

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA
MESTRADO EM ECONOMIA**

SUELEN APARECIDA WENDLER

A MACROECONOMIA DA FISCALIZAÇÃO DO DESMATAMENTO

PONTA GROSSA

2021

SUELEN APARECIDA WENDLER

A MACROECONOMIA DA FISCALIZAÇÃO DO DESMATAMENTO

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Economia, no Programa de Pós-Graduação em Economia, Setor de Ciências Sociais Aplicadas, da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Celso José Costa Júnior

PONTA GROSSA

2021

W471 Wendler, Suelen Aparecida
A macroeconomia da fiscalização do desmatamento / Suelen Aparecida
Wendler. Ponta Grossa, 2021.
53 f.

Dissertação (Mestrado em Economia - Área de Concentração: Economia),
Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Celso José Costa Junior.
Coorientador: Prof. Dr. Alejandro Cayetano Garcia Cintado.

1. Mudanças climáticas. 2. Dsge. 3. Preservação ambiental. I. Costa Junior,
Celso José. II. Cintado, Alejandro Cayetano Garcia. III. Universidade Estadual de
Ponta Grossa. Economia. IV.T.

CDD: 333.72

TERMO DE APROVAÇÃO

SUELEN APARECIDA WENDLER

A MACROECONOMIA DA FISCALIZAÇÃO DO DESMATAMENTO

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Economia, da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora:

Ponta Grossa, 26 de março de 2021



Professor Dr. Celso José Costa Junior – UEPG

GARCIA CINTADO
ALEJANDRO
CAYETANO -
28733550H

Firmado digitalmente por
GARCIA CINTADO ALEJANDRO
CAYETANO - 28733550H
Fecha: 2021.03.27 11:14:55
+01'00'

Professor. Dr. Alejandro Cayetano Garcia Cintado – UEPG-UPO



Professor Dr. Ângelo Costa Gurgel – MIT Joint Program on the
Science and Policy of Global Change

AGRADECIMENTOS

Escrever os agradecimentos parece a parte mais fácil de qualquer trabalho acadêmico, mas organizar em uma única página as contribuições das pessoas mais importantes em nossa vida não é nada simples. Contudo, se aplicar um pouco de todas as noções de otimização aprendidas até aqui, talvez eu consiga fazer justiça a todos que me acompanharam ao longo desses anos de vida acadêmica.

Ironicamente abrimos um trabalho científico com um agradecimento a Deus, apesar dessa clara contradição, todos nós contamos com uma força maior e com a crença de que algo além de nossa compreensão cuida de nosso caminho. Assim, deixo aqui meu agradecimento a Deus por toda a vida que nos rodeia e pelas experiências vivenciadas.

A minha família, a qual nutriu junto comigo o sonho de chegar até a universidade, posso assegurar que alcançamos um novo degrau. Nada disso seria possível sem contar com o suporte de meu pai, a força de minha mãe e a alegria de minhas irmãs. A Dairton, Regiane, Ana e Isabeli, meus eternos agradecimentos pelo lar que construímos juntos.

Eu nem sei quais palavras são adequadas para agradecer a você, Wanderson. Eu não teria sido tão feliz durante essa fase se não fosse pela sua parceria, energia e cuidado. Obrigada por decidir compartilhar seus dias comigo.

Ao meu orientador, professor Celso Costa, não tenho como agradecer todas as conversas e todo o apoio que recebi ao longo desses anos de graduação e mestrado. Gostaria que soubesse que uma parcela de todas as minhas conquistas acadêmicas, presentes e futuras, se devem a suas contribuições. Obrigada por toda fé e confiança de que eu conseguiria.

Agradeço ao professor Karlo Marques pelas aulas de Macro e todo suporte durante a disciplina. Foi durante ela que construí toda a base da minha formação. Também agradeço aos colegas de mestrado e demais professores do departamento por toda contribuição.

A CAPES e toda sociedade brasileira, agradeço pelo financiamento. Em um período de tanta incerteza, contar com a bolsa foi fundamental para concentrar todas as energias em avançar na carreira universitária.

A todo Departamento de Economia da Universidade Estadual de Ponta Grossa, meu muito obrigado. Agradeço por todo conhecimento repassado e todas as contribuições a minha carreira profissional. Acredito que a universidade é um instrumento capaz de transformar a vida das pessoas e tive a sorte de viver essa transformação.

A todos, meu muito obrigado.

RESUMO

Este trabalho tem o objetivo de estudar a interação da fiscalização ambiental com as variáveis macroeconômicas, ou seja, qual o impacto dessas variáveis ao adotar estratégias de mitigação mais ativas. Para tanto, utilizou-se um modelo DSGE com dois setores, a saber: setor agropecuário; e setor não-agropecuário. Este modelo foi aplicado para economia brasileira usando dados anuais de 2005 até 2019. Os resultados indicam que uma política ativa de fiscalização consegue reduzir o desmatamento, e assim, os níveis de emissão de CO_2 de modo significativo e consistente. Dado que, no modelo deste trabalho, o setor agropecuário amplia sua produção por meio do desmatamento, então o esperado seria uma queda expressiva na produção deste setor, mas isso não foi comprovado, estatisticamente, nesses resultados.

Palavras-chave: Mudanças climáticas, DSGE, preservação ambiental

ABSTRACT

This work aims to study the interaction of environmental inspection with macroeconomic variables, that is, what is the impact of these variables when adopting more active mitigation strategies. For this, a DSGE model with two sectors was used, namely: agricultural sector; and non-agricultural sector. This model was applied to the Brazilian economy using annual data from 2005 to 2019. The results indicate that an active inspection policy is able to reduce deforestation, and thus, the emission levels of CO_2 significantly and consistently. Given that, in the model of this work, the agricultural sector expands its production through deforestation, then the expected would be a significant drop in the production of this sector, but this was not proven, statistically, in these results.

Keywords: Climate changes, DSGE, environmental preservation

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Emissão Anual Total de CO_2 subdividida por regiões (1751-2018) . . .	9
Figura 2 – Série de emissão de CO_2 na Amazônia em Mton CO_2 /ano	13
Figura 3 – Sistema de feedback do fluxo climático	21
Figura 4 – Estrutura do Modelo.	28
Figura 5 – Prior e posterior do modelo.	37
Figura 6 – Choque de CO_2	38
Figura 7 – Choque de fiscalização.	39
Figura 8 – Choque de preferência intertemporal.	50
Figura 9 – Choque de oferta de trabalho.	51
Figura 10 – Choque de produtividade no setor agropecuário.	52
Figura 11 – Choque de produtividade no setor não agropecuário.	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coeficientes de correlação, usando as observações 2005 – 2019. 5% valor crítico (bicaudal) = 0,5140 para $n = 15$	33
Tabela 2 – Variáveis observáveis do modelo.	34
Tabela 3 – Calibração dos parâmetros.	34
Tabela 4 – Distribuição <i>posteriori</i> do modelo.	36

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Contextualização	12
1.1.1	Degradação da Floresta Amazônica	13
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	Custos e riscos das mudanças climáticas	17
2.1.1	Falhas de Mercado	18
2.2	Modelos para o estudo de mudanças climáticas	19
2.2.1	Modelo de Análise de Avaliação Integrada	20
2.2.2	Modelos DSGE	23
2.3	Ferramentas para o estudo de mudanças climáticas	24
2.3.1	Ferramentas de Política Fiscal	24
2.3.1.1	Políticas de preço	25
2.3.1.2	Gastos e investimentos públicos	25
2.3.1.3	Parcerias público-privadas	25
2.3.2	Ferramentas de Política Monetária	26
2.3.3	Ferramentas de Política Financeira	26
3	MODELO	28
3.1	Famílias	29
3.2	Firmas	30
3.2.1	Firmas Produtoras de Bens Agropecuários	31
3.2.2	Firmas Produtoras de Bens Não Agropecuários	31
3.3	Condições de equilíbrio	32
4	ANÁLISE EMPÍRICA	33
4.1	Estatísticas preliminares	33
4.2	Tratamento dos dados	33
4.3	Calibragem	33
4.4	Estimação	35
4.5	Resultados	35
5	CONCLUSÕES	41
	REFERÊNCIAS	43
	APÊNDICE A – FUNÇÕES IMPULSO RESPOSTA	50

1 INTRODUÇÃO

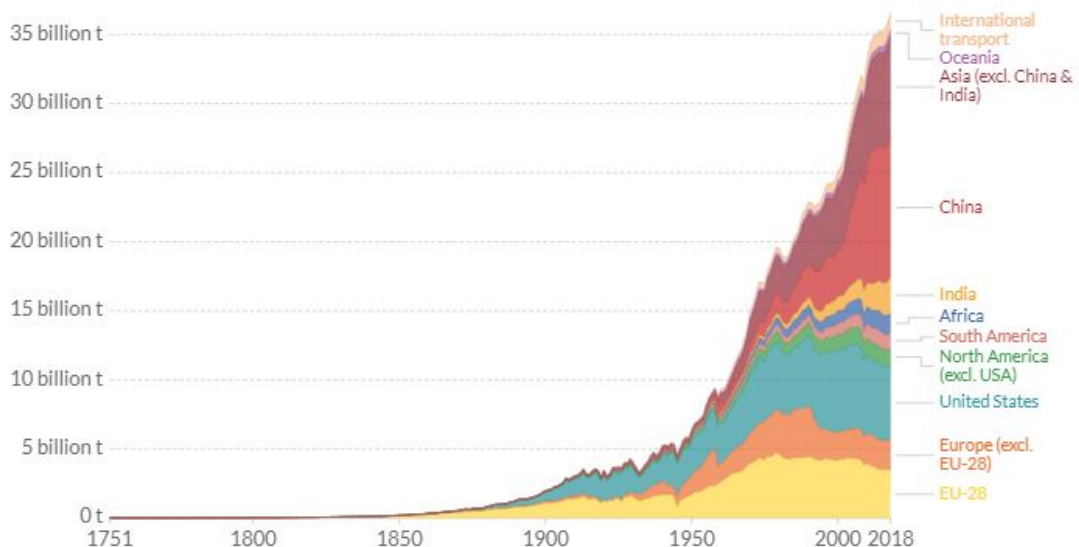
O desafio imposto pelas mudanças climáticas não possui precedentes na história e em nenhuma outra época esse debate foi tão urgente quanto agora. A comoção internacional em busca de alternativas para sanar este problema indica o valor desse debate. O acordo de Paris firmado em 2015 reuniu 195 países em busca de estabelecer medidas e protocolos com o intuito de manter o aumento da temperatura média terrestre abaixo de 2°C durante os próximos 100 anos.

O trabalho apresentado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC 2018) aponta que o aquecimento global vai atingir $1,5^{\circ}\text{C}$ entre 2030 e 2052 e continuar em uma trajetória de crescimento. Considerando que este tipo de situação representa um evento nunca observado pelo homem e as incertezas são irrevogáveis quando se trata desse assunto. Tudo isso aponta para uma nova tendência com eventos climáticos mais agressivos para os próximos anos.

Ao observar a série histórica de emissão de CO_2 é possível verificar um crescimento exponencial do volume desse poluente que foi emitido ao longo dos últimos anos pelas diversas nações. O comportamento explosivo dessa variável indica a necessidade de uma ação por parte de governos para desenvolver políticas públicas adequadas a este problema.

Com o intuito de verificar quais os impactos macroeconômicos das mudanças climáticas e qual importância de políticas governamentais de proteção ambiental, o presente trabalho utiliza um modelo de equilíbrio geral com uma estrutura RBC (Real Business Cycle.) com economia fechada, sem governo e composto por dois setores: o agropecuário; e

Figura 1 – Emissão Anual Total de CO_2 subdividida por regiões (1751-2018)



Fonte: Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC), 2020.

o não agropecuário, cujas extensões do modelo para o estudo climático, foram desenvolvidas com base em Batten (2018).

Dentre suas principais características, podemos destacar que o setor agropecuário produz utilizando a terra como insumo de produção, e o aumento deste insumo se dá via desmatamento, mas políticas de fiscalização ambiental podem mitigar esse efeito. Como consequência, esse processo leva a emissão de CO_2 e afeta a produtividade do setor não agropecuário.

O assunto se torna complexo ao considerar que tais mudanças afetam muito mais do que aspectos ambientais como vegetação e espécies ameaçadas. Conforme Rockström et al. (2009) e Steffen et al. (2018), os impactos ambientais podem afetar muitos sistemas terrestres necessários à atividade humana. Nesse ponto da análise, fica evidente qual a importância desse debate nas ciências sociais aplicadas.

Dado que as complicações climáticas afetam a qualidade de vida, a disponibilidade de recursos e o bem-estar de todos, esse debate está correlacionado com as demais discussões econômicas e seus objetivos. O aquecimento global é um problema que exige métodos próprios para o seu entendimento. Assim, fatores climáticos afetam diretamente as variáveis econômicas como produção agrícola, recursos minerais, entre outras. Ao estender a análise para uma visão mais ampla, é possível perceber os impactos em uma gama muito maior de atividades socioeconômicas como a produção de energia, como o transporte e como a produção de manufaturas (ARENT et al., 2014).

Conforme apontado por Gupta (2010), embora os problemas de mudança climática tenham sido observados no século XIX, foi apenas no fim do século XX que esse assunto ganhou visibilidade global por meio da Conferência Mundial do Clima, realizada em 1979. A autora ainda destaca o papel central da reunião para desencadear uma série de eventos, passando pela criação da UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) em 1992 e chegando a projetos de maior engajamento e articulação impositiva como o Protocolo de Kyoto, assinado em 1997.

Paltsev (2001) indica que esse evento contribuiu para estabelecer como a proteção do clima deveria prosseguir e definir quais as diretrizes para amenizar o impacto dos problemas ambientais causados pelos modelos de desenvolvimento industrial. Partindo deste marco inicial, uma ampla literatura começou a se formar buscando mecanismos para um desenvolvimento econômico sustentável e políticas de mitigação de alterações climáticas.

Os trabalhos pioneiros de Jorgenson e Wilcoxon (1990) e Nordhaus (1992; 1993; 1994) discutiam as alternativas políticas frente ao problema da acumulação das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Contudo, o tema ganhou mais evidência por meio do trabalho de Nordhaus (2016) afirmando que a resposta atual ao aquecimento global é

inadequada, e que os efeitos de longo prazo poderiam ser mais severos.

O Brasil apresenta historicamente um conjunto de políticas favoráveis ao desenvolvimento sustentável, considerando a criação de diversos recursos e programas em prol de políticas ambientais mais conscientes. A criação do Código Florestal em 1934, do PPCDAM (Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal) em 2004, do PNMC (Plano Nacional sobre Mudança do Clima) em 2007 e do PPCERRADO (Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado) em 2010, são exemplos de políticas públicas orientadas para a preservação ambiental e compromisso com a redução de emissões de poluentes.

Apesar de manter uma trajetória de referência na criação de medidas para proteção ambiental e participar de eventos em prol da redução do aquecimento global, o cenário brasileiro mudou nos últimos anos e atraiu a atenção de líderes internacionais por conta de decisões contraditórias do governo federal, principalmente, na construção de políticas brandas contra o desmatamento. Além de fatores preexistentes que contribuem para uma postura ambiental mais flexível, mudanças de economia política afetam o desempenho das políticas ambientais, como descrito em Capelari et al. (2020):

Desde a redemocratização do Brasil, não vimos uma mudança em grande escala no subsistema da política ambiental como a que estamos vendo atualmente. O retorno ao poder formal de ideologias conservadoras [...] têm promovido mudanças na política ambiental por um esforço combinado de desmantelamento da política e luta contra o aprendizado, as negociações, a sociedade civil, a informação científica e os especialistas.

