

Introdução

As emissões antrópicas de gases causadores do efeito estufa (GEE) desencadearam um processo gradual de aquecimento global e mudanças climáticas que se intensificou com o advento da industrialização dos países capitalistas. Tal processo traz consigo amplos impactos sobre a biodiversidade e os ecossistemas existentes no planeta Terra e por isso incita novos desafios a serem enfrentados pela sociedade.

Estudos reportados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007) indicam que haverá no Brasil um aumento médio de temperatura de 1,43°C e uma redução média de 1,44% na pluviosidade durante os anos de 2030 e 2049. Tais dados foram utilizados por Assunção e Chein (2016) para projetar a perda de produtividade agrícola no país, indicando uma redução média de produtividade de 18% em âmbito nacional, mas com ampla variação regional (-40% a +15%).

Em virtude da mudança de produtividade agrícola uma nova configuração da geografia da produção agrícola se molda no país, com benefícios e perdas dependendo da cultura e da região analisada. Os efeitos dessa nova configuração não ficam restritos à produção em si, mas afetam a economia como um todo, trazendo impactos sobre o PIB, o emprego, a renda, o consumo, os fluxos migratórios, e não obstante, sobre a segurança alimentar.

A região da Amazônia Legal, por se situar em uma latitude baixa, sofrerá os efeitos das mudanças climáticas de maneira mais intensa. De acordo com o *Fourth Assessment Report* (AR4) do IPCC (2007) a região pode passar por um processo de substituição de área de floresta tropical para vegetação do tipo savana, e da vegetação semiárida para vegetação árida, com efeitos perversos de retroalimentação do aquecimento global, dado o fundamental papel exercido pela floresta amazônica na absorção de gás carbônico.

Posto que a região da Amazônia Legal concentrará parte dos efeitos de queda de produtividade agrícola no país, sendo ainda uma região extensa e por isso caracterizada pela heterogeneidade de aspectos que respondem de maneira distinta às mudanças climáticas, como a diversidade de biomas e culturas cultivadas, a avaliação dos impactos sobre as economias regionais torna-se fundamental para formulações de políticas adaptativas e mitigatórias dos seus efeitos. Sendo assim, este trabalho tem como objetivo projetar os impactos das mudanças climáticas sobre a região da Amazônia Legal utilizando o modelo REGIA, um modelo EGC inter-regional para o Brasil, especificamente modelado para as regiões da Amazônia Legal. Os cenários de alterações climáticas sobre a produtividade agrícola partiram das informações fornecidas por Assunção e Chein (2016), para o período de 2030 a 2049.

O estudo está dividido em 4 seções, além desta introdução. Na seção 1, serão apresentados os aspectos relacionados às mudanças climáticas e as características econômicas da Amazônia Legal. A seção 2 apresentará o modelo Régia e a metodologia utilizada no estudo. Na seção 3, apresentar-se-á os resultados obtidos, e por fim as considerações finais.

1. A Amazônia Legal: mudanças climáticas e características econômicas

De acordo com o *Fifth Assessment Report* do IPCC, é muito provável que a elevação da temperatura média global tenha sido causada pela emissão de gases causadores do efeito estufa²

2 O vapor d'água (H₂O), o dióxido de carbono (CO₂), o óxido nitroso (N₂O), o metano (CH₄) e o ozônio (O₃) são os principais gases causadores do efeito estufa na atmosfera terrestre (BRASIL, MMA, 2007), sendo o Efeito

(GEE) pelo Homem. Esse aquecimento levou a um processo de alteração nos níveis de pluviosidade e do ciclo hidrológico com impactos sobre a disponibilidade de recursos hídricos em âmbito global.

Warming in the climate system is unequivocal and since 1950 many changes have been observed throughout the climate system that are unprecedented over decades to millennia. Each of the last three decades has been successively warmer at the Earth's surface than any preceding decade since 1850 (...) "Observations of changes in the climate system are based on multiple lines of independent evidence. Our assessment of the science finds that the atmosphere and ocean have warmed, the amount of snow and ice has diminished, the global mean sea level has risen and the concentrations of greenhouse gases have increased" (...) (AR5, IPCC, 2013).

A temperatura média no planeta Terra continuará a subir com a inação, podendo variar, segundo o IPCC (2014) entre 1.4 °C e 5.8 °C até o ano de 2100.

Os impactos do aquecimento global são diversos e afetam todo o conjunto de vida que habita o planeta Terra, sobretudo a vida humana. Dentre os impactos globais mais imediatos provocados pelo aquecimento global, estão o deslocamento de populações em virtude de climas extremos, como furacões, secas, alagamento de rios e de áreas próximas aos oceanos, proliferação de doenças, alteração de ecossistemas e na produção de alimentos.

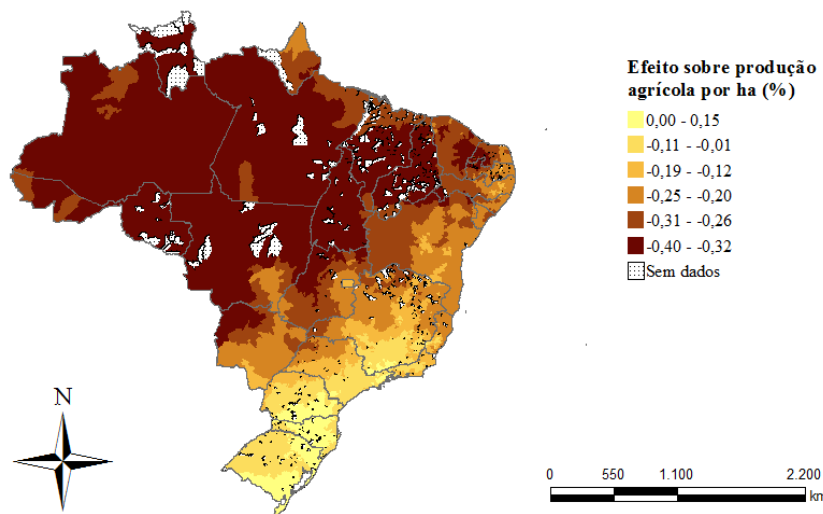
A produção de alimentos e conseqüentemente a segurança alimentar se destacam como questões desafiadoras, visto que a população mundial continua a crescer demandando maior produção de alimentos, num ambiente incerto e mutante. Valin H, et al (2014), estimam que a demanda de alimentos aumentará por volta de 60% a 70% nos próximos 40 anos, num ambiente onde as secas e o nível de precipitações terão um impacto negativo sobre a produção de alimentos.

