Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Controle do desmatamento e o impacto na renda agropecuária no Brasil

Regiane Canisares França

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestra em Ciências. Área de concentração: Economia Aplicada

Piracicaba
2021

Regiane Canisares França
Bacharel em Ciências Econômicas

Controle do desmatamento e o impacto na renda agropecuária no Brasil

Orientador:
Prof. Dr. **JOAQUIM BENTO DE SOUZA FERREIRA FILHO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestra em Ciências. Área de concentração: Economia Aplicada

Piracicaba
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP

França, Regiane Canisares
Controle do desmatamento e o impacto na renda agropecuária no Brasil / Regiane Canisares França. – – Piracicaba, 2021 .
77 p.

Dissertação (Mestrado) - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Renda agropecuária 2. Desmatamento 3. Brasil 4. Modelos EGC I. Título.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, por todo sacrifício que fizeram para que eu chegasse até aqui.

AGRADECIMENTOS

À Universidade de São Paulo (USP) e a Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), pela oportunidade e estrutura disponibilizada para realização desta pesquisa.

À CAPES, que colaborou com apoio financeiro durante o mestrado e possibilitou minha dedicação exclusiva aos estudos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Joaquim Bento de Souza Ferreira Filho, por todo conhecimento compartilhado, paciência e confiança durante todo o desenvolvimento desta pesquisa. Seus conhecimentos em economia e modelos EGC foram essenciais na concepção deste estudo. Sem dúvidas, sua seriedade e dedicação com a pesquisa, marcaram minha vida acadêmica e profissional.

Ao meu marido Deivid, pela paciência, entusiamo e apoio incondicional ao longo desta trajetória. Seu apoio e incentivo foram determinantes para me dar confiança e perseguir meus sonhos e objetivos. As longas horas de estudo e dedicação à pesquisa teriam sido muito mais difíceis sem sua presença.

À minha mãe Maria e irmã Elaine, por todo apoio e incentivo. Principalmente pela compreensão da minha ausência em diversos momentos importantes ao longo desta jornada. Agradeço de forma especial ao meu querido pai, que apesar de não estar aqui para ver esta conquista, colaborou imensamente para que eu pudesse atingi-la.

Às amizades que fiz durante essa jornada, Carol e Bruna, obrigada pelo companheirismo e por tudo que compartilhamos em Piracicaba. Cada história, cada desabafo, cada risada tornaram o caminho mais leve e divertido.

À equipe de Asset da Caixa Econômica Federal, onde trabalhei por quase dois anos, pelo apoio para realização do mestrado. Em especial ao Rodrigo e Rosângela, pelo conhecimento compartilhado e incentivo para continuar estudando na área.

E, aos meus amigos e familiares pela compreensão e incentivo para conclusão deste trabalho.

SUMÁRIO

Resumo 6
Abstract 7
Lista de Figuras 8
Lista de Tabelas 9
1 Introdução 11
1.1 Contexto 11
1.2 Objetivo 12
2 Revisão de Literatura 13
3 Metodologia 21
3.1 Estrutura dos modelos de Equilíbrio Geral Computável (EGC) 21
3.2 Calibração, fechamento e método de solução dos modelos EGC 24
3.3 O modelo TERM-BR 25
3.4 O módulo de uso do solo no modelo TERM-BR 29
3.5 A base de dados do modelo TERM-BR 34
4 Estratégia de simulação 37
4.1 Linha de base 37
4.2 Cenários de política 38
4.3 Fechamento do modelo 39
4.4 Método de solução 39
5 Resultados 41
5.1 Resultados da linha de base 41
5.2 Resultados da política aplicada 43
5.3 Renda e efeitos distributivos 51
5.4 Progresso tecnológico 54
6 Considerações Finais 59
Referências 61
Apêndices 67
Anexos 73

RESUMO

Controle do desmatamento e o impacto na renda agropecuária no Brasil

O crescimento da produção agropecuária contribui para discussões relacionadas ao desmatamento das florestas brasileiras, que tem registrado elevadas taxas nos últimos anos. Frequentemente, o crescimento do desflorestamento é atribuído aos retornos do setor agropecuário, com o aumento da produção pautado pela expansão de terras. Neste contexto, o principal objetivo desta pesquisa é investigar se a implantação de medidas de redução do desmatamento também reduz a renda do setor agropecuário brasileiro. Para isso, foram simulados três cenários de política de redução do desmatamento através do uso de um modelo inter-regional (*bottom-up*) e dinâmico-recursivo de equilíbrio geral computável, o TERM-BR, que utiliza uma matriz de transição para capturar as mudanças no uso da terra entre as categorias da agropecuária (culturas, pastagens e silvicultura) e um tipo de uso residual representando as florestas nativas (*unused*). Os cenários de desmatamento utilizados aqui são originais do estudo do Instituto Escolhas (2017), com o cenário base projetando as taxas de desmatamento seguindo a tendência recente da série histórica, e três cenários de política: ZERO, que projeta a interrupção total do desflorestamento nas florestas brasileiras até 2030; CEN2, impõem o fim do desmatamento ilegal em 2030, mas com o desmatamento em terras privadas prosseguindo em áreas de elevada aptidão agrícola; e CEN3, que é semelhante ao cenário CEN2, mas o desflorestamento em terras privadas ocorre sobre qualquer tipo de terra, independente da aptidão agrícola. Os resultados indicaram que a redução do desmatamento no Brasil não reduz a renda agropecuária, inclusive, as simulações apontaram para um ganho moderado na renda agregada do setor. No cenário mais restrito (ZERO), os resultados apontaram para elevação de 1,13% na renda agropecuária, com crescimento de 0,61% e 0,12% nos cenários CEN2 e CEN3, respectivamente. Este crescimento ocorre devido ao aumento nos rendimentos da terra, que se torna escassa com a aplicação da política e com a elevação dos preços dos alimentos e matérias-primas, que elevam os valores da produção. Apesar disso, os resultados regionais mostraram que os estados pertencentes à região da Amazônia Legal registraram queda na renda agropecuária, enquanto os estados mais afastados dessa região tiveram suas rendas elevadas. Outro resultado importante refere-se ao setor da agroindústria que, diferente do setor agropecuário, registrou queda na renda agregada com a implantação das políticas. Ademais, foi observado que a implantação das políticas causou um custo social ao reduzir o consumo das famílias mais pobres da economia, devido à elevação dos preços dos alimentos e queda dos salários reais. O estudo também constatou que uma elevação de produtividade relativamente pequena é necessária para manter os níveis de produção anterior à aplicação das políticas, com crescimento de 1,4% até 2030 no cenário ZERO. De forma geral, apesar dos resultados do estudo apontarem que a redução do desmatamento não prejudica os rendimentos do setor agropecuário, os resultados negativos em termos regionais e sociais se mostraram importantes para condução deste tipo de política, que podem guiar medidas compensatórias para que os impactos para estes agentes possam ser minimizados.

Palavras-chave: Renda agropecuária, Desmatamento, Brasil, Modelos EGC

ABSTRACT

Deforestation control and the impact on agricultural income in Brazil

The growth of agricultural production contributes to discussions related to deforestation of Brazilian forests, which has registered high rates recently. Often, the growth of deforestation is attributed to the returns of the agricultural sector, with the increase in production guided by the expansion of land. In this context, the main objective of this research is to investigate whether the implementation of measures to reduce deforestation also reduces the income of the Brazilian agricultural sector. For this, three scenarios of deforestation reduction policy were simulated using an interregional, bottom-up, dynamic general equilibrium model, the TERM-BR model, which uses a transition matrix to capture changes in land use between the categories of agriculture (crops, pastures and forestry) and a type of residual use representing native forests (unused). The deforestation scenarios used here are original from Instituto Escolhas (2017), with the base scenario projecting deforestation rates following the recent trend of the historical series, and more three policy scenarios: ZERO, which projects the total interruption of deforestation in Brazilian forests by 2030; CEN2, impose the end of illegal deforestation in 2030, but with deforestation on private land continuing in areas of high agricultural aptitude; and CEN3, which is similar to the CEN2 scenario, but deforestation on private land occurs on any type of land, regardless of agricultural aptitude. The results indicated that the reduction of deforestation in Brazil does not reduce agricultural income. Actually, the simulations pointed to a moderate gain in the aggregate income of the sector. In the more restricted scenario (ZERO), the results pointed to an increase of 1.13% in agricultural income, with growth of 0.61% and 0.12% in the scenarios CEN2 and CEN3, respectively. This growth occurs due to the increase in returns to land, which becomes scarce with the application of the policy and with the increase in prices of food and raw materials, which raise the values of production. Nevertheless, the regional results showed that the states belonging to the region of the Legal Amazon recorded a fall in agricultural income, while the states farther away from this region had increased incomes. Another important result refers to the agroindustry sector, which, unlike the agricultural sector, recorded a fall in aggregate income with the implementation of policies. Moreover, it was observed that the implementation of the policies caused a social cost by reducing the consumption of the poorest families of the economy, due to the rise in food prices and falling real wages. The study also found that a relatively small productivity increase would be necessary to maintain production levels prior to the implementation of the policy, with growth of 1.4% by 2030 in the ZERO scenario. In general, despite the results of the study point out that the reduction of deforestation does not harm the incomes of the agricultural sector, the negative results in regional and social terms proved important for conducting this type of policy, which can guide compensatory measures so that the impacts for these agents are minimized.

Keywords: Agricultural income, Deforestation, Brazil, CGE modeling

LISTA DE FIGURAS

3.1 Fluxo circular da economia. 23
3.2 Estrutura de produção do TERM-BR. 27
3.3 Estrutura de demanda das famílias do TERM-BR. 28
3.4 Funcionamento do módulo de uso do solo no TERM-BR. 31

5.1 Evolução do uso da terra no cenário base, variação ordinária acumulada em 2030, milhões de hectares. 41
5.2 Variáveis macroeconômicas no cenário base. Variação % acumulada em 2030. 42
5.3 Renda e produção agropecuária no cenário base. Variação % acumulada em 2030. 43
5.4 Desmatamento evitado por região. Variação ordinária em relação à linha de base, em milhões de hectares acumulados em 2030. 44
5.5 Renda e fatores primários compostos da agropecuária. Variação percentual em relação à linha de base, acumulada em 2030. 50
5.6 Preços ao consumidor por faixa de renda. Variação percentual em relação à linha de base, acumulada em 2030. 53
5.7 Preços ao consumidor por produto. Variação percentual em relação à linha de base, acumulada em 2030. 54

LISTA DE TABELAS

3.1 Matriz de transição entre os usos do solo no Brasil (1994-2002), em Mha. 32
3.2 Matriz de transição do primeiro ano da simulação (2005-2006). 34
3.3 Agregação regional do TERM-BR. 35

5.1 Uso da terra. Variação ordinária em relação à linha de base, em milhões de hectares acumulados em 2030. 44
5.2 Variáveis macroeconômicas. Variação percentual em relação à linha de base, acumulada em 2030. . 45
5.3 Renda e valor da produção agropecuária. Variação percentual em relação à linha de base, acumulada em 2030. 46
5.4 Renda e valor da produção da agroindústria. Variação percentual em relação à linha de base, acumulada em 2030. 46
5.5 Produção, preços e valor da produção agropecuária por região. Variação percentual em relação à linha de base, acumulada em 2030. 47
5.6 Produção, preços e valor da produção da agroindústria por região. Variação percentual em relação à linha de base, acumulada em 2030. 48
5.7 Renda da agropecuária por região. Variação percentual em relação à linha de base, acumulada em 2030. 49
5.8 Renda da agroindústria por região. Variação percentual em relação à linha de base, acumulada em 2030. 49
5.9 Renda agropecuária e seus componentes por região (CEN2). Variação percentual em relação à linha de base, acumulada em 2030. 51
5.10 Salários reais em nível nacional e da agropecuária. Variação percentual em relação à linha de base, acumulada em 2030. 52
5.11 Progresso tecnológico (PTF) necessário para manter os níveis de produção do cenário base. Variação percentual em relação à linha de base, acumulada em 2030. 55
5.12 Progresso tecnológico (PTF) necessário para manter os níveis de produção agropecuária do cenário base. Variação percentual em relação à linha de base, acumulada em 2030. 56
5.13 Renda agropecuária com progresso tecnológico. Variação percentual em relação à linha de base, acumulada em 2030. 57

A.1 Valores dos parâmetros de elasticidades do TERM-BR 67
A.2 Variação média dos preços internacionais das *commodities*, 2013 à 2018 68
A.3 Agregação setorial do modelo 69
A.4 Renda agropecuária e seus componentes por região (ZERO). Variação percentual em relação à linha de base, acumulada em 2030. 70
A.5 Renda agropecuária e seus componentes por região (CEN3). Variação percentual em relação à linha de base, acumulada em 2030. 70
A.6 Consumo real das famílias por região. Variação percentual em relação à linha de base, acumulada em 2030. 71
C7 Cenários de desmatamento para o bioma Amazônia 76
C8 Cenários de desmatamento para o bioma Cerrado 76
C9 Cenários de desmatamento para o bioma Mata Atlântica 77

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contexto

Estudos recentes da Organização das Nações Unidas (ONU) (2019) revelaram que a população mundial deve passar dos atuais 7,7 bilhões para 9,7 bilhões de pessoas em 2050. O aumento da população urbana em conjunto com o aumento da renda internacional e a mudança no perfil de consumo da população faz com que a demanda por alimentos cresça, fazendo-se necessário um aumento na oferta de produtos agrícolas para suprir esse aumento. De acordo com o relatório da *Food and Agriculture Organization* (FAO)[1] a produção de alimentos deverá crescer 70% até 2050, período em que a população mundial terá cerca de dois bilhões de pessoas a mais. O atendimento desta demanda crescente por alimentos tornou-se ponto de destaque nas discussões sobre política econômica, sobretudo para o setor agropecuário que enfrenta desafios como os impactos de mudanças climáticas e a escassez de fatores de produção primários, principalmente a terra.

Pelo lado da oferta, os países da América Latina possuem papel relevante na produção e exportação de alimentos. De acordo com o relatório realizado pela OCDE em parceria com a FAO[2], foi estimado um crescimento de 15% na produção global agrícola e pesqueira na próxima década, com destaque para as regiões da América Latina e Caribe, que elevarão suas produções de alimentos acima da média mundial. De acordo com o relatório, apesar dessa expansão ser em boa parte consequência da melhoria de produtividade, o uso da terra para agricultura nos países da América Latina e Caribe tem expectativa de crescimento no período, com destaque para o Brasil e a Argentina como países que possuem grande potencial para utilizar terras ainda não exploradas para a agricultura.

Neste contexto, o Brasil se torna parte importante em um debate internacional no que se refere à mudança climática. Preocupações com emissões de carbono, aquecimento global e políticas de proteção ao meio ambiente vêm crescendo exponencialmente nos últimos anos e para países como o Brasil, com vasta vegetação natural e sendo uma potência mundial no agronegócio, torna-se essencial o comprometimento com acordos internacionais de controle ambiental, como o compromisso assumido pelo país para erradicação do desmatamento ilegal na Amazônia (COP-21). Apesar da redução das taxas de desmatamento na última década, dados de satélite consolidados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2020b) mostraram que a taxa de desflorestamento na Amazônia voltou a crescer, principalmente nos últimos três anos. De acordo com o instituto, foi registrado um crescimento de 34,4% de desmatamento na Amazônia no período entre agosto de 2018 a julho de 2019[3] em relação ao período anterior, o total de área devastada foi de 10.129 km^2 no período. Entre agosto de 2019 e julho de 2020 a área desmatada na região foi de 11.088 Km^2, um aumento de 9,5% em relação ao mesmo período do ano anterior e a maior área de desflorestamento registrada pela série histórica desde 2008, quando o sistema de monitoramento do instituto apontou 12.911 km^2 desmatados.

A repercussão internacional dos números crescentes de desmatamento na Amazônia tem causado grande pressão para preservação da floresta brasileira por parte de organizações não governamentais, órgãos internacionais e parceiros comerciais. Como grande produtor e exportador de produtos agropecuários, o Brasil corre o risco de retaliação de seus produtos no mercado externo caso não cumpra as metas assumidas. No cenário doméstico, a discussão do ponto de vista econômico e ambiental se desenvolve em torno da expansão da fronteira agropecuária brasileira e consequente aumento da produção de alimentos e a redução ou mesmo a interrupção do desmatamento das florestas nativas do país. Embora existam diversos estudos na literatura que verificaram que medidas mais rígidas para controle do desmatamento gerariam impactos modestos na economia[4], a renda originada da atividade agropecuária não tem sido foco de análise nesses cenários. Outros trabalhos focaram na avaliação de impactos de políticas públicas para o controle do desflorestamento na renda agrícola, porém do ponto de vista da propriedade individual, em geral de pequenos produtores[5].

[1] "Guia de bolso estatístico da alimentação e agricultura mundial" (FAO, 2018a).
[2] "Perspectivas para a agricultura 2019-2028" (OCDE/FAO, 2019).
[3] Calendário oficial do INPE para cálculo das taxas anuais de desmatamento.
[4] Carvalho *et al.* (2020); Gurgel e Francisco (2020); Instituto Escolhas (2017), entre outros.
[5] Mullan *et al.* (2017); Luna *et al.* (2019); Stabile *et al.* (2019), entre outros.

Dessa forma, este estudo visa preencher essa lacuna e contribuir com a literatura atual ao analisar como a redução do desmatamento afetaria a formação da renda agropecuária brasileira, considerando que o setor agropecuário ocupa uma posição importante na dinâmica da economia do país[6], especialmente em um cenário de crescimento da produção motivado pelo aumento da demanda mundial por alimentos. Neste sentido, avaliar se a redução do desmatamento também irá reduzir a renda do setor agropecuário, conforme defendido por uma parte do setor ruralista brasileiro, é a questão principal a ser respondida por esta pesquisa.

1.2 Objetivo

O objetivo principal deste trabalho consiste na análise dos impactos que medidas de redução do desmatamento poderão causar na renda do setor agropecuário brasileiro. Para isso, serão analisados os efeitos dos cenários de redução de desmatamento criados no estudo do Instituto Escolhas (2017) na renda agropecuária, com os resultados avaliados de forma agregada e regional, permitindo a identificação das regiões mais e menos afetadas por essas políticas. Também faz parte dos objetivos deste trabalho analisar o ganho de produtividade necessário para manter a produção agropecuária ao nível anterior à aplicação das políticas de controle do desmatamento, para que assim possíveis impactos negativos na renda do setor possam ser suavizados. A realização desta pesquisa visa contribuir com a literatura atual, através do preenchimento de uma lacuna nos estudos relacionados ao controle de desmatamento e impactos econômicos, que é a análise do rendimento do segmento primário do agronegócio brasileiro em cenários de redução do desmatamento.

[6] De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), em 2019 as exportações agropecuárias responderam por 43,2% das exportações totais do país, com destaque para produtos como soja, carnes e produtos florestais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O avanço da discussão sobre mudança climática nos últimos anos aumentou a implantação de políticas de mitigação dos seus efeitos. Com isso, diversos estudos e modelos econômicos vêm sendo criados ao longo dos anos com o intuito de analisar os impactos de tais políticas no meio ambiente, agricultura, economia e sociedade. Entre esses trabalhos, diversos estudos na literatura buscaram avaliar os impactos econômicos e sociais resultante de políticas relacionadas ao desflorestamento e uso da terra, a maioria deles se concentram na análise de variáveis macroeconômicas como PIB, consumo, emprego e produção, considerando a ocorrência da implantação de políticas restritivas de desmatamento ou mesmo na sua completa paralisação (ANGELSEN, 2009; CABRAL, 2013; CARVALHO, 2014; CARVALHO *et al.*, 2016a e 2016b; FERREIRA FILHO e HORRIDGE, 2012; FERREIRA FILHO *et al.*, 2015; INSTITUTO ESCOLHAS, 2017; GURGEL e FRANCISCO, 2020). Outros estudos investigaram os efeitos de mudanças no uso da terra com foco nas consequências do aumento de emissões de gases de efeito estufa (CARVALHO *et al.*, 2020; NARDY e GURGEL, 2013; MATA *et al.*, 2015; CAMPOS, 2007; AREVALO, 2002).