Essa mudança na postura ambiental brasileira começou durante o governo Dilma com a aprovação do novo Código Florestal em maio de 2012. Esse processo foi descrito por Abessa e Baruaem (2019) como um marco de reversão das políticas ambientais, pois fornece anistia para acusados de desmatamento ilegal e reduz a proteção legal sob alguns biomas como a floresta Amazônica.

Muitos outros aspectos podem ter contribuído para o desenrolar de uma política ambiental mais branda, além de tais mudanças de economia política, maior valorização da produção agrícola e baixo investimento do setor público em estratégias de fiscalização contribuem significativamente para resultados ambientais cada vez mais alarmantes. Silva Junior et al. (2020) destacam a participação de mudanças no Código Florestal como um dos motivos da alta no desmatamento e do enfraquecimento de políticas referentes às mudanças climáticas. Isso aponta para a necessidade de verificar, através de uma estrutura teórica macroeconômica, qual a importância do Estado e de suas políticas para a redução do desmatamento e por consequência, redução da emissão de gases poluentes.

Os resultados deste trabalho apontam que uma política de fiscalização consegue reduzir os níveis de emissão de CO_2 . Além disso, tal política não é suficiente para afetar

a produção do setor agropecuário. Portanto, de uma perspectiva ambiental e sem afetar o crescimento da economia, percebe-se que há vantagens em adotar políticas ambientais ativas.

Além dessa introdução, o trabalho está estruturado com a apresentação dos principais avanços das pesquisas nessa área, na seção dois; a apresentação do modelo teórico, na seção três; a quarta seção relata os procedimentos de tratamento de dados e estimação dos modelos; na quinta seção, são apresentados os resultados, finalizando com a conclusão.

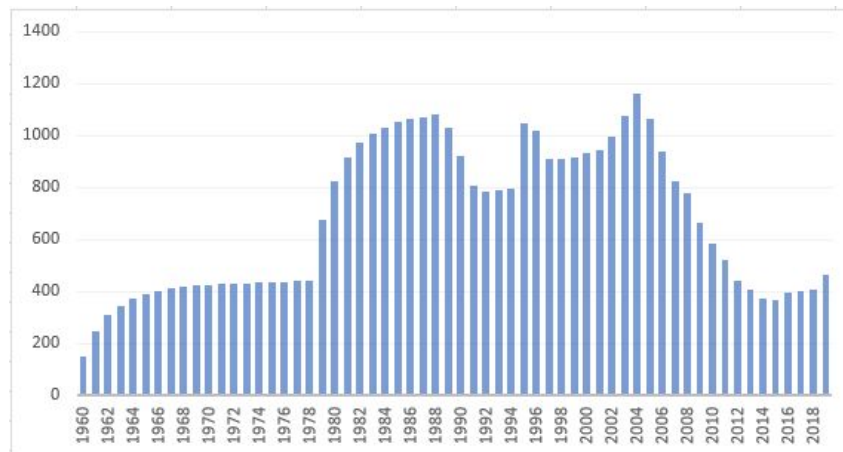
1.1 Contextualização

Quando se trata de questões climáticas, o Brasil naturalmente atrai interesse internacional, principalmente por conta do grande reservatório de carbono que é a Floresta Amazônica. Outro aspecto relevante é o desenvolvimento de biocombustíveis que podem futuramente ser usados como estratégia de mitigação de gases poluentes vindos das atividades econômicas no segmento de transportes. Apesar de historicamente o país ser um forte representante das negociações internacionais para questões climáticas, o cenário mudou e tem atraído a atenção internacional por conta de decisões contraditórias no governo federal.

A postura de líderes brasileiros tem recebido críticas em diversos relatórios e atividades acadêmicas que pesquisam sobre os possíveis efeitos de políticas ambientais mais brandas (ESCOBAR, 2020; ARCANJO, 2021; ZILLI et al., 2020). O relatório do Climate Action Tracker destaca uma contínua inversão de políticas de cunho ambiental no Brasil. O consórcio aponta a retomada do desmatamento na Amazônia, em um cenário de abrandamento da legislação, cortes de verbas para os órgãos de fiscalização e falta de propostas para a geração de desenvolvimento econômico com sustentabilidade.

Muitas pesquisas apontam que a partir de 2014 a taxa de desmatamento e de emissão de CO_2 na região amazônica voltou a acelerar (OLIVEIRA ASSIS et al., 2020; GATTI et al., 2014; PIVETTA, 2020). Isso coloca em risco os bons resultados alcançados por mais de uma década de trabalho do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm). Este plano, implementado em 2004 conseguiu uma expressiva redução do desmatamento e conseqüentemente, da emissão de GEE. O gráfico abaixo aponta a série histórica de emissão de CO_2 em MtonCO₂/ano, mostrando os efeitos positivos dos projetos governamentais até 2013, e posteriormente, com o abrandamento da fiscalização se inicia uma trajetória de crescimento (figura 2).

Contrariando uma tendência internacional de redução de gases poluentes, principalmente por conta do isolamento social e da recessão global causada pela pandemia da Covid-19, o Brasil apresentou tendência de alta em até 20% se comparado com 2018, conforme a nota técnica do Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa

Figura 2 – Série de emissão de CO₂ na Amazônia em MtonCO₂/ano

Fonte: INPE, 2020.

Nota: Gráfico elaborado pela autora.

do Observatório do Clima. Essa perspectiva se deve ao forte aumento do desmatamento na região da Amazônia e no Cerrado, que foi capaz de compensar a queda de poluentes emitidos pelos setores industriais.

A falta de ações concretas para medidas de mitigação aumenta o custo das mudanças climáticas, conforme a avaliação de Carlos Rittl, sênior fellow do Instituto de Estudos Avançados em Sustentabilidade de Potsdam. Em entrevista para a National Geographic, o pesquisador aponta que os riscos climáticos estão além das estimativas:

Em 2019, o Fórum Econômico Mundial, em Davos, ao elencar os principais riscos globais, colocou a ausência de ação climática, ou a ação menor do que a necessária, e os eventos extremos, além de outros relacionados, como degradação de ecossistemas e questões ligadas à água.

O pesquisador ainda destaca a importância do engajamento de jovens ativistas que já angariaram muitas conquistas em prol das questões ambientais, como, por exemplo, a aprovação de países como a Nova Zelândia, Noruega e Alemanha a adotar medidas para zerar as emissões de GEE até 2050 (DAMASIO, 2020).

1.1.1 Degradação da Floresta Amazônica

A destruição de florestas tropicais já deixou de ser apenas um problema ambiental para se tornar o ponto-chave dos debates acerca de políticas públicas ótimas para barrar o aquecimento do planeta. Tais florestas concentram grande parte da biodiversidade do planeta, e por conta dessa amplitude de espécies e da ação humana a sua regeneração é muito baixa, fazendo dessa floresta um recurso não renovável no curto prazo e tornando o desmatamento um processo quase irreversível.

O único modo de elaborar estratégias para frear o desmatamento é buscar quais os

interesses que motivam a derrubada da floresta, quais agentes são envolvidos no processo e quais os incentivos a este comportamento. Ao compreender melhor as causas deste processo, é possível identificar que abordagem pode ser utilizada para a redução do desmatamento e posteriormente a recuperação de regiões afetadas.

A literatura que aborda estas questões tem se desenvolvido muito nos últimos anos por conta da riqueza de dados fornecidos via satélite, contudo essa análise se concentra mais na quantificação e previsão dos danos, ao invés de abordar os motivos que levaram a este resultado. Ainda há poucos trabalhos que buscam nas flutuações do ciclo econômico os incentivos para ações de desmatamento.

O ponto de partida desta análise é a degradação da floresta como meio de obter insumos de produção. À medida que a sociedade se torna mais rica, exige mais bens de consumo, lazer e bem-estar. Em um estágio inicial de desenvolvimento há grande busca por consumo e posteriormente, na trajetória de desenvolvimento há maior demanda por bem-estar ambiental e nesse ponto, há a redução de atividades agressivas nas florestas.

Atualmente o desmatamento no Brasil é realizado para permitir a utilização comercial para a terra. Com a redução no estoque de floresta é possível observar a dinâmica de perda da floresta, que possui uma estrutura parecida com a dinâmica de acumulação do capital. Particularmente, a pecuária e a soja têm sido apontadas por inúmeras pesquisas como fator determinante para o desmatamento da região amazônica (BARONA et al., 2010; MARGULIS, 2004; WALKER; MORAN; ANSELIN, 2000).

A ideia de que o PPCDAM contribui significativamente para a melhoria da qualidade ambiental da Amazônia também foi verificada em Pereira (2019) no qual o autor utiliza um painel de dados com 760 municípios em uma série de 15 anos, verificando que o aumento populacional, a ampliação de pastagens e as plantações de soja afetaram significativamente os indicadores de desmatamento, apesar da postura do governo nesse período ter contribuído para a redução das áreas prejudicadas. Atualmente as questões ambientais dessa região estão a cargo do pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) que recorre a monitoramento por satélite para acompanhar as regiões de desmatamento e de queimadas desde o final dos anos 80.

Apesar de o PPCDAM ainda estar em vigor, sucessivos cortes de recursos que financiam o programa vem ocorrendo desde o governo Dilma. Aliado a este cenário de enfraquecimento de ações do estado, houve significativa tendência de alta para o preço de commodities como a carne bovina e a soja, pressionando ainda mais o processo de desmatamento.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Na medida que os estudos climáticos avançam, ganham novas características macroeconômicas com a inclusão de seções com análise e orientações aos formuladores de políticas nos relatórios mundiais sobre o clima. Esse novo padrão está diretamente relacionado com a natureza dessa categoria de problema e com a capacidade econômica para avaliar os custos e benefícios da mitigação de mudanças climáticas. Nestes moldes, o US Global Change Research Program (USGCRP, 2019) utiliza argumentos próprios da economia para apontar os custos de inação para mitigação:

Na ausência de ações de mitigação globais significativas e esforços de adaptação regional, espera-se que o aumento das temperaturas, o aumento do nível do mar e as mudanças em eventos extremos perturbem e danifiquem cada vez mais a infraestrutura crítica e propriedade, a produtividade do trabalho e a vitalidade de nossas comunidades. Economias e indústrias regionais que dependem de recursos naturais e condições climáticas favoráveis, como agricultura, turismo e pesca, são vulneráveis aos crescentes impactos das mudanças climáticas.

Enquanto isso o relatório do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2019) destaca quais os riscos associados a falta de ação quanto às políticas de mitigação das mudanças climáticas:

As mudanças climáticas alteram os padrões meteorológicos, o que tem um efeito amplo e profundo sobre o meio ambiente, a economia e a sociedade, colocando em risco a subsistência, a saúde, a água, a segurança alimentar e energia das populações.

O alerta presente nessa categoria de pesquisa têm sido recorrentes e demonstram dados cada vez mais alarmantes. Em sua versão precedente, o IPCC (2018) indica que o aquecimento global deve atingir $1,5^{\circ}\text{C}$ acima dos níveis pré-industriais e deve continuar crescendo. Os riscos associados a esse comportamento são ampliados pela incerteza quanto à amplitude de variação do clima, e levam a resultados mais drásticos que os previstos pela literatura.

Além de reafirmar a necessidade de limitar o aquecimento da Terra em $1,5^{\circ}\text{C}$, o IPCC (2019) destaca a Amazônia como importante meio para frear o aquecimento global, através de novas políticas de uso da terra e produção agrícola sustentável. Conforme indicado pelo relatório, o processo de queimadas e mal uso da terra está construindo um movimento cíclico de impactos ambientais causando instabilidades climáticas que prejudicam a produção. É por conta dessa relação entre o clima e a agricultura, crucial incluir a atividade agropecuária como parcela central do estudo de mudanças climáticas.

O estudo ainda aponta que o setor agropecuário também é atingido pelos efeitos negativos das mudanças climáticas, indicando um potencial de redução de 5,5% das safras

de milho no Brasil para cada grau Celsius a mais. E esta é apenas uma das perdas diretas que o setor agrícola pode enfrentar, além da possibilidade de queda do seu principal insumo de produção, as áreas cultiváveis, que atualmente somam 8% do território brasileiro com algum grau de desertificação.

A complexidade acerca do tema extrapola o setor agrícola e se entende para quase todas as atividades humanas quando se trata das emissões de gases de efeito estufa. O Acordo de Paris é um dos exemplos mais recentes do compromisso mundial que segue nesta direção. O acordo firmado em 2015 tinha por objetivo a redução dos gases de efeito estufa para manter o aumento da temperatura abaixo dos 2°C .

Com a finalidade de avaliar o desempenho dos signatários deste acordo, o relatório da United Nations Environment Programme, (UNEP, 2019) acompanha os progressos em direção às metas estabelecidas, comparando o ponto em que as emissões se encontram em relação ao ponto que deveriam estar, apresentando inclusive estratégias para reduzir essa diferença.

Toda essa ampla literatura conduz a um consenso científico quanto ao papel determinante da atividade humana no processo de aquecimento global (IPCC, 2019; UNEP, 2019; IPCC, 2018; USGCRP, 2018), contudo em que medida a sociedade deve investir em políticas de mitigação ou na adaptação às mudanças climáticas não apresentam o mesmo consenso. Essa falta de conformidade decorre principalmente devido à grande incerteza em torno das estimativas de danos climáticos. Muitas dessas pesquisas utilizam metodologias distintas e foram produzidas levando a uma amplo agrupamento de resultados. Para reduzir parte dessa incerteza, é necessário buscar metodologias com grande suporte teórico, de modo a gerar resultados alinhados com a literatura e com as demais técnicas.

Alguns estudos apontam grandes danos e indicam uma resposta mais agressiva à mitigação. As simulações propostas em FMI (2019a) demonstram que os chamados aumentos de temperatura do tipo *business-as-usual* (BAU) podem reduzir o PIB de um país em 9% em 2100, já considerando as promessas atuais de mitigação estabelecidas no Acordo de Paris. Esse resultado pode ser ainda pior ao considerar as projeções desenvolvidas por Norhdhaus (2018), que demonstra ser improvável manter a meta de aumento da temperatura no limite de 2°C , estabelecidos neste acordo, principalmente, quando se considera as políticas atuais. Norhdhaus (2018) também observou que a maioria dos países apresenta uma trajetória BAU com políticas mínimas para reduzir suas emissões, levando a concentrações crescentes de CO_2 .

Usando estimativas de aquecimento menos otimistas, Burke et al. (2015) concluem que as mudanças climáticas têm potencial de redução do PIB global em 23% até 2100, e o PIB per capita em cerca de 80% em regiões mais sensíveis a estas mudanças, tais como algumas regiões da Ásia e África Subsaariana, supondo um aquecimento global de $3,7^{\circ}\text{C}$.

No outro extremo deste debate, Tol (2018) resume a literatura sobre o impacto econômico das mudanças climáticas apontando danos limitados, contudo, admitindo que a literatura não explica suficientemente o efeito de vários elementos fundamentais, tais como a água, recursos, migração, conflitos violentos e suprimento de energia.

