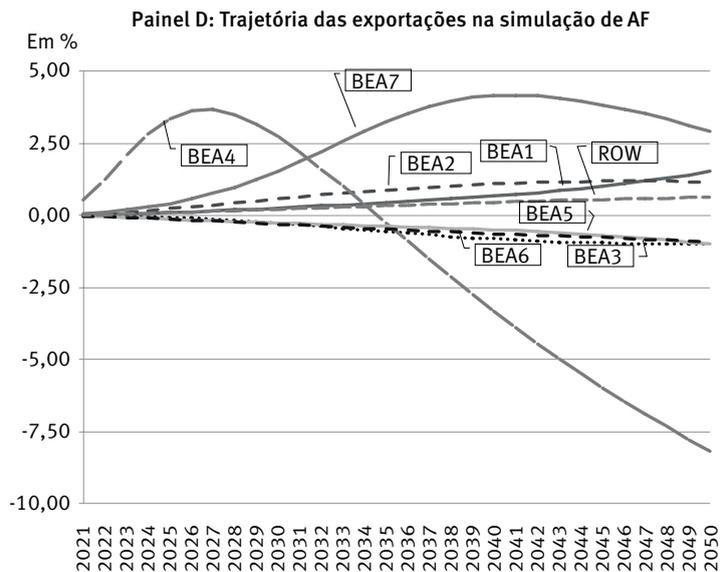
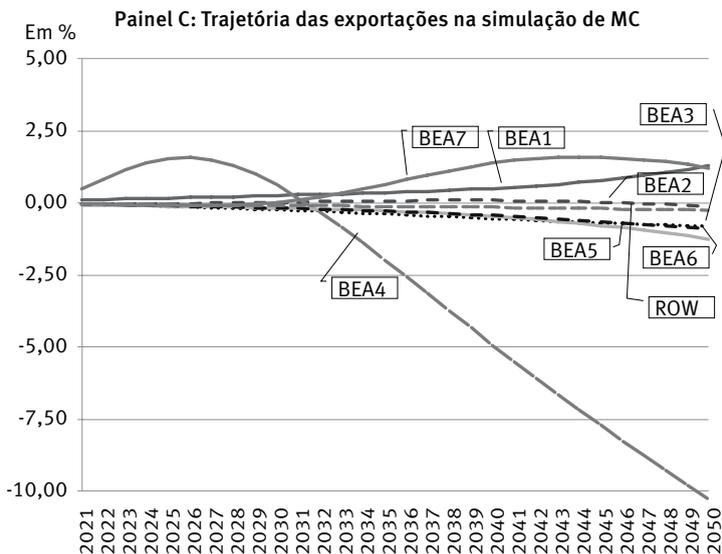
Nota: MC: mudanças climáticas; AF: alta fecundidade; BF: baixa fecundidade; MT: mortalidade constante.

GRÁFICO 2
Trajetórias do PIB e das exportações, por simulações MC e AF, segundo blocos econômicos agrícolas – 2021-2050



(continua)

(continuação)



Fonte: Elaboração dos autores com base nos resultados das simulações.

Nota: Os painéis A a D mostram o desvio acumulado anualmente em porcentagem até 2050. MC: mudanças climáticas; AF: alta fecundidade.

A Tabela 2 mostra os resultados sobre as atividades econômicas, representando, em percentual acumulado anualmente, o desvio das simulações de política em relação ao *baseline* até 2050. Na simulação de MC, a produção da agropecuária e silvicultura teria variação negativa em todos os blocos. A queda da produtividade da terra retratada para simular os efeitos de mudanças climáticas indica que uma maior quantidade de terra é necessária por unidade do

produto. Esse cenário simula um ambiente em que a produção da agropecuária e silvicultura tornar-se-ia mais difícil, dado que a redução da produtividade faz o preço do fator, em termos relativos, e os custos de produção aumentarem. A queda da produção projetada dessa atividade variaria entre -1,98% e -3,26%, dependendo do bloco. Lee (2009), usando uma versão estática do GTAP e estimativas de mudanças climáticas para 2020, projetou uma variação média da produção das atividades da agricultura e da pecuária de -3,79%.

A produção da indústria de alimentos também teria variação negativa em todos os blocos, pois essa atividade depende mais intensivamente dos insumos da agropecuária e silvicultura para produzir. A variação da produção da atividade outras indústria, comércio e serviços depende da estrutura produtiva de cada bloco. Os blocos mais dependentes da produção da agropecuária e silvicultura também tendem a apresentar variação negativa naquela atividade, devido à predominância do “efeito atividade”, isto é, a queda da produção da atividade geraria um efeito recessivo generalizado sobre as demais atividades e a economia. Isso é observado no caso do BEA4 (Tabela 2).