O uso da terra também tem sido objeto de análise em estudos que investigaram os impactos do expansão da produção do etanol no Brasil (SÁ *et al.*, 2013; FERREIRA FILHO e HORRIDGE, 2013; GURGEL, 2011; SOUZA, 2017). Estes estudos consideram em sua análise a mudança indireta no uso da terra, ou *Indirect Land Use Changes* (ILUC), na sigla em inglês. Tais mudanças afetam o desmatamento de forma indireta, ou seja, através da expansão de produção de certo produto, substituindo uma área onde antes era utilizada para cultivo de outro produto. Dessa forma, a produção da *commodity* que antes era cultivada nesta terra é impulsionada a buscar áreas florestais para manter a oferta. Este é o caso da expansão da oferta de biocombustíveis, que depende de mudanças indiretas no uso da terra (ILUC), ocasionados pelo aumento da produção de produtos agrícolas de base energética, como é o caso do etanol e a cana-de-açúcar, seu principal insumo (FERREIRA FILHO e HORRIDGE, 2013).

Diferentemente da ILUC, a mudança direta no uso da terra, ou *Direct Land Use Change* (dLUC ou LUC), na sigla em inglês, afeta diretamente o desmatamento quando uma área é desmatada para convertê-la em determinado uso, que não seja apenas o florestal, como plantação de alimentos, criação de gado, entre outros (SÁ *et al.*, 2013). Em termos metodológicos, verificou-se que grande parte dos trabalhos dedicados à análise dos impactos das mudanças no uso da terra utilizaram a metodologia de equilíbrio geral computável. Este tipo de modelagem vem sendo usada em larga escala nos estudos relacionados ao tema, pois tais modelos permitem a análise dos impactos de políticas ambientais em diversos setores da economia, do ponto de vista regional, nacional e até de vários países.

No que diz respeito aos estudos que relacionam a mudança no uso da terra e a renda agropecuária, objeto de interesse desse trabalho, nota-se uma escassez na literatura. Embora existam diversos estudos que produziram resultados importantes ao analisar os efeitos na renda agrícola considerando a ocorrência de políticas ambientais, a maioria destas pequisas focaram suas análises nos rendimentos das propriedades individuais e não do ponto de vista da renda agregada, como será visto nos próximos parágrafos. Alguns trabalhos são mais específicos focando na análise da renda florestal/ambiental de determinada região, como o estudo de Loaiza *et al.* (2015) que investigou a geração de renda de comunidades dependentes da floresta da Reserva Biosfera Yasuní, no Equador, considerando a estratégia de redução de emissão de gases através do controle do desmatamento e degradação de florestas. O estudo de Kamanga *et al.* (2009) avaliou a renda florestal da população rural de Chiradzulu e concluiu que políticas públicas que restringem o acesso dessa população aos recursos naturais podem afetar substancialmente o meio de vida e bem estar e aumentar a desigualdade de renda local.

No cenário nacional, Perz (2001) investigou se métodos de conservação florestal na Amazônia brasileira podem gerar efeitos positivos na renda agropecuária, assim como valorização da propriedade rural. Os dados da amostra utilizados no estudo foram originados de uma pesquisa com 261 produtores agropecuários no estado do Pará. Os resultados tanto da análise descritiva quanto do modelo estatístico proposto pelo estudo revelaram que produtores que empregaram em seus sistemas produtivos métodos considerados como opções para conservação de florestas, como intensificação (aumento do uso de insumos na produção), diversificação (rotação de culturas) e sil-

vicultura (plantação de árvores), geraram uma renda significativa da atividade agropecuária, assim como elevaram substancialmente o valor de suas propriedades. Tal conclusão, de acordo com o estudo, sugere que a conservação ambiental e a produção agropecuária não são processos inconsistentes.

O estudo de Garret *et al.* (2017) investigou a existência da renda baixa e a degradação de florestas na Amazônia brasileira. De acordo com o estudo, apesar do crescimento das exportações agropecuárias ter gerado oportunidades no mercado de *commodities* mundial para alguns agricultores, a renda baixa e a degradação do solo nas fronteiras agrícolas, como na Amazônia brasileira, têm causado impactos negativos no meio ambiente. Os resultados revelaram que na Amazônia brasileira, a agricultura continua sendo a maior fonte de renda dessa população, mesmo com grandes mudanças, como urbanização e globalização, ocorrendo ao redor da região. De acordo com o estudo, alternativas para gerar maior renda em pequenas propriedades, como o cultivo de produtos que geram maior receita (frutas, horticultura) são impedidas pela falta de infraestrutura na cadeia de suprimentos. Da mesma forma, a melhoria da produtividade para pecuária em maior escala são atrasadas pela falta de equipamentos e pelo fato de que gerar uma renda anual alta não é objetivo principal da pecuária como é o uso da terra[1].

A abordagem para analisar a renda originada da agricultura utilizada no estudo de Mullan *et al.* (2017) contou com a discussão a respeito do programa nacional de reforma agrária, que desde a década de 1970 acomoda famílias de agricultores na Amazônia esperando que eles desmatem para cultivar a terra. Para mensurar até que ponto as perdas ambientais são compensadas por ganhos de renda local, o estudo estimou os efeitos marginais da conversão de florestas em agricultura na renda total e ativos de famílias agrícolas durante o período de 1996 à 2009 na região da Amazônia brasileira. Os resultados revelaram um impacto significativo e positivo do desmatamento na renda das famílias, contudo esse efeito é relativamente pequeno quando comparado com a renda agrícola por hectare previamente obtida em terras desmatadas. Isso quer dizer que o desmatamento já amplamente realizado na região em anos anteriores, faz com que o desmatamento adicional de hectares não acrescente muito na renda em relação à renda média de todas as terras desmatadas no passado. Tais resultados refletem a característica de retornos marginais decrescentes para a expansão adicional da área agrícola, enquanto os insumos capital humano e físico são mantidos constantes. Outra conclusão pontuada pelo estudo refere-se a descoberta de que parte da renda adicional obtida é investida em ativos físicos pelas famílias e assim os efeitos sobre a riqueza, principalmente no longo prazo, podem ser significativos, considerando a relação positiva entre renda e riqueza atual e a riqueza futura.

No cenário internacional, o estudo de Tambo e Mockshell (2018) buscou analisar os efeitos da implantação da Agricultura de Conservação (AC)[2] na renda de pequenos produtores agrícolas da África Subsaariana. O estudo utilizou dados de uma pesquisa realizada com 3.155 famílias produtoras de milho em nove países da região para estimação do modelo econométrico. Os resultados revelaram que a adoção das práticas da AC aumenta consideravelmente a renda total das famílias produtoras. Desagregando os componentes da AC, o estudo concluiu que os ganhos são maiores quando os três componentes são aplicados em conjunto do que quando são adotados isoladamente. Contudo, a implementação completa de tais práticas em sistemas de produção com poucos recursos e de pequenos produtores é desafiadora, resultando em uma taxa média de adoção baixa, somente de 8% na amostra em questão. O estudo destaca que a adoção da AC aumenta a renda dos produtores enquanto contribuiu com a redução de gases do efeito estufa, sendo este um argumento favorável à implantação de medidas que incentivam a adoção da AC, como educação, garantia de direito a terra e acesso a serviços de apoio institucional.

Luna *et al.* (2019) buscou analisar os efeitos na renda agropecuária e florestal considerando estratégias de conservação do meio ambiente e políticas de controle de desmatamento nas fronteiras das florestas tropicais do Equador. O estudo utilizou dados de pesquisas aplicadas às famílias que vivem nas fronteiras da Amazônia central e costa noroeste do país, que revelou que mais de 50% da renda dessas famílias são originadas de atividades agropecuárias. Através de modelagem econométrica foi possível concluir que na Amazônia central o desmatamento

[1] De acordo com o estudo, o bem-estar da região é muito influenciado pelos resultados não monetários, como segurança, boas relações com a comunidade, assim como os benefícios econômicos e sociais de longo prazo relacionados ao acúmulo de terra e gado (GARRET *et al.*, 2017).

[2] A aplicação da AC consiste na combinação de produção agropecuária rentável com conservação do meio ambiente através de um conjunto de práticas que permitem mínima pertubação do solo, cobertura orgânica permanente da terra e a diversificação das culturas por meio de rotação (TAMBO e MOCKSHELL, 2018).

e as estratégicas de preservação do meio ambiente não afetaram de forma significativa a renda florestal. Nesta região, as florestas são mais abundantes, o desmatamento é menor, assim tanto o desmatamento quanto as medidas de proteção ao meio ambiente desempenham um papel menos importante na economia da região. Apesar da abundância de terras, os produtores na Amazônia central geram menos renda do que os que estão no noroeste do país. Em geral, os agricultores na Costa derivam suas rendas principalmente da atividade agropecuária, devido à melhores condições de integração de mercado e maiores taxas de comercialização. Nas florestas da costa noroeste do país, onde a vegetação natural está se tornando um recurso escasso, o estudo concluiu que maiores taxas de desmatamento estão relacionadas à maior renda florestal no curto prazo. O desmatamento nessa região é alto, pois os mercados de madeira dominam a economia local e fornecem renda mais alta de curto prazo para a população local. O estudo pondera que tanto a renda agrícola quanto a preservação de florestas podem ser beneficiadas desde que políticas públicas mais acertadas sejam implantadas na região, como fiscalização nas florestas, incentivo à agricultura sustentável e redução do distanciamento tecnológico entre os produtores.

Angelsen *et al.* (2014) realizou uma análise comparativa global da renda ambiental envolvendo aproximadamente 8000 famílias em 24 países em desenvolvimento. Os resultados do estudo mostraram que mais de um quarto (28%) da renda familiar da amostra é originada de florestas ou outras áreas naturais, sendo que 77% desse percentual vem de florestas naturais. O estudo concluiu que a participação da renda ambiental no orçamento é maior em famílias mais pobres, que extraem principalmente produtos para subsistência como lenha e produtos cultivados em áreas naturais. A pesquisa também revelou que a expansão agropecuária em detrimento das florestas e áreas naturais pode inicialmente aumentar a renda das famílias, contudo é destacado a importância da inclusão de dados geo-referenciados na análise para que se possa mensurar os verdadeiros impactos na renda e assim permitir a construção de políticas mais assertivas visando a qualidade de vida da população local, que depende dos recursos naturais, e a mitigação dos impactos ao meio ambiente.

Apesar do estudo de Stabile *et al.* (2019) não analisar diretamente os efeitos na renda agropecuária condicionados ao uso da terra para produção agrícola, algumas características a respeito da formação da renda em áreas de fronteira agrícola e formas alternativas para aumentar a produção e a renda do setor, enquanto se reduz o desmatamento na Amazônia, foram enfatizadas no decorrer da pesquisa. De acordo com o estudo, desde 1985 pastos e culturas substituíram aproximadamente 65 milhões de hectares (Mha) de florestas e savanas na Amazônia legal. Dessa forma, a pesquisa propõe quatro estratégias para reduzir o desmatamento, enquanto aumenta a produção agropecuária e o bem-estar social. Entre elas destaca-se a estratégia que promove assistência técnica aos pequenos produtores, considerando que estes representam uma grande parcela no mercado produtor de *commodities* da Amazônia. De acordo com os autores, cerca de dois milhões de pessoas ocupam 77 Mha dos assentamentos oficiais da Amazônia, sendo que essas mesmas áreas foram responsáveis por 30% do desmatamento na região nos anos anteriores, conforme dados do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA, 2017) e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2018).

Conforme destacado por Stabile *et al.* (2019), a falta de acesso à tecnologias agrícolas, infraestrutura básica, apoio técnico e institucional para pequenos produtores resulta em uma renda baixa e assim incentivam o desmatamento como forma de aumentar a produção e renda. O estudo relata os resultados do Projeto de Assentamentos Sustentáveis (PAS), que prestou assistência técnica para cerca de 650 famílias na Amazônia durante três anos. O projeto ajudou a elevar a renda dessas famílias e reduziu o desmatamento na região, pois o suporte técnico ajudou os produtores a se tornarem mais competitivos devido ao aumento da escala de produção, conformidade legal e preços competitivos. Além de aumentar o portfólio de produtos desses agricultores, passando a produzir também leite, carne, arroz, entre outros. Como resultado, a renda desses produtores mais que dobrou no período, registrando alta de 121%, com redução de aproximadamente 79% no desmatamento da região.

Nesta mesma linha, o estudo de Vosti *et al.* (2003) investigou a relação entre a renda de pequenos produtores agrícolas e o desmatamento em suas propriedades, visando o aumento de produção e retornos financeiros. De acordo com o estudo, o desmatamento privado causado por pequenos produtores ocorre devido à restrições como falta de informação, dificuldade de crédito e acesso ao mercado, que impõem desvantagens a estes pequenos

agricultores se comparado com produtores maiores que podem contar com tais benefícios e impulsionar suas rendas. Os resultados das simulações realizadas no estudo revelaram que, ao transferir os direitos de propriedade da madeira para pequenos produtores é possível desacelerar as taxas de desmatamento e aumentar a renda, desde que esses direitos estivessem vinculados à implantação de métodos sustentáveis para atividades de extração de madeira. Ainda assim, essa iniciativa não acabaria com o desmatamento, no longo prazo resultaria em um atraso de apenas uma década na floresta retida na propriedade, já que os retornos da produção agropecuária superam os ganhos da atividade florestal, incentivando os produtores a desmatarem para realizar essas atividades. Outro ponto de destaque refere-se aos fortes incentivos financeiros da extração madeira de forma insustentável, fazendo-se necessária a implantação de mecanismos de monitoramento destas atividades.

Alguns estudos realizaram uma análise mais agregada relacionada ao tema, que serão descritos neste e nos parágrafos a seguir. Este é o caso da pesquisa realizada por Cattaneo (2005), que investigou como a melhoria na produtividade agropecuária no Brasil, ocorrida entre os anos de 1985 e 1995, impactaram o desmatamento e a renda agropecuária agregada. O estudo utilizou um modelo EGC para capturar as estruturas econômicas regionais em conjunto com técnicas estatísticas para considerar as incertezas relacionadas às melhorias de produtividade[3]. Os resultados do estudo revelaram que a melhoria da produtividade no período, em termos nacionais, não afetou de forma significativa as taxas de desmatamento. De acordo com o estudo, a melhoria da produtividade dentro da Amazônia, principalmente na atividade pecuária, revelou uma tendência de elevar o desmatamento, já que o aumento da produtividade impacta diretamente nos retornos da terra da região. Dessa forma, se esses retornos aumentarem existe um incentivo por parte dos produtores para expandir a oferta de seus produtos através do aumento de terras, visando a maximação de seus lucros. Por outro lado, a melhoria de produtividade no restante do país limitou o desmatamento, causando um efeito compensatório em relação ao aumento da produtividade na Amazônia.

Do ponto de vista da renda agropecuária, o estudo de Cattaneo (2005) mostrou que melhorias de produtividade registradas no período de análise afetaram negativamente a renda agropecuária agregada. O estudo destaca que tal resultado não é incomum quando se trata de melhorias de produtividade no setor agropecuário, considerando que *commodities* agropecuárias costumam ter resposta de demanda muito elástica. A atividade pecuária também mostrou-se importante na apuração dos resultados. De acordo com o estudo, a inovação nas atividades pecuárias, tanto dentro quanto fora da Amazônia, mostrou-se essencial na determinação do desmatamento e na renda agrícola. Na região da Amazônia contribuiu com o aumento da renda agropecuária local, porém com maiores taxas de desmatamento. Enquanto nas demais regiões do país a inovação tecnológica na produção pecuária reduziu as taxas de desmatamento, contudo registrou uma renda agropecuária agregada menor.

Também em termos agregados, o estudo de Barros *et al.* (2019) investigou a renda do agronegócio brasileiro nas últimas duas décadas através da série histórica do PIB do setor, calculado pela ótica da renda, contabilizado pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA). A pesquisa concluiu que apesar da expressiva expansão da produção do agronegócio brasileiro, com alta de 49,4% no período de análise, a renda do setor registrou queda de 4,7%. Os autores destacaram que esta queda foi puxada principalmente pela redução nos preços relativos do agronegócio, que pode ser explicada pela forte valorização do real em alguns períodos. Ou seja, mesmo em momentos de alta dos preços, em dólares, das *commodities* a forte valorização da moeda nacional causou um aumento menor dos preços domésticos. Dessa forma, o volume de produção aumentou, influenciado pela alta dos preços de produtos agropecuários, porém o PIB do setor se reduziu em termos relativos.

Cuaresma *et al.* (2017) relacionou o desenvolvimento econômico com a cobertura florestal analisando dados de satélite da vegetação natural ao longo da fronteira entre diversos países, evidenciando a diferença de desmatamento entre os mesmos. Os resultados do estudo revelaram que países com maior PIB per capita tendem a

[3] O estudo de Cattaneo (2005) desagregou em nível setorial as estimativas de melhorias na produtividade agropecuária brasileira já existentes na literatura no período de 1985 à 1995. Através do método de simulação de Monte Carlo as melhorias de produtividade foram desagregadas em pequenas e grandes propriedades rurais e por atividades de culturas anuais e permanentes e pecuária. Dessa forma, foi possível quantificar as incertezas sobre quais atividades na agropecuária brasileira foram afetadas por melhorias na produtividade, o quanto foi afetada e quais fatores de produção foram impactados por tais melhorias. Para maiores detalhes ver obra do autor.

possuir uma cobertura florestal menor em relação à países em desenvolvimento. De acordo com o estudo, o efeito marginal do crescimento da renda per capita em relação à vegetal natural é mais intensa no início do desenvolvimento econômico e perde força nas economias mais avançadas, revelando evidências da existência de uma Curva de Kuznets Ambiental (CKA)[4] para o desmatamento, pelo menos em termos de um efeito decrescente da renda per capita na cobertura florestal, conforme os níveis de desenvolvimento econômico aumentam. Tais resultados também se mostram um fator importante na explicação das diferenças entre a vegetação natural presente em cada país, considerando que outros fatores, que podem influenciar a cobertura florestal, foram devidamente controlados na estimação do modelo.

O estudo de Barbier (2019) investigou os efeitos de longo prazo da expansão de terras agropecuárias no crescimento econômico de países em desenvolvimento. De acordo com o autor, o desenvolvimento em regiões como África, Ásia e América Latina, que possuem grande oferta de terras, é acompanhado por substancial expansão de terras agropecuárias através da conversão de florestas e áreas naturais em áreas produtivas. Contudo, tal expansão, motivada principalmente pelo aumento de preços das *commodities*, atrai investimentos, capital e trabalho para o crescimento da produção de grande escala, fazendo com que pequenos produtores sejam deslocados para áreas com terras menos favorecidas (baixa produtividade, terras degradadas). Ainda que, em fases de crescimento a produção em grande escala desloque trabalho de diversas regiões, inclusive de pequenos produtores, o mercado de *commodities* é muito volátil e períodos de preços altos, em geral, são curtos. Uma vez que os preços das *commodities* começam a cair, grandes produtores contraem suas atividades, o que pode inicialmente reduzir a expansão da conversão de terras, porém os pequenos produtores são novamente deslocados para terras menos produtivas e consequentemente menos rentáveis, causando um efeito conhecido na literatura como "*boom-bust*", ou de expansão-contração, no desenvolvimento dessas economias.

A pesquisa de Barbier (2019) contou com uma análise quantitativa de dados em painel entre o período de 1961 e 2015 para 98 países em desenvolvimento. Os resultados revelaram que caso o efeito de expansão-contração se torne generalizado e contínuo nos países em desenvolvimento, a expansão das terras agropecuárias no longo prazo poderá resultar em níveis mais baixos de renda real per capita, se comparado com países onde essa expansão não ocorreu. Nesse caso, o PIB real per capita inicialmente cresce com os aumentos de produção derivado da expansão de terras, mas esse crescimento não se sustenta no longo prazo e começa a decrescer com a expansão adicional de terras agropecuárias. O autor pondera que políticas públicas deveriam separar os ganhos socioeconômicos obtidos através do desenvolvimento da agricultura com base em expansão contínua de terras, além de maiores investimentos para pequenos produtores e distribuição de terras nessas áreas.