2.1 Custos e riscos das mudanças climáticas

As projeções científicas IPCC (2019), UNEP (2019), USGCRP (2018) apontam que as mudanças climáticas tendem a piorar ao longo do próximo século e possuem potencial para gerar grandes impactos nos sistemas naturais e em todas as atividades desenvolvidas pela sociedade. Esta seção oferece uma visão geral dos diferentes riscos e custos das mudanças climáticas e como eles podem afetar os resultados econômicos.

Para estabelecer uma definição de risco correta é necessário avaliar três de seus componentes: perigo, probabilidade e vulnerabilidade (JONES E BOER, 2005). Ao considerar os perigos climáticos relacionados ao sistema meteorológico, enquadram-se aqueles que têm o potencial de afetar os sistemas naturais e sociais adversos como inundações, secas, ondas de calor e incêndios florestais. Já os riscos associados à probabilidade se referem à regularidade de uma determinada consequência socioeconômica. Nesse aspecto, destacam-se as variações no regime de chuvas, mudanças nos fluxos migratórios e alterações em correntes oceânicas. Enquanto a vulnerabilidade mede como os resultados dos perigos climáticos podem ser mensurados em uma medida de custo.

Os riscos associados a este cenário não são lineares à medida que a temperatura cresce (IPCC, 2014, 2018). Quando há aumento da temperatura, essa mudança interage com outros sistemas biofísicos que podem criar pontos de inflexão, além de causar resultados adversos no longo prazo (PIGATO, 2019). Isso pode incluir o degelo do *permafrost*¹ o qual tem potencial para liberar GEE em excesso e afetar os fluxos oceânicos. A tendência é de que algumas regiões sejam mais afetadas que outras quanto aos efeitos climáticos e isso deve levar a um comportamento de migração em massa para climas mais amenos (RIGAUD et al., 2018).

Dentre um grupo específico de custos das mudanças climáticas, há muitos dispêndios econômicos que podem ser observados. Eventos como aumento do nível do mar, elevação da temperatura, mudanças nos padrões de chuva e eventos extremos podem afetar as variáveis macroeconômicas em várias dimensões, como a destruição de riqueza, o aumento na volatilidade da renda e a ampliação das flutuações do crescimento (DERYUGINA; HSIANG, 2014; MERSCH, 2018). Assim, os riscos de mudanças climáticas podem se manifestar através de choques econômicos capazes de alterar toda a estrutura de oferta-demanda.

¹ O *permafrost* é o tipo de solo encontrado na região do Ártico constituído por terra, gelo e rochas permanentemente congelados.

2.1.1 Falhas de Mercado

Por conta de características próprias, as questões de aquecimento global e mudanças climáticas não conseguem ser solucionadas via mercado. Isso ocorre, principalmente, porque o bem-estar e a qualidade ambiental tem características de bens públicos. Assim, a mitigação de GEE se caracteriza como um bem não rival no sentido de que se um agente desfruta de maior qualidade ambiental, isso não reduz a disponibilidade para os demais, e é não excludente, pois os indivíduos não podem ser impedidos de ter acesso a, por exemplo, um ar mais puro.

Isso gera um ambiente com falhas de mercado impedindo que ocorra alocações eficientes através de ajustes entre oferta e demanda. Isso tudo justifica a importância de uma intervenção governamental mais pontual nesse aspecto. Nesta seção, vamos avaliar as principais falhas de mercado que impedem que um resultado ótimo de resposta aos riscos climáticos seja alcançado.

A mudança climática pode ser vista como uma externalidade negativa da produção de bens intensivos em carbono, como mostrado em Solow (1971). Esse mecanismo de transmissão do comportamento econômico para o meio ambiente é utilizado na construção de características da produção do setor agropecuário no modelo teórico. Uma externalidade na produção pode ser vista como o efeito resultante de ações inerentes à atividade produtiva sobre os agentes que não participam dessa mesma ação. Na presença desse tipo de externalidade, o custo privado se difere do custo social, normalmente apresentado nessa literatura como a emissão de gases poluentes. Isso demonstra que estruturas teóricas que não consideram estas externalidades tendem a fornecer atividades de mitigação insuficiente e, por consequência, acabam emitindo CO_2 em excesso como indicado em Solow (1971), ou utilizam um nível insuficiente de investimento (AGLIETTA et al., 2018).

As características de bem público para o bem-estar ambiental também pode levar a outro problema dessa categoria: o efeito carona. Os governos locais podem não ter incentivos para desenvolverem estratégias de mitigação adequadas, pois as vantagens de estabilidade climática se acumulariam em função de ações tomadas por outros agentes, resultando em um efeito carona por parte destes indivíduos. Desse modo, agentes privados e até mesmo os líderes do governo podem optar por não desenvolverem políticas de mitigação, e arcarem com seus custos com o intuito de que outros agentes o façam, e mesmo assim, podem desfrutar de um clima estável e de maior bem-estar ambiental (KROGSTROP; OMAN, 2019).

Outros aspectos que contribuem para a dificuldade de mitigação via mercado, são a inconsistência temporal e a impaciência dos agentes. O risco climático é caracterizado por ser um problema de longo prazo, já que os impactos das mudanças climáticas ocorrem além do horizonte de tempo de planejamento dos agentes, conforme aponta Carney (2015).

Como essa perspectiva de custos e benefícios se estendem além desse horizonte temporal, os preços de mercado não são capazes de refletir essas relações. Isso também afeta o valor de investimento de baixo carbono, que pode ser subvalorizado em relação aos demais ativos Aglietta et al. (2015).

2.2 Modelos para o estudo de mudanças climáticas

Considerando o que a literatura apresenta referente ao tema proposto, é possível observar um constante progresso quanto às metodologias empregadas, as quais convergem para estruturas mais robustas e consistentes. O objetivo desta seção é revisar as principais questões teóricas e empíricas dos riscos macroeconômicos decorrentes das mudanças climáticas. Essa categoria de análise permite verificar quais modelos forneceram base para uma estrutura mais completa de estudos acerca dessas questões, seus resultados e seus avanços.

A metodologia econômica voltada para o estudo de mudanças climáticas normalmente adota uma estratégia de custo-benefício, concentrando-se em comparar os custos atuais da redução de riscos futuros de mudanças climáticas com os benefícios aos danos futuros que podem ser evitados. Nesses estudos, o principal objetivo é capturar o ciclo de feedback entre o clima e a economia, onde os gases de efeito estufa (GEE) produzidos pela combustão de combustíveis fósseis são um subproduto indesejável da atividade econômica. Por conta desse comportamento a quantidade de emissões de GEE depende do nível de desenvolvimento econômico e da produção de bens intensivos em carbono (KROGSTRUP; OMAN, 2019).

Quando estes gases se acumulam na atmosfera eles levam a aumentos de temperatura e outras mudanças climáticas que, no que lhe concerne, podem ter impactos econômicos profundos. Estas condições de dependência levam a uma estrutura cíclica envolvendo aspectos climáticos e macroeconômicos que está no centro de debate desta literatura. Compreender esse ciclo de feedback é uma etapa fundamental para medir a resposta ótima da política climática e como deve ser estabelecida a solução em políticas públicas.

Grande parte dos modelos empregados na temática das mudanças climáticas utilizam a metodologia de Análise de Avaliação Integrada (IAM). Esta estrutura agrega características de áreas distintas para posteriormente inferir sobre essa relação. Em sua evolução metodológica, a literatura apresenta trabalhos sobre política de mitigação que abordavam questões econômico-ambientais avaliando problemas sob uma perspectiva microeconômica, através de uma estrutura de Equilíbrio Geral Computável (CGE), os quais são descendentes dos modelos de insumo-produto.

Em sua estrutura mais recente, alguns trabalhos migraram para modelos com perspectivas macroeconômicas diferentes dos modelos de IAM, contudo, ainda microfun-

damentados, com equações dinâmicas que descrevem as relações econômico-ambientais. Conforme Farmer et. al (2015), os modelos DSGE (Equilíbrio Geral Dinâmico Estocástico), são construídos em uma estrutura de análise mais robusta com relação à incerteza futura, superando algumas limitações importantes do IAM tradicionais.

Ao considerar os impactos ambientais sob incerteza, Chan (2019) observou vantagens significativas dos modelos DSGE frente ao CGE. A primeira se refere a capacidade do DSGE incluir choques econômicos de diferentes fontes, contrariando a abordagem CGE, enquanto a estática comparativa do CGE depende de mudanças nos parâmetros e o segundo ponto se refere a incorporação de incerteza na tomada de decisão dos agentes. Deve-se destacar que, como o próprio nome sugere, os modelos de equilíbrio geral ainda estão sujeitos a premissas restritivas referentes à compensação de mercado, otimização e representatividade do agente, sendo uma alternativa de metodologia adequada para o estudo de mudanças climáticas, mas que possui limitações em termos de detalhamento setorial, conforme observado por Farmer et. al (2015).

2.2.1 Modelo de Análise de Avaliação Integrada

A metodologia de Análise de Avaliação Integrada (IAM) é projetada para capturar interações complexas entre as dimensões física, natural e social das mudanças climáticas, estando presente em trabalhos importantes como o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014) e no Relatório Stern (2007). Assim, esses modelos apresentam uma abordagem de estudo que integra conhecimentos de dois ou mais domínios em uma única estrutura, conectando diferentes áreas para desenvolver efetivamente o entendimento de sistemas complexos, bem como políticas eficientes (NORDHAUS, 2013).

Na análise macroeconômica os IAMs tem características particulares onde o processo de integração define que: (i) nosso clima é especificamente impulsionado pela atividade econômica humana descrita e derivada de fundamentos microeconômicos; e (ii) o clima afeta a atividade econômica por vários mecanismos que aparecem na estrutura microeconômica, ou seja, a integração é um sistema de feedback bidirecional, diferentemente da maioria das estruturas.

Estes modelos apresentam uma descrição das emissões de gases de efeito estufa e seu impacto na temperatura, contribuindo para as mudanças climáticas afetarem a produção, o consumo e outras variáveis macroeconômicas. Embora eles diferem bastante na complexidade dos setores econômico e climático, tais modelos incluem seis elementos principais: os três primeiros elementos constituem o módulo de ciências climáticas; enquanto os três últimos fazem parte do módulo econômico (PINDYCK, 2013).

Cada um desses elementos pode ser avaliado globalmente ou de forma desagregada

Figura 3 – Sistema de feedback do fluxo climático



Fonte: Autora.

em uma base nacional, ou regional dependendo dos objetivos de pesquisa. Podemos descrever os elementos da figura 3 como:

1. Emissões de carbono: variável que inclui projeções de futuras emissões de Gases de Efeito Estufa em diferentes cenários, geralmente, um cenário descrito como normal – representando as condições ambientais vigentes – e um ou mais cenários de redução.
2. Concentração de carbono: esta variável inclui projeções de futuras concentrações atmosféricas de Gases de Efeito Estufa resultantes de emissões passadas, atuais e futuras.
3. Impactos climáticos: esse componente converte as concentrações de GEE em mudanças de temperatura médias dentre outros efeitos climáticos resultantes da emissão de GEE.
4. Função de dano ou perda (Impactos Econômicos): tal elemento inclui um conjunto de formas funcionais que determinam o impacto econômico do aumento da temperatura, normalmente é expresso como perda de PIB e de consumo.
5. Custos de abatimento: esta seção inclui estimativas do custo de redução das emissões de GEE em várias quantidades em termos presente e futuro.

6. Dinâmica econômica: esse elemento frequentemente é representado por um modelo de Equilíbrio Geral Computável (CGE) com uma caracterização detalhada dos setores da economia, incluindo o setor de energia e, geralmente, a escolha da tecnologia.

Uma parcela da literatura sobre o aquecimento global emprega IAMs para avaliar questões centradas nos choques dos custos de mitigação e de emissões. Muitos destes estudos também se concentram na investigação do efeito de choques tecnológicos, integrando os ciclos econômicos às questões de aquecimento global tal como Strand (1995) que apresenta um modelo de política ambiental ótima, com ciclos econômicos desenvolvidos através de mudanças estocásticas nos preços de produtos.

Já Bouman, Gautier e Hofkes (2000) desenvolvem um modelo para encontrar o momento ótimo para investir em redução das emissões nos ciclos econômicos os quais são provenientes de choques de preferências, enquanto Kelly (2005) compara política de impostos com políticas de quotas, em um cenário de equilíbrio geral estático configurado com choques de produtividade total de fatores.

Outro importante desdobramento dos modelos IAM são as pesquisas focadas em uma avaliação de custos. Nessa abordagem, os modelos buscam agregar os custos de poluição e de mitigação e os impactos são calculados simultaneamente no processo de decisão dos agentes. Exemplos destes modelos são o IGEM (Intertemporal General Equilibrium Model), aplicado para a economia americana, e o modelo RICE (Regional Integrated Model of Climate and the Economy).

Uma das principais contribuições para essa linha de pesquisa é a estrutura do modelo DICE/RICE do Nordhaus. Sua configuração possui muitos dos elementos que destacamos, isto é, sua modelagem é desenvolvida em uma base fundamental da teoria quantitativa. Esse modelo foi construído a partir do modelo de crescimento neoclássico, especificamente a sua extensão incorpora um recurso finito como em Dasgupta e Heal (1974), e oferece uma correspondência razoável com dados econômicos de longo prazo, como argumentado por Solow (1956). Posteriormente, Nordhaus inclui em seu modelo um módulo de ciências naturais que incorpora em sua modelagem o ciclo de carbono e também um modelo climático.

Toda essa estrutura não foi pensada para ser um modelo de equilíbrio geral, contudo é consistente com suposições adicionais. Estas características favorecem a comparação de políticas alternativas dentro de uma economia de mercado. Os modelos padrão DICE e RICE, contudo, não apresentam mudanças técnicas endógenas ou incerteza, dado que os métodos computacionais usados para resolver esses modelos não são recursivos.

Frequentemente, modelos IAMs são apresentados com uma estrutura intensiva em computação que compreendem os modelos de Equilíbrio Geral Computável (CGE). Os CGEs podem ser subdivididos em duas classes: dinâmicos; ou estático-comparativos.

Quando dinâmicos, o sistema é resolvido um período por vez de modo sequencial, sempre sob pressuposto de expectativas adaptativas – e em cada período o modelo apresenta um processo estático de solução. Assim, os CGEs não comportam expectativas racionais, onde as variáveis dependem das expectativas quanto ao futuro e que demandam a solução simultânea de todos os períodos. Grande parte dos temas de pesquisa em CGE se concentra no imposto sobre o carbono, na meta de redução de emissões, no comércio de emissões, na eficiência energética, nas energias renováveis e na captura e armazenamento como principais canais da economia de baixo carbono.

O modelo estático de CGE possuem aplicações diversas e prestam mais atenção às questões nacionais e esforços dedicados a cenários às mitigações regionais e globais. No entanto, os modelos CGE estáticos padrão não definem a questão do tempo e esperam que o ajuste ocorra espontaneamente. Portanto, o modelo estático foi descrito como modelo dinâmico analiticamente inconsistente e recursivo denominado míope por Manne (2004).

2.2.2 Modelos DSGE

No conjunto de modelos de equilíbrio geral, os modelos DSGE se destacam por conta da sua base teórica microfundamentada. Sua estrutura dinâmica permite simular choques estocásticos no equilíbrio de curto e longo prazo, como visto em Kurozumi e Zandweghe (2011) ou Benavides et al. (2015). Quanto ao estudo de questões climáticas, os modelos DSGE passaram a ganhar espaço por conta de seus efeitos dinâmicos, permitindo incorporar políticas ambientais e construir simulações capazes de incorporar incerteza e vários choques simultâneos, conforme aponta Farmer et. al (2015).