As alterações de pluviosidade e de temperatura responsáveis pelas mudanças climáticas impactarão o nível de produtividade agrícola de maneira heterogênea. Os efeitos perversos se concentrarão nas regiões localizadas em baixas latitudes, enquanto as latitudes médias se tornarão mais propícias à produção agrícola de diversas culturas, dado sua temperatura amena. Contudo, sabe-se que apesar do aumento dos níveis de CO₂ e de temperatura favorecer o crescimento de algumas culturas, isso não se traduz em maior produção visto que o aquecimento global traz consigo fatores negativos que se sobrepõem aos positivos, como a proliferação de pestes e escassez de fontes de água para irrigação, além de alterações no nível de precipitações (FAO, 2005).

Assunção e Chein (2016) estimaram os impactos das mudanças climáticas sobre a produtividade agrícola municipal no Brasil no período entre 2030 e 2049 utilizando o cenário A1B₃ do IPCC. Os resultados indicam grande heterogeneidade no território nacional. A concentração dos efeitos de queda de produtividade agrícola se concentra na região da Amazônia Legal, compreendendo os estados da região Norte, Nordeste e Centro Oeste.

Estufa um fenômeno natural ocasionado por gases que impedem que parte da energia solar que chega ao planeta retorne ao espaço, mantendo a temperatura média do planeta próxima aos 14°C (BRASIL, 2016).

3 O cenário A1B do IPCC compreende um futuro com grande crescimento econômico e introdução de novas e mais eficientes tecnologias, haverá convergência entre as regiões com redução das disparidades econômicas e uma maior interação cultural e social. A população global atingirá seu pico em meados do século e depois entrará em declínio. A base energética será balanceada entre combustíveis fósseis e não fósseis (IPCC, 2007a).



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados de Assunção e Chein (2016)

Figura 1: Efeito das mudanças climáticas sobre a produção agrícola brasileira por hectare em nível municipal (2030 a 2049)

Assim dada a intensidade destes efeitos sobre a região da Amazônia Legal, conforme evidenciado na figura 1, reforça-se a necessidade de entender e mensurar os impactos econômicos da mudança de produtividade agrícola na região, essenciais para formulação de políticas de adaptação a mudança climática. Neste sentido, a próxima seção faz uma breve caracterização da dinâmica econômica da Amazônia Legal.

2.1 Aspectos econômicos da Amazônia Legal

O conceito de Amazônia Legal e sua configuração territorial foram instituídos inicialmente em 1953 em decorrência da necessidade de planejar o desenvolvimento econômico da região que representa cerca de 60% do território nacional e abriga cerca de 12% da população brasileira compreendidas entre os estados da região Norte (Amazonas, Acre, Amapá, Rondônia, Roraima, Tocantins e Pará), o estado do Mato Grosso e parte do estado do Maranhão (BRASIL, 2008).

A economia da Amazônia Legal é bastante heterogênea e espelha sua diversidade ambiental, social e cultural. Os setores econômicos mais relevantes para região são o agropecuário, o florestal, o mineral, o industrial e as atividades urbanas, que por possuírem dinâmicas distintas, despontam em regiões específicas dentro da região, com destaque para o complexo minerador do Carajás nos estados do Pará e do Maranhão, as zonas francas industriais no Amazonas e no Amapá, e o agronegócio ligado aos estados de Mato Grosso, Rondônia, Tocantins, Pará e Maranhão.

Segundo o IBGE (2017), o PIB da Amazônia legal foi de R\$136,7 bilhões em 2010, representando 8,1% do PIB nacional, participação que vem aumentando, ante aos 7,88% da participação nacional em 2005 e de 6,57% em 1990. Dentro da Amazônia Legal destaca-se a participação do estado do Pará responsável por cerca de 25% do PIB regional. Amazonas e Mato Grosso apresentam participação semelhante de 19,5% e 19,4%, respectivamente e compõem o grupo de estados mais representativos em termos de PIB.

Dentre os estados pertencentes à região da Amazônia Legal a composição do PIB é diversificada. A participação do setor agropecuário é relevante no estado do Mato Grosso, responsável por 32% do PIB agropecuário da Amazônia Legal, seguido pelo Maranhão com 19,4%, Pará com 13%, Rondônia 12% e Tocantins com 7%.

O setor agropecuário tem se expandido, sobretudo nos estados do Pará e do Mato Grosso, que respondem por 60% da expansão atual do valor da produção regional do setor. Até o final da década de 1960, a agricultura estava circunscrita aos territórios maranhenses e leste paraense, passando então a incorporar áreas de cerrado do Mato Grosso, Rondônia, Tocantins e sul do Maranhão. Neste processo, o plantio do arroz e do milho passou a competir com a soja e seus altos índices de produtividade e padrão tecnológico (BRASIL, 2008).

Segundo os dados do Censo agropecuário de 2006, a Amazônia Legal foi responsável por cerca de 33% da produção de soja nacional, com 17,79 milhões de toneladas, sendo 15,59 milhões de toneladas produzidas pelo estado de Mato Grosso. A produção de algodão em caroço representa cerca de 50% do total nacional, concentrada também no estado (98% da produção regional). Em termos nacionais, a Amazônia Legal também é responsável por 13,5% da produção do milho, por 20,8% do arroz e, em menor destaque, por 3,7% do total da produção de cana de açúcar.

Nas áreas de transição entre o cerrado e a floresta tropical há a predominância da produção familiar com os cultivos de mandioca, milho, feijão e arroz, além de culturas perenes como a banana, cacau e o café. Tais atividades ocorrem nas várzeas dos rios e ao longo dos principais eixos rodoviários da região, como a Transamazônica, BR-364 e PA-150 (BRASIL, 2008).

Dentre as atividades desempenhadas pela agricultura familiar, o destaque é a produção de mandioca que cumpre o duplo papel de abastecer o mercado nacional e de contribuir para a segurança alimentar de seus produtores. O principal produtor nacional é o estado do Pará, com 5,08 milhões de toneladas, sendo que a região da Amazônia legal é responsável por cerca de 36% do total nacional, segundo os dados do censo agropecuário de 2006.

Já a atividade pecuária na Amazônia Legal começou a se desenvolver a partir da década de 1980, período em que a atividade era restrita à região do pantanal mato-grossense e aos vales inferiores dos rios maranhenses, ilha de Marajó e cursos médios dos rios Araguaia e Tocantins. Os estímulos dados pela Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM) promoveram a atividade da pecuária bovina nas áreas de cerrado e nas áreas florestadas ao longo da transamazônica e das rodovias BR-364, BR-163, BR-319, PA-150, PA-279 e MT-138 (BRASIL, 2008).