Nessa mesma linha de pensamento, o estudo de Barbier (2004) investigou diversos pontos importantes relacionados à expansão de terras agropecuárias, disponibilidade de recursos e crescimento econômico focado na América Latina. Os resultados do estudo revelaram que variáveis como participação das terras agrícolas na área total de terras, a participação das exportações agrícolas nas exportações totais e os rendimentos do cultivo de cereais, parecem influenciar a expansão das terras agropecuárias na América Latina. Entre as hipóteses levantadas pelo estudo para possíveis causas da conversão de terras e do desmatamento tropical está a hipótese da existência de uma curva de Kuznets para o desmatamento na América Latina e África (CROPPER e GRIFFITHS, 1994 *apud* BARBIER, 2004). Nessas regiões, de acordo com o estudo, o ponto de inversão, ou seja, o nível de renda per capita onde a taxa de desmatamento é zero é, em geral, duas a quatro vezes maior do que a renda per capita média para tais regiões. A pesquisa concluiu que a redução do desmatamento em florestas tropicais nos países em desenvolvimento, principalmente na América Latina, pode ser uma explicação para a hipótese da curva de Kuznets. Os resultados do estudo também revelaram que o crescimento da expansão de terras agropecuárias, no longo prazo, está notadamente

[4] A existência da Curva de Kuznets Ambiental (CKA) é um tema controverso na literatura. Tal hipótese refere-se à adaptação para o meio ambiente da curva de Kuznets. Originalmente, a curva de Kuznets foi uma representação gráfica desenhada por Kuznets (1995), em formato de "U" invertido, para expressar a hipótese de que a desigualdade de renda ocorre nos primeiros estágios do desenvolvimento econômico e que se reverte com o passar do tempo. A adaptação para o meio ambiente utiliza o mesmo conceito, relacionando a renda per capita com a degradação do meio ambiente. De acordo com esta hipótese, o aumento da renda per capita eleva as pressões ambientais somente nos primeiros ciclos do desenvolvimento econômico. Assim, a partir de certo ponto a elevação da renda per capita diminuiria a degradação ambiental (CARVALHO e ALMEIDA, 2010; ARRAES *et al.*, 2006).

associada com um nível menor de renda per capita. A análise mostrou que, tanto para o grupo de países tropicais quanto para a América Latina, a partir de um certo ponto do índice que representa a expansão agrícola no longo prazo, o aumento contínuo de terras agrícolas leva a um ligeiro aumento da renda per capita. Contudo, esse efeito é de curta duração, revelando outra queda no PIB per capita conforme a expansão de terras agrícolas avança.

A relação entre desmatamento e renda, principalmente para países em desenvolvimento, foi estudada por diversos outros autores na literatura, entre eles está o estudo de Bhattarai e Hammig (2001), que analisou 66 países da América Latina, África e Ásia, considerando características institucionais e as políticas macroeconômicas de cada país como influência para o desmatamento. A incorporação desses fatores no modelo é importante para que se possa parametrizar mudanças na estrutura econômica que podem ocorrer quando a renda aumenta, por exemplo, energia originada de lenha é predominante nos primeiros estágios de desenvolvimento, nos anos seguintes ao crescimento, o carvão e os combustíveis a base de petróleo se tornam mais importante, reduzindo assim a pressão para conversão de florestas. Os resultados revelaram forte evidência de uma Curva de Kuznets Ambiental (CKA) entre renda e desmatamento para os três continentes. O estudo também concluiu que melhorias em instituições políticas e governança podem reduzir o desmatamento de forma significativa.[5]

A hipótese da expansão de fronteira na Amazônia brasileira causar um desenvolvimento "*boom-bust*" também é estudada por Celentano *et al.* (2012). A pesquisa estimou, através de modelagem econométrica, o bem-estar como função do desmatamento cumulativo em nível municipal. Os resultados revelaram que o padrão de crescimento "*boom-bust*" apareceu em todas as medidas de bem-estar[6], inclusive da renda per capita. De acordo com o estudo, nos estágios iniciais do desmatamento ocorre uma expansão econômica, com uma renda média maior, menores taxas de pobreza e altos níveis de desenvolvimento humano, conhecido na literatura como "*boom*". Contudo, este resultado é seguido por um efeito chamado de "*bust*", em que as florestas continuam a ser desmatadas, mas sem um ganho correspondente no bem-estar. A pesquisa constatou um segundo ponto de inflexão, em que o bem-estar médio per capita aumenta novamente quando o desmatamento encontra-se em níveis muito elevados. Dessa forma, os autores alertam que este último cenário pode encorajar políticas públicas que tendem a relacionar o desmatamento com o desenvolvimento e destacam a importância de pagamentos de incentivos internacionais para bens públicos, como biodiversidade e sequestro de carbono fornecidos pela floresta Amazônica.

Alguns estudos na literatura mostraram que nem sempre abundância em recursos naturais em países produtores e exportadores de *commodities* implica em crescimento econômico, que é um dos motivos pelos quais o crescimento do desmatamento para aumento de terras agropecuárias é "justificado", ou seja, visando o crescimento e aumento da renda agregada do país. Sachs e Warner (1995) mostraram que economias com uma proporção alta de exportações de recursos naturais em relação ao PIB no ano de 1971 também tenderam a ter taxas de crescimento mais baixas no período seguinte, 1971-1989. Neste contexto, Sachs e Warner (1999) também apresentaram evidências no período de 1960 à 1994 para onze países da América Latina[7] de que a grande disponibilidade de recursos naturais mostrou ter pouco efeito na geração de crescimento de longo prazo. Apenas no Equador os efeitos foram positivos e mais duradouros sobre o PIB per capita. Nos países Bolívia, México, Peru e Venezuela o aumento da disponibilidade de recursos produziu um efeito negativo no PIB per capita.

Diante da literatura atual, conclui-se que resultados importantes foram obtidos de análises relacionadas à renda agrícola e ao desmatamento. Embora muitos desses estudos tenham analisado a renda agropecuária dado alguma política ambiental relacionada ao desmatamento e ao meio ambiente, o problema não foi analisado de forma agregada e sim do ponto de vista das propriedades individuais. Por outro lado, alguns trabalhos investigaram a

[5] Em estudo recente Caravaggio (2020) investigou a literatura relacionada à Curva de Kuznets Ambiental para o desmatamento (CKAd) e concluiu que a maioria dos estudos considerou cerca de 25 anos dos dados de cobertura florestal da FAO, sendo a maioria dos países em desenvolvimento. O autor pondera que este é um período curto para recursos florestais e a falta de evidências de países em desenvolvimento também se torna uma fraqueza na análise dos dados. Investigando outros conceitos relacionados ao tema, foi concluído pelo estudo que existe um segundo ponto de inflexão na CKAd para o desmatamento que pode se recuperar com reflorestamento ou aumento da base florestal. Dessa forma, o autor conclui que estudos futuros relacionados à CKAd consideram um período maior e a abrangência da série temporal, assim como a extensão da cobertura internacional transversal e o potencial de um segundo ponto de inflexão, que ocorre em níveis maiores de desenvolvimento.

[6] Taxa de pobreza, PIB/Km^2, Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e renda per capita (CELENTANO *et al.*, 2012).

[7] Argentina, Bolívia, Brasil, Chile, Colômbia, Equador, México, Paraguai, Peru, Uruguai e Venezuela.

renda de forma agregada considerando a contínua expansão das terras agropecuárias em detrimento às florestas e os efeitos de longo prazo na renda real per capita ou no desenvolvimento econômico. Contudo, essas avaliações se concentraram no âmbito nacional e não pela ótica do setor agropecuário. Alguns estudos, inclusive, focaram na investigação da hipótese de uma relação entre o desmatamento e a renda, onde os altos níveis de desmatamento ocorrem nos estágios iniciais do desenvolvimento, mas com o crescimento econômico e o aumento da renda a degradação ambiental é reduzida (Curva de Kuznets para o desmatamento).

Dessa forma, a revisão dos trabalhos relacionados a preservação do meio ambiente e a renda do setor agropecuário mostrou uma escassez de trabalhos com foco na renda agregada do setor em cenários de redução do desmatamento. A realização desta pesquisa visa preencher esta lacuna ao avaliar os efeitos na renda do setor após simulações de políticas de controle do desmatamento. Os cenários de redução do desmatamento utilizados neste trabalho são os cenários criados no estudo do Instituto Escolhas (2017), que avaliou os impactos econômicos do desmatamento zero no Brasil. Apesar de ambos os estudos compartilharem os mesmos cenários de desmatamento, esta pesquisa adiciona à análise em questão a avaliação dos impactos da restrição do desmatamento com foco na renda do setor agropecuário, além de um aprofundamento no que diz respeito aos impactos nos preços e efeitos distributivos após aplicação das políticas. Para atingir esse objetivo, além da atualização da base de dados, novas variáveis relacionadas à formação da renda agropecuária foram adicionadas no modelo, assim como a adaptação de algumas premissas nas estratégias de simulação.

3 METODOLOGIA

3.1 Estrutura dos modelos de Equilíbrio Geral Computável (EGC)

Para analisar os efeitos do controle do desmatamento na renda agropecuária brasileira optou-se por utilizar um modelo de Equilíbrio Geral Computável (EGC). De acordo com Ferreira Filho (2018), os modelos EGC pertencem a uma classe mais ampla de modelos aplicados à análise econômica, conhecidos como modelos multi-setoriais de planejamento. Tais modelos fornecem uma descrição quantitativa da economia desagregada por setor, tendo como origem o trabalho pioneiro de Leontief nas décadas de 1930 e 1940, que deu início à análise conhecida na literatura como insumo-produto.

Os modelos de insumo-produto utilizam dados econômicos de uma região divididos em setores produtivos. A estrutura matemática destes modelos é composta por diversas equações lineares que possuem o mesmo número de incógnitas, dessa forma a resolução do sistema pode ser realizada através da inversão de matrizes (FERREIRA FILHO, 2018). Dixon e Rimmer (2016) salientam que a solução de equilíbrio geral do modelo propõe a oferta de cada produto (vetor **X**) de forma que um determinado vetor de demanda final (vetor **Y**) seja atendido dada a tecnologia especificada pelos coeficientes da matriz de insumo-produto. Contudo, mesmo que a solução de equilíbrio geral encontrada seja apenas no setor produtivo da economia, o modelo não considera se a economia tem capacidade de produção instalada suficiente e essa, portanto, deve ser uma análise realizada a parte.

Na sequência do trabalho de Leontief, o desenvolvimento dos modelos multi-setoriais seguiram com os modelos de Programação Linear (PL). De acordo com Ferreira Filho (2018), esses modelos são mais flexíveis que os anteriores, pois têm como solução a produção definida através da maximização de uma função objetivo dado um conjunto de restrições. De forma geral, essas restrições refletem as características tecnológicas da economia e a limitação de seus recursos naturais, além disso, a inclusão de restrições de desigualdades acrescenta a possibilidade de escolha no modelo. Por exemplo, uma rigidez nos modelos de insumo-produto é a utilização de toda capacidade instalada na economia, já nos modelos de programação linear o produtor pode escolher se deseja usar ou não toda a sua capacidade instalada no processo de produção.

Conforme salientado por Dixon e Rimmer (2016), tanto nos modelos de insumo-produto quanto nos modelos de programação linear faz-se necessário uma descrição melhor do comportamento dos agentes na economia. Surge então o trabalho proposto por Johansen (1960), onde o comportamento individual dos agentes econômicos foi atribuído no modelo, principal característica que difere os modelos de EGC dos modelos citados anteriormente. O modelo proposto pelo autor implica na maximização da utilidade pelas famílias sujeita às suas restrições orçamentárias. Pelo lado produtivo da economia, as firmas definem os insumos necessários para produção de forma a minimizar seus custos sujeito às restrições de sua função de produção e a demanda por seus produtos. Já o capital da economia é alocado entre as indústrias de forma a maximizar seu retorno. Dessa forma, a produção total da economia é determinada por ações individuais dos agentes, que diferentemente dos modelos anteriores, possui os preços endógenos para que estes sejam ajustados de forma que oferta seja igual a demanda nos mercados de produtos e fatores.

Dessa forma, os modelos EGC possuem uma base sólida e coerente com a teoria microeconômica, pois consideram que a economia é um sistema inter-relacionado em que o equilíbrio de todas as variáveis do modelo é determinado simultaneamente. Uma das principais vantagens destes modelos está na relação entre as suas equações, assim quando é aplicado um choque em determinada variável o efeito é propagado em todo o sistema, possibilitando a verificação dos impactos em diversos setores da economia (DOMINGUES *et al.*, 2016). Tais características tornaram atrativa a utilização da modelagem de equilíbrio geral em estudos que visam analisar de forma quantitativa os impactos relacionados à produção de alimentos e uso da terra, já que esses modelos são capazes de simular o impacto que uma política aplicada em determinado mercado poderá causar em todos os demais mercados da economia, ou seja, na economia de uma forma geral.

Conforme salientado nos parágrafos anteriores, os modelos EGC surgiram como uma evolução natural

dos modelos multi-setoriais, incorporando soluções simultâneas para preços e quantidades. De acordo com Ferreira Filho (2018), os modelos EGC possuem como base a teoria neoclássica de equilíbrio geral e consideram a economia como um sistema composto por diversos agentes, como por exemplo famílias, governos, exportadores e empresas, que interagem entre si e consideram seus comportamentos de otimização na tomada de decisões. De acordo com Ginsburg e Robinson (1984) o funcionamento do modelo, ou seja, a simulação das relações entre os diversos agentes, exige que algumas condições sejam especificadas, tais como:

- Os agentes da economia (famílias, firmas, governos, etc.).
- As regras de comportamento dos agentes, por exemplo, a maximização de lucros pelo lado das firmas e a otimização da utilidade, pelo lado dos consumidores.
- Os sinais do mercado que os agentes consideram em sua tomada de decisão, como o preço em uma economia competitiva.
- A estrutura institucional, ou as "regras do jogo" através das quais os agentes interagem, por exemplo, se é assumido competição perfeita nos mercados os agentes são tomadores de preço, por outro lado pode ser especificado imperfeições ou restrições no mercado, como fixação de salários.
- O sistema de restrições, que referem-se a condições que devem ser satisfeitas para que o equilíbrio seja alcançado e não são diretamente levadas em conta pelos agentes individualmente, por exemplo, em uma economia competitiva o equilíbrio é alcançado quando o excesso de demanda em todos os mercados seja igual a zero.

A especificação dessas condições inicia-se com o fluxo circular da renda, este é o fundamento conceitual de um modelo EGC. O diagrama da figura 3.1 apresenta este fluxo em uma economia fechada, embora também possa ser aplicado no caso de uma economia aberta. Dessa forma, pode-se notar que os principais representantes no diagrama são as famílias e as empresas. As famílias são detentoras dos fatores de produção (terra, capital e trabalho) e consumidores finais das mercadorias produzidas pelas firmas. As empresas pagam salários/aluguéis às famílias pela contratação de insumos para produção de bens e serviços e as famílias gastam essa renda comprando os bens e serviços produzidos pelas empresas. Em geral, o papel do governo no fluxo circular é passivo, pois somente coleta impostos e devolve essa receita para a sociedade comprando bens e serviços para fornecer serviços públicos e através de subsídios e transferências de montante fixo (WING, 2004).

Conforme salientado por Ferreira Filho (2018), a contabilidade de todos os fluxos econômicos assegura que no fluxo circular o dispêndio de todos os agentes será igual à renda agregada, mantendo o equilíbrio e permitindo a visualização dos efeitos de equilíbrio geral de políticas aplicadas no sistema. Por isso o fluxo circular é uma propriedade central na modelagem EGC.

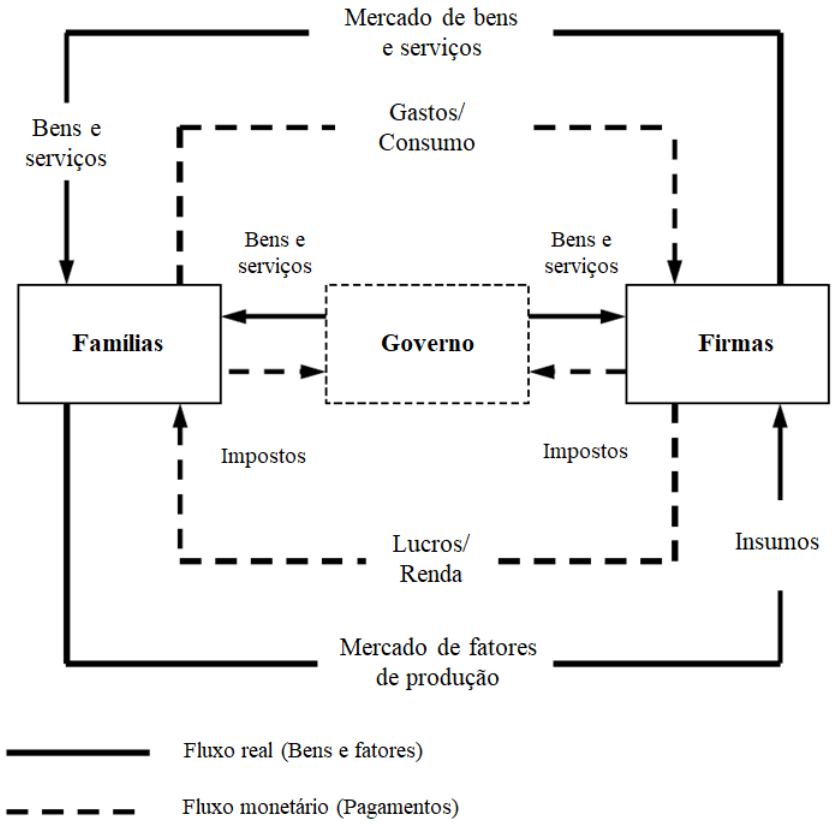

Figura 3.1. Fluxo circular da economia.
Fonte: Adaptado de Wing (2004).

Para que o fluxo circular da economia esteja em equilíbrio, são necessárias a ocorrência de algumas condições, conforme apresentado por Wing (2004), as hipóteses de uma economia em equilíbrio geral implicam que:

- A produção das firmas deve ser completamente consumida pelos agentes da economia, ou seja, pelas famílias, investimentos, governo e setor externo (exportações), assim como as dotações de fatores primários das famílias devem ser totalmente empregados pelas empresas, ou seja, a condição de oferta igual a demanda (*market clearance*).

- O valor de cada produto deve ser igual à soma dos valores de todos os insumos e fatores primários utilizados no processo de produção, ou seja, a receita total obtida pela produção de bens pelas empresas deve ser alocada como pagamento para as famílias pelos fatores de produção, para outras indústrias como pagamento de insumos intermediários ou para pagamento de impostos para o governo. Esse princípio reflete as condições de rendimento constantes de escala da produção em mercados perfeitamente competitivos, no equilíbrio, os produtores obtêm lucro zero.

- As famílias gastam toda renda que recebem das firmas com a compra de bens e serviços, considerando que o valor das despesas seja igual ao valor dos rendimentos, mantendo assim o princípio contábil de equilíbrio orçamentário, conhecido como balanço de rendimentos.

Essas três condições são utilizadas pelos modelos EGC para resolver simultaneamente um sistema de equações para um determinado conjunto de preços e alocação de bens e fatores que garantem o equilíbrio geral (WING, 2004).

3.2 Calibração, fechamento e método de solução dos modelos EGC

O funcionamento dos modelos EGC baseia-se no método da calibragem, ou seja os parâmetros são calibrados para determinado ano e não estimados. Dessa forma, os parâmetros comportamentais do modelo são calculados a partir da observação das variáveis exógenas de um único ano base (reproduzindo a economia neste ano), que será referência para as simulações realizadas pelo modelo. Essa premissa implica que os valores observados das variáveis endógenas são determinados somente pelas variáveis exógenas explícitas no modelo, tendo os termos de erro iguais a zero (FERREIRA FILHO, 2018).

Em relação ao fechamento dos modelos EGC, Diniz (2019) descreve que, em geral estes modelos possuem mais incógnitas do que equações e para que a solução do sistema de equações seja alcançada é necessário escolher quais variáveis se tornarão exógenas. Este processo de determinação de quais variáveis serão exógenas e quais serão endógenas é o que se chama de fechamento do modelo. Algebricamente, refere-se ao problema do sistema ter um número de equações independentes maior que o número de variáveis endógenas (sistema sobredeterminado), nesse caso o fechamento consiste na escolha de quais equações deverão ser retiradas do sistema. Se o sistema tiver um número de variáveis endógenas maior do que o número de equações independentes (sistema subdeterminado) o fechamento refere-se à quais variáveis passarão a ser consideradas exógenas, obtendo assim uma solução consistente para todas as variáveis (FERREIRA FILHO, 2018).