Heutel e Fischer (2013) construíram uma ampla revisão de literatura sobre economia ambiental, concentrando-se em dois principais mecanismos: modelos de Ciclos Reais de Negócios (RBC); e modelos endógenos de crescimento tecnológico. A partir desse ponto, muitos pesquisadores passaram a incorporar questões ambientais em modelos DSGE. Dessa forma, modelos DSGE aplicados ao estudo de questões climáticas podem ser divididos em duas categorias: os que utilizam uma estrutura RBC com preços flexíveis; e os que usam um formato NK incorporando alguma categoria de rigidez nominal.

Exemplos de RBC podem ser descritos pelos trabalhos de Heutel (2012), Fischer e Springborn (2011) e Fried et al. (2013). Em sua pesquisa Heutel (2012) incluiu a emissão de poluentes como um subproduto do processo produtivo, enquanto em Fischer e Springborn (2011), a emissão de gases poluentes ocorre através da produção e consumo de energia, e em Fried et al. (2013), foi construído uma base microfundamentada do feedback ambiental que relaciona a difusão de dióxido de carbono ao crescimento econômico.

Seguindo uma estrutura um pouco diferente da literatura apresentada anteriormente, Annicchiarico e Di Dio (2015) usam uma modelagem DSGE para estudar os efeitos

dinâmicos de diferentes opções de políticas ambientais sob choques de produtividade. Seguindo esse mesmo modelo, Xu et al. (2016) aplica os mesmos choques em diferentes regimes políticos. Para analisar o comportamento da política ambiental frente a choques persistentes de produtividade, Dissou e Karnizova (2016) desenvolveram um modelo desagregado para seis setores.

Com uma abordagem diferente da utilizada por Annicchiarico e Di Dio (2015), o modelo utilizado neste trabalho incorpora o impacto ambiental por meio do efeito negativo do CO_2 na produtividade do setor não agropecuário. Além disso, com o aumento do insumo de produção do setor agropecuário, terra, há aumento na degradação ambiental, responsável pela emissão de CO_2 .

2.3 Ferramentas para o estudo de mudanças climáticas

A partir de uma interpretação teórica do que seria a resposta ótima frente às mudanças climáticas, o trabalho de Stern (2006) aponta para o estabelecimento de impostos sobre a emissão de carbono com subsídios à pesquisa e desenvolvimento de fontes de recursos livres de emissão.

Contrariando esta visão mais simplificada, a literatura aponta diversas ferramentas para a mitigação, indicando que este problema é muito mais composto do que previsto em estudos anteriores. Quando se aplica uma visão macroeconômica sobre este debate, é possível observar distorções de mercado, externalidades, interdependência entre as variáveis e altos graus de incerteza que contribuem para ampliar a complexidade desse tipo de análise.

As ferramentas de política fiscal estão sob controle das autoridades fiscais e estão sujeitas ao orçamento do governo. Já as políticas como a regulação financeira, desenvolvimento dos mercados de crédito e políticas macroprudenciais são ferramentas de política financeira. E junto aos mecanismos de política monetária, estão sob o controle do banco central. Deste modo, esta seção explicita o papel das políticas fiscal, financeira e monetária para a mitigação de mudanças climáticas. Apresentando com enfoque especial para as estratégias de política fiscal que forneceram base teórica para a construção do modelo apresentado na seção seguinte.

2.3.1 Ferramentas de Política Fiscal

Os mecanismos de política fiscal podem contribuir com estratégias para gerir gastos e investimentos públicos em prol da mitigação das mudanças climáticas. As estruturas políticas atuais, no entanto, tomam como ponto de partida o objetivo e não as ferramentas necessárias para alcançá-lo. Assim, invertendo o foco para promessas de limitar as emissões, como exemplo os signatários do Acordo de Paris, sem ao menor avaliar quais mecanismos

poderiam contribuir para a realização das mesmas.

Em uma avaliação mais prática das questões temos de considerar quais políticas adotar para a criação de impostos sobre a emissão de carbono ou mecanismos que contribuam para a redução de CO_2 na atmosfera, e quais ações podem contribuir para este fim e serem extrapoladas ao nível internacional (FMI, 2019a). Os instrumentos de política fiscal podem ser agrupados em três grandes categorias.

2.3.1.1 Políticas de preço

Tais políticas buscam ajustar os mercados via preços e oferecer através de incentivos a uma postura mais protecionista em termos ambientais. As principais ferramentas incluem a tributação sobre o carbono, sistema de cotas para o comércio, subsídios para atividades de mitigação, recursos para iniciativas de produção de baixo carbono, além de outros mecanismos.

O preço estipulado para o carbono deve refletir os custos ambientais de suas emissões, e nesse pacote incluir seu impacto nas mudanças climáticas, qualidade do ar, congestionamento e demais danos (FMI, 2019). Uma ressalva importante que deve ser feita, é de que os trabalhos de estimativa de preço do carbono não apresentam consenso quanto ao seu valor ótimo principalmente por conta das incertezas quanto às emissões e seu real impacto no clima. Desse modo, os preços poderiam desencadear mudanças indesejáveis quando as opções de baixo carbono ou de credibilidade de longo prazo não presentes (FAY et al., 2015).

2.3.1.2 Gastos e investimentos públicos

Esta categoria se ocupa de ferramentas via ação direta dos governos. Podemos incluir políticas com investimento público, incentivos a bancos de desenvolvimento e fundos de investimento públicos. Os padrões de investimentos em compras de bens com responsabilidade ambiental também podem contribuir para o aumento da demanda de produtos industriais de baixo carbono (IEA, 2017). Aqui também são inclusas ações de proteção ambiental que envolvem recursos do governo tais como programas de incentivo a proteção ambiental, fiscalização de regiões de desmatamento e demais dispêndios de recurso público que buscam atingir as questões ambientais de modo mais direto.

2.3.1.3 Parcerias público-privadas

Este instrumento visa obter no meio privado um caminho de financiar e difundir os conceitos de proteção ambiental. Aqui, o objetivo é fornecer garantias públicas para que grande parte do investimento seja realizado pelo setor privado. A exemplo desta

abordagem, temos investimentos para ganho de eficiência energética, produção de energia limpa e melhorias no processo de reciclagem, enquanto o setor público se responsabiliza por oferecer redes de transporte, ampliação da rede elétrica e infraestrutura para gerenciamento das emissões de gases poluentes.

2.3.2 Ferramentas de Política Monetária

As ferramentas para o estudo de política monetária não são usualmente utilizadas para as questões climáticas de longo prazo. O enfoque dessa categoria de política está mais centrado na questão da estabilização das variáveis macroeconômicas, enquanto cabe mais a política fiscal internalizar as externalidades deste problema e gerenciar seus investimentos de modo a desenvolver programas de mitigação. Entretanto, a contabilização adequada dos riscos climáticos no balanço do banco central faz parte de um conjunto de estratégias importantes para barrar o aquecimento global. Assim, há trabalhos que defendem o uso de instrumentos monetários como meio de alcançar a estabilização climática, mesmo que outras ferramentas sejam mais adequadas (ROZENBERG et al., 2014).

É possível observar um componente cíclico nesta questão, onde os efeitos climáticos têm impacto significativo para a condução de uma política monetária ótima. Estas mudanças afetam cada vez mais a amplitude dos choques nos preços de oferta, amplificam a magnitude dos ciclos de negócios e trazem mais risco e volatilidade para este problema. Há ainda outros impactos como os gastos com a resiliência frente às mudanças de clima reduzindo capital produtivo (BATTEN, 2018), e desaceleração do crescimento de alguns setores por conta do aumento da temperatura (COLACITO et al., 2018).

Deste modo, apesar da política monetária não apresentar um papel central na condução das questões ambientais, pode contribuir ativamente para a transição da economia para um modelo produtivo com baixa emissão de carbono. Utilizando principalmente novos mecanismos de seleção de ativos que compõem a carteira de ativos do banco central, buscando adquirir mais capital verde ou mesmo com a eliminação de recursos com alta intensidade de emissão de gases poluentes, fazendo desse modo uma correção ponderada pelo risco climático. Logo, o processo de adaptação às mudanças climáticas é tão importante para as estratégias de políticas monetárias quanto para os demais segmentos da economia, como também, uma postura mais adequada deste segmento pode contribuir para grandes melhorias no aspecto ambiental.

2.3.3 Ferramentas de Política Financeira

As ferramentas financeiras possuem um importante papel no combate ao aquecimento global. Inclusive este tipo de ferramenta estava presente no Acordo de Paris, onde há o compromisso de "tornar os fluxos financeiros consistentes com um caminho para baixas

emissões de gases de efeito estufa e desenvolvimento resiliente ao clima"(UNFCCC, 2016b). Este canal busca principalmente o apoio do setor privado para alavancar transformações tecnológicas e desenvolvimento de P&D que consigam suprir a necessidade energética para manter o desenvolvimento econômico, mas que ainda possuem o cumprimento de critérios ambientais mais rígidos. Conforme algumas pesquisas, será por meio desta transformação na atividade econômica que foi impulsionada por recursos públicos e privados em grande escala que permitirão a coordenação das atividades econômicas e preservação ambiental (VILLEROY DE GALHAU, 2015).

Em perspectivas mais simples quanto ao potencial das ferramentas de política financeira, podemos listar vários itens importantes como a correção quanto a falta de transparência ou subestimação do risco climático em mercados financeiros e nas estruturas regulatórias, criação de mecanismos para redução do viés de curto prazo e na estrutura de decisões em instituições financeiras, além de incentivos para a criação e fomento de mercados de instrumentos financeiros verdes.

Neste ponto, também cabe destacar os riscos que as questões climáticas exercem sobre o mercado financeiro. Problemas climáticos são em sua natureza irreversíveis, imprevisíveis e, geralmente, de longo alcance. Assim, deve-se classificar o risco climático como um problema sistêmico, dado seu potencial de afetar a economia e todo setor financeiro. Em geral, o horizonte de planejamento da maioria dos bancos e investidores pode ser mais curto do que aquele em que se materializam os riscos climáticos.

Além desta questão, os riscos financeiros são avaliados por uma perspectiva histórica dos resultados, contudo, isso ignora completamente as questões climáticas, já que representam eventos sem precedentes. Assim, através de melhores formas de medir o risco climático é possível estimar de modo mais adequado a magnitude deste problema e contribuir para o aumento do financiamento do mercado verde (BHATTACHARYA et al., 2015).

Avaliar como uma política de fiscalização ambiental pode afetar toda a dinâmica econômica brasileira permite verificar a viabilidade de tais políticas para sua inclusão nas medidas de mitigação adotadas pelo país. Assim, este trabalho busca contribuir para o debate das questões climáticas ao verificar o efeito de uma política de fiscalização mais ativa e seus custos para a sociedade, bem como os seus efeitos para a redução de poluentes na atmosfera.

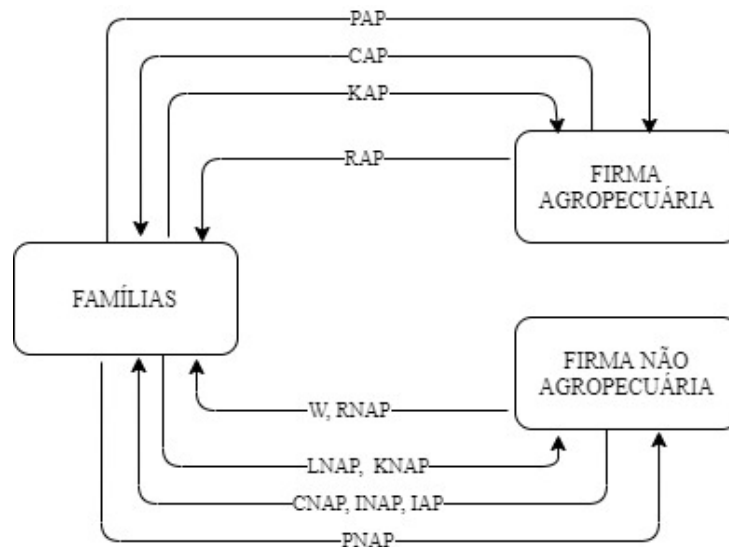
3 MODELO

Dado que a pesquisa busca verificar qual a interação da fiscalização ambiental com as principais variáveis macroeconômicas, optou-se pela utilização de um modelo DSGE para avaliar seu comportamento durante a sua exposição a choques de fiscalização e de CO_2 .

A estrutura do modelo deste trabalho é do tipo RBC padrão com economia fechada, sem governo e composta por dois setores: setor agropecuário; e não agropecuário. Entre as suas principais características, o setor agropecuário produz utilizando terra como único fator produtivo, e a expansão deste insumo gera desmatamento, que pode ser mitigado por políticas de fiscalização ambiental. Além disso, o desmatamento gera emissão de CO_2 que impacta, negativamente, a produtividade do setor não agropecuário.

Intratemporalmente, as famílias adquirem bens de consumo agropecuário e não agropecuário e decidem a quantidade de horas que irão trabalhar no setor não agropecuário. Já intertemporalmente, as famílias ainda devem decidir quanto aos consumos presente e futuro, e para tanto, podem poupar adquirindo bens de capital ou terra. Assim, a estrutura do modelo está representada na figura 4.

Figura 4 – Estrutura do Modelo.



Fonte: Autora.

Desse modo, o modelo possui firmas e famílias representativas que constituem essa economia. As famílias são detentoras dos meios de produção, isto é, são responsáveis por ofertar todo trabalho (L^{na}), todos os bens de capital (K^{na}) e toda terra (K^a). Por esses insumos, as famílias recebem uma remuneração em salários (W) e taxas de retorno para cada capital, o agropecuário (R^a) e o não agropecuário (R^{na}). As firmas, por outro lado, utilizam esses insumos para produzir bens de caráter agropecuário e não agropecuário

que são consumidos pelas famílias. A remuneração desses bens é dada por P^a e P^{na} , respectivamente.

3.1 Famílias

Há um *continuum* de famílias indexadas por $j \in [0,1]$. Tal família representativa maximiza a sua função de utilidade intertemporal escolhendo consumo, poupança e lazer:

$$\max_{C_t^a, C_t^{na}, L_t^{na}, K_{t+1}^{na}, K_{t+1}^a} E_t \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t S_t^P \left[\frac{C_t^{1-\sigma}}{1-\sigma} - S_t^L \frac{(L_t^{na})^{1+\varphi}}{1+\varphi} \right] \quad (3.1)$$

sujeita à seguinte restrição orçamentária,

$$C_t^a P_t^a + C_t^{na} P_t^{na} + I_t^a P_t^{na} + I_t^{na} P_t^{na} = W_t L_t^{na} + R_t^{na} K_t^{na} + R_t^a K_t^a - \frac{\chi_a}{2} (K_{t+1}^a - K_t^a)^2 P_t^{na} \quad (3.2)$$

onde E_t é o operador de expectativas, β é o fator de desconto intertemporal, σ é o parâmetro de aversão ao risco relativo, ϕ é a desutilidade marginal do trabalho, C_t é o consumo agregado, C_t^a é o consumo de bens agropecuário, C_t^{na} é o consumo de bens não agropecuário, I_t^{na} é a aquisição de bens de investimento não agropecuário, I_t^a se refere ao investimento em desmatamento que amplia a quantidade de K_t^a disponível – capital agropecuário –, P_t^a é o preço dos bens agropecuário, P_t^{na} é o preço dos bens não agropecuário, w_t é o salário, R é o retorno do capital. Os bens de consumo agropecuário e não agropecuário são agregados pela seguinte função:

$$C_t = (C_t^a)^{\omega_a} (C_t^{na})^{1-\omega_a} \quad (3.3)$$

onde ω_a é a participação dos bens de consumo agropecuário em relação ao consumo agregado. Em relação ao capital, o capital não agropecuário segue a seguinte regra de movimento:

$$K_{t+1}^{na} = (1 - \delta) K_t^{na} + I_t^{na} \quad (3.4)$$

onde δ se refere a taxa de depreciação do capital não agropecuário. O capital agropecuário – a terra –, segue a seguinte regra de acumulação:

$$K_{t+1}^a = K_t^a + I_t^a - \zeta Fis_t \quad (3.5)$$

onde o I_t^a é o investimento em desmatamento, ou seja, as máquinas e equipamentos usados para desmatar a floresta. Já a Fis_t se refere ao gasto do governo em fiscalização ao desmatamento, enquanto ζ mede a sensibilidade da expansão de terra em relação à fiscalização. Deste modo, a terra se expande à medida que se aumenta o investimento em desmatamento e se reduz devido à fiscalização do governo.