Durante os anos de 1990 e 2005, 70% do crescimento do rebanho efetivo nacional se deu na região, especificamente nas áreas de fronteira do cerrado com a floresta amazônica e envolvendo parte dos dois ecossistemas. Atualmente os maiores rebanhos encontram-se no estado do Mato Grosso, Pará, Rondônia, Tocantins e Maranhão, sendo que a atividade é direcionada, sobretudo, para a produção de carne. A produção de leite possui uma dimensão menor, sendo exercida com destaque no norte mato-grossense e leste paraense. A suinocultura e a avicultura tem prosperado no Mato Grosso e no Pará (BRASIL, 2008).

O setor mineral possui relevância para a porção oriental da região, com destaque para a extração de ferro, manganês e cobre em Carajás; alumínio no Pará; alumina no Maranhão; caulim na região de Paragominas no Pará; bauxita na região do rio Trombetas; cassiterita no Amazonas e Rondônia. Tais empreendimentos são de grande porte e com potencial efeito multiplicador para a região, visto que segundo estudos do Serviço Geológico Brasileiro, para

cada posto de trabalho criado na mineração, 13 outros são criados ao longo da cadeia produtiva (BRASIL, 2008).

Apesar das atividades minero-metálicas serem representativas em alguns estados da Amazônia Legal, muitas destas atividades não contribuem para um processo de desenvolvimento local de base sustentável, muito em virtude do restante da cadeia produtiva se localizar fora da região. Segundo a Plano Amazônia Sustentável (2008), os empreendimentos minerários possuem característica de enclave, com reduzidos benefícios econômicos para a população local e com graves impactos ambientais. Ademais, a geração de empregos no setor é relativamente baixa, cerca de 14 mil no ano de 2015.

Em relação ao PIB industrial da região, a maior participação é do estado do Pará com 37%, seguido pelo Amazonas com 28% (IBGE, 2017).

O setor industrial na Amazônia Legal passou a ser estimulado com a criação da SUDAM a partir de 1966 e da Superintendência da Zona Franca de Manaus – SUFRAMA em 1967. Antes disto o setor era restrito a indústria de alimentos e bebidas, têxtil, florestal e construção civil. Ressalta-se que cerca de 75% da atividade industrial regional está concentrada nos quatro grandes centros urbanos, Manaus, Belém, São Luís e Cuiabá (BRASIL, 2008).

Segundo dados do IBGE (2017), o PIB industrial da Amazônia Legal totalizou 34,9 bilhões de reais em 2010, representando 26% do PIB total da Amazônia Legal e 8,6% do PIB industrial nacional. O maior e mais moderno centro industrial da região é o Polo Industrial de Manaus (PIM) no estado do Amazonas, empregando cerca de 100 mil trabalhadores concentrados sobretudo nos setores eletroeletrônicos, informática e motocicletas.

O setor da administração pública, por sua vez, é marcante nos estados de Roraima (45%), Amapá (44%), Acre (30%) e Rondônia (24%), indicando certa dependência em relação ao setor para geração de renda e empregos formais.

Em relação ao setor terciário, uma característica particular da região da Amazônia Legal é a grande informalidade, sendo que em nenhum município a população empregada no setor formal atinge mais de 50% da população economicamente ativa. A administração pública responde em grande parte pela formalização do trabalho, seguida pelo comércio e serviços nos grandes centros urbanos. O restante das atividades são compostas pela economia popular de pequena produção de mercadorias e prestação de serviços (BRASIL, 2008).

Portanto, a região da Amazônia Legal, por ser uma área extensa e que compreende três biomas, apresenta suas atividades econômicas distribuídas de maneira muito heterogênea pelo território. Em termos gerais, a agropecuária se destaca no bioma Cerrado e nas fronteiras com a floresta tropical, com os estados de Mato Grosso, Tocantins, Pará e Maranhão como os principais responsáveis pela produção regional; a indústria é concentrada nos grandes centros urbanos, sobretudo na Zona Franca de Manaus; a informalidade e a presença da economia popular é marcante nas zonas urbanas e a mineração exerce papel limitado quanto ao desenvolvimento local, sobretudo no Pará.

Neste sentido, assim como as atividades econômicas estão distribuídas de maneira heterogênea, os impactos do aquecimento global sobre a produção agrícola também se darão de maneira díspar, evidenciando a importância de se avaliar os impactos econômicos da queda de produtividade agrícola em decorrência das mudanças climáticas. A próxima seção apresenta a metodologia utilizada para verificar a nova dinâmica econômica da Amazônia Legal ante os impactos dessas mudanças.

2. Metodologia

Os modelos de equilíbrio geral computável (EGC) são compostos por um sistema de equações que descrevem a economia real como um todo e as interligações entre cada um dos setores e agentes econômicos. Esse é um dos aspectos que coloca esta metodologia em destaque em relação aos demais métodos e apresenta-se como o mais indicado para avaliar os impactos econômicos das mudanças climáticas, pois tais fenômenos do clima tem efeito direto e indireto sobre a economia em grande escala, tanto regionalmente quanto setorialmente.

Além disso, os efeitos das temperaturas e condições climáticas percebidas nos dados históricos são pequenos. Em outras palavras, ausência dos dados adequados do passado limita a estimação do fenômeno através de modelos econométricos ou estatísticos. (DOMINGUES et al., 2008). Nesse sentido, o uso dos modelos *ex-ante* como EGC tem sido os mais aconselháveis para projeções dos impactos das mudanças climáticas.

2.1. Modelo REGIA

O modelo REGIA foi especialmente construído para estudar os impactos econômicos regionais e setoriais da região da Amazônia Legal.

O modelo segue a estrutura de EGC *bottom-up*⁴ inter-regional do tipo Johansen⁵ abrangendo 30 mesorregiões da Amazônia Legal mais o restante do Brasil. As principais características deste modelo são: a) desagregação em nível regional da Amazônia Legal; b) uma estrutura de EGC com dinâmica recursiva; e c) modelagem de uso da terra (CARVALHO, 2014).

A estruturação teórica do REGIA parte do modelo TERM (HORRIDGE *et al.*, 2005). Os conjuntos de equações que compõem as relações de demanda e oferta seguem a hipótese de otimização e condições de equilíbrio de mercado. A produção setorial segue a minimização de custos sujeitos à tecnologia de produção com retornos constantes de escala e sua composição dos insumos intermediários e fator primário seguem a função Leontief (proporção fixa). Para cada setor, a alocação dos insumos intermediários é determinada via substituição preço entre produtos domésticos e importados seguindo a função de elasticidade de substituição constante (CES). Além disso, a função CES determina outras alocações como a composição doméstica entre as regiões e a escolha entre capital, trabalho e terra. O fator terra é utilizado no modelo pelos setores agrícola, pecuária e silvicultura (CARVALHO, 2014).