Por outro lado, a queda da produção da agropecuária e silvicultura e indústria de alimentos liberaria recursos, podendo ser utilizados por outras indústrias, comércio e serviços, criando um efeito positivo sobre essa atividade. O resultado desse movimento, chamado de “efeito competição”, é mais comum em regiões com economias mais diversificadas (e.g. BEA5). As exportações e importações das atividades dependem da disponibilidade de terra, bem como do perfil exportador de cada bloco, em termos relativos. As exportações da agropecuária e silvicultura do BEA4 aumentariam cerca de 44%, uma vez que tal região tem mais terra disponível e produção dessa atividade mais voltada para a exportação, em termos relativos (Tabela 2).

Na simulação de AF da Tabela 2, a produção da agropecuária e silvicultura aumentaria em todos os blocos. Esse resultado era esperado, já que o crescimento da população tende a impactar positivamente a demanda que, por sua vez, estimula a produção. O painel A do Gráfico 3 mostra a trajetória, em percentual acumulado anualmente, de crescimento da produção dessa atividade de cada bloco na simulação isolada de AF até 2050, enquanto o painel B mostra essa trajetória considerando conjuntamente as simulações AF e MC até 2050. Com exceção do ROW e BEA7, os demais blocos teriam variação acumulada negativa em 2050 da produção da agropecuária e silvicultura considerando os efeitos conjuntos dessas simulações. Como a produção dessa atividade cresce mais no ROW e BEA7, tem-se um efeito competitivo maior nessas regiões. Assim, a produção da indústria de alimentos cairia apenas nesses blocos. A trajetória da produção dessa atividade, em percentual acumulado anualmente, até 2050 está retratada nos painéis C (sem MC) e D (com MC) do Gráfico 3. Apenas o BEA3, o BEA5 e o BEA6 teriam variação positiva da produção das três atividades. Como as economias desses blocos são mais diversificadas, em termos relativos, tem-se a predominância do efeito atividade, isto é, o aumento da produção de uma atividade afetaria positivamente todo o restante da economia regional.

TABELA 2
Efeitos sobre as atividades (desvio acumulado em relação ao *baseline*), segundo cenários e blocos econômicos agrícolas – 2021-2050 (1)

		Em porcentagem								
		Produção			Exportações			Importações		
	Região	Agr.	Ind. al.	Out.	Agr.	Ind. al.	Out.	Agr.	Ind. al.	Out.
MC	BEA1	-2,73	-2,93	-1,35	0,27	-4,58	1,29	-3,63	-0,55	-2,23
	BEA2	-3,26	-4,48	-1,89	0,92	-9,91	0,64	-3,79	0,95	-2,82
	BEA3	-2,86	-3,50	0,18	-2,62	-5,42	-0,04	-1,26	-0,56	0,14
	BEA4	-3,41	-2,30	-10,40	41,17	4,80	-13,02	-21,19	-5,65	-7,27
	BEA5	-3,14	-0,92	0,44	-5,19	2,72	-1,60	-0,01	-3,80	1,24
	BEA6	-2,99	-3,15	0,25	-4,26	-4,44	-0,39	-0,66	-0,73	0,42
	BEA7	-2,31	-4,98	-2,00	9,67	-10,49	1,61	-7,20	-0,14	-3,60
	ROW	-1,98	-2,15	-0,24	4,74	0,07	-0,20	-4,28	-2,71	-0,39
AF	BEA1	2,48	2,27	-1,79	14,18	3,26	0,63	-1,44	3,45	-2,41
	BEA2	2,26	3,86	-3,87	0,90	-9,16	2,06	4,87	13,24	-5,98
	BEA3	2,40	0,60	0,58	5,78	-0,62	-0,50	3,45	3,38	0,87
	BEA4	0,87	3,29	-14,64	66,82	15,40	-12,37	-22,73	-1,57	-13,63
	BEA5	2,25	2,20	0,64	2,75	8,25	-2,98	4,31	-1,85	2,17
	BEA6	2,28	0,47	0,65	6,44	2,09	-1,26	1,73	1,47	1,40
	BEA7	3,82	-0,21	-4,19	4,69	-11,95	3,41	3,25	5,73	-7,09
	ROW	5,23	-1,41	-2,46	-22,33	-9,41	1,23	21,38	6,43	-4,00
BF	BEA1	0,72	-0,16	-0,29	12,27	4,65	-0,49	-3,62	-1,30	-0,15
	BEA2	1,05	2,65	-1,89	-5,22	-6,29	1,01	5,75	8,34	-2,93
	BEA3	0,88	0,25	0,41	3,36	0,40	-0,25	1,07	0,91	0,58
	BEA4	0,45	2,03	-8,39	19,36	3,74	-6,61	-7,67	2,34	-7,81
	BEA5	0,85	0,34	0,33	2,44	3,27	-1,02	0,15	-1,47	0,84
	BEA6	0,76	-0,77	0,46	5,45	2,23	-0,65	-1,49	-1,33	0,86
	BEA7	1,86	0,87	-2,14	-2,93	-6,42	1,25	5,07	3,87	-3,34
	ROW	3,22	-1,12	-1,74	-25,91	-10,71	1,18	20,92	6,64	-2,94
MT	BEA1	1,21	0,50	-0,70	12,92	4,36	-0,29	-3,09	-0,06	-0,72
	BEA2	1,39	3,02	-2,46	-3,72	-7,15	1,22	5,61	9,77	-3,76
	BEA3	1,32	0,43	0,45	3,72	0,05	-0,27	1,97	1,76	0,62
	BEA4	0,56	2,39	-10,12	30,89	6,80	-8,32	-12,07	1,28	-9,30
	BEA5	1,25	0,88	0,41	2,52	4,65	-1,48	1,34	-1,54	1,16
	BEA6	1,20	-0,40	0,52	5,74	2,22	-0,78	-0,58	-0,54	0,99
	BEA7	2,47	0,69	-2,81	-1,91	-8,36	1,86	5,08	4,63	-4,51
	ROW	3,74	-1,14	-1,90	-24,24	-10,02	1,12	20,48	6,44	-3,15