O modelo também possui dois choques relacionados à demanda agregada, S_t^P é o choque de preferência intertemporal usado para capturar alterações nos interesses de

consumo das famílias no curto prazo, enquanto S_t^L é o choque de oferta agregada usado para representar alterações na predileção ao lazer das famílias:

$$\log S_t^P = \rho_P \log S_{t-1}^P + \varepsilon_{P,t} \quad (3.6)$$

$$\log S_t^L = \rho_L \log S_{t-1}^L + \varepsilon_{L,t} \quad (3.7)$$

onde ρ_P e ρ_L são componentes autorregressivos desses dois choques, enquanto $\varepsilon_{P,t} \sim N(0, \sigma_P)$ e $\varepsilon_{L,t} \sim N(0, \sigma_L)$. Enquanto o choque de fiscalização ao desmatamento pode ser escrito como:

$$\log Fis_t = \rho_{Fis} \log Fis_{t-1} + \varepsilon_{Fis,t} \quad (3.8)$$

Resolvendo o problema de otimização das famílias, obtemos as seguintes condições de primeira ordem,

$$\left(\frac{\omega_a}{1 - \omega_a} \right) \left(\frac{C_t^{na}}{C_t^a} \right) = \left(\frac{P_t^a}{P_t^{na}} \right) \quad (3.9)$$

$$\left(\frac{1}{1 - \omega_a} \right) S_t^L (L_t^{na})^\varphi C_t^{\sigma-1} C_t^{na} = \frac{W_t}{P_t^{na}} \quad (3.10)$$

$$\left(\frac{S_t^P C_t^{1-\sigma}}{C_t^{na}} \right) = \beta E_t \left\{ \left(\frac{S_{t+1}^P C_{t+1}^{1-\sigma}}{C_{t+1}^{na}} \right) \left[(1 - \delta) + \frac{R_{t+1}^{na}}{P_{t+1}^{na}} \right] \right\} \quad (3.11)$$

$$\left[\frac{P_{t+1}^{na} - R_{t+1}^a}{1 - \chi_a (K_{t+1}^a - K^a)} \right] = P_{t+1}^{na} \left[(1 - \delta) + \frac{R_{t+1}^{na}}{P_{t+1}^{na}} \right] \quad (3.12)$$

$$\left[(1 - \delta) P_{t+1}^{na} + R_{t+1}^{na} \right] \left[\frac{1}{1 - \zeta FIS_t} + \chi_a (K_{t+1}^a - K^a) \right] = \frac{P_{t+1}^{na}}{1 - \zeta FIS_{t+1}} + R_{t+1}^a$$

A equação (3.9) representa o consumo relativo entre bens agropecuário e não agropecuário, já a equação (3.10) se refere a oferta de trabalho, a equação (3.11) é a função de Euler para o capital não agropecuário e a equação (3.12) representa a função de Euler para o capital agropecuário.

3.2 Firms

As firmas foram divididas em dois setores: o setor agropecuário e o setor não agropecuário.

3.2.1 Firms Produtoras de Bens Agropecuários

Existe um contínuo de firmas indexadas por j que maximizam o lucro seguindo uma estrutura de concorrência perfeita, escolhendo insumo de modo a maximizar o seu lucro:

$$\max_{K_t^a} = P_t^a Y_t^a - R_t^a K_t^a \quad (3.13)$$

sujeita à seguinte tecnologia de produção,

$$Y_t^a = A_t^a (K_t^a)^{1-\alpha_a} \quad (3.14)$$

Por hipótese, estamos assumindo que $L_t^a = 1$. No setor agropecuário a tecnologia possui a seguinte regra de movimento:

$$\log A_t^a = \rho_{A^a} \log A_{t-1}^a + \varepsilon_{A^a,t} \quad (3.15)$$

onde ρ_{A^a} é um componente autorregressivo desse choque, enquanto $\varepsilon_{A^a,t} \sim N(0, \sigma_P)$.

Ao resolver este problema de otimização obtemos a seguinte condição de primeira ordem:

$$\frac{R_t^a}{P_t^a} = (1 - \alpha_a) \left(\frac{Y_t^a}{K_t^a} \right) \quad (3.16)$$

Esse resultado fornece qual é a demanda ótima por capital agropecuário, à terra, por parte das firmas deste setor.

3.2.2 Firms Produtoras de Bens Não Agropecuários

Existe um contínuo de firmas indexadas por j que maximizam o lucro seguindo uma estrutura de concorrência perfeita, escolhendo insumo de modo a maximizar o seu lucro:

$$\max_{K_t^{na}, L_t^{na}} = P_t^{na} Y_t^{na} - (R_t^{na} K_t^{na} + W_t L_t^{na}) \quad (3.17)$$

sujeita à seguinte tecnologia de produção,

$$Y_t^{na} = A_t^{na} (L_t^{na})^{\alpha_{na}} (K_t^{na})^{1-\alpha_{na}} \quad (3.18)$$

Com uma estrutura semelhante à apresentada em Dietz e Stern (2015), o canal de impacto das mudanças climáticas em toda a economia ocorre através de um percentual γ de redução da produtividade que é causado pela emissão de CO_2 , assim:

$$A_t^{na} = (1 - \gamma CO_{2t}) \bar{A}_t^{na} \quad (3.19)$$

com $0 < \gamma < 1$.

No setor agropecuário a tecnologia possui a seguinte regra de movimento:

$$\log \bar{A}_t^{na} = \rho_{\bar{A}^{na}} \log \bar{A}_{t-1}^{na} + \varepsilon_{\bar{A}^{na},t} \quad (3.20)$$

onde $\rho_{\bar{A}^{na}}$ é um componente autorregressivo desse choque, enquanto $\varepsilon_{\bar{A}^{na},t} \sim N(0, \sigma_A)$.

A mudança climática pode ser vista como uma externalidade negativa da produção de bens intensivos em CO_2 , como mostrado em Solow (1971). Assim, a emissão de CO_2 é motivada essencialmente pela expansão da terra, que ocorre no setor agropecuário.

$$CO_{2t} = (K_t^a)^\theta S_{CO_2,t} \quad (3.21)$$

Na presença desse tipo de externalidade o custo privado se difere do custo social, o que normalmente é apresentado pela literatura como a emissão de gases poluentes. Desta forma, o CO_2 atua como um mecanismo de transmissão das ações de desmatamento que causa as mudanças climáticas. Similarmente, Heutel (2012) incluiu em sua modelagem a emissão de poluentes, surgindo como um subproduto do processo produtivo.

Neste setor a emissão de CO_2 possui a seguinte regra de acumulação:

$$\log S_{CO_2,t} = \rho_{CO_2} \log S_{CO_2,t-1} + \varepsilon_{S_{CO_2},t} \quad (3.22)$$

onde ρ_{CO_2} é um componente autorregressivo desse choque, enquanto $\varepsilon_{S_{CO_2},t} \sim N(0, \sigma_A)$.

Resolvendo esse problema de otimização temos as seguintes condições de primeira ordem,

$$\frac{R_t^{na}}{P_t^{na}} = (1 - \alpha_{na}) \frac{Y_t^{na}}{K_t^{na}} \quad (3.23)$$

$$\frac{W_t}{P_t^{na}} = \alpha_{na} \frac{Y_t^{na}}{L_t^{na}} \quad (3.24)$$

As equações (3.23) e a (3.24) representam a escolha ótima de capital e trabalho da firma não agropecuária.

3.3 Condições de equilíbrio

Para fechar o modelo são necessárias algumas condições de agregação:

$$Y_t = Y_t^a + Y_t^{na} \quad (3.25)$$

$$Y_t^a = C_t^a \quad (3.26)$$

$$Y_t^{na} = C_t^{na} + I_t^{na} + I_t^a \quad (3.27)$$

4 ANÁLISE EMPÍRICA

Nesta etapa são apresentados os procedimentos utilizados para tratamento e análise dos dados, além da calibragem e parametrização do modelo estrutural.

4.1 Estatísticas preliminares

Quanto as considerações dos dados, é necessário verificar se as hipóteses adotadas sobre o comportamento das variáveis estão representadas adequadamente no modelo teórico. Para tanto, deve-se considerar estatísticas referentes à correlação das variáveis adotadas.

Tabela 1 – Coeficientes de correlação, usando as observações 2005 – 2019. 5% valor crítico (bicaudal) = 0,5140 para $n = 15$.

Variáveis	Gasto em fiscalização em proporção do PIB	Variação no desmatamento	Variação na emissão de CO ₂
Gasto em fiscalização em proporção do PIB	1,0	−0,301	−0,298
Variação no desmatamento	−0,301	1,0	0,307
Variação na emissão de CO ₂	−0,298	0,307	1,0

Fonte: Autora.

Por meio desses resultados, é possível verificar uma relação negativa da fiscalização tanto em relação às emissões de CO_2 quanto ao volume de desmatamento. Isso demonstra o potencial de políticas públicas para a redução da degradação ambiental e consequentemente, da emissão de gases poluentes. Já entre a emissão de CO_2 e o desmatamento há uma correlação positiva, isso indica a correlação entre estas variáveis. Todas as relações estatísticas validam o que a teoria ambiental sugere, bem como é consistente com o modelo.

4.2 Tratamento dos dados

A base de dados usada no modelo é formada por dados anuais de 2005 até 2019 e estão descritas na tabela 2. Além disso, as séries temporais foram tratadas usando a diferença logarítmica para retirar a sua tendência.

4.3 Calibragem

Para calibrar os parâmetros do modelo foram utilizadas duas abordagens distintas. Para os parâmetros que não estão diretamente relacionados com o problema em estudo, optou-se pela calibragem (usando as Contas Nacionais, por exemplo), enquanto que os parâmetros relevantes para esta pesquisa foram estimados pela metodologia bayesiana. No caso da primeira abordagem, foram adotados os valores de trabalhos relevantes na

Tabela 2 – Variáveis observáveis do modelo.

Séries	Fonte
Gasto com fiscalização	SIOP
Desmatamento	INPE
Emissão de CO_2	INPE
PIB – pm (% a.a.)	IBGE/SCN Anual
PIB – agropecuária (% a.a.)	IBGE/SCN Anual
Horas trabalhadas – indústria – índice (média 2006 = 100)	Confederação Nacional da Indústria

Fonte: Autora.

literatura brasileira e também as estatísticas das variáveis observáveis. A tabela 3 reporta os valores dos parâmetros calibrados.

Tabela 3 – Calibração dos parâmetros.

Parâmetro	Valor	Fonte
β	1/1,025	–
σ	2	Cavalcanti e Vereda (2010)
φ	1,5	Cavalcanti e Vereda (2010)
ω_a	0,08	PIB – agropecuária/Consumo final – famílias
Y_{ss}	7,4	PIB brasileiro de 2019 (R\$ trilhões)
Y_{ss}^a	$0.0441 * Y_{ss}$	PIB do setor agropecuário
Y_{ss}^{na}	$0.9559 * Y_{ss}$	PIB do setor não agropecuário

Fonte: Autora.

Os valores dos parâmetros do coeficiente de aversão ao risco relativo (σ) e a desutilidade marginal com respeito à oferta de trabalho (φ) foram calibrados conforme o trabalho de Cavalcanti e Vereda (2010). Esta pesquisa avalia as propriedades dinâmicas de um modelo DSGE que inclui características típicas de uma economia emergente e adaptando as estruturas para o Brasil o que torna seus parâmetros adequados a esta pesquisa. Enquanto o fator de desconto intertemporal (β) é obtido através do inverso da taxa Selic anual vigente.

Os valores de estado estacionário¹ das variáveis relacionadas com oferta/demanda em seu estado estacionário foram calibrados com base nas informações do Sistema de Contas Nacional. O valor do produto de estado estacionário, Y_{ss} , é definido utilizando o PIB brasileiro de 2019, enquanto o Y_{ss}^a é dado pela parcela de participação de bens agropecuários sob o valor do Y_{ss} , semelhantemente é calculado o Y_{ss}^{na} . A participação dos bens de consumo agropecuário em relação ao consumo agregado ω_a foi utilizado os dados

¹ Dado que os modelos DSGE apresentam uma economia estacionária e os movimentos observados ocorrem por conta de afastamentos temporários deste estado, é necessário definir quais os valores das variáveis neste ponto. Deste modo, há um valor para cada variável que é sustentado temporalmente. Assim, conforme indicado em Costa Junior (2016), se uma variável x_t encontra-se em seu estado estacionário então em todo o tempo ela vai possuir o mesmo valor $E_t x_{t+1} = x_t = x_{t-1} = x_{ss}$.

do Sistema de Contas Nacional referentes ao PIB do setor agropecuário e o consumo final das famílias.

4.4 Estimação

Dada a distribuição *prior* dos parâmetros, foi estimada a distribuição *posterior* usando um processo de cadeia de Markov por meio do algoritmo Metropolis-Hastings com 500.000 iterações, um valor de escala de 0,1 e 2 cadeias paralelas. Além disso, foram introduzidos choques exógenos nas formulações das variáveis observáveis do modelo (denominados na literatura por erros de observação ou erros de mensuração)². A tabela 4 e a figura 5 apresentam as distribuições *priori* e *posterior* de cada um dos parâmetros estimados.

Nota-se, pela tabela 4 e pela figura 5, que o resultado da estimação foi satisfatório, pois as distribuições prior e posterior não ficaram excessivamente diferentes uma da outra, além disso, a distribuição posterior de todos os parâmetros ficou próxima da distribuição normal e a moda e a média da distribuição posterior não estiveram muito longe uma da outra.

4.5 Resultados

Na presente seção, serão avaliadas as propriedades dinâmicas do modelo por meio das funções impulso resposta (IRF).

Inicialmente, serão analisadas as funções impulso resposta, que representam o desvio proporcional das variáveis em relação aos seus valores de estado estacionário em um horizonte de 4 períodos³, para um choque estocástico⁴ negativo de um desvio-padrão nas emissões de CO_2 (figura 6). Nota-se que, com a queda de poluentes há ganhos para o setor não agropecuário representado pela melhora na produtividade desse setor que representa a redução de todos os efeitos negativos que a emissão do poluente pode ocasionar. Por consequência, o seu PIB cresce por alguns períodos até voltar para seu equilíbrio.