Em relação ao mecanismo de composição de demanda de bens, há uma família representativa para cada região que faz uma escolha entre bens domésticos e bens importados orientada pela função CES, em que os bens de diferentes origens são tratados como substitutos imperfeitos (hipótese de Armington). Além do mais, na escolha desses bens domésticos há ainda a opção entre diferentes regiões, sendo especificada, novamente, por uma função CES. As preferências de consumo das famílias são determinadas pela combinação de função de utilidade CES/Klein-Rubin. A partir dessa função cria-se um sistema linear de gastos (LES) em

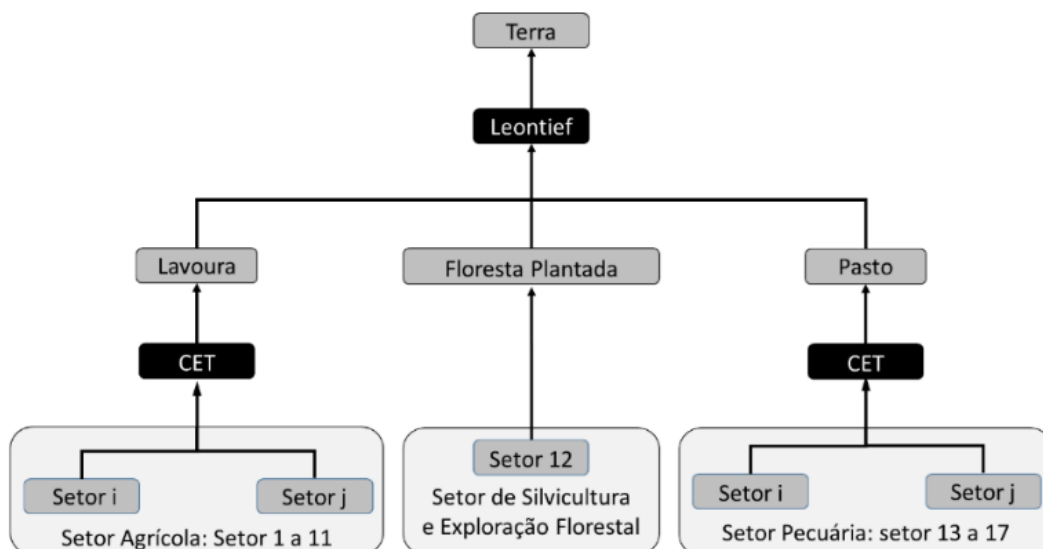
4 O modelo *bottom-up* é um modelo no qual os resultados nacionais são formados pelas agregações dos resultados regionais. No caso do REGIA, os resultados nacionais são agregações dos resultados de 30 mesorregiões da Amazônia Legal mais o restante do Brasil.

5 Os modelos de EGC do tipo Johansen têm sua estrutura matemática representada por sistema de equações linearizadas e as soluções são fornecidas na forma de taxas de variação percentuais.

que a parcela do consumo acima do nível de subsistência de cada bem representa a proporção fixa do consumo total de subsistência de cada família (CARVALHO, 2014).

Como foi mencionado anteriormente, um dos diferenciais do REGIA é o módulo de uso da terra, também conhecido como ILUC (*indirect land use change*), sendo uma característica fundamental para o objetivo do presente trabalho, que é foco na dinâmica do efeito de queda da produtividade agrícola decorrente das alterações climáticas. Esse módulo está inserido no fator terra localizado na composição dos fatores primários (trabalho, capital e terra), no qual o fator é determinado para cada região de maneira que o uso da área total da terra seja fixa e sem mobilidade do fator entre as regiões, ou seja, o tamanho do território de cada região não se altera.

A figura 2 ilustra a estrutura do módulo de uso da terra. No primeiro nível há o fator terra que é desagregado em três tipos de uso: a) lavoura, utilizada para setor agrícola; b) pasto, utilizada para setor pecuária; e c) floresta plantada, utilizada para setor de silvicultura e exploração florestal. No segundo nível, para cada categoria de uso da terra, exceto silvicultura e exploração florestal por ser o único setor que utiliza esse tipo de fator terra no modelo, há uma escolha entre setores via função CET (elasticidade de transformação constante). A dinâmica da demanda por terra corresponde às variações da remuneração da terra de cada setor e cada uso da terra é distribuído no ano t seguindo uma função do tipo CET entre os diferentes setores/produtos para cada região (CARVALHO, 2014).

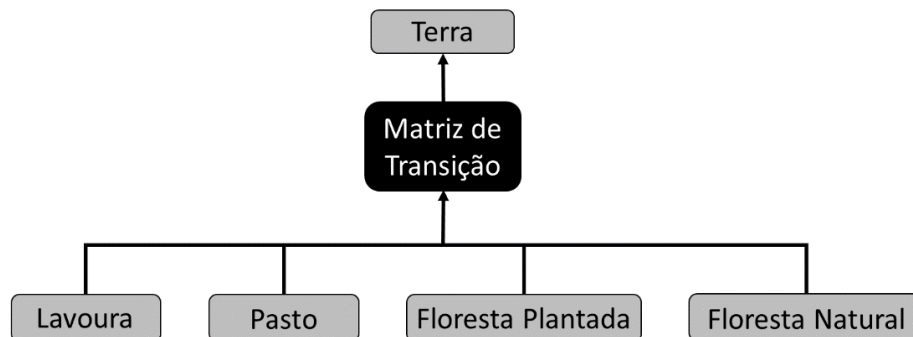


Fonte: adaptado de CARVALHO (2014).

Figura 2 – Estrutura de demanda por terra entre setores (ano t)

Em relação à oferta da terra, diferentemente da demanda, há mobilidade entre as diferentes categorias de uso da terra no período entre o ano t e ano $t + 1$. Esse processo de mobilidade da terra é ajustado pela matriz de transição, pois uma função CET não é capaz de capturar essa dinâmica de transição entre os diferentes tipos de uso da terra. A matriz contém a informação de grau de conversão da terra entre os tipos de usos para cada região e o grau de disponibilidade da terra reflete na elasticidade de oferta da terra, quanto maior a área disponível maior a elasticidade, ou seja, maior facilidade de conversão do uso da terra em termos de custos. Portanto, a dinâmica do mercado de oferta da terra é ajustado sob orientação da matriz de transição. Por fim, no equilíbrio de mercado da terra a variação da demanda por terra é igual a

variação da oferta da terra, fixando a oferta total disponível para cada região. A figura 3 ilustra essa estrutura da oferta da terra (CARVALHO, 2014).



Fonte: adaptado de CARVALHO (2014).