Fonte: Elaboração dos autores com base nos resultados das simulações.

(1) Os valores representam os efeitos acumulados até 2050.

Nota: MC: mudanças climáticas; AF: alta fecundidade; BF: baixa fecundidade; MT: mortalidade constante.

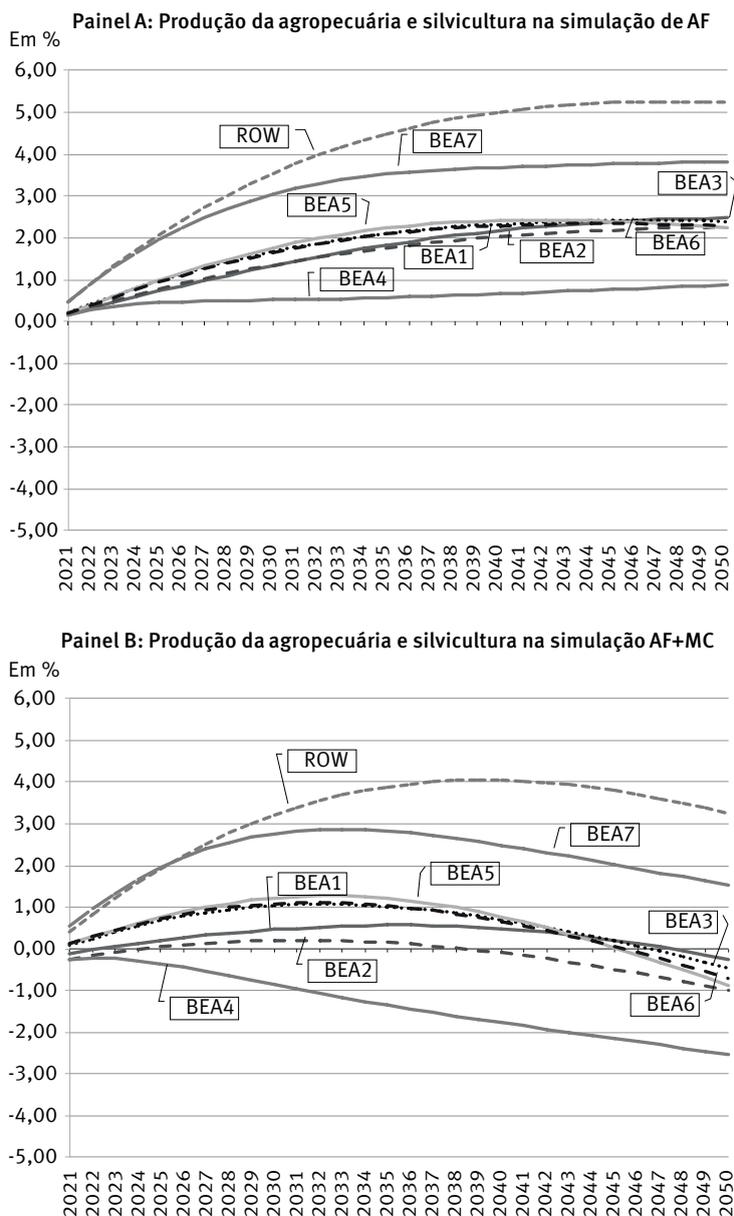
Agr.: agropecuária e silvicultura; Ind. al.: indústria de alimentos; Out.: outras indústrias, comércio e serviços.

As exportações da agropecuária e silvicultura cresceriam em todos os blocos, exceto no ROW. As maiores variações ocorreriam nos blocos que possuem perfil mais agroexportador (e.g. BEA4) ou uma consolidada base de produção da agropecuária e silvicultura (e.g. BEA1 e BEA6). As importações da agropecuária e silvicultura cresceriam em todos os blocos, exceto no BEA4. A maior variação positiva ocorreria no ROW (21,38%) (Tabela 2). Assim, ter-se-ia um movimento do comércio internacional devido ao cenário de AF, em que, em termos da agropecuária e silvicultura, o BEA4, o BEA1 e o BEA6 seriam os principais

exportadores “líquidos” e o ROW, o BEA2 e o BEA5 seriam os importadores “líquidos”. Para as simulações de BF e MT, os resultados da Tabela 2 para as atividades podem ser analisados de forma análoga à realizada para a simulação de AF.