Os modelos EGC podem diferir em termos da configuração temporal dos resultados, podendo ser modelos estáticos ou dinâmicos. Os modelos estáticos analisam a economia em dois momentos distintos no tempo, conforme caracterizado por Diniz (2019), esse tipo de modelo compara a economia em um equilíbrio inicial com um novo ponto de equilíbrio obtido através da simulação de um choque em uma variável exógena do modelo, sendo que a trajetória entre os pontos de equilíbrio não é observada e nem objeto de análise. Em geral, tais modelos são utilizados para análises em que a evolução temporal não seja relevante, por exemplo, no caso onde deseja-se observar o impacto de um aumento de imposto na economia. Este tipo de modelagem permite um horizonte de análise de curto ou longo prazo. Em geral, especifica-se o curto prazo fazendo o estoque de capital agregado fixo, ou seja, ele não pode se ajustar plenamente e as taxas de retorno do capital se ajustam ao estoque de capital fixo. Já no longo prazo o estoque de capital pode variar, tanto entre as indústrias quanto de forma agregada, ele se torna endógeno e é determinado através do sistema de equações do modelo (FERREIRA FILHO, 2018).

Por outro lado, os modelos dinâmicos permitem avaliar a economia ao longo do tempo, pois, a acumulação de capital e os mecanismos de investimentos são incorporados ao modelo, assim como a descrição ano a ano de variáveis exógenas como, a evolução da população, preços de produtos exportados, produtividade, entre outros (DINIZ, 2019). Os modelos dinâmicos envolvem algumas questões teóricas complexas no que diz respeito a operacionalização de mercados futuros e condições terminais da economia, conforme observado por Dervis *et al.* (1982). Para facilitar esse processo, os autores propuseram uma forma mais simples de dinâmica, que consiste em assumir que a alocação do investimento por indústria (ou setor) em cada ano é determinado pelos preços, custos de produção e taxa de lucro do período anterior, refletindo assim um processo recursivo, onde toda a informação requerida para solução são os parâmetro exógenos (elasticidades, por exemplo) e a história passada da economia.

Os resultados do modelo também podem ser analisados de forma regional, uma ferramenta muito importante nos modelos EGC. Tal análise pode ser caracterizada em dois tipos: *top-down* e *bottom-up*. Os modelos do tipo *top-down* possuem seus resultados agregados em nível nacional, a distribuição entre os diversos estados é realizada através da participação que cada região tem na produção ou no consumo, por exemplo. Já nos modelos *bottom-up* o comportamento dos agentes é modelado no nível regional, gerando um sistema interdependente que permite a construção de *feedbacks* do nível regional para o nacional e vice-versa, sendo que os resultados nacionais são contabilizados através da agregação dos resultados regionais (HADDAD *et al.*, 2001).

Conforme visto na seção anterior, a estrutura dos modelos EGC é baseada no fluxo circular da renda na economia. Matematicamente, tal procedimento é viabilizado por um sistema de equações, que em geral são não lineares. Dessa forma, a determinação dos preços e quantidades de equilíbrio (solução do sistema) é alcançada

numericamente através de técnicas de otimização. Conforme descrito por Ferreira Filho (2018), existem duas formas de se resolver estes sistemas, o primeiro baseia-se no trabalho de Johansen (1960), que propôs a linearização das equações como método de solução do sistema que representa uma economia e assim resolvendo-o para as variáveis endógenas através da inversão de matrizes (por sucessivas aproximações), trazendo os resultados em taxas de crescimento. O segundo procedimento resolve diretamente o sistema de equações na forma não linear utilizando métodos adequados para este tipo de sistemas.

Ambos os métodos entregam resultados semelhantes, apesar do modelo proposto por Johansen (1960) possuir uma etapa adicional ao linearizar as equações, que conforme destacado por Ferreira Filho (2018), pode limitar à algumas formas funcionais que sejam linearizáveis ou que sejam mais facilmente linearizadas. Contudo, uma das grandes vantagens são os resultados em percentual gerados por este método de solução, as mudanças nas variáveis são diretamente proporcionais. Além disso, o autor destaca que a resolução por inversão de matrizes é alcançada mais facilmente, permitindo a aplicação deste método em modelos grandes com relativa facilidade. Esse argumento é reforçado por Dixon e Rimmer (2016) ao pontuarem a importância de dois pontos fundamentais da modelagem proposta por Johansen e que possuem influência nos modelos EGC até a atualidade:

> [...] The first is the way in which Johansen presented his model as a rectangular system of linear equations in change and percentage-change variables and solved it by matrix inversion. The second, and related aspect, is how he used the linear representation and the linear solution method: to clarify properties of the model; to elucidate real world issues; and to check the validity of the model (DIXON, P.; RIMMER, M., 2016, p. 424).[1]

Contudo, o método de linearização das equações não lineares proposto por Johansen, transformando os resultados das variáveis de níveis para variação, resulta em maiores erros originados da linearização conforme aumenta-se o choque dado em uma variável (HERTEL; TSIGAS, 1997). Para obter soluções mais acuradas aplica-se as soluções conhecidas como *multi-step*. Neste tipo de resolução, cada choque é dividido em diversas partes menores e em cada passo as equações linearizadas são resolvidas para estes choques menores. Após cada passo, os dados, proporções e elasticidades são recalculados considerando as mudanças realizadas na etapa anterior, assim quanto mais passos os choques são divididos, mais preciso serão os resultados (HARRISON; PEARSON, 1994). Por exemplo, ao dividir o choque em dois passos, uma correção de direção é realizada no segundo passo e assim por diante até que o resultado fique mais próximo da função original. Este método é conhecido como método de Euler e foi refinado ao longo dos anos para ser resolvido de forma mais rápida, mas todos partem do princípio de divisão em passos da solução para reduzir o erro de linearização (HERTEL; TSIGAS, 1997).

A utilização dos modelos EGC tem se disseminado cada vez mais em diversas áreas de estudo, conforme destacado por Dixon e Rimmer (2016), essa modelagem tem sido utilizada para análise econômica de diversas políticas como, acordos comerciais, políticas tributárias e fiscais, meio ambiente, distribuição de renda, reformas microeconômicas e estabilização macroeconômica, entre outros. Tal disseminação se deve à sua característica abrangente de propagação do impacto de políticas ou eventos em diversos setores da economia e/ou em variáveis macroeconômicas importantes, como renda, consumo ou emprego.

3.3 O modelo TERM-BR

Para análise proposta neste trabalho será utilizado o modelo *The Enormous Regional Model* (TERM) adaptado para o Brasil, o TERM-BR. Trata-se de um modelo EGC, inter-regional, do tipo "*bottom-up*" com dinâmica recursiva anual, composto de 110 setores, 110 *commodities* e 27 regiões. Tal adaptação é baseada no modelo

[1] "A primeira é a maneira pela qual Johansen apresentou seu modelo como um sistema retangular de equações lineares em variáveis de mudança e percentual e o resolveu por inversão matricial. O segundo, e um aspecto relacionado, é como ele usou a representação e o método da solução linear: para esclarecer as propriedades do modelo; elucidar questões do mundo real; e verificar a validade do modelo", em tradução livre.

estático TERM, que foi construído para análise de impactos de políticas e eventos na economia australiana, com cada região sendo tratada como uma economia separada (HORRIDGE; MADDEN; WITTWER, 2005). A versão dinâmica do modelo foi elaborada posteriormente por Verikios e Wittwer (2012). Para os objetivos propostos neste estudo foi utilizada a versão do TERM-BR com um módulo de uso da terra, que utiliza uma matriz de transição para rastrear o uso do solo regionalmente, incorporado no modelo por Ferreira Filho e Horridge (2012). Em termos de montagem e organização da base de dados, estrutura de produção e sistema de equações, o TERM-BR possui as características principais semelhante ao seu antecessor. Conforme destacado por Diniz (2019), o TERM desenvolvido para a economia brasileira trata cada um dos 27 estados brasileiros como uma economia separada, porém todas as regiões são interdependentes e conectadas através do mercado de produtos e fatores.

A estrutura de produção do modelo TERM-BR está representada na figura 3.2, como é possível visualizar, no caso da indústria produzir mais que um bem, ou seja, uma matriz de produção multiproduto, a escolha entre qual bem produzir é guiada pela forma funcional *Constant Elasticity of Transformation* (CET), que entre outros aspectos, incentiva a produção do bem que possuir maior preço relativo. As firmas também definem uma combinação de insumos intermediários e fatores primários para realizar sua produção. Dessa forma, as indústrias produzem um ou diversos bens escolhendo uma combinação que minimiza os custos de insumos intermediários, sendo que estes podem ser domésticos ou importados, e dos fatores primários, que podem ser capital, trabalho de "n" tipos e terra, que é utilizado somente para alguns setores, como pela atividade agropecuária. Esta combinação é guiada por uma função de produção de coeficientes fixos, a Leontief. Isto significa que, nesse nível da árvore de produção, os produtores combinam a compra dos insumos necessários ao processo de produção de cada bem, em proporções fixas, resultando em uma elasticidade de substituição entre os dois recursos igual a zero (HORRIGDE, 2011).

Em relação ao uso dos insumos para o processo produtivo, uma função de produção *Constant Elasticity of Substituition* (CES) indica qual a combinação dos insumos intermediários e do composto dos fatores primários deve ser utilizada na produção [2]. Para isso, tal função se baseia nos preços relativos das *commodities* e considera uma elasticidade de substituição (que é fornecida ao modelo) entre os bens. O próximo nível da estrutura de produção funciona de maneira semelhante, os insumos intermediários podem ser importados ou domésticos, sendo este último provenientes de qualquer região especificada no modelo, que são escolhidas através de uma função CES. Da mesma forma, uma função CES determina a alocação do composto dos fatores primários (trabalho, capital e terra), sendo que o fator trabalho no TERM-BR possui dez categorias diferentes. Para o fator terra, o modelo possui um módulo de uso do solo que utiliza uma matriz de transição para acompanhar as mudanças no uso da terra em cada estado brasileiro. Uma descrição mais aprofundada do funcionamento deste módulo será apresentada na próxima seção.

[2] Neste caso, para os setores da economia que utilizam apenas dois fatores de produção, capital e trabalho, a função CES não é restritiva, porém no setor de atividade agrícola, onde o fator terra é adicionado na função de produção, o modelo assume que a elasticidade de substituição é igual entre os fatores (HERTEL, 1997).

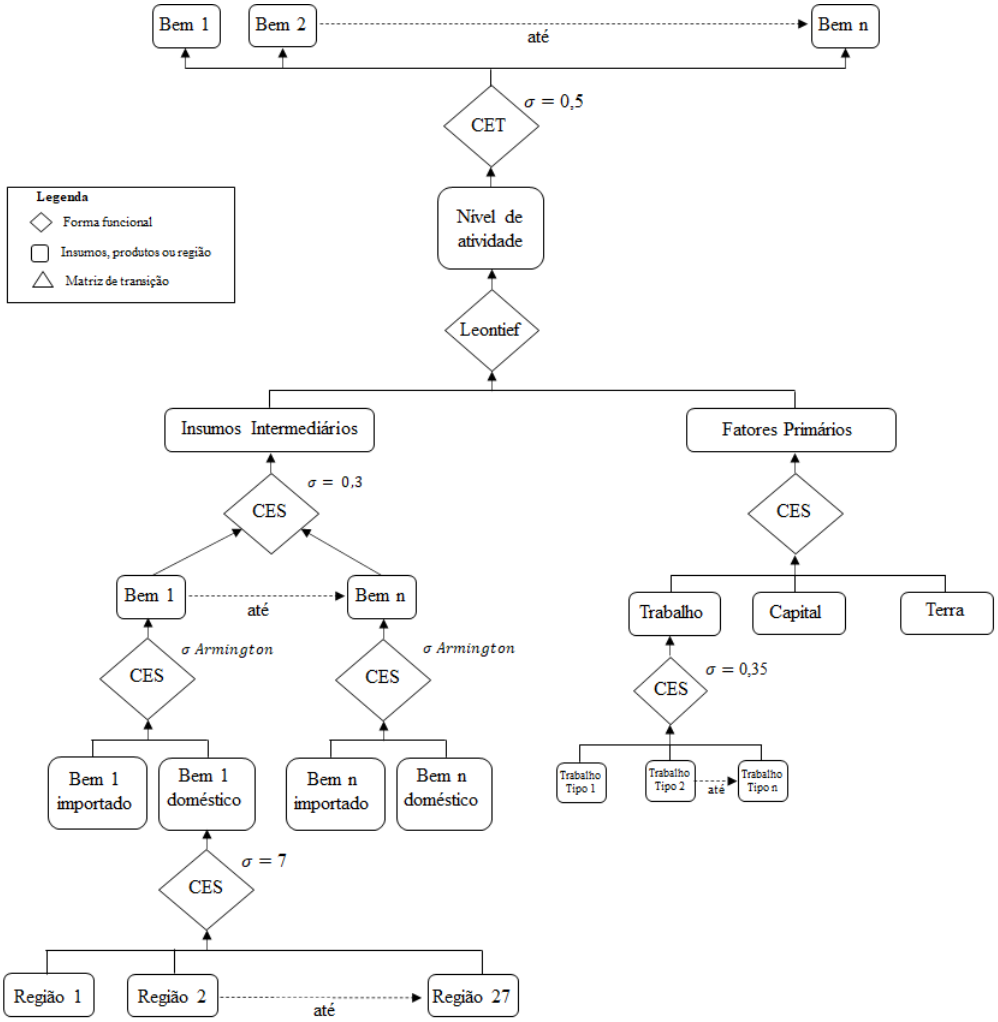

Figura 3.2. Estrutura de produção do TERM-BR.
Fonte: Elaboração própria.[3]

Conforme pontuado por Diniz (2019), é comum o uso de funções CES na estrutura produtiva de modelos EGC, pois tais funções permitem diversos níveis de substituição mesmo demandando a estimação de poucos parâmetros[4]. As elasticidades utilizadas foram obtidas de versões anteriores do TERM-BR, muitas delas extraídos da literatura especializada e na base de dados do *Global Trade Analysis Project* (GTAP). Os valores dos parâmetros das elasticidades que estão descritos na figura 3.2 possuem valores iguais para todas as *commodities*/indústrias, ou seja, para as elasticidades de transformação $\sigma = 0,5$, entre os insumos intermediários $\sigma = 0,3$, entre as regiões dos insumos intermediários nacionais $\sigma = 7$ e entre os dez tipos de trabalho $\sigma = 0,35$. As elasticidades de *Armington* entre os insumos intermediários e as elasticidades entre os fatores primários são apresentadas na tabela A.1, no apêndice.

No que diz respeito aos componentes da demanda final, a demanda por exportações é determinada pela sua elasticidade e pelos preços das *commodities*. O comportamento das famílias é modelado conforme demonstrado na figura 3.3. Ou seja, as famílias escolhem sua cesta de bens maximizando sua utilidade, sujeita a uma restrição orçamentária, através de uma função de utilidade Klein Rubin, que permite a diferenciação entre bens de luxo e bens de subsistência. Dessa forma, o modelo gera um sistema linear de dispêndio composto por equações que representam a demanda por cada bem como uma função linear dos preços de todos os bens e da renda total. No

[3] Adaptado de Ferreira Filho *et al.* (2015, p. 593).
[4] $y = F(\alpha x_1^{\rho} + (1-\alpha)x_2^{\rho})$ é a forma mais conhecida da função CES, sendo as funções Leontief e Cobb-Douglas casos particulares da função CES (SILBERBERG, 2000).

próximo nível da árvore as famílias escolhem cada bem composto entre domésticos e importados através de uma função CES. A composição dos investimentos e a demanda do governo são exógenos (HORRIDGE, 2011).[5]

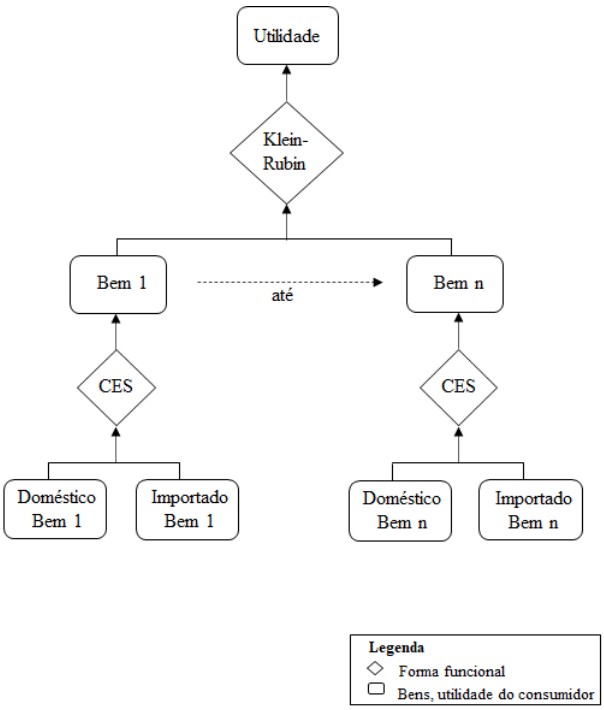

Figura 3.3. Estrutura de demanda das famílias do TERM-BR.

Fonte: Elaboração própria.[6]

A extensão dinâmica do TERM-BR, elaborada por Verikios e Wittwer (2012), possui suas hipóteses de dinâmica-recursiva originadas também da escola australiana de modelos EGC, dessa forma são similares às teorias adotadas em outros modelos, como no modelo ORANIG-RD elaborado por Horridge (2002), que possui três mecanismos de dinâmica recursiva:

- Uma relação entre investimento e estoque de capital, onde o investimento em determinado período torna-se estoque de capital no período seguinte.
- Uma relação positiva entre investimento e taxa de retorno esperada por indústria.
- Uma relação entre crescimento dos salários e emprego.

Mais um mecanismo foi incorporado no TERM-BR considerando a inclusão do módulo de uso da terra, conforme Ferreira Filho e Horridge (2012):

- Uma relação positiva entre o desmatamento em um período e o estoque disponível de terras para a atividade agropecuária no período seguinte.

Como parte deste mecanismo, a acumulação de capital no TERM-BR ocorre como na maioria dos modelos EGC, ou seja, o estoque de capital no período atual é determinado pelo estoque de capital do período anterior menos a taxa de depreciação do capital, definido por (VERIKIOS e WITTWER, 2012):

$$K_{j,t+1} = K_{j,t}(1 - D_{j,t}) + I_{j,t} \tag{3.1}$$

[5]Maiores detalhes a respeito da modelagem da demanda e seus mecanismos ver Horridge (2006) e Horridge (2011).
[6]Adaptado de Horridge (2006).

Onde,
$K_{j,t}$ é o estoque de capital disponível para a indústria j no ano t;
$I_{i,t}$ é o investimento (capital novo) na indústria j no ano t; e
$D_{j,t}$ é a taxa de depreciação do capital da indústria j no período t.

A equação 3.1 mostra que uma variação no investimento do período t da indústria j afeta o estoque de capital da mesma indústria no período seguinte, em $t + 1$. Conforme explicado por Horridge (2002), pode-se dizer que o investimento tem um período de "gestação" de um ano. No que diz respeito à alocação do investimento, Horridge (2002) pontua que esta é guiada por dois componentes:

- A relação investimento/capital é positivamente relacionada com as taxas de retorno esperadas.
- As taxas de retorno esperadas convergem para as taxas de retorno atuais, ou de equilíbrio, através de um mecanismo de ajuste parcial.[7].

A dinâmica no mercado de trabalho é resumida por Diniz (2019) como sendo dirigida por três mecanismos:

- O salário real é determinado pela oferta e demanda de trabalho em cada região.
- A oferta de trabalho regional é afetada pela migração de trabalho inter-regional.
- A migração de trabalho entre as regiões é positivamente relacionada com o salário real.

Dessa forma, estes mecanismos determinam o salário real e o equilíbrio nos mercados de trabalho regional e nacional. Verikios e Wittwer (2012) descrevem as equações que determinam este equilíbrio, conforme apresentado no anexo B.