Figura 3 – Estrutura de oferta por terra entre categorias de uso (entre ano t e $t + 1$)

O banco de dados do REGIA é gerado pela matriz de insumo-produto do IBGE do ano de 2005, sendo composto por 110 produtos e 55 setores, e complementada pelas informações deflacionadas do Censo Agropecuário de 2006. Além disso, para completar, foram utilizadas outras fontes de dados como IBGE, RAIS, SECEX e POF para implementar informações regionais. Por fim, o banco de dados do REGIA apresenta estrutura matricial de 31 regiões e 27 setores (CARVALHO, 2014).

2.2. Construção dos choques e simulação

Para mensurar os impactos das mudanças climáticas sobre a produtividade agrícola na Amazônia Legal utilizou-se as informações do trabalho de Assunção e Chein (2016), onde foram estimadas as médias das mudanças de produtividade agrícola brasileira em nível municipal no período entre 2030 a 2049.

Na etapa da construção dos choques de produtividade, foram agregadas as mudanças municipais em 30 mesorregiões da Amazônia Legal mais o restante do Brasil. A agregação de cada região foi calculada de acordo com o peso, de cada município, da sua produção total da agricultura sobre a região pertencente. Após essa etapa, os resultados dessas agregações foram decompostas em taxas de crescimento em períodos quinquenais assim distribuídos: 2030/2034, 2035/2039, 2040/2044 e 2045/2049. Desse modo, a simulação do cenário das mudanças climáticas busca capturar os efeitos diretos e indiretos da mudança de produtividade agrícola causada pelo aquecimento global através dos mecanismos de interação entre setores e regiões do modelo REGIA. Os resultados dos choques calculados estão no anexo.

Os fechamentos selecionados (definição das variáveis exógenas e endógenas no modelo EGC) seguem o padrão de um modelo de dinâmica recursiva, a partir de um cenário de referência e um cenário de política. No cenário de referência as variáveis macroeconômicas como o consumo das famílias, gasto do governo, investimentos, exportação e PIB agregado são exógenas. No cenário de política, todas as variáveis macroeconômicas são endógenas e buscam capturar o efeito isolado das mudanças de produtividade projetadas sobre a economia da Amazônia Legal. Os resultados devem ser lidos como desvios acumulados em relação ao cenário de referência em que as mudanças climáticas não ocorressem.

3. Resultados

Esta seção apresenta os resultados da simulação do modelo REGIA. Conforme salientado, os resultados representam a diferença entre o cenário base e o cenário com o efeito das mudanças climáticas. Portanto, não devem ser lidos como quedas absolutas do PIB, por exemplo, mas variações relativas em relação a um cenário em que as mudanças não ocorressem.

3.1. Uso do Solo

O setor mais vulnerável aos efeitos das mudanças climáticas é a agricultura devido a sua dependência em relação a temperatura e pluviosidade para a produção. Uma hipótese é que a queda de produtividade da terra decorrente das mudanças climáticas, provavelmente provocaria maior uso da terra nesse setor para compensar a queda de produtividade do solo de modo a manter o nível da produção.

A tabela 1 apresenta o efeito das mudanças de produtividade agrícola sobre a área de lavoura, pasto, floresta plantada e natural. O mecanismo de uso da terra do modelo REGIA permite projetar a dinâmica do uso da terra, considerando que a área total disponível das regiões, a produtividade de cada uma delas e a rentabilidade relativa dos cultivos. Como a área total disponível das regiões é fixa, o aumento do uso da terra de determinado setor implica necessariamente na realocação entre usos⁶.

Tabela 1 – Efeito das mudanças climáticas sobre a área de lavoura, pasto, floresta plantada e floresta natural (em milhões de hectares) – valor acumulado 2030 – 2049

Mesorregiões	UF	Lavoura	Pasto	Floresta Plantada	Floresta Natural
Madeira-Guaporé	RO	0,03	-0,02	0,00	-0,01
Leste Rondoniense	RO	0,06	-0,05	0,00	-0,01
Vale do Juruá	AC	0,05	-0,01	0,00	-0,04
Vale do Acre	AC	0,09	-0,05	0,00	-0,04
Norte Amazonense	AM	0,02	0,00	0,00	-0,02
Sudoeste Amazonense	AM	0,06	0,00	0,00	-0,05
Centro Amazonense	AM	0,13	-0,02	-0,01	-0,10
Sul Amazonense	AM	0,05	-0,01	0,00	-0,04
Norte de Roraima	RR	0,03	-0,01	0,00	-0,02
Sul de Roraima	RR	0,02	-0,01	0,00	-0,01
Baixo Amazonas	PA	0,21	-0,05	-0,02	-0,14
Marajó	PA	0,06	0,00	-0,01	-0,05
Metropolitana de Belém	PA	0,01	0,00	0,00	0,00
Nordeste Paraense	PA	0,08	-0,05	-0,01	-0,02
Sudoeste Paraense	PA	0,08	-0,03	-0,01	-0,04
Sudeste Paraense	PA	0,06	-0,04	-0,01	-0,01
Norte do Amapá	AP	0,00	0,00	0,00	0,00
Sul do Amapá	AP	0,01	0,00	0,00	-0,01
Ocidental do Tocantins	TO	0,13	-0,12	-0,01	0,00
Oriental do Tocantins	TO	0,04	-0,04	0,00	0,00
Norte Maranhense	MA	0,05	-0,03	0,00	-0,02
Oeste Maranhense	MA	0,04	-0,03	0,00	-0,01
Centro Maranhense	MA	0,04	-0,02	0,00	-0,01
Leste Maranhense	MA	0,01	0,00	0,00	0,00
Sul Maranhense	MA	0,01	-0,01	0,00	0,00
Norte Mato-grossense	MT	0,49	-0,29	-0,02	-0,19
Nordeste Mato-grossense	MT	0,13	-0,07	0,00	-0,05

⁶ Vale ressaltar que o modelo REGIA desconta da área disponível as áreas de preservação ambiental para o cálculo da alocação de diferentes tipos de uso da terra.