GRÁFICO 3

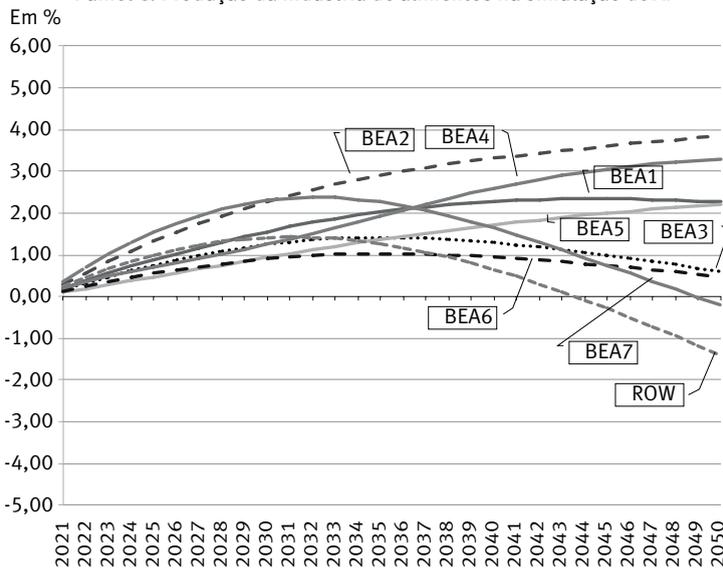
Trajetória de produção da agropecuária e silvicultura e indústria de alimentos, por simulações AF e MC, segundo Blocos econômicos agrícolas – 20121-2050



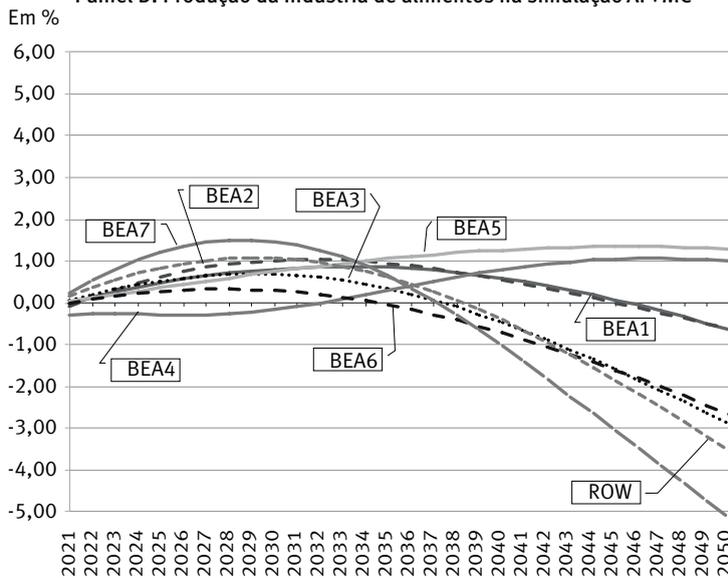
(continua)

(continuação)

Painel C: Produção da indústria de alimentos na simulação de AF



Painel D: Produção da indústria de alimentos na simulação AF+MC



Fonte: Elaboração dos autores com base nos resultados das simulações.

Nota: Os Painéis A a D mostram o desvio acumulado anualmente em porcentagem até 2050. MC: mudanças climáticas; AF: alta fecundidade.

De forma a verificar a robustez dos resultados das simulações em relação aos parâmetros calibrados no GTAP 10, foram realizados testes de sensibilidade sistemática para as elasticidades de substituição entre os insumos primários e para as elasticidades de Armington de

substituição entre os insumos domésticos e importados.¹⁹ Em resumo, esses testes verificam o grau de adequação dos parâmetros escolhidos para especificar elasticidades e termos de sensibilidade nas funções comportamentais do modelo (DEVUYST; PRECKEL, 1997; MCKITRICK, 1998). Os resultados da análise de sensibilidade indicaram um nível elevado de robustez em relação às variações nos valores dos parâmetros calibrados no GTAP 10. Tal resultado indica que a validade das projeções não foi comprometida considerando as hipóteses adotadas quanto ao comportamento dos agentes modelados e calibragem de parâmetros.