Através dos quatro mecanismos de dinâmica recursiva e as hipóteses sobre a acumulação de capital, alocação do investimento e a dinâmica do mercado de trabalho, destacadas acima, é possível realizar uma projeção base para a economia. Tal projeção, chamada de linha de base nos modelos EGC, poderá ser comparada com uma trajetória de crescimento alternativa, que difere da primeira apenas pelo choque de política imposto ao modelo, assim a diferença entre as duas projeções de crescimento será o efeito da política que se deseja analisar. Nesta pequisa, os cenários de política serão compostos pelos cenários de redução do desmatamento do estudo do Instituto Escolhas (2017), que irão alterar o uso do solo entre os diversos biomas, reduzindo as terras destinadas à atividade agropecuária e assim será possível analisar qual será o impacto na renda do setor. Todos os cenários e estratégias de simulação serão apresentados mais adiante neste trabalho.

3.4 O módulo de uso do solo no modelo TERM-BR

Para analisar os impactos da redução do desmatamento na renda agropecuária é necessário mensurar as transições ocorridas entre os diversos usos do solo. Dessa forma, o modelo utilizado neste estudo utiliza um módulo de mudança do uso da terra (*Land Use Change* (LUC), na sigla em inglês), construído a partir de um conceito denominado matriz de transição. Conforme mencionado anteriormente, tal metodologia, especialmente desenhada para o Brasil, foi desenvolvida por Ferreira Filho e Horridge (2012) e utilizada em diversos outros estudos que analisaram políticas de uso da terra, como, Ferreira Filho *et al.* (2015) e Instituto Escolhas (2017). O texto, conceito e fórmulas apresentadas nos próximos parágrafos descrevem o funcionamento deste módulo e tem como base Ferreira Filho e Horridge (2012) e Ferreira Filho *et al.* (2015).

[7] A descrição das equações que definem o mecanismo de alocação do investimento no TERM-BR são apresentadas no anexo A, com base no trabalho de Horridge (2002).

Os dados referente à distribuição e uso do solo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE) distinguem três tipos de uso da terra: culturas, pastagens e florestas plantadas (ou silvicultura). No modelo, cada indústria agropecuária foi mapeada para um desses tipos de uso, e um tipo residual chamado *unused* foi adicionado para representar as florestas nativas no modelo[8]. Dentro de cada região e no ano corrente, a área para o uso de culturas, por exemplo, é pré-determinada considerando onze tipos de lavouras. Esse mecanismo é realizado pelo modelo de acordo com a fórmula 3.2, que exemplifica este processo de alocação da terra entre os produtos agrícolas, o mesmo mecanismo é realizado para distribuição das terras de pastagens entre os produtos de pecuária, corte e leite, (FERREIRA FILHO e HORRIDGE, 2012):

$$A_{jr} = \lambda_r \cdot K_{jr} \cdot R_{jr}^{0,7} \tag{3.2}$$

Onde:
A_{jr} = Total da área de culturas na região r usada na atividade j.
$R_{jr}^{0,7}$ = Retorno da terra obtido pela atividade j.
K_{jr} = Constante de calibração.
λ_r = Variável de folga que se ajusta de forma a garantir que:

$$\sum_j A_{jr} = A_r \tag{3.3}$$

Onde:
A_r = área de cultura determinada inicialmente no modelo.

A expressão 3.3 garante que a soma das áreas de todas as *commodities* será igual ao total de terras destinadas à categoria de culturas. Dessa forma, as equações 3.2 e 3.3 guiam a alocação de terras entre as atividades de cultura e pastagens em cada região, baseada nos retornos unitários das diversas atividades ou indústrias. Ou seja, a atividade que obtiver maior ganho terá sua área de produção elevada, enquanto das demais atividades se reduzem.

Entre um ano e outro o modelo permite que a terra seja deslocada entre as categorias culturas, pastagens e silvicultura ou a conversão de florestas naturais para uma dessas categorias. Esse procedimento é realizado através das matrizes de transição, os dados iniciais dessa matriz são originadas de imagens de satélite das mudanças no uso do solo registradas no período entre 1994 e 2002, extraídas do relatório do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) [9]. Esses dados são então processados e agregados para distinguir as quatro categorias de uso da terra, culturas, pastagens, silvicultura (florestas plantadas) e florestas nativas ("*unused*"). Entre um ano e o seguinte, o modelo permite que a terra se movimente entre estas categorias, sendo guiada inicialmente pela matriz de transição, alterando a oferta de terras para a agropecuária entre os anos e consequentemente sua produção (FERREIRA FILHO *et al.*, 2015). A figura 3.4 mostra um diagrama que exemplifica esse mecanismo.

De acordo com o diagrama da figura 3.4, a matriz de transição, elaborada com dados de satélite, conduz inicialmente a conversão das florestas naturais brasileiras, dividida em seus diversos biomas, entre as categorias de uso do solo de culturas, silvicultura e pastagens. Também pode ocorrer o processo oposto, por exemplo, parte das pastagens que deixam de ser usadas para se transformarem novamente em florestas ou entre as próprias categorias, como no caso das terras abandonadas pela atividade pecuária para cultivo agrícola. Seguindo a estrutura do diagrama, com a quantidade de terras definida por categoria, uma função CET, com elasticidade $\sigma = 0,7$ irá alocar a área de culturas entre as onze *commodities* do modelo, conforme descrito pelas fórmulas 3.2 e 3.3. O mesmo ocorre com a atividade pecuária, que no modelo possui dois tipos de produto, corte e leite.

[8] A categoria "*unused*" é computada como o total da área de cada estado e do Brasil menos as terras utilizadas para as atividades de plantação de cultuas, pastagens e silvicultura. Dessa forma, a categoria de "*unused*" inclui todas as áreas não utilizadas para a produção agropecuária, como florestas naturais, áreas urbanas, topos de montanhas, lagos e estradas. É esperado que estas últimas áreas variem bem menos do que as áreas que são desmatadas, então o tipo de uso "*unused*" é utilizada como uma proxy para o desmatamento causado para uso da agricultura (FERREIRA FILHO e HORRIDGE, 2012).

[9] Segunda comunicação nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre mudança global do clima (MCTI, 2010).

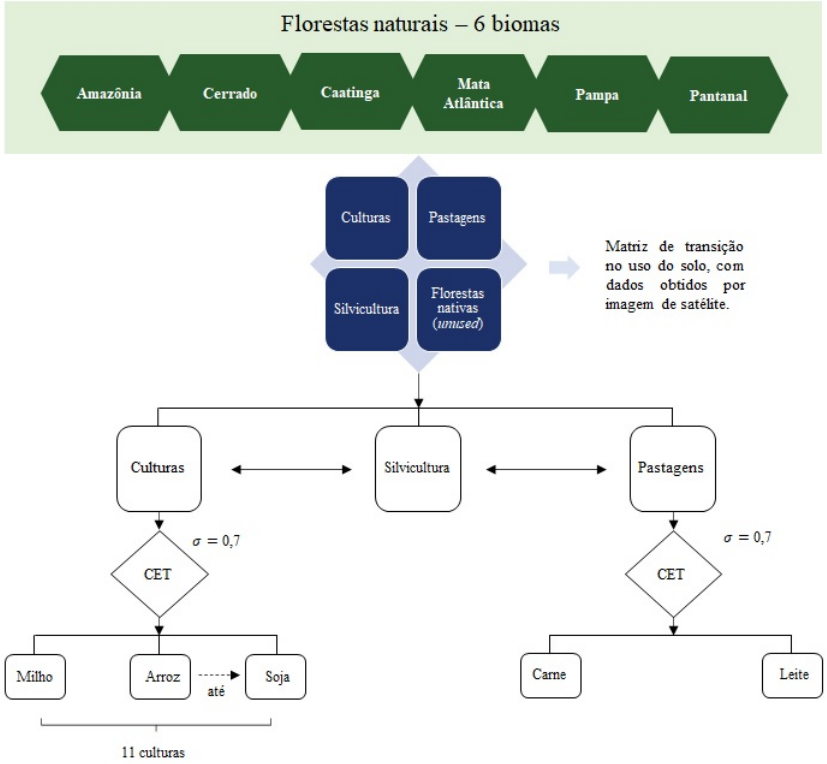

Figura 3.4. Funcionamento do módulo de uso do solo no TERM-BR.

Fonte: Elaboração própria.[10]

A matriz de transição é desagregada entre as 27 unidades da Federação e pelos 6 biomas: Amazônia, Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica, Pantanal e Pampa. Conforme pontuado por Ferreira Filho *et al.* (2015), essa desagregação permite, por exemplo, que seja possível visualizar quantos hectares do bioma Cerrado no estado do Mato Grosso era vegetação natural em 1994 e foi transformada em cultura em 2002 ou continuou como vegetação natural. Assim, o modelo possui uma matriz de transição completa entre as 4 categorias de uso do solo para cada um dos 6 biomas em cada um dos 27 estados. Dessa forma, com o avanço da simulação entre os anos, o modelo é capaz de simular a mobilidade da terra entre as categorias de uso do solo, guiada inicialmente pela matriz de transição. Este mecanismo permite que as simulações de desmatamento no modelo sejam mais acuradas, já que a matriz de transição resume diversos fatores que afetam o desmatamento, desde motivos econômicos, como preços e infraestrutura, até razões demográficas da região. Este efeito é possível devido aos dados observados da matriz de transição refletir as movimentações do uso do solo em um período de tempo, captando assim diversos fatores que provocaram tais mudanças.

Os dados da tabela 3.1 compõem os dados iniciais do modelo no que se refere à matriz de transição. Ou seja, são os valores observados, entre os anos de 1994 e 2002, para as transições de uso da terra de dois estados selecionados na fronteira agrícola brasileira, Mato Grosso e Amazonas, e o total nacional.

[10] Adaptado de Instituto Escolhas (2017, p. 43)

Tabela 3.1. Matriz de transição entre os usos do solo no Brasil (1994-2002), em Mha.

	Culturas	Pastagens	Florestas plantadas	Florestas naturais	**Total (1994)**
Amazonas					
Culturas	0,08	0	0	0	**0,08**
Pastagens	0	3,68	0	0,07	**3,74**
Florestas plantadas	0	0	0	0	**0**
Floresta naturais	0,04	0,67	0	151,19	**151,89**
Total (2002)	**0,12**	**4,35**	**0**	**151,26**	**155,72**
Mato Grosso					
Culturas	7,95	1,61	0	0,04	**9,60**
Pastagens	1,30	18,28	0	0,27	**19,84**
Florestas plantadas	0	0	0	0	**0,00**
Floresta naturais	2,08	5,88	0	53,23	**61,20**
Total (2002)	**11,33**	**25,77**	**0,01**	**53,53**	**90,64**
Brasil					
Culturas	97,6	3,2	0,1	0,3	**101,1**
Pastagens	5,1	171,7	0,1	1,3	**178,2**
Florestas plantadas	0,1	0,1	5,6	0	**5,8**
Florestas naturais	7,7	25,9	0,1	531,2	**564,9**
Total (2002)	**110,3**	**200,9**	**5,9**	**532,8**	**850,0**

Fonte: Ferreira Filho *et al.* (2015).[11]

A última coluna da tabela 3.1 (Total (1994)) representa o uso do solo no começo do período, ou seja, em 1994. Já a última linha (Total (2002)) refere-se a distribuição do solo no final do período de coleta, em 2002. As transições entre os diversos tipos de usos do solo são os valores que compõem o interior da tabela. No estado do Amazonas, dos 151,89 Mha de florestas naturais em 1994, 0,04 Mha foram convertidos em terras de cultivo agrícola e 0,67 Mha em pastagens no final do período. No Mato Grosso foi observado no início do período um total de 61,20 Mha de florestas naturais dos quais 2,08 Mha foram transformados em terras agrícolas em 2002, enquanto 5,88 Mha foram convertidos em pastagens, com o restante permanecendo como vegetação natural.

Em termos nacionais, os dados da tabela 3.1 mostram que no início da série havia um total de 564,9 Mha de florestas nativas, dos quais 7,7 Mha foram convertidos diretamente em culturas e 25,9 Mha em pastagens. Pode-se notar que neste período, em termos nacionais, houve crescimento de área para todas as categorias, no total a área para as atividades de agricultura cresceu 9,2 Mha, as terras para pecuária aumentaram 22,7 Mha e para a atividade de florestas plantadas (ou silvicultura) houve aumento de 0,1 Mha na área de produção. Dessa forma, a redução de área de florestas naturais foi de 32,1 Mha no período. Este mecanismo permite que as áreas de florestas naturais (*unused*) sejam exógenas no modelo, dessa forma o desmatamento pode ser projetado externamente de acordo com a política desejada, como é feito nesse estudo, com a garantia de que a matriz de transição manterá a consistência nas informações, ou seja, o aumento da área de culturas, pastagens e silvicultura em um ano respeitará o aumento da área disponibilizada pelo desmatamento no ano anterior, respeitando o total da área em termos nacionais.

As simulações das movimentações do uso do solo entre os anos inicia-se com a conversão dos dados da tabela 3.1 em parcelas, das quais representam as probabilidades de Markov[12] de que cada hectare com determinado uso registrado em dado ano estaria em outro uso no ano seguinte. Embora as matrizes de Markov sejam, inicialmente, calibradas a partir dos dados observados, posteriormente elas são modificadas de forma endógena pelo

[11] Dados originais: MCTI (2010).

[12] Os processos ou cadeias de Markov são aplicações comuns da álgebra matricial. Tais processos são utilizados para medir ou estimar mudanças ao longo do tempo e utiliza uma matriz de transição ou estocástica de Markov. Cada valor dessa matriz refere-se à uma probabilidade de mudar de um estado mudar para outro, sendo assim cada entrada da matriz é não negativa e soma das entradas em cada linha é igual a 1 (CHIANG; WAINWRIGHT, 2005).

modelo, de acordo com a variação média dos retornos de cada tipo de terra em cada região. Essas probabilidades são representadas como uma função dos retornos médios de cada tipo de terra seguindo a regra (FERREIRA FILHO *et al.*, 2015):

$$S_{pqrb} = \mu_{prb} \cdot L_{pqrb} \cdot P_{qr}^{\alpha} \cdot M_{qrb} \tag{3.4}$$

Onde:
r = Subscrito que indica as regiões.
b = Subscrito que indica os biomas.
S_{pqrb} = Parcelas do tipo de terra p que torna-se o tipo q.
μ_{prb} = Variável de folga que se ajusta para garantir que $\sum_q = 1$.
L_{pqrb} = Constante de calibração que é igual ao valor inicial de S_{pqrb}.
P_{qr}^{α} = Retornos médios obtidos pelo tipo de terra q. α = Parâmetro de sensibilidade na transição entre os tipos de terra. Ajustado para 0.28 no modelo[13].
M_{qrb} = Variável de deslocamento com valor inicial igual a 1.

Dessa forma, de acordo com a expressão 3.4, se os retornos das atividades agrícolas crescerem em relação aos retornos das pastagens, mais terras da atividade pecuária serão convertidas em áreas para cultivo agrícola. Sendo assim, com os dados iniciais da matriz de transição (tabela 3.1) e a equação 3.4 o modelo determina a movimentação do uso da terra entre as diversas categorias e a oferta total de terras para a agropecuária entre os anos, construindo matrizes de transição aproximadas para os próximos anos. A tabela 3.2 mostra a transição do uso da terra para o primeiro ano da simulação, a próxima matriz calculada refletirá as transições entre os anos 2006 e 2007 e assim sucessivamente para todos os anos do modelo. Assim como foi realizado na tabela anterior, a última coluna revela o uso inicial da terra, enquanto na linha final mostra o uso da terra no período seguinte. No interior da tabela, os valores fora da diagonal principal referem-se às mudanças no uso da terra entre as categorias para os dois anos em questão. De forma semelhante aos dados observados, o primeiro ano da simulação aponta crescimento para as áreas de culturas e pastagens, com estabilidade para a atividade de florestas plantadas.

[13] Próxima ao valor observado das áreas de cultivo na linha de base.

Tabela 3.2. Matriz de transição do primeiro ano da simulação (2005-2006).

	Culturas	Pastagens	Florestas plantadas	Florestas naturais	**Total (2005)**
Amazonas					
Culturas	0,2	0	0	0	**0,2**
Pastagens	0	0,8	0	0	**0,8**
Florestas plantadas	0	0	0	0	**0**
Floresta naturais	0	0,1	0	156,0	**156,1**
Total (2006)	**0,2**	**0,9**	**0**	**156,0**	**157,1**
Mato Grosso					
Culturas	8,8	0,2	0	0	**9,0**
Pastagens	0,1	21,6	0	0	**21,8**
Florestas plantadas	0	0	0,1	0	**0,1**
Floresta naturais	0,3	0,8	0	58,3	**59,4**
Total (2006)	**9,3**	**22,6**	**0,1**	**58,4**	**90,3**
Brasil					
Culturas	62,5	0,3	0	0	**62,9**
Pastagens	0,7	159,6	0	0,2	**160,5**
Florestas plantadas	0	0	4,7	0	**4,7**
Florestas naturais	1,3	4,1	0	618,0	**623,4**
Total (2006)	**64,5**	**164,0**	**4,7**	**618,3**	**851,5**

Fonte: Resultados da pequisa.

O uso da matriz de transição para mapear as mudanças no uso do solo permite que diversas variáveis que afetam o desmatamento, causado para a expansão das terras agropecuárias, sejam levadas em consideração pelo modelo. Além disso, conforme apresentado por Ferreira Filho *et al.* (2015), a desagregação regional do modelo permite que efeitos locais, como tipos de solo e organização institucional, que podem facilitar o desmatamento em determinada região, também sejam considerados pelas simulações. Dessa forma, os resultados relacionados ao desmatamento e mudança entre as categorias se tornam mais acertados em nível regional e agregado.

3.5 A base de dados do modelo TERM-BR

O modelo TERM-BR é calibrado para o ano de 2005, isso significa que sua principal base de dados é a Matriz de Insumo Produto (MIP) do ano de 2005, divulgada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Tal matriz é composta por 110 setores, 110 *commodities* e 27 regiões (26 estados e o Distrito Federal). Além da MIP outras bases de dados oficiais são utilizadas, como a Pesquisa Nacional por Amostra Domiciliar (PNAD/IBGE), a Pesquisa de Orçamento Familiar (POF/IBGE) para a estimação da demanda regional e captação de informações sobre renda e gastos das famílias e a projeção da população brasileira até 2060 do IBGE. A base de dados diferencia 10 tipos de famílias, classificadas por faixa de renda e 10 tipos de trabalho, que são categorizados por faixa de salário. Além de outras bases de dados como a Pesquisa Agrícola Municipal (PAM/IBGE) para informações sobre produção agrícola. A utilização de todas essas bases de dados permitem uma análise detalhada da economia brasileira.

Como a base de dados do modelo refere-se ao ano de 2005, a calibração do modelo reflete as características da economia daquele ano. Sendo assim, para que a economia imposta ao modelo reflita os dias atuais, foi realizado uma atualização histórica da base de dados principal, utilizando os dados das contas nacionais, também divulgada pelo IBGE. Dessa forma, variáveis macroeconômicas como, PIB real, consumo das famílias e governo, exportações e investimentos foram atualizadas até o ano de 2018 (IBGE, 2018). Os preços das *commodities* também são peças importantes na dinâmica do modelo e para atualizar esses dados foi criado uma base de dados com os preços internacionais dos 38 produtos do modelo entre os anos de 2005 e 2018, deflacionadas pelo deflator do

PIB e atualizada no modelo através do cálculo da variação média desse período[14]. Os dados foram extraídos de fontes oficiais, como a base de dados de preços das *commodities* primárias do Fundo Monetário Internacional (IMF, 2018), o banco de dados dos preços internacionais dos alimentos da Organização de Alimentação e Agricultura das nações unidas (FAO, 2018b; 2018c) e a base de dados de comércio internacional do Banco Mundial (WORLD BANK, 2018).

O elevado número de equações presente em modelos EGC inter-regionais, como é o caso deste estudo, exige que algumas agregações sejam realizadas no modelo, por uma questão de capacidade de resolução dos programas utilizados, redução do tempo de solução nas simulações e para facilitar a apresentação dos resultados (INSTITUTO ESCOLHAS, 2017). A agregação, tanto regional quanto setorial, utilizada no modelo deste trabalho segue a formulação de seus antecessores e é apresentada, para as regiões brasileiras, na tabela 3.3, que distingue 16 regiões agrupadas conforme a relevância das regiões na atividade agropecuária. Da mesma forma, a agregação dos produtos e atividades da base de dados foi construída conforme a importância das *commodities* e das atividades para análises relacionadas à atividade agropecuária e mudanças no uso do solo. A agregação setorial resultou em 38 produtos e atividades que estão descritas na tabela A.3 do apêndice. Além destas, outras agregações do modelo são os 10 tipos de trabalho e 10 tipos de famílias, descritos anteriormente.