Sudoeste Mato-grossense	MT	0,04	-0,03	0,00	-0,01
Centro-Sul Mato-grossense	MT	0,03	-0,03	0,00	0,00
Sudeste Mato-grossense	MT	0,04	-0,04	0,00	0,00
Amazônia Legal	-	2,10	-1,06	-0,10	-0,90

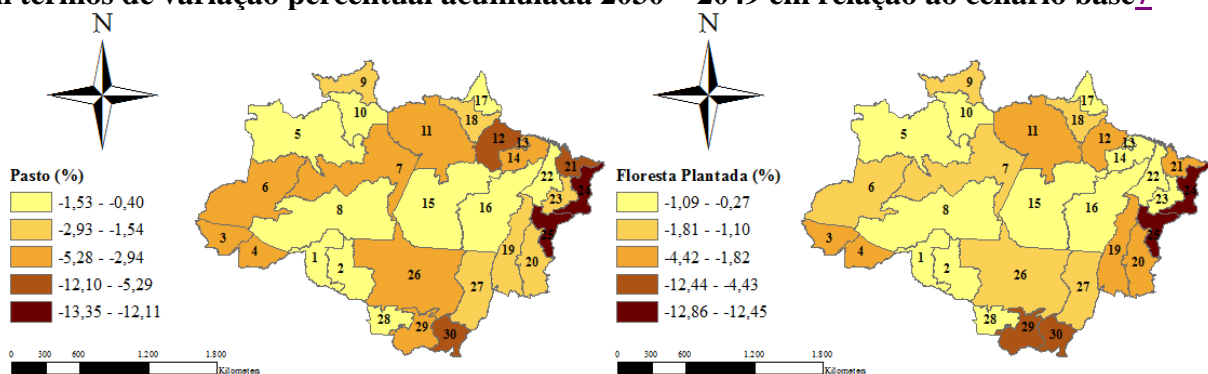
Fonte: Elaboração própria.

Como esperado, os resultados da simulação na tabela 1 indicam que haveriam padrões de crescimento das áreas (em milhões de hectares) destinadas para lavoura (setor agrícola) em todas as regiões. Em contrapartida, os resultados sugerem diminuição da área para pastagem (pecuária) e/ou florestas. As variações negativas da floresta natural são interpretados no modelo como desmatamento. Outro ponto a ser observado é que, apesar desse padrão convergente do efeito do choque, cada mesorregião foi afetada com magnitude distinta devido a sua estrutura produtiva, relações inter-setoriais e inter-regionais típicos de cada região.

Ainda sobre a tabela, as regiões que tenderiam a intensificar, em maior escala, o uso da terra (em milhões de hectares) destinada à agricultura seriam o Norte Mato-grossense e Baixo Amazonas. Consequentemente, seriam as regiões mais afetadas pelo desmatamento em termos de área.

Entretanto, quando se avalia a mesma variável em termos de variação percentual acumulada entre 2030 a 2049, a região que se destaca é o Norte Maranhense com taxa de desmatamento de 0,81% em relação ao cenário base (Mapa 1). Percentualmente, as mesorregiões com maiores aumentos da área de lavoura como decorrência da queda de produtividade agrícola seriam Madeira-Guaporé, Sul Amazonense, Sul de Roraima e Sudoeste Paraense. As áreas de pastagem, por sua vez, apresentariam maiores reduções de área em decorrência da expansão das áreas de lavoura, como mostrado na tabela 1. Esse efeito deve-se a maior facilidade de conversão do pasto em lavoura comparado aos demais uso de terra e ao fato de que na região da Amazônia Legal a atividade da pecuária se desenvolve de forma extensiva. O mapa 1 (à esquerda) ilustra a taxa de redução das áreas de pasto. As mesorregiões mais impactadas seriam o Leste Maranhense e Sul Maranhense com queda, respectivamente, de 13,35% e 12,11% em relação ao cenário base.

Mapa 1 – Efeitos das mudanças climáticas sobre as áreas de pasto e da floresta plantada em termos de variação percentual acumulada 2030 – 2049 em relação ao cenário base⁷



Fonte: Elaboração própria.

⁷ Lista de mesorregiões: 1- Madeira-Guaporé, 2- Leste Rondoniense, 3- Vale do Juruá, 4- Vale do Acre, 5- Norte Amazonense, 6- Sudoeste Amazonense, 7- Centro Amazonense, 8- Sul Amazonense, 9- Norte de Roraima, 10- Sul de Roraima, 11- Baixo Amazonas, 12- Marajó, 13- Metropolitana de Belém, 14- Nordeste Paraense, 15- Sudoeste Paraense, 16- Sudeste Paraense, 17- Norte do Amapá, 18- Sul do Amapá, 19- Ocidental do Tocantins, 20- Oriental do Tocantins, 21- Norte Maranhense, 22- Oeste Maranhense, 23- Centro Maranhense, 24- Leste Maranhense, 25- Sul Maranhense, 26- Norte Mato-grossense, 27- Nordeste Mato-grossense, 28- Sudoeste Mato-grossense, 29- Centro-Sul Mato-grossense, 30- Sudeste Mato-grossense.

O mapa 1 (à direita) ilustra a taxa de redução das áreas de floresta plantada. As mesorregiões mais impactadas seriam Leste Maranhense e Sul Maranhense com queda de 12,45% e 12,86%, respectivamente. Contudo, observando a tabela 1 em termos de área (em milhões de hectares) percebe-se que o efeito sobre esse uso de terra é menos intenso se comparado aos demais usos. Isso indica que a elevação do custo de produção deste fator terra é relativamente menor que os demais.

3.2. Produção Agrícola

A produção agrícola será bastante afetada pelas mudanças de pluviosidade e temperatura em decorrência das mudanças climáticas. Seus efeitos, no entanto, podem ser heterogêneos ao longo do território. De maneira geral, as culturas serão impactadas de maneira negativa. A tabela 2 apresenta a variação percentual da produção entre os anos de 2030 e 2049, por mesorregião e por cultura.

Tabela 2: Impacto sobre a produção agropecuária por mesorregião e cultura (desvio percentual acumulado entre 2030-2049 em relação ao cenário base)