Mesmo o PIB do setor agropecuário foi impactado positivamente com esse choque, pois toda atividade econômica é impactada favoravelmente, indicando que choques dessa natureza beneficiam a economia de uma forma agregada. Por último, devido ao aumento no produto agregado, há impactos no consumo e no investimento.

Para investigar a dinâmica das variáveis diante de choques de fiscalização, inicialmente produzimos um choque positivo de um desvio padrão na variável Fis_t (figura 7). O

² Por exemplo, foi introduzida na estimação a seguinte equação referente a variação do PIB agregado (Y): $DY_t = Y_t - Y_{t-1} + \varepsilon_{1,t} + \theta_1 \varepsilon_{1,t-1}$ e o termo $\varepsilon_{1,t} + \theta_1 \varepsilon_{1,t-1}$ é a correção do erro de observação.

³ As funções impulso-resposta para os demais choques se encontram no Apêndice.

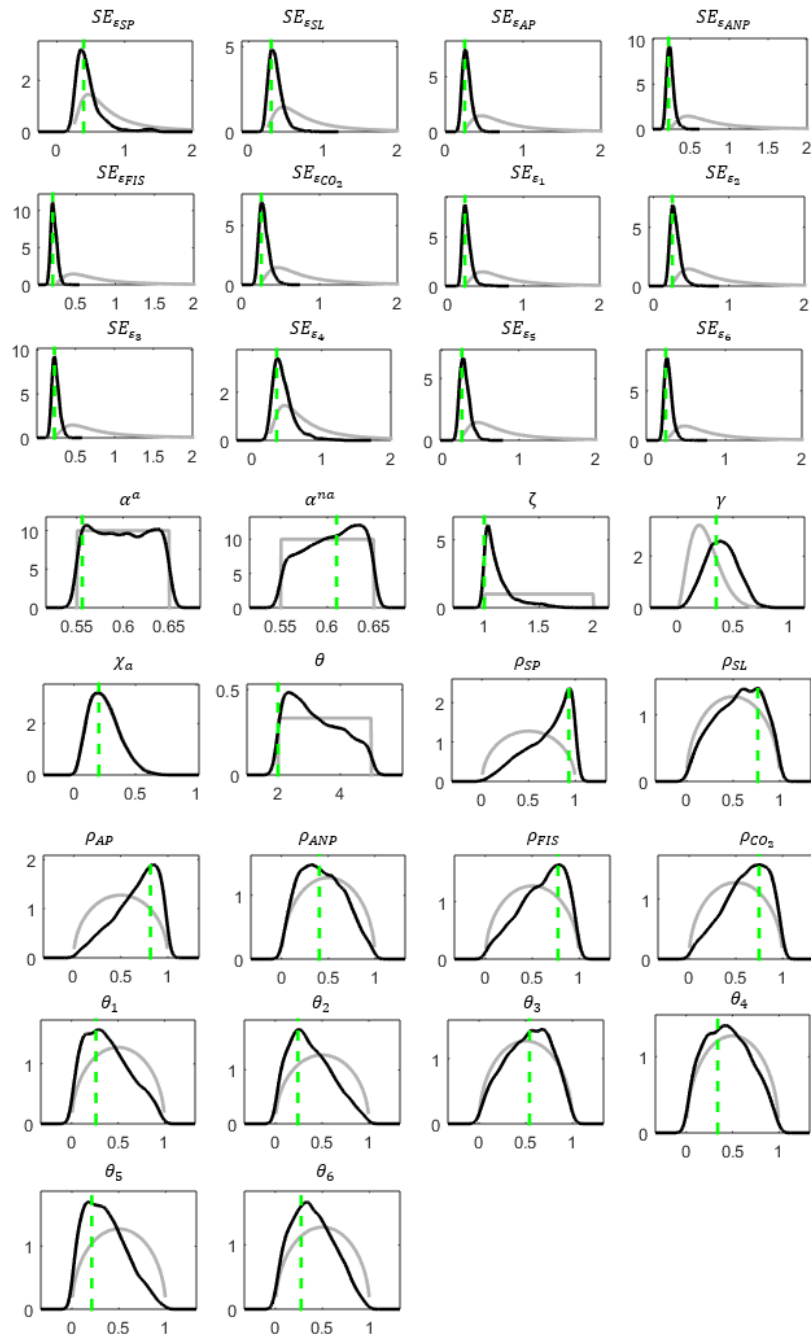
⁴ A ideia deste choque é capturar alterações na emissão de CO_2 não explicadas pela política de fiscalização do desmatamento.

Tabela 4 – Distribuição *posteriori* do modelo.

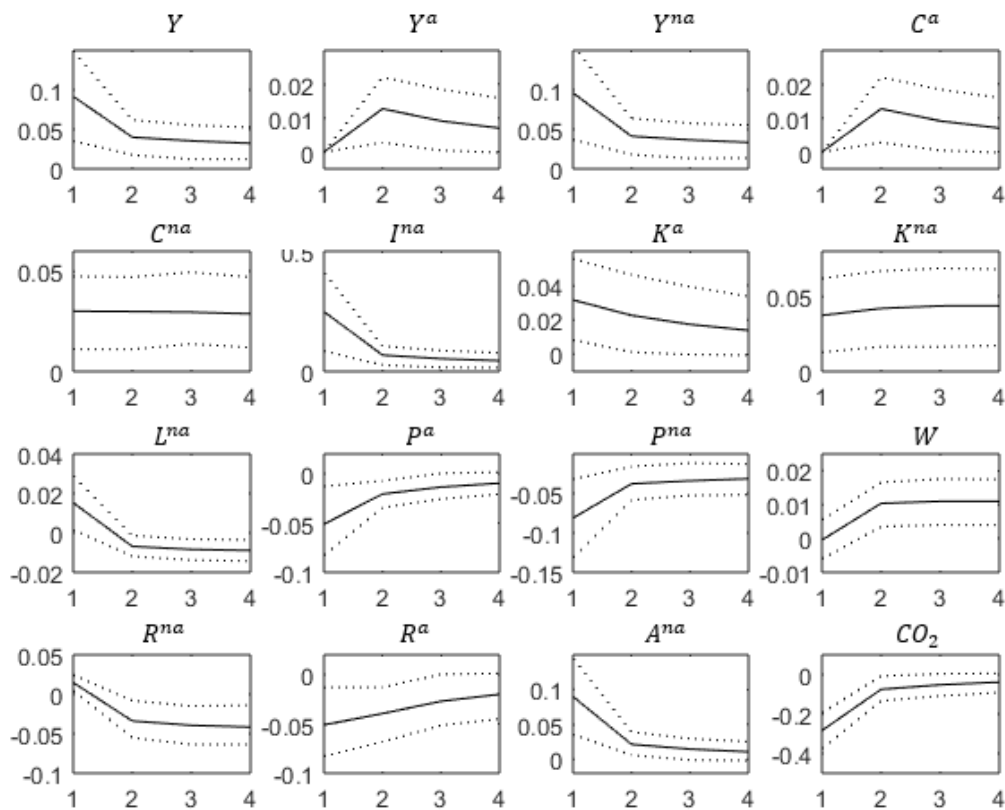
Parâmetros	<i>Média prior</i>	<i>Média posterior</i>	90% Intervalo	<i>Prior</i>	<i>pstdev</i>
Parâmetros estruturais					
α^a	0,600	0,599	0,5500 0,6403	unif	0,125
α^{na}	0,600	0,604	0,5627 0,6497	unif	0,125
ζ	1,500	1,125	1,0000 1,3135	unif	0,125
χ_a	0,25	0,248	0,0571 0,4408	beta	0,125
γ	0,25	0,392	0,1574 0,6194	beta	0,125
θ	3,500	3,225	2,0005 4,4976	unif	0,125
Parâmetros autoregressivos					
ρ_{SP}	0,5	0,704	0,3446 0,9993	beta	0,25
ρ_{SL}	0,5	0,554	0,1917 0,9729	beta	0,25
ρ_{AP}	0,5	0,657	0,3078 0,9898	beta	0,25
ρ_{ANP}	0,5	0,434	0,0559 0,7857	beta	0,25
ρ_{FIS}	0,5	0,598	0,2224 0,9561	beta	0,25
ρ_{CO2}	0,5	0,605	0,2517 0,9774	beta	0,25
θ_1	0,5	0,391	0,0138 0,7489	beta	0,25
θ_2	0,5	0,382	0,0110 0,7097	beta	0,25
θ_3	0,5	0,526	0,1217 0,8899	beta	0,25
θ_4	0,5	0,451	0,0539 0,8192	beta	0,25
θ_5	0,5	0,359	0,0068 0,6693	beta	0,25
θ_6	0,5	0,402	0,0414 0,7401	beta	0,25
Desvios-padrão					
ε_{SP}	1,0	0,460	0,2171 0,7005	invg	Inf
ε_{SL}	1,0	0,361	0,2146 0,4938	invg	Inf
ε_{AP}	1,0	0,276	0,1825 0,3627	invg	Inf
ε_{ANP}	1,0	0,240	0,1661 0,3089	invg	Inf
ε_{FIS}	1,0	0,216	0,1520 0,2738	invg	Inf
ε_{CO2}	1,0	0,287	0,1878 0,3876	invg	Inf
ε_1	1,0	0,257	0,1716 0,3376	invg	Inf
ε_2	1,0	0,288	0,1880 0,3858	invg	Inf
ε_3	1,0	0,247	0,1709 0,3162	invg	Inf
ε_4	1,0	0,442	0,2128 0,6429	invg	Inf
ε_5	1,0	0,295	0,1939 0,3943	invg	Inf
ε_6	1,0	0,253	0,1718 0,3292	invg	Inf

Fonte: Autora.

Figura 5 – Prior e posterior do modelo.



Fonte: Autora.

Figura 6 – Choque de CO_2 .

Fonte: Autora.

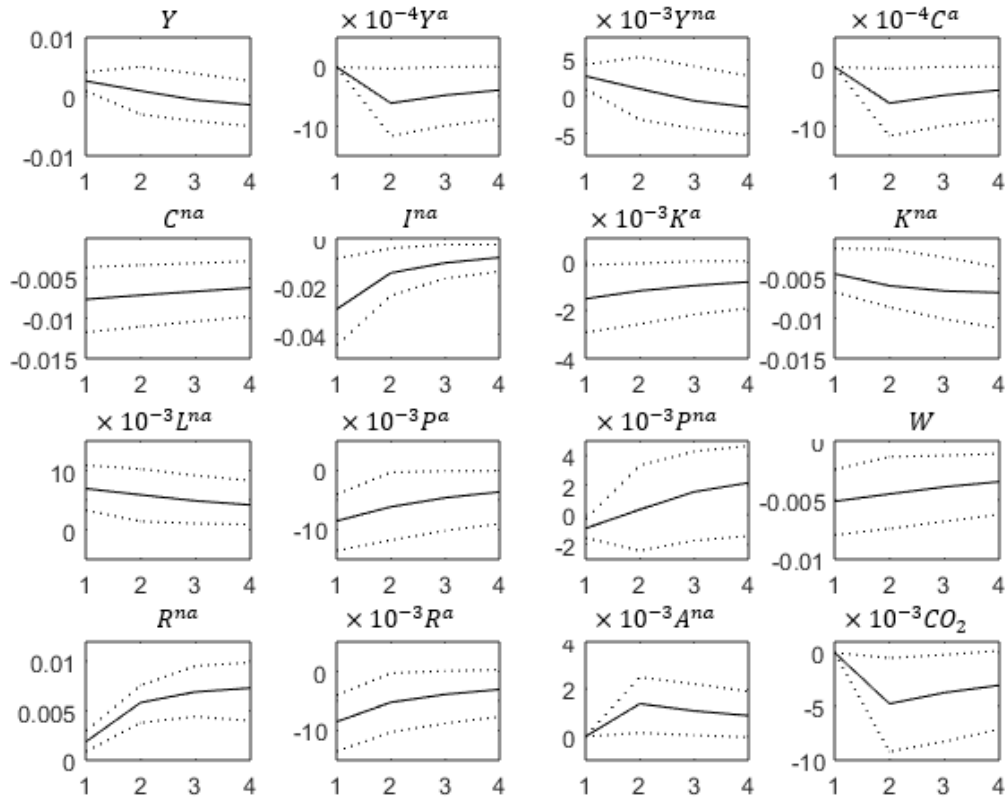
aumento na fiscalização faz com que reduza as áreas de desmatamento, e por conta disso, K^a apresenta uma queda em relação ao seu patamar inicial, sendo que este efeito persiste por todo o período de estudo.

Como a terra é um insumo de produção do setor agropecuário, o produto desse segmento também é impactado negativamente⁵. Apesar da redução acentuada em Y^a nos períodos iniciais, nos períodos seguintes, não é possível dizer que há alteração nessa variável, pois o zero está dentro do intervalo de confiança da IRF. Através desse canal, há uma contribuição negativa para o produto agregado da economia. Pelo mesmo motivo do resultado em Y^a , não podemos descartar a possibilidade da não alteração no produto total, ou seja, não podemos afirmar que o PIB aumenta com o aumento na fiscalização ao desmatamento, mesmo que a média tenha sido positiva nos períodos iniciais. Além disso, o consumo de bens agropecuários apresenta um comportamento semelhante ao comportamento do Y^a .

Quanto ao aspecto ambiental, a redução do desmatamento causa a queda na emissão

⁵ Este efeito de queda na produção do setor agropecuário não foi percebido no exercício anterior, pois diferentemente daqui, lá a queda na emissão de CO_2 não tinha origem no menor desmatamento.

Figura 7 – Choque de fiscalização.



Fonte: Autora.

de CO_2 . Essa queda é corroborada pelos dados empíricos observados pelo Instituto de Pesquisas Espaciais e pela literatura relacionada a questões ambientais. Considerando que houve uma queda duradoura do nível de CO_2 esse efeito permite verificar um grande potencial de efetividade desse tipo de política conforme aponta Krogstrup e Oman (2019). Além disso, podemos verificar o canal de transmissão dos efeitos ambientais para a economia, equação (3.19), logo, temos que uma queda na emissão de gases poluentes aumenta a produtividade do setor não agropecuário (A_{t+1}^{na}) e aumenta o produto desse setor. Assim, o efeito deste canal é positivo no produto agregado.

O resultado agregado dessa economia para o PIB apresenta uma variação em torno de zero no intervalo de confiança estabelecido, como já mencionado. O que indica que políticas de fiscalização ambiental possuem potencial para reduzir consistentemente a emissão de gases poluentes e, em contrapartida, não apresentam impactos econômicos severos. Assim, com base nos resultados das funções impulso resposta, um aumento na fiscalização não reduz o PIB e gera uma melhoria em termos ambientais.

Avaliando o comportamento das funções impulso resposta, percebemos que o choque de um desvio-padrão no CO_2 tem um efeito significativo na economia, mas usando o mesmo

critério para a fiscalização, ou seja, dando o choque de um desvio-padrão na fiscalização, os efeitos são modestos. Isso se deve, essencialmente, ao pequeno valor de fiscalização em proporção do PIB, 0,00046%⁶. Portanto, se aumentarmos esse choque em um tamanho suficiente para dispormos do mesmo choque apresentado na IRF do CO_2 (figura 6), o choque da fiscalização teria que aumentar em aproximadamente 130 vezes. Um aumento nessa proporção conduz a ideia de que será necessário dispendir muito dinheiro para obter resultados significativos com um choque de fiscalização, entretanto, mesmo com um aumento na magnitude proposta, a despesa total dessa categoria seria de aproximadamente 0,6% do PIB.