Tabela 3.3. Agregação regional do TERM-BR.

Região	**Descrição**
Acre	Acre
Amazonas	Amazonas
Amapa	Amapá
GoiasDF	Goiás e Distrito Federal
Matopiba	Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia
MinasG	Minas Gerais
MtGrosso	Mato Grosso
MtGrSul	Mato Grosso do Sul
Para	Pará
PernAlag	Pernambuco e Alagoas
RestNE	Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Sergipe
RestSE	Espírito Santo e Rio de Janeiro
Rondonia	Rondônia
Roraima	Roraima
SaoPaulo	São Paulo
Sul	Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul

Fonte: Elaboração Própria.

Outra base de dados importante no modelo refere-se aos dados de desmatamento. Relembrando o conceito de matrizes de transição, estas são capazes de determinar de forma consistente as transições entre os diversos tipos de uso do solo, garantindo que o crescimento das áreas de culturas, pastagens e silvicultura em dado ano respeite o aumento da área disponibilizada pelo desmatamento do ano anterior. Dessa forma, o nível do desmatamento pode ser projetado de forma exógena, permitindo a construção de cenários de política que serão comparados com a linha de base do modelo. No caso deste estudo, a redução dos níveis do desmatamento será a base para a construção de diferentes cenários de política que serão projetados no modelo para os próximos anos visando analisar os efeitos na renda agropecuária.

Conforme mencionado anteriormente, estes cenários de política referem-se aos cenários do estudo do Instituto Escolhas (2017), que analisou os impactos econômicos do desmatamento zero no Brasil. O estudo calculou as taxas anuais de desmatamento nos três principais biomas brasileiros, Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica. A base de dados para cálculo dessas taxas foi composta por fontes de dados diferentes. Para os dados de desmatamento

[14] Tabela A.2, no apêndice.

do bioma Amazônia foram extraídos do Programa de Cálculo de Desflorestamentos (PRODES) [15] mantido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações.

Para o bioma Cerrado o estudo utilizou dados do Sistema Integrado de Alerta de Desmatamentos do Bioma Cerrado (SIAD-Cerrado) operado pelo Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento da Universidade Federal de Goiás (UFG), que monitora o desmatamento da região desde 2003 por meio de satélites, da mesma forma que o sistema PRODES. Já os dados referente ao bioma Mata Atlântica são do projeto Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica, realizado pelo fundação SOS Mata Atlântica em parceria com o INPE. O estudo utilizou a estrutura da malha fundiária brasileira, desenvolvida pelas equipes do Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola (IMAFLORA), do GeoLab da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP) e do Royal Institute of Technology (KTH-Suécia), para calcular separadamente as taxas de desmatamento de terras públicas e privadas nos três biomas citados.[16]

O desmatamento observado é inserido no modelo através de um choque na categoria de florestas naturais ("*Unused"*) da matriz de transição, que fará a distribuição de terras entre as demais categorias, conforme detalhado anteriormente. De forma semelhante, a redução dos níveis de desmatamento para o período de projeção, que reflete a aplicação da política, é inserida no modelo. Dessa forma, será possível visualizar os efeitos dos diferentes cenários de controle do desmatamento na renda agropecuária, considerando os dados observados nos últimos anos. O próximo capítulo descreve as estratégias de simulação e cenários de políticas com maiores detalhes.

[15] Sistema de monitoramento por satélites, produzindo anualmente taxas oficiais do país a respeito do desmatamento na Amazônia Legal desde 1988 (INPE, 2020a).

[16] Maiores detalhes sobre a estrutura e cálculo das taxas de desmatamento destes biomas ver Instituto Escolhas (2017).

4 ESTRATÉGIA DE SIMULAÇÃO

4.1 Linha de base

Conforme mencionado anteriormente, a estratégia de simulação utilizada nesta pesquisa considera os mesmos cenários de redução do desmatamento do estudo do Instituto Escolhas (2017), mas no caso deste estudo visando a análise da renda do setor agropecuário. A característica principal da aplicação de um modelo EGC é a comparação de cenários alternativos, onde determinada política é aplicada, com uma linha de base da economia, também conhecida na literatura como *"business-as-usual"* (BAU, na sigla em inglês). O cenário de linha de base representa a economia como está no período atual, ou seja, sem a aplicação de políticas que possam impactar o sistema econômico. Este cenário é construído considerando a simulação de dois períodos, um período histórico e um período de projeções. A simulação do período histórico é necessária devido ao fato da base de dados principal ser a MIP de 2005 e a simulação do período de projeções descreve o que seria uma trajetória tendencial da economia e do desmatamento ao longo dos anos. Os desvios dos resultados dos cenários de política em relação ao cenário linha de base são entendidos como os efeitos da aplicação das políticas.

A simulação histórica do cenário de linha de base ocorre através da aplicação de um choque imposto ano a ano ao modelo de acordo com as bases de dados descritas no capítulo anterior (população, contas nacionais, crescimento dos preços das *commodities* e desmatamento para os biomas Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica) e assim o período histórico é atualizado até o ano de 2018[1]. No período histórico a oferta de terras de cultura, silvicultura e pastagens são consideradas endógenas e portanto são determinadas pela resolução do sistema, enquanto as terras de florestas naturais são mantidas fixas e atualizadas conforme os choques da base de dados de desmatamento são aplicados no modelo. Além disso, a taxa de crescimento das exportações das *commodities* milho e soja, entre os anos 2005 e 2018, foram atualizadas separadamente[2] devido ao expressivo aumento nos últimos anos.

Dessa forma, o período de projeções começa no ano de 2019 e termina em 2030, gerando a trajetória de linha de base para a economia através de um crescimento tendencial ao longo dos anos. As principais premissas assumidas para a linha de base possuem como base de dados projeções oficiais ou de um crescimento baseado na série histórica do período observado, conforme descrito abaixo:

- Crescimento populacional: foi utilizado os dados de projeção de crescimento populacional divulgado pelo IBGE e atualizado no modelo por região. O crescimento populacional nacional durante o período de projeção (2019 à 2030) foi de 19,4%. Em termos regionais, houve crescimento mais acelerado nas regiões de RestNE e GoiasDF e as regiões com menor crescimento foram Minas Gerais, São Paulo, Rondônia e PernAlag, respectivamente.

- Crescimento do PIB real brasileiro de 2,5% ao ano.

- Desmatamento: Conforme descrito no capítulo anterior, esses dados referem-se às taxas de desmatamento calculadas pelo estudo do Instituto Escolhas (2017) para os biomas Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica. Da mesma forma como calculado no estudo, o desmatamento projetado no cenário de linha de base considera a média anual dos últimos cinco anos. Ou seja, entre os anos de 2016 e 2030 o desmatamento projetado refere-se à média do desmatamento observado entre os anos de 2011 e 2015 (últimos anos da série histórica), que é inserido no modelo através de variação percentual. Dessa forma, o desmatamento total na linha de base foi de 13,7 milhões de hectares (Mha) até 2030, sendo 7,4 Mha no bioma Amazônia, 6,0 Mha no bioma Cerrado e 0,3 Mha no bioma Mata Atlântica[3].

- Uso de terras de culturas, silvicultura e pastagens: são projetadas de forma endógena pelo modelo, ou seja, são determinadas de acordo com a resolução do sistema de equações.

[1] Exceto para o desmatamento que foi atualizado até o ano de 2015, conforme dados do Instituto Escolhas (2017).
[2] Com base nos dados de exportação divulgados pelo portal FAOSTAT (2018) e COMEXSTAT (2018).
[3] As tabelas C7, C8 e C9 do anexo C descrevem esses dados desagregados por estado.

- Importações e exportações: Assume-se um crescimento uniforme anual na demanda por exportações de 3% para o período de projeções. Também é considerado uma variação positiva constante de 1% para os preços de exportações e importações.

Através dos mecanismos e premissas assumidas acima é possível criar uma referência para a economia, permitindo a comparação dessa linha de base com os resultados das simulações quando o choque de política é aplicado no modelo. Dessa forma, é possível ver os efeitos destas políticas através dos desvios em relação ao cenário de linha de base e por fim analisar o impacto das políticas de controle do desmatamento nas variáveis de interesse, neste caso, na renda agropecuária.

4.2 Cenários de política

Para alcançar os objetivos propostos neste estudo, ou seja, analisar os impactos do controle do desmatamento na renda agropecuária, os cenários de política precisam refletir de forma estruturada, realista e atual o contexto e as características do desmatamento nas florestas brasileiras. Dessa forma, para os cenários de política deste trabalho optou-se por utilizar os cenários de desmatamento do estudo realizado pelo Instituto Escolhas (2017). Estes cenários utilizaram a estratégia de desmatamento elevado na base e redução gradual do desmatamento nos cenários de política, conforme descrito a seguir (INSTITUTO ESCOLHAS, 2017):

- **Cenário 1**: Desmatamento zero absoluto (DZERO).

  Neste cenário ocorre a paralisação total do desmatamento em todas as regiões e biomas brasileiros, no período de 2019 à 2030.

- **Cenário 2**: Desmatamento em terras públicas zero em 2030 e desmatamento em terras privadas somente em locais onde há elevada aptidão agrícola (CEN2).

  Este cenário considera que a taxa de desmatamento em terras públicas e nas terras privadas do bioma Mata Atlântica seguirá a tendência atual em 2019 e 2020 e decrescerá gradativamente ao longo dos anos para alcançar zero em 2030. Para os biomas Amazônia e Cerrado, o desflorestamento segue a tendência atual, porém ocorrerá somente nas áreas que podem ser legalmente desmatadas e que possuem alta aptidão agrícola[4]. O estudo considera as seguintes premissas para este cenário: i) criação e implementação de políticas para maior governança em terras públicas; ii) maior eficiência da Lei da Mata Atlântica; e iii) um gerenciamento mais controlado e criterioso para abertura de novas áreas em nível nacional respeitando a vocação natural da terra (INSTITUTO ESCOLHAS, 2017).

- **Cenário 3**: Desmatamento em terras públicas zero em 2030 e desmatamento em terras privadas sobre todas as áreas, independente da aptidão agrícola (CEN3).

  A política deste cenário considera que a taxa de desmatamento em terras públicas e nas terras privadas do bioma Mata Atlântica seguirá a tendência atual em 2019 e 2020 e decrescerá gradativamente ao longo dos anos para alcançar zero em 2030. O desflorestamento em terras privadas dos biomas Amazônia e Cerrado continuará de acordo com a taxa de desmatamento histórica, mas ocorrerá em qualquer tipo de vegetação nativa, independente da aptidão que o solo possua em relação à produção de culturas. Para este cenário, são assumidas as duas primeiras premissas do cenário 2, com alteração da terceira premissa para: a abertura de novas áreas não respeitará a vocação natural da terra, ocorrendo sobre a vegetação que pode ser legalmente desmatada, independente da aptidão agrícola do solo (INSTITUTO ESCOLHAS, 2017).

[4] O mapa de aptidão agrícola desenvolvido no estudo do Instituto Escolhas (2017) baseou-se no trabalho de Sparovek *et al.* (2015), que considera diversas variáveis como dimensões do solo, relevo e clima para gerar um índice de aptidão para produção agrícola anual, criando uma faixa de medição que vai de 0 (pior aptidão) a 1 (melhor aptidão). No caso deste cenário, os estoques de vegetação nativa que possuem alta aptidão agrícola estão entre a faixa de 0,8 e 1,0.

A simulação dos cenários de política descritos acima em conjunto com o mecanismo da matriz de transição indicará a quantidade de terras destinadas à produção agropecuária e assim será possível comparar os cenários de política com a linha de base do modelo com o intuito de investigar os efeitos na renda do setor.

4.3 Fechamento do modelo

Conforme descrito no capítulo de metodologia, o fechamento do modelo refere-se à escolha de quais variáveis se tornarão exógenas para que a quantidade de incógnitas e equações sejam iguais e o sistema possa ser resolvido. Além disso, no fechamento determina-se também o tipo de análise que se deseja obter com o estudo. No presente estudo, as principais características do fechamento do modelo utilizado seguem a estrutura do modelo original (FERREIRA FILHO e HORRIDGE, 2012) e são descritas abaixo:

- O fator trabalho se move entre regiões e atividades, impulsionado por variações nos salários reais, mas não entre as categorias de trabalho. A oferta total de mão de obra segue as projeções oficiais de força de trabalho divulgadas pelo IBGE.
- O capital é acumulado entre os anos através do investimento setorial, que é impulsionado pelos lucros das indústrias. Dessa forma, o estoque de capital é determinado endogenamente, definindo o horizonte de tempo de longo prazo do modelo.
- O consumo real das famílias regionais segue a renda salarial regional.
- O deflator do PIB é utilizado como o *numeraire* do modelo. Dessa forma, os demais resultados de preços devem ser interpretados como relativos ao deflator do PIB.

Além disso, para atingir os objetivos deste trabalho foram consideradas as seguintes adições no fechamento:

- Definição dos níveis de florestas naturais (*unused*) determinados de forma exógena com o intuito de atualizar as terras disponíveis para a agropecuária conforme as taxas de desmatamento são introduzidas no modelo.
- A oferta de terras para as atividades de cultura, silvicultura e pastagens é determinada endogenamente pelo modelo de acordo com a metodologia apresentada no capítulo anterior.

4.4 Método de solução

A solução do modelo foi obtida através do software de modelagem econômica *General Equilibrium Modelling PACKage* (GEMPACK) (HORRIDGE *et al.*, 2018). Ele é especialmente apropriado para modelos EGC, mas também pode lidar com diversos outros comportamentos econômicos. O GEMPACK é um pacote de programas com ferramentas para manipulação de dados, edição de textos, interface gráfica, simulações estáticas e dinâmicas, entre outras ferramentas.[5]

Para a resolução do modelo foi utilizado o software específico para simulações de modelos dinâmicos do GEMPACK, o RunDynam. Conforme descrito no capítulo anterior, o método de solução do TERM-BR ocorre através da linearização das equações, trazendo a solução diretamente na forma de variações. Para reduzir o erro originado da linearização das equações, utilizou-se o método de Gragg com 2, 4 e 6 passos de extrapolação, que é um método derivado do método de Euler[6].

[5] Para mais informações sobre o GEMPACK e seus softwares ver https://www.copsmodels.com/gempack.htm.
[6] Para mais informações sobre o método de Gragg ver Hertel e Tsigas (1997).

5 RESULTADOS

5.1 Resultados da linha de base

O cenário de linha de base, construído a partir das projeções para a economia e para a expansão do desmatamento em conjunto com a abordagem da matriz de transição, representa no modelo o crescimento tendencial da economia e seus setores para os próximos 12 anos. Dessa forma, será possível visualizar os efeitos da política de controle do desflorestamento na produção e renda da agropecuária. As estratégias de trajetória tendencial para a economia e expansão de terras para os setores agrícolas e de silvicultura, implícitas no cenário base do modelo, implicaram um crescimento forte da produção agropecuária e do uso da terra para estas atividades. No cenário base, a variação acumulada em 2030 da produção agropecuária foi de 63,7%.

Esse aumento de produção do setor agropecuário através da expansão de terras no cenário de linha de base é resultado do aumento do desmatamento (*unused)* na mesma proporção. A evolução da distribuição do uso do solo entre suas diversas categorias são apresentadas na figura 5.1, com os resultados acumulados em variação ordinária no período de análise. De acordo com os resultados, cerca de 31,1 milhões de hectares (Mha) das florestas naturais brasileiras seriam desmatadas até 2030, considerando que a taxa de desmatamento seguisse a tendência dos dados observados. Essas terras são distribuídas entre as demais categorias de acordo com a metodologia da matriz de transição, os resultados mostraram que as áreas destinadas aos produtos agrícolas obtiveram o maior crescimento acumulado em 2030, com aumento de 18,7 Mha, já as áreas de pastagens e silvicultura registraram expansão de 12,1 Mha e 0,3 Mha, respectivamente.

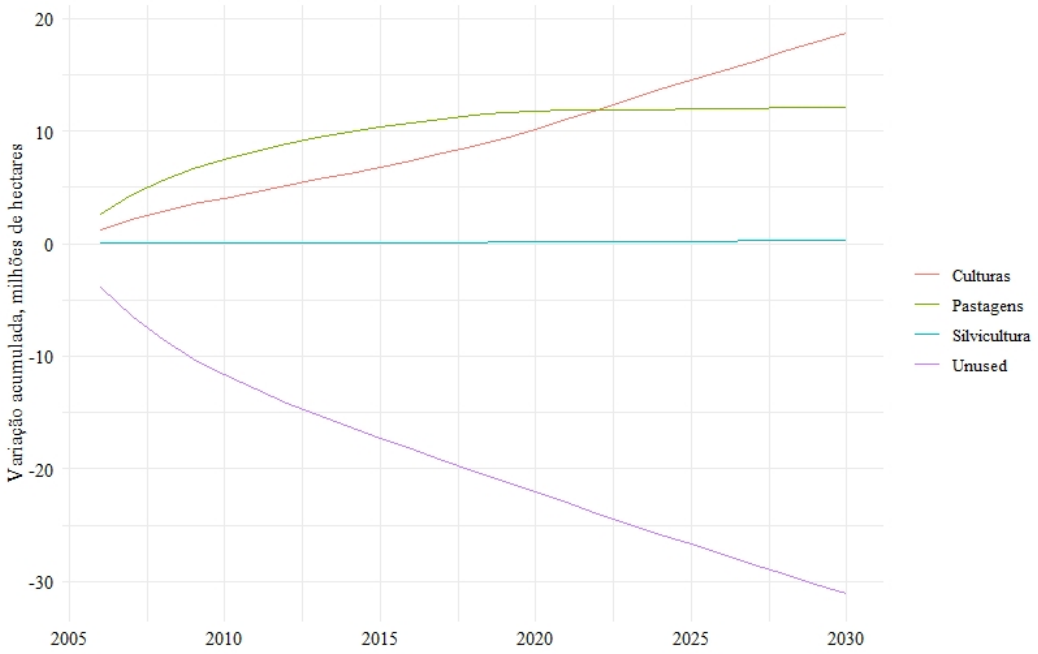

Figura 5.1. Evolução do uso da terra no cenário base, variação ordinária acumulada em 2030, milhões de hectares.

Fonte: Resultados da pesquisa e Instituto Escolhas (2017).

Em termos percentuais, a evolução do uso da terra entre seus diversos tipos no cenário de linha de base resultou em uma redução nas áreas de vegetação nativa (desmatamento) de aproximadamente 5,0% (31 Mha) em variação percentual acumulada no ano de 2030. Conforme destacado por Ferreira Filho e Horridge (2012), este resultado representa um deslocamento na fronteira de possibilidade de produção da economia através do crescimento da disponibilidade de um fator primário de produção, no caso a terra. Dessa forma, o aumento do desmatamento resultou em crescimento da oferta de terras para produção agropecuária, com expansão de 29,7% (18,7 Mha), 7,6% (12,1 Mha) e 6,3% (0,3 Mha) das áreas de culturas, pastagens e silvicultura, respectivamente.

Os impactos macroeconômicos do cenário de linha de linha de base são apresentados no gráfico da figura 5.2. De acordo com os resultados, o aumento do desmatamento para a expansão da oferta agropecuária do cenário base traz resultados positivos para a economia em termos agregados. Com destaque para a renda real das famílias, investimentos e o volume das importações, que registraram aumento acumulado em 2030 de 99,4%, 103,8% e 270,6%, respectivamente. No modelo a taxa de câmbio real negativa representa uma valorização da moeda nacional, isso ocorre devido ao aquecimento da demanda interna em conjunto com o aumento das exportações que pressionam a oferta doméstica. Para resolver o equilíbrio este efeito é ajustado pelo modelo através da redução dos preços de produtos importados, valorizando a taxa de câmbio nominal, apreciação que também reflete na taxa de câmbio real. Essa melhoria nos termos de troca também permite o crescimento mais rápido dos gastos reais das famílias e dos investimentos em relação ao PIB real.