Mesorregião	UF	Arroz Casca	Milho Grão	Soja Grão	Cana de Açúcar	Algodão Herbáceo	Mandioca	Outras Lavouras
Madeira Guaporé	RO	-0,92	-1,92	-1,97	-4,43	-0,38	-0,47	-0,40
Leste Rondoniense	RO	-11,93	-12,05	-11,78	-14,82	-2,72	-1,64	-2,26
Vale do Juruá	AC	-4,55	-4,90	-5,00	-7,45	-0,93	-0,73	-0,94
Vale do Acre	AC	-10,58	-10,56	-10,32	-13,34	-2,14	-1,33	-1,92
Norte Amazonense	AM	2,10	1,38	0,78	-0,78	0,12	-0,21	0,01
Sudoeste Amazonense	AM	0,54	-0,23	-0,76	-2,60	-0,03	-0,24	-0,19
Centro Amazonense	AM	-1,72	-2,24	-2,48	-4,98	-0,42	-0,48	-0,41
Sul Amazonense	AM	3,57	2,22	1,93	0,12	0,29	-0,10	0,16
Norte de Roraima	RR	-1,07	-1,94	-1,52	-3,98	-0,29	-0,44	-0,47
Sul de Roraima	RR	2,74	1,51	1,49	-0,42	0,22	-0,14	0,02
Baixo Amazonas	PA	-6,03	-6,37	-5,92	-9,35	-1,32	-0,93	-1,13
Marajó	PA	-2,71	-3,30	-3,22	-6,19	-0,56	-0,43	-0,39
Metropolitana de Belém	PA	-19,86	-19,73	-19,16	-22,09	-5,14	-2,77	-4,15
Nordeste Paraense	PA	-16,28	-16,14	-15,61	-18,98	-3,69	-2,01	-2,91
Sudoeste Paraense	PA	2,11	1,40	1,35	-0,80	0,19	-0,16	0,09
Sudeste Paraense	PA	-7,29	-8,12	-7,85	-10,89	-1,82	-1,14	-1,41
Norte do Amapá	AP	6,83	4,84	4,36	3,39	0,60	0,03	0,41
Sul do Amapá	AP	4,07	2,32	2,22	0,36	0,29	-0,23	0,15
Ocidental do Tocantins	TO	-14,27	-14,50	-13,70	-17,43	-3,34	-2,04	-2,58
Oriental do Tocantins	TO	-9,46	-10,06	-9,69	-12,51	-2,52	-1,67	-1,95
Norte Maranhense	MA	-5,72	-6,48	-6,14	-9,44	-1,13	-0,78	-0,99
Oeste Maranhense	MA	-9,51	-10,25	-10,15	-13,02	-2,50	-1,49	-1,94
Centro Maranhense	MA	-7,83	-8,28	-8,24	-11,19	-1,88	-1,12	-1,50
Leste Maranhense	MA	-15,97	-15,86	-15,34	-18,94	-3,62	-2,13	-2,84
Sul Maranhense	MA	-12,40	-12,56	-12,22	-15,77	-2,95	-1,84	-2,06
Norte Mato-grossense	MT	-6,41	-6,33	-6,82	-9,75	-1,32	-1,03	-1,10
Nordeste Mato-grossense	MT	-4,75	-5,23	-5,40	-8,17	-1,07	-0,83	-0,94

Sudoeste Mato-grossense	MT	-9,55	-9,64	-9,62	-12,52	-2,10	-1,38	-1,68
Centro-Sul Mato-grossense	MT	-9,72	-9,77	-9,81	-12,60	-2,05	-1,22	-1,55
Sudeste Mato-grossense	MT	-10,52	-10,11	-9,98	-13,48	-2,36	-1,59	-1,67
Amazônia Legal	-	-7,55	-7,90	-7,87	-11,34	-1,89	-1,14	-2,21

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados das simulações com o modelo REGIA

O aumento na área destinada às lavouras destinados a suprir a queda na produtividade agrícola seria insuficiente, visto que na região da Amazônia Legal, em média, haveria queda na produção de todos os cultivos. O impacto maior seria verificado na produção de cana de açúcar, com queda de 11,34% na produção.

A mesorregião Metropolitana de Belém seria a mais afetada se analisarmos todas as culturas apresentadas. Em média, a queda prevista para a produção de soja, milho, cana de açúcar e arroz na mesorregião seria de 20,2% em relação ao cenário de referência. Destarte, as mesorregiões presentes nos estados do Tocantins e Mato Grosso também apresentariam reduções significativas nestas culturas, com queda média de 12,7% e 9,1% respectivamente. Contudo, tais atividades são mais representativas em termos de PIB estadual, indicando um maior impacto econômico.

As mesorregiões do Norte e Nordeste de Matogrosso apresentam grande participação da produção de soja e algodão no PIB indicando que as quedas na produção da soja de 6,2% no Norte Mato-grossense e de 5,4% no Nordeste Mato-grossense e quedas de 1,3% e 1,07% respectivamente para a produção de algodão seriam significativas para as economias destas mesorregiões.

A mandioca, cuja participação no PIB agropecuário da Amazônia Legal é de cerca de 10% apresentará queda média de 1,14% na região, queda pequena em relação às outras culturas. Contudo, o consumo da mandioca é importante para a segurança alimentar de grande parte da população e produzido notadamente pela agricultura familiar, relativamente mais vulnerável. As mesorregiões localizadas nos estados do Maranhão, Tocantins, Pará e Mato Grosso estariam entre as mais afetadas pela queda da produção.

Algumas culturas em regiões específicas podem se beneficiar das mudanças climáticas. Pelas projeções, o estado do Amapá é o único cuja produção seria beneficiada.

3.3. Resultados macroeconômicos para a região da Amazônia Legal

Os efeitos macroeconômicos das mudanças de pluviosidade e de temperatura evidenciam que as mudanças climáticas serão prejudiciais à economia da Amazônia Legal. Os resultados projetados indicam queda nas principais variáveis macroeconômicas da região, em termos do consumo das famílias, do governo, investimento, exportações, importação, PIB, emprego e salário real conforme a tabela 3.

Tabela 3: Variáveis Macroeconômicas por estado e região da Amazônia Legal (desvio percentual acumulado entre 2030 a 2049 em relação ao cenário base)

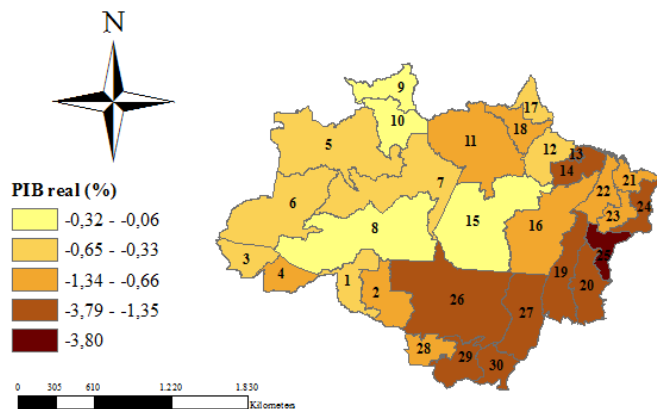
Estado	Consumo das famílias	Investimento	Consumo do Governo	Exportações	Importações	PIB
Rondônia	-0,87	-2,85	-0,84	-0,26	-0,65	-0,94
Acre	-0,76	-2,57	-0,72	-0,13	-0,81	-0,78
Amazonas	-0,38	-1,15	-0,36	-0,23	-0,31	-0,32

Pará	-1,49	-3,95	-1,32	-0,25	-1,08	-1,18
Roraima	0,06	-0,20	0,07	-0,08	-0,06	-0,08
Amapá	-0,80	-2,35	-0,83	-0,14	-0,94	-0,75
Tocantins	-1,65	-5,44	-1,66	-0,34	-1,94	-1,69
Maranhão	-1,07	-3,24	-0,86	-0,36	-0,97	-1,05
Mato Grosso	-1,68	-4,56	-1,62	-0,21	-1,32	-2,00
Amazônia Legal	-1,03	-3,34	-1,03	-0,23	-0,94	-1,18

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados das simulações com o modelo REGIA

Os estados mais afetados seriam Mato Grosso, Tocantins e Pará, apresentando quedas nos agregados macroeconômicos superiores à média da Amazônia Legal. Enquanto o PIB da Amazônia Legal seria impactada negativamente em 1,18% em relação ao cenário base, a redução para esses três estados serão de 2%, 1,69% e 1,18% respectivamente. Este desempenho é oriundo da maior participação das atividades agropecuárias na economia destes estados.