⁶ Valor obtido da relação Fis_t/Y_t para o ano de 2019.

5 CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho é estudar o impacto da política de fiscalização ambiental no desmatamento, e por consequência, na emissão de CO_2 e seus efeitos na macroeconomia. Para isso, foi utilizado um modelo DSGE com economia fechada e sem governo composto por dois setores: setor agropecuário e setor não-agropecuário.

Importante destacar que nas questões climáticas há um consenso científico de que o aumento de emissões de CO_2 causam mudanças inesperadas, prejudicando definitivamente os sistemas ecológicos dos quais dependem todas as formas de vida, inclusive a humana. Os efeitos adversos dessas mudanças que deveriam ser observados nas gerações futuras, já estão afetando comunidades em todo o mundo, inclusive no Brasil.

Com base na literatura¹, é possível verificar que os mercados não conseguem alcançar uma trajetória ótima de mitigação. As falhas de mercado estão no cerne das mudanças climáticas e impedem uma resposta adequada. Além disso, dificultam uma valoração adequada dos riscos de inação e de benefícios associados a ativos verdes. Isso aponta a necessidade de inclusão de ferramentas para estimação e previsão de risco climático na construção de políticas públicas ideais.

Os resultados deste trabalho indicam que uma política de fiscalização tem potencial para reduzir as emissões de poluentes sem afetar a atividade econômica de forma significativa. Além dos resultados obtidos por meio das funções impulso resposta para o choque de fiscalização, esta categoria de política tem apresentado resultados empíricos semelhantes ao avaliar o desempenho do PPCDam e das emissões de CO_2 durante o período em que o programa esteve em vigor, conforme indicado na figura 2.

A presente pesquisa também encontra resultados similares aos obtidos pela literatura nacional que se dedica ao estudo do desmatamento na região amazônica, como os trabalhos resultantes do projeto Climate Policy Initiative (CPI). Apesar de utilizar outra estrutura metodológica, análise de um painel de dados municipais, os trabalhos de Assunção, Gandour e Rocha (2015) e Assunção, Gandour e Rocha (2020) chegaram a conclusões similares ao material apresentado neste trabalho.

Em síntese, esta pesquisa apresenta alguns resultados sobre a adoção de políticas de fiscalização no Brasil por um modelo estrutural do tipo DSGE. Este tipo de contribuição é indispensável para dar suporte a políticas públicas mais assertivas e a construção de modelagem macroeconômica direcionada para estudos ambientais. Principalmente, em um cenário com tanta demanda internacional por ações brasileiras para frear o desmatamento na Amazônia, é indispensável o uso de uma metodologia mais robusta para dar suporte à análise de custo-benefício de políticas ambientais mais rígidas.

¹ Para maiores informações consultem UNEP (2019), USGCRP (2018) e IPCC (2018).

Para o desenvolvimento de novas pesquisas, sugere-se a incorporação de novos choques como financeiro e monetários nessa mesma estrutura, além da possibilidade de alterações na construção do modelo. Tais alterações, podem incluir uma ampliação do modelo atual para uma economia aberta e ainda contar com uma função de bem-estar social. Tais recursos contribuem para uma análise mais completa e oferece novas formas de captar o impacto de mudanças climáticas e o bem-estar de toda sociedade.

REFERÊNCIAS

- ABESSA, D.; FAMÁ, A.; BURUAEM, L. The systematic dismantling of Brazilian environmental laws risks losses on all fronts. **Nature Ecology & Evolution**, v. 3, p. 510–511, 2019.
- AGLIETTA, M.; ARRONDEL, L.; BRAND, T.; DE FOSSÉ, L.; DUFRÉNOT, G.; DU TRETTRE, R.; ESPAGNE, E.; FAIVRE, A.; GUY, Y.; MASSON, A.; MAYEROWITZ, A.; OMAN, W.; POTTIER, A. Transformer le régime de croissance. **Institut CDC pour la Recherche**, 2018.
- ANNICCHIARICO, B.; DI DIO, F. Environmental policy and macroeconomic dynamics in a new Keynesian model. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 69(C), p.1-21, 2015.
- ARCANJO, M. An Assault on the Amazon: Climate Insecurity in Brazil. **A Climate Institute Publication**, 2021. Disponível em: <http://climate.org/wp-content/uploads/2021/02/An-Assault-on-the.Amazon.pdf>. Acesso em: 04 mar. 2021.
- ASSUNÇÃO, J.; GANDOOUR, C.; ROCHA, R. Deforestation slowdown in the Brazilian Amazon: Prices or policies? **Environment and Development Economics**, v.20(6), p. 697-722, 2015.
- ASSUNÇÃO, J.; GANDOOUR, C.; ROCHA, R. The Effect of Rural Credit on Deforestation: Evidence from the Brazilian Amazon. **The Economic Journal**, v.130, n.626, p.290–330, 2020.
- BARONA, E.; RAMANKUTTY, N.; HYMAN, G.; COOMES, O. The role of pasture and soybean in deforestation of the Brazilian Amazon. **Environmental Research Letters**, 2010.
- BATINI, N. Macroeconomic gains from reforming the Agri-Food Sector: The Case of France. **IMF Working Paper**, n. 19/41, 2019.
- CARNEY, M. Breaking the tragedy of the horizon – climate change and financial stability. **Speech at Lloyd's of London**, 2015.
- FMI. The effects of weather shocks on economic activity in world economic outlook. **International Monetary Fund**, 2017.
- BATTEN, S. Climate change and the macro-economy: a critical review. **Bank of England Working Papers**, 2018.
- BENAVIDES, C.; GONZALES, L.; DIAZ, M.; FUENTES, R.; GARCÍA, G.; PALMABEHNKE, R.; RAVIZZA, C. The impact of a carbon tax on the Chilean electricity generation sector. **Energies**, v. 8(4), p. 1-27, 2015.
- BOUMAN, M.; GAUTIER, P.; HOFKES, M. Do firms time their pollution abatement investments optimally? **The Economist**, v.148, p.71–86, 2000.

BURKE, M.; HSIANG, S.; MIGUEL, E. Global non-linear effect of temperature on economic production. **Nature**, v.527, p.235–239, 2015.

BRASIL. Protocolo de Quioto e legislação correlata. Brasília: Subsecretaria de Edições Técnicas do Senado Federal. **Diário Oficial da União** v.3, p.88, 2004.

BRAZ, M. S. A. Os mecanismos de cooperação internacional para redução de emissões sob o Protocolo de Quioto. **Boletim Científico Escola Superior do Ministério Público da União**, n. 9, p. 139-159, 2003.

CAPELARI, M. G. M.; ARAÚJO, S. M. V. G.; CALMON, P. C. D. P.; BORINELLI, B. Large-scale environmental policy change: analysis of the Brazilian reality. **Brazilian Journal of Public Administration**, v.54(6), p.1691-1710, 2020.

CAVALCANTI, M. A.; VEREDA, L. Propriedades dinamicas de um modelo DSGE com parametrizacoes alternativas para o Brasil. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA)**, 2011.

CEDIAC. **Production of CO2 from fossil fuel burning by fuel type**, 2020. Disponível em https://cdiac.ess-dive.lbl.gov/epubs/fossil_fuel_CO2_emissions_gridded_annual_del13C_v2016.html Acesso em: 24 fev. 2021.

CHAN, Y. T. The Environmental Impacts and Optimal Environmental Policies of Macroeconomic Uncertainty Shocks: A Dynamic Model Approach, Sustainability. **Open Access Journal**, v. 11(18), p.1-26, 2019.

CHANGE—GROWTH- AND FMI. Euro Area policies: financial system stability assessment: detailed assessment of observance—basel core principles for effective banking supervision. **International Monetary Fund**, 2018.

COLACITO, R.; HOFFMANN, B.; PHAN, T.; SABLİK, T. The impact of higher temperatures on economic growth. **FRB Richmond Economic Brief**, 2018.

COSTA JUNIOR, C.J. **Understanding DSGE models: theory and applications**. Vernon Press, 2016.

DAMASIO, K. Brasil já sente impactos das mudanças climáticas e situação pode se agravar. **National Geographic**, 2020.

DASGUPTA, P.; GEOFFREY H. The optimal depletion of exhaustible resources. **The Review of Economic Studies**, v.41, p. 3-28, 1974.

DE SERRES, A.; MURTIN, F. A welfare analysis of climate change mitigation policies. **OECD Economics Department Working Papers**, n.908, 2011.

DERYUGINA, T.; HSIANG, S.M. Does the environment still matter? Daily temperature and income in the United States. **NBER Working Paper** n.20750, 2014.

DIETZ, S.; STERN, N. Endogenous growth, convexity of damage and climate risk: how Nordhaus' framework supports deep cuts in carbon emissions. **The Economic Journal**,

v. 125, n.583,p.574–620, 2015.

DISSOU, Y.; KARNIZOVA, L. Emissions cap or emissions tax? A multi-sector business cycle analysis.**Journal of Environmental Economics and Management**, v. 79(C), p. 169-188, 2016.

ESCOBAR, H. Deforestation in the Brazilian Amazon is still rising sharply. **Science**, v.369, 2020.

FARMER et al. A third wave in the economics of climate change. **Environ. Resour. Econ.**, p.329–357, 2015.

FAY, M.; HALLEGATTE, S; VOGT-SCHILB, A.; ROZENBERG, J.; NARLOCH, U.; KERR, T. Decarbonizing development: three steps to a zero-carbon future.**World Bank Group**, 2015.

FISCHER, C.; SPRINGBORN, M. Emissions targets and the real business cycle: Intensity targets versus caps or taxes. **Journal of Environmental Economics and Management**, v.62,n.3, p. 352-366, 2011.

FMI. Fiscal policies for Paris Climate Strategies: From principle to practice.**International Monetary Fund**, 2019.

FMI. The rise of corporate market power and its macroeconomic effects. **International Monetary Fund**, 2019.

FRIED, S.; JOHNSON, J; MORRIS, S. D. Environmental policy and short run macroeconomic tradeoffs.**University of California**, 2013.

GATTI et al. Drought sensitivity of Amazonian carbon balance revealed by atmospheric measurements.**Nature** v.506, p.76–80, 2014.

GUPTA, Joyeeta. A History of international climate change policy.**Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change**, p.636-653, 2010.

HASSLER, J.; KRUSELL, P. SMITH, A.A. Environmental macroeconomics, handbook of macroeconomics. **Handbook of Macroeconomics**, vol. 2, p.1893-2008, 2016.

HAYHOE, K., D.J.; WUEBBLES, D.R.; EASTERLING, D.W.; FAHEY, S.; DOHERTY, J.; KOSSIN, W.; SWEET, R.; VOSE, M. Our changing climate. In impacts, risks, and adaptation in the United States: fourth national climate assessment.**Global Change Research Program**, v.2, p.72–144, 2018.

HEUTEL, G.; FISCHER, C. Environmental macroeconomics: environmental policy, business cycles, and directed technical change. **ECON Publications**, 2013.

HEUTEL, G. How should environmental policy respond to business cycles? Optimal policy under persistent productivity shocks.**Review of Economic Dynamics**, v.15, n.2, p.244-264, 2012.

IEA. Renewable energy for industry—from green energy to green materials and fuels. **IEA Insights Paper**, 2017.

INPE. **NPE-EM: Estimativa de emissões dos gases do efeito estufa (GEE) por mudanças de cobertura da terra**. Disponível em: <http://inpe-em.ccst.inpe.br/> . Acesso em : 26 out. 2020.

IPCC. Climate change synthesis report. **Intergovernmental Panel on Climate Change**, 2014.

IPCC. Global warming of 1.5oC.**Intergovernmental Panel on Climate Change**, 2018.

IPCC. Framing and Context. In: Climate change and land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. **Intergovernmental Panel on Climate Change**, 2019.

IPCC. Land–climate interactions. In: Climate change and land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. **Intergovernmental Panel on Climate Change**, 2019.

IPCC. Summary for Policymakers. In: Climate change and land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems, **Intergovernmental Panel on Climate Change**, 2019.

JONES, R.; BOER, R. Assessing current climate risks, in adaptation policy frameworks for climate change: developing strategies, policies and measures. **Cambridge Univ. Press**, p. 91–117, 2005.

JORGENSEN, D. W.; WILCOXEN, P. Environmental regulation and U.S. economic growth. **The Rand Journal of Economics**, p. 314–340, 1990.

KELLY, D. L. Price and quantity regulation in general equilibrium. **Journal of Economic Theory**, n.125, p.36-60, 2005.

KROGSTROP, S.; OMAN, W. Macroeconomic and financial policies for climate change mitigation: A review of the literature. **IMF Working Paper**, n. 19/185, 2019.

KUROZUMI, T.; ZANDWEGHE, W.V. Determinacy under inflation targeting interest rate policy in a sticky price model with investment (and labor bargaining). **Journal of Money, Credit and Banking**, v.43, n.5, p. 1019-1033, 2011.

MANNE, A. ETA: A Model for energy technology assessment. **Bell Journal of Economics**, v. 7, n. 2, 1976, p. 379-406, 1976.

MANNE, A., RICHELIS, R. **MERGE: An integrated assessment model for global climate change**, 2004.

MARGULIS, S. Causes of deforestation of the Brazilian Amazon. **World Bank Working Paper**, n.22, 2004.

MERSCH, Y. Climate change and central banking, speech at the workshop discussion sustainability is becoming mainstream. **Frankfurt am Main**, 2018.

MMA. Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado (PPCerrado) e Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDam). Disponível em: http://combateaodesmatamento.mma.gov.br/images/conteudo/Livro-PPCDam-e-PPCerrado_WEB_1.pdf Acesso em: 15 nov. 2020.

NORDHAUS, W.D. Climate change: the ultimate challenge for economics. **Nobel Prize in Economics documents**, 2018.

NORDHAUS, W.D. Geography and macroeconomics: new data and new findings. **Proc. Natl Acad. Sci.**, p.3510–3517, 2006.

NORDHAUS, W.D., 2013. Integrated economic and climate modeling, handbook of computable general equilibrium modeling. **Handbook of Computable General Equilibrium Modeling**, v.1, p. 1069-1131, 2013.

NORDHAUS, W.D. Locational competition and the environment: should countries harmonize their environmental policies? **Cowles Foundation Discussion Papers**, 1994.

NORDHAUS, W.D., Policy games: Coordination and independence in monetary and fiscal policies. **Brookings Papers on Economic Activity**, p. 139-216, 1994.

NORDHAUS, W.D. Projections and uncertainties about climate change in an Era of Minimal Climate Policies. **National Bureau of Economic Research**, 2016.

NORDHAUS, W.D. Reflections on the economics of climate change. **Journal of Economic Perspectives**, vol. 7, p.11-25, 1993.

NORDHAUS, W.D. The 'DICE' Model: Background and structure of a dynamic integrated climate-economy model of the economics of global warming. **Cowles Foundation Discussion Papers**, 1992.

OLIVEIRA, T. et al. CO₂ Emissions from forest degradation in Brazilian Amazon. **Environmental Research Letters**, 2020.

OMM. Apesar de fechamentos pelo mundo, queda de emissões de CO₂ durante pandemia não foi suficiente. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2020/11/1733752> Acesso em: 06 dez. 2020.