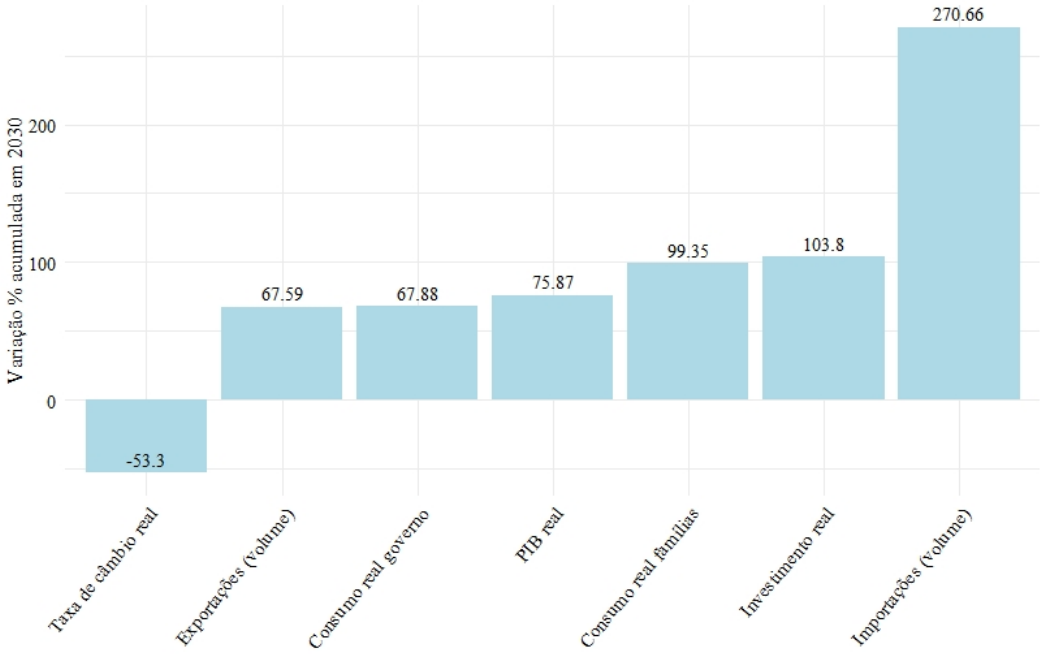

Figura 5.2. Variáveis macroeconômicas no cenário base. Variação % acumulada em 2030.

Fonte: Resultados da pesquisa e Instituto Escolhas (2017).

O crescimento tendencial assumido neste cenário também traz benefícios para o setor agropecuário, estes resultados são apresentados no gráfico da figura 5.3. De acordo com os resultados, o aumento da produção agropecuária resultou em crescimento da produção e renda do setor. No modelo a renda agropecuária é calculada através do pagamento de seus fatores primários: capital, trabalho e terra. Considerando que o setor primário faz grande uso da fator terra, nota-se que a elevação da renda ocorre principalmente em função do aumento dos rendimentos deste fator. O crescimento expressivo dos valores de rendimento da terra ocorre devido à duas premissas principais assumidas no cenário de linha de base. A primeira refere-se aos cenários de desmatamento do Instituto Escolhas (2017), que apesar do crescimento constante da taxa de desmatamento no período de projeção, considera-se que o desmatamento ocorrerá somente sobre vegetações que podem ser legalmente desmatadas. Dessa forma, ainda que em um cenário de expansão do desflorestamento, este ocorre de maneira controlada em comparação com os dias atuais. A segunda premissa refere-se ao crescimento da atividade econômica projetada em 2,5%, que impulsiona o crescimento da produção agropecuária, pressionando assim os preços da terra e aumentando os rendimentos desse recurso.

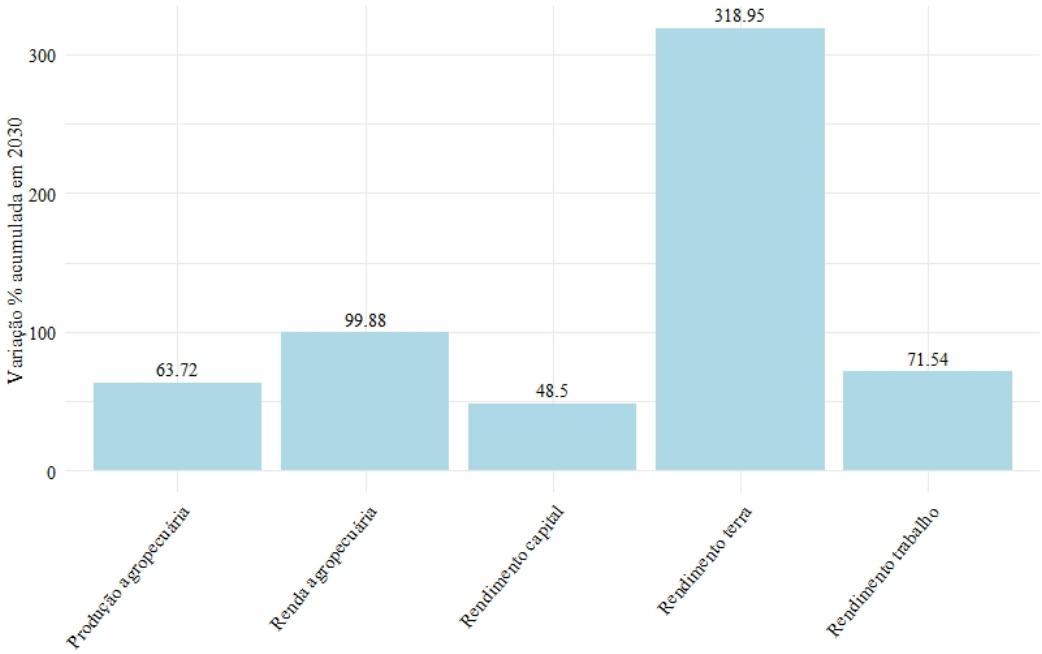

Figura 5.3. Renda e produção agropecuária no cenário base. Variação % acumulada em 2030.

Fonte: Resultados da pesquisa.

Os resultados apresentados nesta seção mostraram um cenário expansivo do desmatamento para aumento da produção agropecuária, seguindo a tendência dos dados observados de desmatamento e uso da terra nos últimos anos. A próxima seção mostrará o resultado da política de controle do desmatamento para o setor agropecuário, do ponto de vista de produção e renda.

5.2 Resultados da política aplicada

Conforme já mencionado, a preservação do meio ambiente e controle do desmatamento, principalmente no Brasil, tem sido pauta de agendas e eventos importantes não somente para o comércio internacional mas também para a sustentabilidade da produção no longo prazo. Dessa forma, para verificar os efeitos que políticas de controle do desmatamento podem causar para o setor agropecuário, serão comparados cenários alternativos de redução do desflorestamento em relação ao cenário expansivo de linha de base. Vale a pena destacar os ganhos de vegetação nativa imposta pelas simulações de política, que consequentemente resultou em redução de terras para as atividades agropecuárias, efeito guiado pela matriz de transição. Estes resultados podem ser visualizados na tabela 5.1. De acordo com os resultados, os cenários ZERO e CEN2 retratam os maiores impactos de preservação de florestas, com 9,98 Mha e 5,31 Mha, respectivamente. Este ganho refere-se à soma da redução das áreas para culturas, pastagens e silvicultura. Os dados da tabela 5.1 representam o resultado líquido da matriz de transição no último período da análise (2030), com as maiores perdas de terras relacionadas às áreas de pastagens, que no ano base do modelo são as atividades que possuem as maiores extensões de terra.

Tabela 5.1. Uso da terra. Variação ordinária em relação à linha de base, em milhões de hectares acumulados em 2030.

Categorias	ZERO	CEN2	CEN3
Culturas	-3,14	-1,62	-0,24
Pastagens	-6,78	-3,66	-0,72
Silvicultura	-0,06	-0,03	-0,01
Florestas nativas	9,98	5,31	0,96

Fonte: Resultados da pesquisa e Instituto Escolhas (2017).

Este ganho em termos ambientais é mais intenso nos estados que estão localizados na região denominada arco do desmatamento[1]. Como pode ser visto no gráfico da figura 5.4, os estados que tiveram as maiores variações de desmatamento evitado, ou de ganho de florestas, são as regiões onde ocorre as taxas de desmatamento mais elevadas, portanto ao restringir o desmatamento a política simulada afeta mais estas regiões. Isso significa que, de acordo com a metodologia da matriz de transição, são os estados que mais perderam áreas destinadas à produção agropecuária. Vale a pena destacar que, apesar da região do Matopiba apresentar o maior ganho florestal no cenário onde não ocorre desmatamento (ZERO), esta é uma área grande, composta por quatro estados (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia) dos quais dois (Maranhão e Tocantins) fazem parte da Amazônia Legal e do arco do desmatamento. A segunda e terceira região com as maiores variações de desmatamento evitado neste cenário são os estados do Pará e Mato Grosso, que atualmente são os estados com as maiores taxas de desmatamento do país (INPE, 2020b).

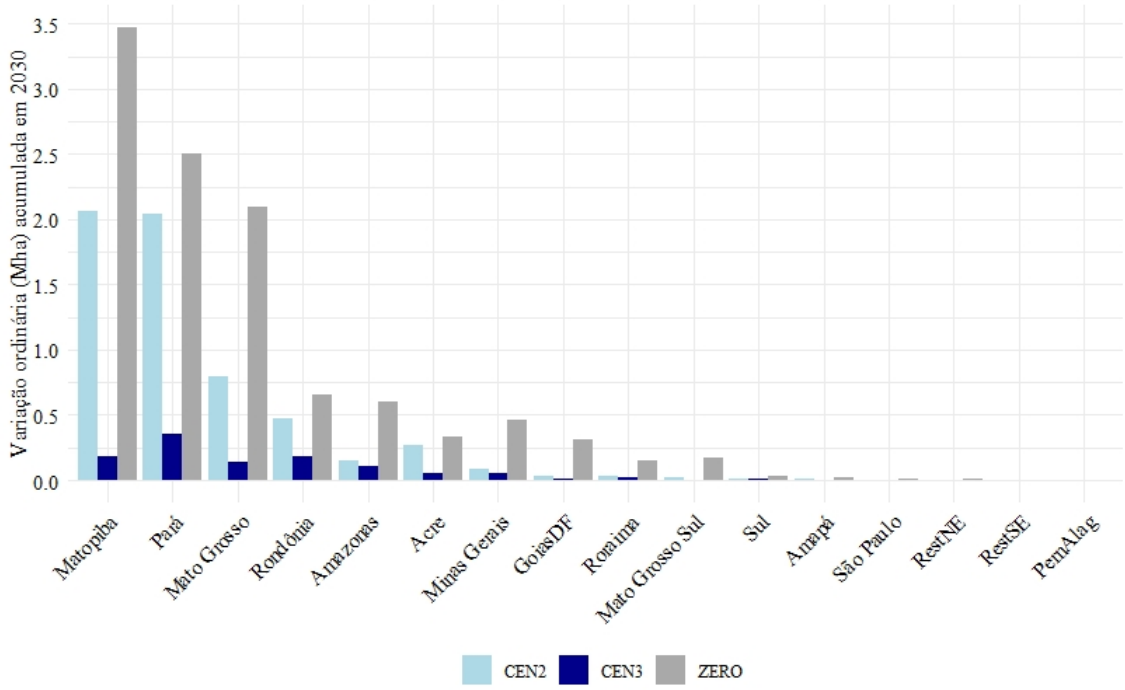

Figura 5.4. Desmatamento evitado por região. Variação ordinária em relação à linha de base, em milhões de hectares acumulados em 2030.

Fonte: Resultados da pesquisa e Instituto Escolhas (2017).

No que diz respeito aos efeitos econômicos, a tabela 5.2 apresenta os efeitos da aplicação da política nas principais variáveis macroeconômicas, assim será possível visualizar os impactos da política de controle do

[1] Região onde são registradas as maiores taxas de desmatamento da Amazônia, cerca de 75% do desmatamento da região concentra-se nesta área. É um território que vai do oeste do Maranhão e sul do Pará em direção a oeste, passando por Mato Grosso, Rondônia e Acre, aparentando o desenho de um arco se visto de cima (INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL (ISA), 2019).

desmatamento para a economia de forma geral. Os resultados da tabela mostraram que nos três cenários de política ocorreu uma queda modesta na maioria das variáveis, com exceção do volume de exportações que apresentou variação positiva nos três cenários. A maior redução no PIB real brasileiro é registrada no cenário de desmatamento zero, com decrescimento de 0,11%, o que pode ser considerado uma perda modesta levando em conta o ganho ambiental desta política. A variação positiva no volume de exportações reflete a necessidade da exportação de parte da produção doméstica que não foi absorvida internamente devido à retração da atividade causada pelos choques de política. No modelo, a elevação do volume de exportações é impulsionada pela desvalorização da taxa de câmbio real (que também ocorre em termos nominais, assim como uma piora nos termos de troca externos) ao deixar os produtos nacionais mais competitivos no mercado internacional. Em relação aos salários reais, ocorre um decrescimento nos três cenários, sendo que no cenário de desmatamento zero ocorre uma retração maior, de -0,29% acumulado em 2030, efeito derivado da queda da atividade econômica.

Tabela 5.2. Variáveis macroeconômicas. Variação percentual em relação à linha de base, acumulada em 2030.

Cenários	Consumo real famílias	Investimento real	Consumo real governo	Exportações (volume)	Importações (volume)	PIB real	Salário real
ZERO	-0,13	-0,60	-0,13	0,45	-0,35	-0,11	-0,29
CEN2	-0,06	-0,31	-0,06	0,24	-0,17	-0,05	-0,14
CEN3	-0,01	-0,05	-0,01	0,04	-0,03	-0,01	-0,02

Fonte: Resultados da pesquisa e Instituto Escolhas (2017).

A tabela 5.3 apresenta os resultados das simulações nos três cenários de redução do desmatamento para as variáveis relacionadas à renda do setor agropecuário. Como é possível visualizar, a redução do desmatamento resultou em ganhos na renda do setor, com maior intensidade no cenário de desmatamento zero, registrando desvio de 1,13% acumulado em 2030 em relação ao cenário de linha de base. Isso quer dizer que, em termos nacionais, a redução do desmatamento melhora a renda do setor no longo prazo. Para entender este efeito, a tabela 5.3 mostra o impacto nos seus componentes, ou seja, nos retornos do capital, trabalho e terra. Os rendimentos do capital e trabalho apresentam queda conforme esperado, considerando a redução da produção e atividade econômica causadas pelos choques de restrição do fator terra. Já os retornos da terra aumentaram, isso ocorre pois seu preço se eleva devido à redução de sua oferta, compensando a queda nos demais fatores de produção. Ou seja, ao restringir o desmatamento a terra se torna um recurso mais escasso em relação ao cenário de linha de base, no caso do cenário zero, por exemplo, os retornos ao fator terra foram valorizados em 5,98%.

Em relação ao uso dos fatores de produção agropecuários, os resultados da tabela 5.3 mostram que o desvio em relação ao cenário de linha de base variou negativamente, no acumulado em 2030, nos três cenários simulados, com queda mais expressiva no cenário de desmatamento zero (-1,09%). Tal retração é impulsionada principalmente pela queda da produção do setor em virtude da redução de terras destinadas à agropecuária, que reduz a demanda por fatores primários de produção, principalmente o capital e trabalho. Apesar disso, com a redução da oferta de produtos agropecuários ocorre uma pressão nos preços dos alimentos, compensando em partes a queda na produção e elevando assim o valor da produção do setor, que corresponde à renda ou faturamento (renda dentro da porteira) obtida pelo setor (última coluna da tabela 5.3).

Tabela 5.3. Renda e valor da produção agropecuária. Variação percentual em relação à linha de base, acumulada em 2030.

Cenários	Renda	Rendimento capital	Rendimento trabalho	Rendimento terra	Fatores primários compostos	Valor da produção
ZERO	1,13	-0,85	-0,98	5,98	-1,09	0,35
CEN2	0,61	-0,42	-0,45	3,09	-0,50	0,21
CEN3	0,12	-0,05	-0,06	0,54	-0,07	0,05

Fonte: Resultados da pesquisa.

Vale a pena ressaltar o fato de que os resultados do modelo se aplicam na situação oposta, ou seja, se a política aplicada fosse de expansão do desmatamento, com menos desmatamento no cenário base, os resultados seriam de queda na renda agropecuária agregada ao invés de elevação. Neste sentido, destaca-se os resultados semelhantes encontrados no estudo de Barbier (2019) que, apesar de não relacionar diretamente a renda do setor agropecuário, a pesquisa obteve um resultado importante ao concluir que o aumento da produção agropecuária, por meio da expansão de terras, em países em desenvolvimento não implica em desenvolvimento econômico no longo prazo. O estudo indicou que a expansão contínua de terras para uso da agropecuária poderá resultar em níveis mais baixos de renda real per capita no longo prazo, refletindo o efeito de expansão e contração no desenvolvimento da economia, motivado principalmente pela oscilação dos preços das *commodities*.

Outro resultado interessante refere-se aos impactos na agroindústria[2], que é responsável pelo beneficiamento, transformação e processamento dos produtos agropecuários, apresentados na tabela 5.4. De acordo com os resultados, o impacto da redução da oferta de produtos agropecuários devido às medidas de controle do desmatamento afetaram negativamente tanto a renda quanto a demanda pelos fatores de produção da agroindústria. No caso da renda, tal efeito ocorre principalmente devido ao setor não estar diretamente vinculado aos retornos da terra que, conforme citado anteriormente, acaba compensando a queda na renda dos demais fatores de produção. Já o uso dos fatores primários e o valor da produção do setor, embora em menor intensidade, seguem a mesma direção dos impactos no setor agropecuário. O mesmo efeito da elevação dos preços dos alimentos é visto no valor da produção da agroindústria, que causou uma compensação da queda de oferta dos produtos agropecuários e elevou a receita do setor.

Tabela 5.4. Renda e valor da produção da agroindústria. Variação percentual em relação à linha de base, acumulada em 2030.

Cenários	Renda	Fatores primários compostos	Valor produção
ZERO	-0,31	-0,12	0,21
CEN2	-0,16	-0,07	0,10
CEN3	-0,03	-0,01	0,02

Fonte: Resultados da pesquisa.

O resultados apresentados até aqui abordaram a política de redução do desmatamento em termos agregados, tanto para a economia de forma geral quanto para a renda do setor agropecuário. Contudo, a análise dos resultados regionais traz uma visão essencial na investigação dos efeitos do desmatamento na renda do setor, considerando que os impactos ocasionados pela aplicação da política se distribuem de forma diferente entre as diversas regiões do país. A tabela 5.5 apresenta este efeito para a produção, a média de preços da produção e o valor da

[2]No modelo os setores que fazem parte da agroindústria são: Carnes, óleos, laticínios, arroz beneficiado, açúcar refinado, álcool, papel e celulose, café processado e outros produtos alimentícios.

produção agropecuária, desagregados por região, nos três cenários. Ao analisar o desvio em relação ao cenário base (acumulado em 2030) da produção agropecuária nacional, verificou-se uma queda moderada nos três cenários, -1,1% (ZERO), -0,51% (CEN2) e -0,08% (CEN3), contudo os resultados regionais revelaram a desigualdade dos efeitos entre os estados brasileiros.

Os dados da tabela 5.5 mostram que a aplicação das políticas de controle do desmatamento nos cenários mais restritos (ZERO e CEN2) causou um decrescimento maior na produção dos estados do Amazonas (-10,9%), Acre (-6,6%), Roraima (-6,0%), Pará (-4,8%) e Matopiba (-4,1%) no cenário ZERO e Acre (-5,5%), Pará (-4,1%), Rondônia (-2,7%), Matopiba (-2,4%) e Amazonas (-1,7%) no cenário CEN2, em relação ao cenário de linha de base. As mudanças na intensidade do impacto na produção de um cenário para outro nos estados de fronteira ocorrem, entre outros fatores como produtividade, conforme as características de aptidão agrícola em cada cenário. O estado do Amazonas, por exemplo, registrou queda de produção de 10,9% no cenário ZERO e de -1,7% no cenário CEN2, indicando que esta região possui uma área extensa com elevada aptidão agrícola quando comparado com as demais regiões, já que no cenário menos restrito (CEN2) a produção recuou consideravelmente menos do que no cenário de desmatamento zero.