Mapa 2 – Impacto das mudanças climáticas sobre PIB real – desvio percentual acumulado 2030 a 2049 em relação ao cenário base



Fonte: Elaboração própria.

O mapa 2 ilustra em nível mesorregional o desvio percentual acumulado do PIB real no período entre 2030 a 2049 em relação ao cenário base. Mais uma vez, fica evidente que o efeito das mudanças climáticas não são homogêneos. As mesorregiões que sofreriam os maiores efeitos situam-se na região oriental e sul da Amazônia Legal, ao passo que, as regiões menos afetadas concentram-se na porção norte e ocidental.

Os estados do Mato Grosso e do Tocantins por apresentarem maior dependência das atividades agropecuárias seriam os estados mais afetados em termos de atividade econômica. A queda média respectiva do PIB para estes estados é de 2,00% e 1,69% no acumulado entre 2030 e 2049 em relação ao cenário base (a queda média para a Amazônia Legal seria de 1,18%).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do presente artigo foi simular os efeitos da queda de produtividade agrícola em decorrência das mudanças climáticas sobre a produção dos principais cultivos agrícolas na região da Amazônia Legal brasileira considerando o período de 2030 a 2049, de modo a projetar

os possíveis impactos sobre o uso da terra e sobre os principais indicadores econômicos da região.

As simulações indicam que durante o período de 2030 a 2049 as mudanças climáticas trarão impactos negativos para a economia da Amazônia Legal. Contudo, os efeitos são diferenciados sobre o território. Os resultados sugerem uma substituição gradual das áreas de pasto (-0,3%) e floresta natural (-0,3%) para áreas de lavoura (0,6%), indicando que a queda de produtividade agrícola deverá ser compensada com ganho territorial pelo setor e com impactos negativos sobre a pecuária e sobre o desmatamento. O PIB da Amazônia Legal apresentará queda acumulada próxima de 1,2% em 2049 (em relação ao cenário base), assim como no consumo das famílias (-1,03%), investimentos (-3,34%), consumo do governo (-1,03%), exportações (-0,23%) e importações (-0,94%).

Pelo fato do setor agrícola ser diretamente afetado pelas mudanças climáticas, os estados mais dependentes dessa atividade, tais como Mato Grosso, Tocantins e Pará, terão efeitos mais relevantes em termos de queda do PIB, com redução acumulada durante o período de 2%, 1,69% e 1,18% respectivamente. Dentre as culturas mais impactadas nestes estados, estão o milho (queda de 7.93% no valor da produção), arroz (-6.89%), soja (-7.54%) e cana de açúcar (-11,37%).

Portanto, as mudanças climáticas potencialmente podem acarretar efeitos adversos sobre a dinâmica econômica e social da região da Amazônia Legal. Os impactos e seus efeitos serão heterogêneos regionalmente e setorialmente, causando desequilíbrios, já bastante presentes, na região. Dessa forma, as políticas de mitigação e adaptação às mudanças climáticas se tornam necessárias para amenizar os prováveis prejuízos econômicos, sociais e ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSAD, E. D. e PINTO, H. S. **Aquecimento Global e a Nova Geografia da Produção Agrícola no Brasil**. CEPAGRI – Unicamp / EMBRAPA. 2008

BRASIL, 2008 - Presidência da República. **Plano Amazônia Sustentável: diretrizes para o desenvolvimento sustentável da Amazônia Brasileira**. Brasília, 2008. 112 p.

BRASIL, 2016 - Ministério do Meio Ambiente. **Efeito Estufa e Aquecimento Global**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/ciencia-da-mudanca-do-clima/efeito-estufa-e-aquecimento-global> Acesso em: nov/2016

BURFISHER, Mary E. **Introduction to computable general equilibrium models**. Cambridge University Press, 2011

CARVALHO, T. S. **Uso do Solo e Desmatamento nas Regiões da Amazônia Legal Brasileira: condicionantes econômicos e impactos de políticas públicas, 2014, 219 p.** 2014. Tese de Doutorado. Tese de Doutorado). Belo Horizonte: Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional (Cedeplar) Universidade Federal de Minas Gerais.

DOMINGUES, Edson; MAGALHÃES, Aline Souza; RUIZ, Ricardo Machado. **Cenários de mudanças climáticas e agricultura no Brasil: impactos econômicos na Região Nordeste**. Cedeplar, Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.



FAO, 2005 - **Special event on impact of climate change, pests and diseases on food security and poverty reduction**. Background Document. 31st Session of the Committee on World Food Security. Disponível em: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/meeting/009/j5411e.pdf>]

FAO, 2016 - Food and Agriculture Organization of the United Nations - **The state of food and agriculture - climate change, agriculture and food security**. Rome, 2016.

HORRIDGE, Mark; MADDEN, John; WITTEWER, Glyn. The impact of the 2002–2003 drought on Australia. **Journal of Policy Modeling**, v. 27, n. 3, p. 285-308, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). Censo Agropecuário 2006. Disponível em <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/ca/default.asp?o=2&i=P>. Acesso em 2017;

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). PIB Industrial, Agropecuário, Serviços e Setor Público de 2010. Disponível em <http://www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em 2017;

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Dados Macroeconômicos e Regionais. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx>

IPCC, 2000 – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Special Report on Emissions Scenarios** Nebojsa Nakicenovic and Rob Swart (Eds.) Cambridge University Press, UK. pp 570

IPCC, 2007 - **Climate Change 2007: Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, Core Writing Team, R.K. Pachauri and A. Reisinger (eds), Geneva: IPCC. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/029.htm#storya1>

IPCC, 2013 - **Working Group I - Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Summary for Policymakers**. October 2013, Switzerland

ASSUNÇÃO, Juliano; CHEIN, Flávia. Climate change and agricultural productivity in Brazil: future perspectives. **Environment and Development Economics**, p. 1-22, 2016.

Valin H, Sands RD, van der Mensbrugge, D, Nelson GC, Ahammad H, Blanc E, Bodirsky B, Fujimori S, Hasegawa T, Havlik P, Heyhoe E, Kyle P, Mason-D'Croz D, Paltsev S, Rolinski S, Tabeau A, van Meijl H, von Lampe M, Willenbockel D. 2014. **The future of food demand: understanding differences in global economic models**. *Agricultural Economics* 45(1): 51–67.