Considerações finais

O principal objetivo do artigo foi realizar projeções econômicas com base em cenários de política acerca de trajetórias futuras da população mundial e também de um cenário de mudanças climáticas. Para tanto, inicialmente, realizou-se uma classificação de países e regiões mundiais de acordo com as suas características agrícolas. Por meio de técnicas de análise multivariada (AM), esses países e regiões foram classificados em blocos econômicos agrícolas (BEA). Em seguida, foram escolhidos três cenários de projeção populacional futura disponibilizados pelas Nações Unidas: um de alta fecundidade, um de baixa fecundidade e um de mortalidade constante. Com base nesses cenários, realizaram-se análises de impacto utilizando o modelo EGC GTAP, em sua versão 10, isto é, a versão do GTAP calibrado com os dados mais recentes com ano base de 2014 e dinâmica recursiva. Os resultados da AM foram utilizados para direcionar a agregação regional a ser adotada no GTAP. A narrativa do artigo, com isso, era analisar os prováveis efeitos econômicos dos cenários populacionais, segundo os blocos econômicos. A agregação setorial adotada no GTAP, ao considerar uma atividade representando a agropecuária e silvicultura e outra representando a indústria de alimentos, enriqueceria a discussão, pois remete à questão de capacidade de produção de alimentos e abastecimento. De forma a tornar a análise mais adequada, foi considerado também um cenário de mudanças climáticas.

Os resultados foram apresentados como o desvio acumulado até o final do período analisado, o ano de 2050, entre uma simulação de *baseline*, em que a projeção populacional “média” das Nações Unidas foi utilizada como referência, e as simulações de política. Os resultados indicam inicialmente que as mudanças climáticas ofereceriam um risco relativo à economia dos blocos mais vulneráveis e, de forma generalizada, à produção de bens da agricultura, pecuária e silvicultura e à produção de alimentos processados. Os resultados dos cenários populacionais mostram que os blocos constituídos por países mais ricos e com economias mais diversificadas tenderiam a ganhar em detrimento dos demais em

¹⁹ Os testes de sensibilidade foram realizados com base na faixa de $\pm 20\%$ para os valores dos parâmetros, com distribuição triangular nos níveis de substituição. A partir dessa definição, foram obtidos as médias e os desvios-padrão usados para construir intervalos de confiança (em termos de limites inferiores e superiores). Os intervalos de confiança consideraram um valor igual a 3,16 desvios-padrão da média (intervalo de confiança de 90% usando a desigualdade de Chebychev). No caso das versões dinâmicas dos modelos EGC, a análise de sensibilidade apresenta os valores da média e desvio-padrão para cada ano da simulação, com resultados para o desvio acumulado entre o *baseline* e a política, para o cenário de política e para o *baseline* endógeno (Rerun).

termos de PIB. Por outro lado, seria incentivada, de forma generalizada, a produção da agropecuária e silvicultura e da indústria de alimentos dos blocos. Considerando os efeitos isolados dos cenários populacionais, o comércio internacional também poderia manter o abastecimento das regiões de todos os bens das atividades econômicas.

Analisando conjuntamente os efeitos dos cenários populacionais e de mudanças climáticas sobre as atividades, ter-se-ia redução da produção da agropecuária e silvicultura em todos os blocos, exceto no BEA7 e ROW. Nos outros cenários populacionais, que projetam um crescimento populacional menor, a queda só não ocorreria no ROW. Haveria queda na produção da indústria de alimentos nesses cenários populacionais em todos os blocos. Portanto, os efeitos de mudanças climáticas, juntamente com os movimentos causados pelas trajetórias projetadas acerca da população, podem representar um risco para as atividades econômicas, especialmente aquelas relacionadas à produção agrícola e de alimentos e de forma mais intensiva nas regiões mais vulneráveis. Políticas de mitigação às mudanças climáticas são imperativas em todas as regiões para reduzir os riscos à produção. Além disso, políticas de comércio internacional podem ser adotadas para auxiliar o comércio desses bens, de forma a facilitar o abastecimento das regiões mais prejudicadas, do ponto de vista tanto populacional quanto climático.

Referências

- AGUIAR, A.; CHEPELIEV, M.; CORONG, E.; MCDUGALL, R.; VAN DER MENSBRUGGHE, D. The GTAP Data Base: version 10. *Journal of Global Economic Analysis*, v. 4, n. 1, p. 1-27, 2019.
- AKÜNAL, E.; EROL, S. Using cluster analysis to define the position of a developing country in global transportation services trade environment. *Gazi University Journal of Science*, v. 29, n. 4, p. 751-767, 2016.
- ASSUNÇÃO, J.; CHEIN, F. Climate change and agricultural productivity in Brazil: future perspectives. *Environment and Development Economics*, v. 21, n. 5, p. 581-602, 2016.
- BANDARA, J. S.; CAI, Y. The impact of climate change on food crop productivity, food prices and food security in South Asia. *Economic Analysis and Policy*, v. 44, n. 4, p. 451-465, 2014.
- BARBIERI, A. F.; DOMINGUES, E.; QUEIROZ, B. L.; RUIZ, R. M.; RIGOTTI, J. I.; CARVALHO, J. A. M.; RESENDE, M. F. *Population and Environment*, v. 31, n. 5, special issue on Climate Change: Understanding Anthropogenic Contributions and Responses, p. 344-370, 2010.
- BOSERUP, E. *The conditions of agricultural growth: the economics of agrarian change under population*. Londres: Allen and Unwin; Chicago: Aldine, 1965.
- BURFISHER, M. E. *Introduction to computable general equilibrium models*. Cambridge: Cambridge University Press, 2017.
- BURNIAUX, J. *Incorporating carbon sequestration into CGE models: a prototype GTAP model with land use, 2002*. Disponível em: <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/1219.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2018.
- CALIŃSKI, T.; HARABASZ, J. A dendrite method for cluster analysis. *Communications in Statistics-theory and Methods*, v. 3, n. 1, p. 1-27, 1974.
- COLLINS, J. Agriculture and population growth. *Jason Collins Blog*, Sep. 17, 2012. Disponível em: <https://jasoncollins.org/2012/09/17/agriculture-and-population-growth/>. Acesso em: 15 nov. 2018.