PALTSEV, Sergey. The Kyoto Protocol: Regional and sectoral contributions to the carbon leakage. **The Energy Journal**. p.53-80, 2001.

PEREIRA, R. **Commodity boom and environmental policy : what lies behind the Amazon deforestation**, 2019. Disponível em : <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/9590> Acesso em: 26 out. 2020.

- PIGATO, M. Fiscal policies for development and climate action. **World Bank Group**, 2019.
- PINDYCK, R.S. Climate change policy: what do the models tell us? **National Bureau of Economic Research**, 2013.
- PINDYCK, R.S. The climate policy dilemma. **Review of Environmental Economics and Policy**, v. 7, n.2, p.219-237, 2013.
- PINDYCK, R.S; WANG, N. The economic and policy consequences of catastrophes. **American Economic Association**, v.5, n.4, p.306-339, 2013.
- PIVETTA, M. Amazônia, agora, é fonte de CO_2 . **Pesquisa FAPESP**, v.287, 2020. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/amazonia- agora - e - fonte - de - co2/> Acesso em: 12 fev. 2021.
- RIGAUD, K.; de SHERBININ, A.; JONES, B.; BERGMANN, J.; CLEMENT, V.; OBER, K.; SCHEWE, J.; ADAMO, S.; MCCUSKER, B.; HEUSER, S.; MIGLEY, A. Groundswell: Preparing for internal climate migration. **World Bank**, 2018.
- ROZENBERG, J.; VOGT-SCHLIB, A.; HALLEGATTE, S. Transition to clean capital, irreversible investment and stranded assets. **Policy Research Working Paper**, n.6859, 2014.
- RUV LEMES, M.C; SIMÕES, M.; CAPUCIN, B.C. Impactos das queimadas na Amazônia no tempo em São Paulo na tarde do dia 19 de agosto de 2019. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13, n.3, p.983-993, UFPE, 2020.
- SILVA JUNIOR, C.H.L.; ARAGÃO, L.E.O.; ANDERSON, L.O.; FONSECA, M.G.; SHIMABUKURO, Y.E; VANCUTSEM, C.; ACHARD, F. Persistent collapse of biomass in Amazonian forest edges following deforestation leads to unaccounted carbon losses. **Science Advances**, v.6, n. 40, 2020.
- STERN, N. H. Economics: Current climate models are grossly misleading. **Nature**, v.530, n. 7591, p.407-409, 2016.
- STERN, N. H. **Stern Review: The economics of climate change**, v. 30, 2006.
- STERN, N. H. **The economics of climate change: the Stern Review**, 2007.
- STERN, N. H. Why are we waiting? The logic, urgency, and promise of tackling climate change. **The MIT Press**, 2015.
- STRAND, J. Efficient environmental taxation under worker-firm bargaining. **Oslo University**, 1995.
- SOLOW, R.M. A contribution to the theory of economic growth. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 70, n.1, p.65-94, 1956.
- SOLOW, R.M. The economist's approach to pollution and its control. **Science**, p.498-503,

1971.

TOL, R.S.J. Energy and climate. **Working Paper Series 1618**, 2018.

TOL, R.S.J. The impact of climate change and the social cost of carbon. **Working Paper Series 1318**, 2018.

UNEP. Emissions gap report. **United Nations Environment Program**, 2019.

UNEP. The emissions gap report. **United Nations Environment Program**, 2018.

UNFCCC. Paris Agreement, United Nations Framework Convention on Climate Change, 2016. Disponível em: https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf. Acesso em : 30 nov. 2020.

USGCRP. Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment. **Global Change Research Program**, v.1, 2017.

USGCRP. Impacts, risks, and adaptation in the United States: Fourth National Climate Assessment, **Global Change Research Program**, v.2, 2018.

VILLEROY DE GALHAU, F. Climate change: the financial sector and pathways to 2C. **Climate Action Tracker**, 2015. Disponível em <https://climateactiontracker.org/countries/brazil/> Acesso em: 24 nov. 2020.

WALKER, R.; MORAN, E.; ANSELIN, L. Deforestation and cattle ranching in the Brazilian Amazon: External capital and household processes. **World Development**, v. 28, n.4, p.683-699, 2000.

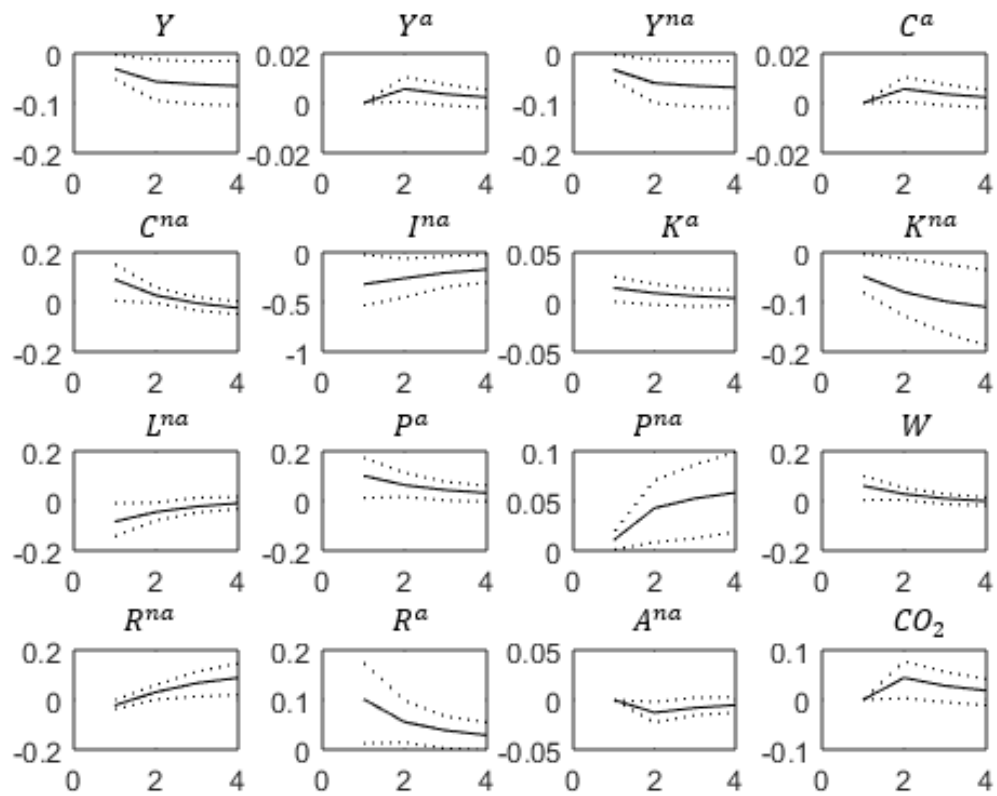
XU, W.; XU, K.; LU, H. Environmental policy and China's macroeconomic dynamics under uncertainty: Based on the NK model with distortionary taxation. **MPRA Working Paper**, n.71314, 2015.

XU W.; XUE, J.; MAO, Y. Environmental policy choice under the perspective of macroeconomic dynamics: Based on the analysis of the New Keynesian DSGE Model. **China Population, Resources and Environment**, v.25, p.101-109, 2015.

ZILLI, M. et al. The impact of climate change on Brazil's agriculture. **Sci Total Environ.**, v. 740, 2020.

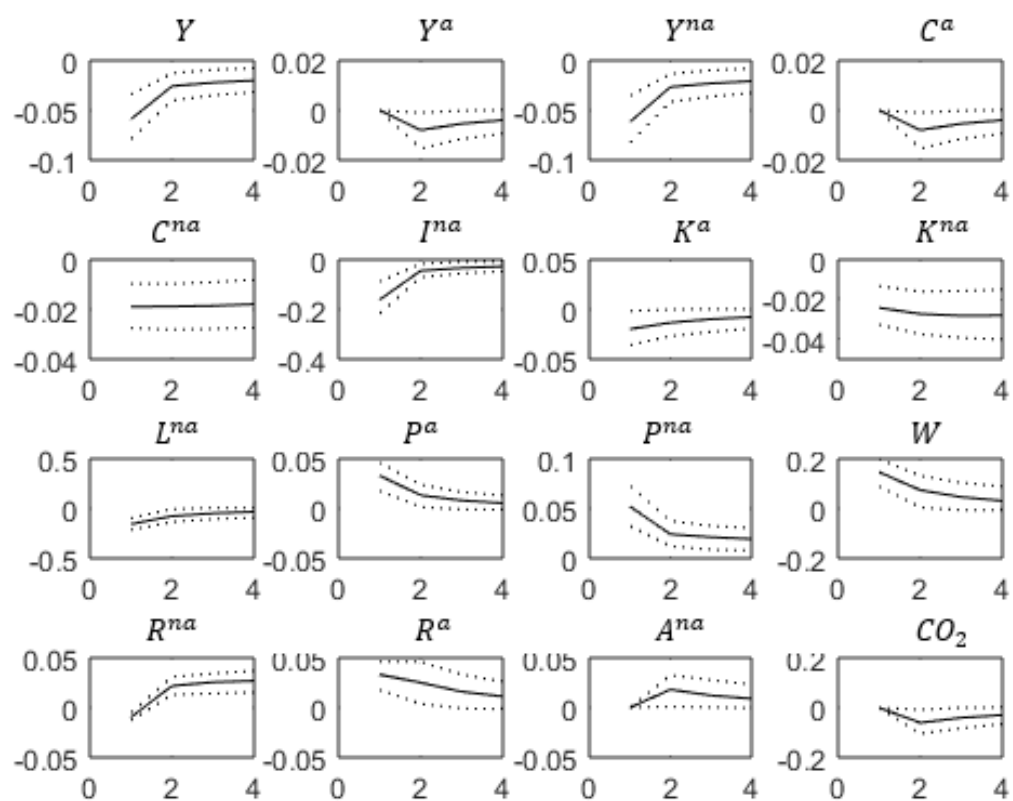
APÊNDICE A – FUNÇÕES IMPULSO RESPOSTA

Figura 8 – Choque de preferência intertemporal.



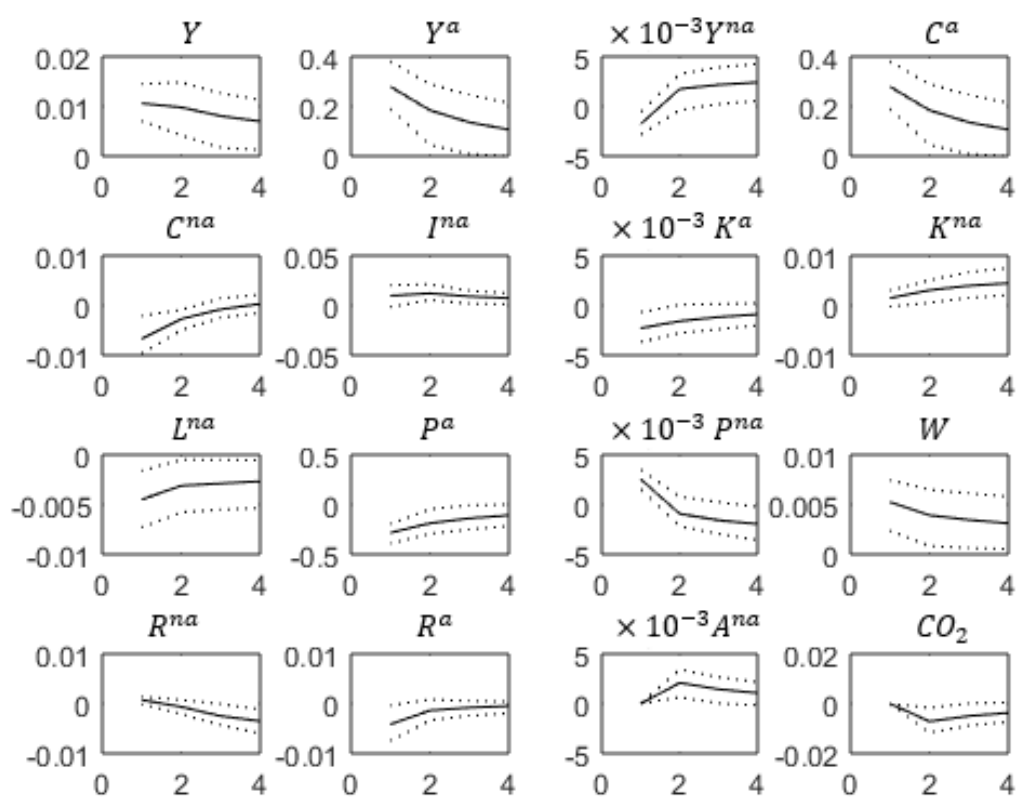
Fonte: Autora.

Figura 9 – Choque de oferta de trabalho.



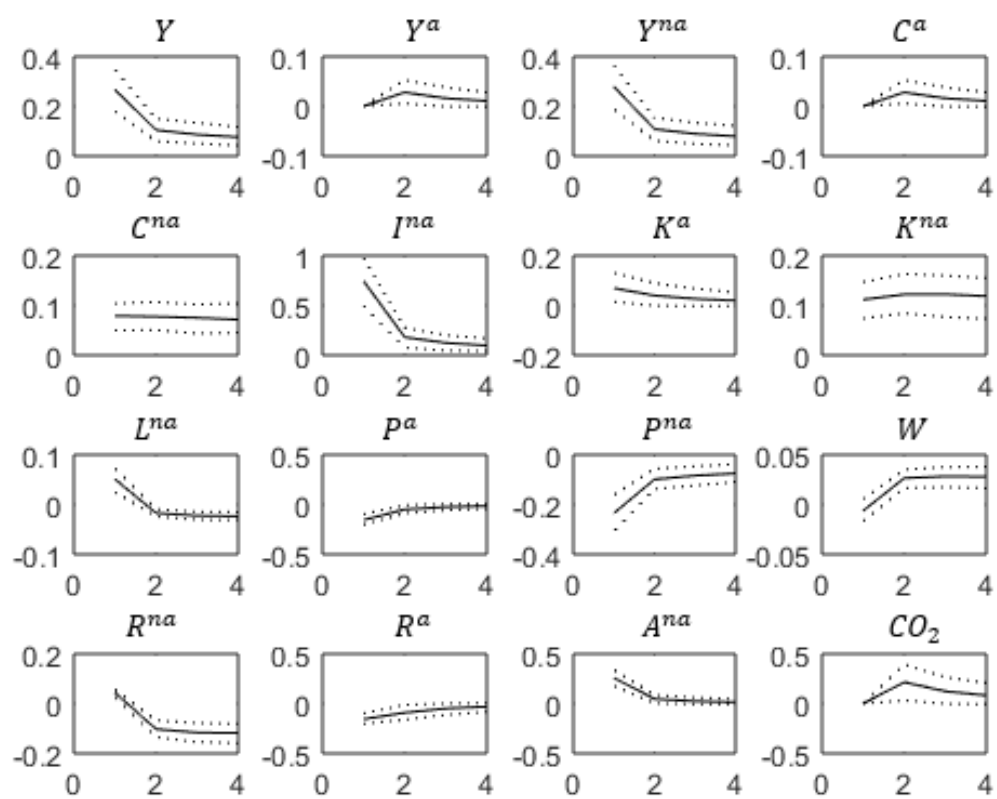
Fonte: Autora .

Figura 10 – Choque de produtividade no setor agropecuário.



Fonte: Autora.

Figura 11 – Choque de produtividade no setor não agropecuário.



Fonte: Autora.