CURI, P. R. Agrupamento de países segundo indicadores de padrão de vida. **Revista de Saúde Pública**, v. 27, n. 2, p. 127-134, 1993.

DAVIS, K. The world demographic transition. **Annals of the American Academy of Political and Social Science**, v. 237, n. 1, p. 1-11, 1945.

DEVUYST, E.; PRECKEL, P. Sensitivity analysis revisited: a quadrature-based approach. **Journal of Policy Modeling**, v. 19, n. 2, p. 175-185, 1997.

DIXON, P. B.; RIMMER, M. **Dynamic general equilibrium modeling for forecasting and policy: a practical guide and documentation of MONASH**. Amsterdam: North-Holland, 2002.

DIXON, P. B.; PARMENTER, B. R.; POWEEL, A. A.; WILCOXEN, P. J. **Notes and problem in applied general equilibrium economics**. Amsterdam: North-Holland, 1992.

DUDA, R. O.; HART, P. E. **Pattern classification and scene analysis**. New York: Wiley, 1973.

EASTERLING, D. R.; WEHNER, M. F. Is the climate warming or cooling? **Geophysical Research Letters**, v. 36, n. 8, 2009.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Food and agriculture data. **FAOSTAT**, 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat>. Acesso em: 30 mar. 2020.

FARIA, W. R.; HADDAD, E. A. Modeling land use and the effects of climate change in Brazil. **Climate Change Economics**, v. 8, n. 1, 2017.

FEDOROFF, N. V.; BATTISTI, D. S.; BEACHY, R. N.; COOPER, P. J. M.; FISCHHOFF, D. A.; HODGES, C. N.; KNAUF, V. C.; LOBELL, D.; MAZUR, B. J.; MOLDEN, D.; REYNOLDS, M. P.; RONALD, M. W.; ROSEGRANT, M. W.; SANCHEZ, P. A.; VONSHAK, A.; ZHU, J.-K. Radically rethinking agriculture for the 21st century. **Science**, v. 327, n. 5967, p. 833-834, 2010.

FÉRES, J.; REIS, E.; SPERANZA, J. Mudanças climáticas globais e seus impactos sobre os padrões de uso do solo no Brasil. In: XXXVII ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: Anpec, 2009.

FERREIRA FILHO, J. B.; HORRIDGE, M. Climate change impacts on agriculture and internal migrations in Brazil. In: 48^o CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL. **Anais [...]**. Campo Grande: Sober, 2010. Disponível em: <http://www.sober.org.br/palestra/15/280.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2018.

FIGUEIREDO, A. M. R.; FERREIRA, A. V.; TEIXEIRA, E. C. Impactos da integração econômica nas commodities da economia brasileira e da União Europeia. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro, v. 55, n. 1, p. 77-106, 2001.

FUGLIE, K. O.; WANG, S. L.; BALL, V. E. **Productivity growth in agriculture: an international perspective**. Oxfordshire, UK: CAB International, 2012.

GODFRAY, H. C. J.; BEDDINGTON, J. R.; CRUTE, I. R.; HADDAD, L.; LAWRENCE, D.; MUIR, J. F.; PRETTY, J.; ROBINSON, S.; THOMAS, S. M.; TOULMIN, C. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. **Science**, v. 327, n. 5967, p. 812-818, 2010.

GORNALL, J.; BETTS, R.; BURKE, E.; CLARK, R.; CAMP, J.; WILLET, K.; WILTSHIRE, A. Implications of climate change for agricultural productivity in the early twenty-first century. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 365, p. 2973-2989, 2010.

GURGEL, A. C.; CAMPOS, A. C. Avaliação de políticas comerciais em modelos de equilíbrio geral com pressuposições alternativas quanto aos retornos de escala. **Revista Estudos Econômicos**, v. 36, n. 2, p. 323-354, 2006.

HADDAD, E. A.; DOMINGUES, E. EFES – Um modelo aplicado de equilíbrio geral para a economia brasileira: projeções setoriais para 1999-2004. **Estudos Econômicos**, v. 31, n. 1, p. 89-125, 2001.

HAYAMI, Y.; RUTTAN, V. W. Agricultural productivity differences among countries. **The American Economic Review**, v. 60, n. 5, p. 895-911, 1970.

HEISTERMANN, M.; MÜLLER, C.; RONNEBERGER, K. Land in sight? Achievements, deficits and potentials of continental to global scale land-use modeling. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 114, p. 141-158, 2006.

HERTEL, T. **Global trade analysis: modeling and applications**. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.

HERTEL, T.; VAN DER MENSBRUGGHE, D. **Behavioral parameters**. West Lafayette: Center for Global Trade Analysis. Purdue University, 2016. (GTAP 9 Data Base Documentation). Disponível em: https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/res_display.asp?RecordID=5138. Acesso em: 06 abr. 2020.

IANCHOVICHINA, E.; McDOUGALL, R. **Theoretical structure of dynamic GTAP**. West Lafayette: Center for Global Trade Analysis, 2000. (GTAP Technical Paper, n. 17). Disponível em: <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/160.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2020.

IANCHOVICHINA, E.; WALMSLEY, T. **Dynamic modeling and applications for global economic analysis**. Cambridge: Cambridge University Press, 2012.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. 6. ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 2007.

KAGEYAMA, A.; LEONE, E. T. **Uma tipologia dos municípios paulistas com base em indicadores sócio demográficos**. Campinas: IE/Unicamp, 1999.

KUZNETS, S. S. **The economic growth of nations**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1971.

LEE, H-L. The impact of climate change on global food supply and demand, food prices, and land use. **Paddy and Water Environment**, v. 7, n. 4, p. 321-331, 2009.

LEITE, G. B.; BRIGATTE, H.; DEAGUILAR, E. B. Análise multivariada de indicadores socioeconômicos dos países do G-20. **Revista de Economia Mackenzie**, v. 7, n. 1, p. 125-147, 2009.

LEWIS, W. A. **The theory of economic growth**. Homewood, Illinois: Richard D. Irwin, 1955.

LOBELL, D. B.; GOURDJJI, S. M. The influence of climate change on global crop productivity. **Plant Physiology**, v. 160, p. 1686-1697, 2012.

LUGOVOY, O. Examining GTAP parameters using bayesian approach. *In*: 12th ANNUAL CONFERENCE ON GLOBAL ECONOMIC ANALYSIS. **Proceedings** [...]. Santiago, Chile: Global Trade Analysis Project (GTAP), 2009. Disponível em: https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/res_display.asp?RecordID=3121. Acesso em: 06 abr. 2020.

McKINTRICK, R. The econometric critique of computable general equilibrium modeling: the role of functional forms. **Economic Modeling**, v. 15, n. 4, p. 543-573, 1998.

MENDELSON, R.; NORDHAUS, W. D.; SHAW, D. The impact of climate on agriculture: a Ricardian analysis. **The American Economic Review**, v. 84, n. 4, p. 753-771, 1994.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatísticas multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: UFMG, 2007.

OREIRO, J. L.; LEMOS, B. P.; MISSIO, F. J.; PADILHA, R. A. Qual a taxa potencial de crescimento da economia brasileira? Uma análise com base na calibragem de dois modelos tradicionais de crescimento econômico. **Revista de Economia**, v. 31, n. 2, p. 34-46, 2005.

PEROBELLI, F. S.; BETARELLI JUNIOR, A. A.; VALE, V. A.; CUNHA, R. G. Mercados tradicionais e potenciais do agronegócio brasileiro: efeitos da expansão de demanda no comércio internacional. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 55, p. 343-366, 2017.

ROSTOW, W. W. The stages of economic growth. **The Economic History Review**, v. 12, n. 1, p. 1-16, 1959.

SANGHI, A.; ALVES, D.; EVENSON, R. E.; MENDELSON, R. Global warming impacts on Brazilian agriculture: estimates of the Ricardian model. **Economia Aplicada**, v. 1, n. 1, p. 7-33, 1997.

SANGHI, A.; MENDELSON, R. The impacts of global warming on farmers in Brazil and India. **Global Environmental Change**, v. 18, n. 4, p. 655-665, 2008.

TANURE, T. M. P. **Mudanças climáticas e agricultura no Brasil: impactos econômicos regionais e por cultivo familiar e patronal**. 2020. 259 f. Tese (Doutorado em Economia) – Cedeplar, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.

THOMPSON, W. Population. **American Journal of Sociology**, v. 34, n. 1, p. 3-15, 1928.

TIMMINS, C. Endogenous land use and the Ricardian valuation of climate change. **Environmental & Resources Economics**, v. 33, n. 1, p. 119-142, 2006.

TOLENTINO, C. M.; SILVA, L. A.; DE BRITTO ROCHA, G. Mensurando sistemas nacionais de inovação: evidências a partir da análise multivariada de dados. **Gestão e Sociedade**, v. 11, n. 28, p. 1651-1679, 2016.

TORREY, B. B.; TORREY, E. F. Population increases and agricultural productivity. **The fight against hunger and malnutrition: the role of food, agriculture, and targeted policies**. Oxford: OUT, 2015.

UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. **World Population Prospects 2019**, Online Edition. Rev. 1, 2019a. Disponível em: <https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population/>. Acesso em: 06 abr. 2020.

UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. **World Population Prospects 2019: methodology of the United Nations population estimates and projections (ST/ESA/SER.A/425)**. 2019b. Disponível em: https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Methodology.pdf. Acesso em: 06 abr. 2020.

VAN MEIJL, H.; VAN RHEENEN, T.; EICKHOUT, B. The impact of different policy environments on agricultural land use in Europe. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 114, n. 1, p. 21-38, 2006.

VILLORIA, N. B.; MCDUGALL, R. **FlexAgg2.0: an improved version of the data aggregation Program FlexAgg**. Center for Global Trade Analysis, Purdue University, 2012. (GTAP 8 Data Base Documentation). Disponível em: <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/5868.pdf>. Acesso: 30 mar. 2020.

WORLD BANK. **DataBank**. 2020. Disponível em: <https://databank.worldbank.org/databases>. Acesso em: 30 mar. 2020.

Sobre os autores

Weslem Rodrigues Faria é doutor em Teoria Econômica pela Universidade de São Paulo (FEA/USP). Professor do Departamento de Economia e do Programa de Pós-graduação em Economia da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF).

Fernando Salgueiro Perobelli é doutor em Teoria Econômica pela Universidade de São Paulo (FEA/USP). Professor do Departamento de Economia e do Programa de Pós-graduação em Economia da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF).

Daniele Lima de Oliveira Souza é mestre em Economia pelo Programa de Pós-graduação em Economia da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF).

Endereço para correspondência

Weslem Rodrigues Faria

Faculdade de Economia, Universidade Federal de Juiz de Fora
Rua José Lourenço Kelmer, s/n, São Pedro
36036-900 – Juiz de Fora-MG, Brasil

Fernando Salgueiro Perobelli

Faculdade de Economia, Universidade Federal de Juiz de Fora
Rua José Lourenço Kelmer, s/n, São Pedro
36036-900 – Juiz de Fora-MG, Brasil

Daniele Lima de Oliveira Souza

Faculdade de Economia, Universidade Federal de Juiz de Fora
Rua José Lourenço Kelmer, s/n, São Pedro
36036-900 – Juiz de Fora-MG, Brasil

Abstract

Population projection, climate change and economic effects: assessment based on agricultural economic blocks

The future population trajectory, as well as climate change, are aspects that generate uncertainties as to their probable effects on the economy, especially on agricultural production and food industry. This paper simulates the effects of population scenarios and one of climate change using the GTAP computable general equilibrium model. A version of GTAP 10 was created to identify Agriculture, Forestry and Food Industry activities, and eight regions, called Agricultural Economic Blocks, using multivariate analysis techniques. The dynamic simulations of the accumulated deviation between the baseline and the policy scenarios up to 2050 in isolation indicated widespread negative effects of climate change on the GDP and economic activities of the blocs. The results of the population scenarios indicated that the blocks made up of richer countries and with more diversified economies would tend to win at the expense of the others in terms of GDP. On the other hand, they would generally encourage the blocks' Agriculture, Forestry and Food Industry productions. Taken together, the negative effects of climate change would tend to outweigh the positive effects of population scenarios and more intensively on those which project less population growth.

Keywords: Population projection. Climate change. Agricultural economic blocks. Economic effects.

Resumen

Proyección de la población, cambio climático y efectos económicos: una evaluación basada en bloques económicos agrícolas

La trayectoria futura de la población así como el cambio climático son aspectos que generan incertidumbres con respecto a sus probables efectos en la economía, especialmente en la producción agrícola y en la industria alimentaria. El artículo simula los efectos de los escenarios de población y del cambio climático utilizando el modelo de equilibrio general computable GTAP. Se creó una versión de GTAP 10 para reconocer las actividades de la agricultura y la silvicultura y la industria alimentaria en ocho regiones llamadas *bloques económicos agrícolas*, construidas con técnicas de análisis multivariados. Las simulaciones dinámicas de la desviación acumulada entre la línea de base y los escenarios de política hasta 2050 solo indicaron efectos negativos generalizados del cambio climático sobre el producto interno bruto (PIB) y las actividades económicas de los bloques. Los resultados de los escenarios de población indicaron que los bloques formados por países más ricos y con economías más diversificadas tenderían a ganar a expensas de los demás en términos de PIB. Por otro lado, alentarían, generalizadamente, la producción de agricultura y silvicultura y también la industria alimentaria de los bloques. Tomados en conjunto, los efectos negativos del cambio climático tenderían a superar los efectos positivos de los escenarios de población, más intensamente en aquellos que proyectan un menor crecimiento de la población.

Palabras clave: Proyección de población. Cambios climáticos. Bloques económicos agrícolas. Efectos económicos.

Recebido para publicação em 21/08/2019

Aceito para publicação em 30/07/2020