Vale a pena destacar que, apesar da redução da área agropecuária ser maior, em termos absolutos, nas regiões do Pará, Matopiba e Mato Grosso, se comparado com o estado do Acre, a redução na produção no Acre é maior em termos relativos. Isso ocorre devido ao estado do Acre ter uma área muito menor de produção agropecuária (1,1 Mha) do que nas regiões do Pará (11,9 Mha), Matopiba (38,2 Mha) e Mato Grosso (30,9 Mha) no ano base do modelo. Essa retração da produção tem impacto direto na receita obtida pelo produtor, ou seja, no valor da produção. Conforme apresentado na tabela 5.5, apesar da queda expressiva de produção em alguns estados, a elevação dos preços amenizou o recuo no valor de produção agropecuária nestas regiões. Ainda assim, no cenário mais restrito, o estado do Amazonas apresentou a maior retração no valor de produção (-8,2%) em relação às demais regiões, devido à queda expressiva de -10,9% em sua produção. É interessante notar que, no cenário ZERO o valor da produção agropecuária cresce nos estados que não fazem parte da Amazônia Legal[3]. Da mesma forma, com exceção do Amapá, todos os estados pertencentes à Amazônia Legal têm o valor de suas produções reduzidos.

Tabela 5.5. Produção, preços e valor da produção agropecuária por região. Variação percentual em relação à linha de base, acumulada em 2030.

Região	ZERO			CEN2			CEN3		
	Produção	Preços	Valor Produção	Produção	Preços	Valor Produção	Produção	Preços	Valor Produção
Rondônia	-3,48	3,19	-0,34	-2,73	1,81	-0,93	-0,93	0,43	-0,47
Acre	-6,64	3,25	-3,18	-5,52	1,98	-3,34	-0,86	0,37	-0,45
Amazonas	-10,92	3,60	-8,20	-1,73	1,14	-0,76	-1,58	0,46	-1,22
Roraima	-5,97	3,05	-3,36	-0,90	1,14	0,13	-0,85	0,36	-0,54
Pará	-4,77	2,76	-2,01	-4,10	1,74	-2,31	-0,59	0,30	-0,29
Amapá	-0,44	1,28	0,88	0,16	0,65	0,82	-0,19	0,16	-0,02
Matopiba	-4,10	2,60	-1,81	-2,38	1,41	-1,12	-0,14	0,17	0,02
PernAlag	0,63	1,28	1,87	0,32	0,67	0,96	0,04	0,11	0,14
RestNE	0,27	1,27	1,55	0,14	0,68	0,82	0,01	0,12	0,13
Minas Gerais	-0,29	1,50	1,06	0,23	0,65	0,82	-0,01	0,13	0,11
São Paulo	0,46	0,83	1,24	0,23	0,38	0,58	0,03	0,07	0,09
RestSE	0,57	1,13	1,64	0,28	0,57	0,81	0,03	0,11	0,12
Sul	0,25	0,84	1,04	0,12	0,42	0,51	0,01	0,08	0,08
Mato Grosso Sul	0,26	2,05	2,07	0,44	1,01	1,33	0,07	0,19	0,23
Mato Grosso	-2,97	2,23	-0,98	-0,83	0,96	0,03	-0,15	0,16	0,00
GoiasDF	-0,48	1,52	0,93	0,15	0,66	0,75	0,02	0,12	0,12
Brasil	**-1,10**	**1,55**	**0,35**	**-0,51**	**0,77**	**0,21**	**-0,08**	**0,13**	**0,05**

Fonte: Resultados da pesquisa.

Também é válido observar os efeitos no valor de produção do agroindústria, a tabela 5.6 mostra os efeitos neste setor para produção, preços e valor da produção. Os resultados mostram uma queda mais suave

[3]Região que corresponde à área de atuação da Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM), delimitada no Art. 2o da Lei Complementar n. 124, de 03.01.2007. A região é composta por diversos municípios dos estados: Rondônia, Acre, Amazonas, Roraima, Pará, Amapá, Tocantins, Mato Grosso e Maranhão (IBGE, 2019).

das três variáveis, em comparação com o setor agropecuário. Diferentemente da agropecuária, além dos estados de fronteira ocorre retração na produção, embora seja pequena, também nas demais regiões. Isso acontece pois a agroindústria não está diretamente ligada ao uso da terra, dessa forma a redução da oferta de produtos agropecuários se distribuiu entre as diversas regiões independentemente da produtividade ou uso do solo. Com retração menor da produção, os preços se elevaram de forma moderada e o valor da produção apresentou crescimento na maioria dos estados, inclusive nas regiões de fronteira, com alguns estados registrando leve decrescimento, em comparação com o setor da agropecuária.

Tabela 5.6. Produção, preços e valor da produção da agroindústria por região. Variação percentual em relação à linha de base, acumulada em 2030.

Região	ZERO			CEN2			CEN3		
	Produção	Preços	Valor Produção	Produção	Preços	Valor Produção	Produção	Preços	Valor Produção
Rondônia	-0,85	0,49	-0,36	-0,43	0,20	-0,23	-0,06	0,01	-0,04
Acre	0,64	0,23	0,87	0,81	-0,01	0,81	0,12	0,00	0,12
Amazonas	-0,28	0,38	0,10	-0,07	0,17	0,10	-0,04	0,04	0,00
Roraima	-0,09	0,27	0,20	0,00	0,14	0,14	0,00	0,02	0,02
Pará	-0,22	0,34	0,12	-0,05	0,14	0,09	0,00	0,03	0,02
Amapá	-0,85	0,52	-0,33	-0,45	0,24	-0,22	-0,10	0,05	-0,06
Matopiba	-0,65	0,49	-0,16	-0,35	0,25	-0,10	-0,04	0,04	0,00
PernAlag	-0,36	0,52	0,16	-0,20	0,27	0,06	-0,02	0,04	0,02
RestNE	-0,29	0,49	0,20	-0,17	0,25	0,09	-0,02	0,04	0,02
Minas Gerais	-0,14	0,46	0,32	-0,03	0,23	0,19	-0,01	0,04	0,03
São Paulo	-0,21	0,40	0,19	-0,11	0,20	0,09	-0,02	0,04	0,01
RestSE	-0,05	0,32	0,27	-0,03	0,16	0,13	-0,01	0,03	0,02
Sul	-0,25	0,45	0,20	-0,14	0,23	0,09	-0,03	0,04	0,01
Mato Grosso Sul	-0,36	0,56	0,20	-0,24	0,29	0,05	-0,04	0,05	0,01
Mato Grosso	0,48	0,39	0,87	0,07	0,23	0,31	0,01	0,04	0,05
GoiasDF	-0,32	0,52	0,20	-0,13	0,25	0,12	-0,02	0,05	0,02
Brasil	**-0,22**	**0,43**	**0,21**	**-0,12**	**0,22**	**0,10**	**-0,02**	**0,04**	**0,02**

Fonte: Resultados da pesquisa.

As variáveis de produção, preços e o próprio valor da produção afetam a renda tanto do setor agropecuário quanto da agroindústria. As variações na produção agropecuária, que também afetam os preços do setor, impactam diretamente os valores da produção, levando os produtores a demandarem mais ou menos os fatores de produção capital e trabalho. Caso a receita obtida com a produção registre impactos menos significativos, os rendimentos destes fatores serão menos afetados. Este efeito, em conjunto com a valorização da terra em cada região determinarão as variações na renda do setor. Os resultados da política aplicada na renda agropecuária, desagregados por região, podem ser visualizados na tabela 5.7 para o setor da agropecuária e 5.8 para a agroindústria.

Em relação à renda da agropecuária, apesar dos resultados agregados revelarem elevação na renda do setor, alguns estados localizados na fronteira agrícola registraram variação negativa nesta variável, estes resultados são apresentados na tabela 5.7. De forma geral, os estados do Acre, Amazonas, Roraima, Pará e a região do Matopiba foram os locais mais afetados pela aplicação da política. Estes estados de fronteira, que foram os mais afetados pela redução da oferta agropecuária e consequentemente do valor da produção, também foram as regiões onde o setor primário perdeu mais renda. Dessa forma, a redução na demanda pelos fatores de produção capital e trabalho contrai os rendimentos obtidos destes fatores e impacta a renda do setor. Nestas regiões, ainda que os rendimentos da terra tenham se elevado não aumentou o suficiente para compensar a queda dos demais fatores. Vale destacar que, da mesma forma como foi visto nos resultados relacionados aos valores de produção, os estados que fazem parte da Amazônia Legal, principalmente aqueles que estão no situados no arco do desmatamento, registraram queda na renda do setor, enquanto nas demais regiões a renda foi elevada.

Tabela 5.7. Renda da agropecuária por região. Variação percentual em relação à linha de base, acumulada em 2030.

Região	ZERO	CEN2	CEN3
Rondônia	1,18	-0,04	-0,28
Acre	-2,76	-3,16	-0,38
Amazonas	-5,2	0,24	-0,73
Roraima	-1,69	0,85	-0,32
Pará	-0,88	-1,62	-0,15
Amapá	1,44	1,16	0,05
Matopiba	-0,46	-0,36	0,12
PernAlag	2,45	1,28	0,20
RestNE	2,10	1,13	0,18
Minas Gerais	1,89	1,19	0,19
São Paulo	1,58	0,75	0,12
RestSE	2,17	1,09	0,18
Sul	1,39	0,70	0,12
Mato Grosso Sul	3,18	1,89	0,34
Mato Grosso	0,19	0,56	0,08
GoiasDF	1,67	1,09	0,19
Brasil	**1,13**	**0,61**	**0,12**

Fonte: Resultados da pesquisa.

Já a renda da agroindústria, conforme resultados da tabela 5.8, sofreu impactos menores se comparado com a renda do setor agropecuário, mesmo nas regiões de fronteira. Por exemplo, no cenário ZERO da agropecuária os estados do Acre e Amazonas tiveram queda na renda nominal de -2,76% e -5,20%, respectivamente. Já no setor da agroindústria os mesmos estados registraram queda nominal de renda de -0,38% para o Acre e -0,20% para o Amazonas. De forma geral, os estados mais afetados foram: Rondônia (-1,57%), Matopiba (-1,11%), Amapá (-0,98%) e Pará (-0,72%). Com exceção do Pará, estes são os estados com as maiores reduções nos valores da produção, apresentados na tabela 5.6.

Tabela 5.8. Renda da agroindústria por região. Variação percentual em relação à linha de base, acumulada em 2030.

Região	ZERO	CEN2	CEN3
Rondônia	-1,57	-0,98	-0,28
Acre	-0,38	-0,05	-0,03
Amazonas	-0,20	-0,03	-0,03
Roraima	-0,43	-0,08	-0,06
Pará	-0,72	-0,50	-0,07
Amapá	-0,98	-0,59	-0,14
Matopiba	-1,11	-0,64	-0,06
PernAlag	-0,53	-0,31	-0,04
RestNE	-0,47	-0,28	-0,04
Minas Gerais	-0,25	-0,06	-0,02
São Paulo	-0,24	-0,12	-0,03
RestSE	0,06	0,02	0,00
Sul	-0,31	-0,17	-0,04
Mato Grosso Sul	-0,56	-0,29	-0,06
Mato Grosso	-0,38	-0,18	-0,05
GoiasDF	-0,59	-0,24	-0,04
Brasil	**-0,31**	**-0,16**	**-0,03**

Fonte: Resultados da pesquisa.

Os gráficos da figura 5.5 apresentam uma visão geral das variações na renda e do uso dos fatores primários do setor agropecuário nos três cenários. Conforme mencionado anteriormente, a demanda pelos fatores primários é definida no modelo em função da quantidade produzida e do progresso tecnológico tanto da produção quanto dos fatores primários. Dessa forma, ao reduzir a produção agropecuária a aplicação da política também reduz a demanda pelos fatores primários por parte dos produtores, impactando na renda do setor. Pode-se notar pelos gráficos que, em geral, as variações na renda acompanham as variações da demanda nos fatores de produção, a diferença entre essas variáveis está relacionada à intensidade da valorização da terra em cada região. No cenário ZERO, as maiores variações negativas da demanda dos fatores do setor pertencem aos estados do Amazonas (-10,31%) e do Acre (-8,12%), já no cenário CEN2 os estados do Acre (-6,53%) e Pará (-4,36%) lideram tais perdas. No cenário menos restrito (CEN3), onde é permitido desmatar independente da aptidão do solo para a agricultura, os impactos são menores e os estados do Amazonas (-1,45%) e Acre (-1,04%) voltam a registrar as maiores quedas de demanda dos fatores. Estes resultados indicam o quanto estes estados são dependentes da expansão de terras para poderem elevar suas produções e renda.

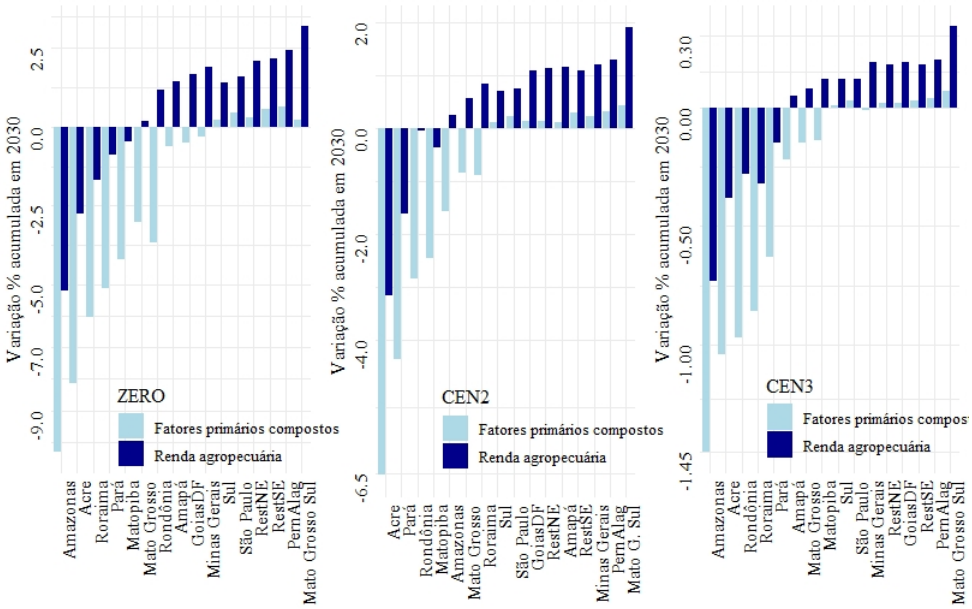

Figura 5.5. Renda e fatores primários compostos da agropecuária. Variação percentual em relação à linha de base, acumulada em 2030.

Fonte: Resultados da pesquisa.

Conforme dito anteriormente, nas regiões de fronteira a valorização do preço da terra não foi suficiente para cobrir as perdas de rendimento nos fatores de capital e trabalho. Esse efeito pode ser visualizado regionalmente na tabela 5.9, que mostra os resultados da política aplicada para o cenário CEN2 na renda agropecuária, desagregados por região e fator de produção[4]. De acordo com os resultados da tabela, apesar deste cenário não ser o mais restrito em termos de desmatamento, algumas regiões localizadas na fronteira agrícola tiveram retração na renda do setor devido à uma queda mais expressiva nos rendimentos de capital e trabalho. Dessa forma, é possível verificar a razão pela qual alguns estados perderam renda enquanto outros ganharam, ou seja, nos estados mais dependentes do uso da terra a valorização deste fator não foi suficiente para compensar a retração nos demais fatores de produção, que tiveram sua demanda mais afetada pela queda da produção.

[4]Nas tabelas A.4 e A.5, no apêndice, estes resultados são apresentados para os demais cenários.

Tabela 5.9. Renda agropecuária e seus componentes por região (CEN2). Variação percentual em relação à linha de base, acumulada em 2030.

Região	Renda	Rendimento capital	Rendimento trabalho	Rendimento terra
Acre	-3,16	-7,79	-6,58	8,76
Pará	-1,62	-4,83	-4,08	8,73
Matopiba	-0,36	-2,53	-2,22	4,64
Rondônia	-0,04	-2,25	-2,63	7,66
Amazonas	0,24	-2,11	-1,30	9,47
Mato Grosso	0,56	-1,30	-0,79	4,16
Sul	0,70	0,42	0,13	1,62
São Paulo	0,75	0,54	0,21	1,92
Roraima	0,84	-1,22	-0,70	4,87
RestSE	1,09	0,67	0,29	3,06
GoiasDF	1,09	0,53	0,17	2,51
RestNE	1,13	0,59	-0,03	3,14
Amapá	1,16	0,37	0,00	4,30
Minas Gerais	1,19	0,64	0,37	3,57
PernAlag	1,28	0,80	0,28	3,43
Mato Grosso Sul	1,89	1,12	0,75	4,08
Brasil	**0,61**	**-0,42**	**-0,45**	**3,09**

Fonte: Resultados da pesquisa.

Neste sentido, apesar da redução do desmatamento não ter impactos econômicos relevantes no agregado, inclusive aumentando a renda do setor em termos nacionais, quando os resultados são desagregados por região é possível visualizar as perdas de renda nos estados de fronteira, principalmente nas regiões onde a agricultura familiar é predominante. Esta é, portanto, uma situação a ser considerada na aplicação de políticas restritivas ao desmatamento, já que estes efeitos têm um impacto distributivo na sociedade. Este assunto será abordado na próxima seção, que apresenta os efeitos na renda e seus impactos distributivos para a economia de forma geral.

5.3 Renda e efeitos distributivos

Os resultados da seção anterior indicaram que, apesar dos resultados agregados mostrarem elevação da renda da agropecuária, devido à valorização do preço da terra, em termos regionais essas variações foram negativas e mais relevantes para os estados de fronteira. Nestas regiões, a queda na renda ocorreu devido à variação negativa nos retornos do capital e trabalho maior do que o desvio positivo nos rendimentos da terra. Diante disso, esta seção apresenta um cenário mais abrangente dos impactos sociais e distributivos causados por medidas de controle do desmatamento no Brasil. O impacto social da implantação destas políticas pode ser visualizado na tabela 5.10, que apresenta os resultados dos salários reais em termos nacionais e para o setor agropecuário. No modelo, o trabalho é classificado em dez tipos diferentes, dividido conforme faixa salarial, a categoria OCC1, por exemplo, possui a menor qualificação (menor faixa salarial) e a categoria OCC10 é considerada a de maior qualificação (maior faixa salarial). De acordo com os dados da tabela, ocorre retração nos salários reais em todas as faixas salariais, nos três cenários simulados, com queda mais expressiva para os trabalhadores com menores salários.

É interessante notar que, na tabela 5.10 o setor agropecuário é responsável por cerca da metade da variação negativa nos salários reais das categorias OCC1 e OCC2 (que são os menores salários da economia), em todos os cenários. Essa redução dos salários reais reflete na renda das famílias e corrobora com os resultados apresentados na seção anterior, onde foi possível verificar que a redução na renda agropecuária ocorreu principalmente nos estados de fronteira, ou seja, regiões onde a atividade agropecuária foi mais afetada pela restrição no uso da terra para expansão da produção e que utilizam em grande medida força de trabalho menos qualificada se comparado com o restante da economia. No ano base do modelo, por exemplo, somente o setor da agropecuária possui 47,7% de salários na categoria OCC1 e 44,1% na categoria OCC2.

Tabela 5.10. Salários reais em nível nacional e da agropecuária. Variação percentual em relação à linha de base, acumulada em 2030.

Ocupação	Nacional*			Agropecuária**		
	ZERO	CEN2	CEN3	ZERO	CEN2	CEN3
OCC1	-1,00	-0,58	-0,06	-0,52	-0,30	-0,03
OCC2	-0,76	-0,44	-0,06	-0,30	-0,18	-0,03
OCC3	-0,44	-0,23	-0,03	-0,07	-0,03	-0,01
OCC4	-0,34	-0,17	-0,03	-0,05	-0,03	0,00
OCC5	-0,34	-0,18	-0,03	-0,06	-0,03	-0,01
OCC6	-0,39	-0,20	-0,03	-0,07	-0,04	-0,01
OCC7	-0,30	-0,14	-0,02	-0,16	-0,02	-0,01
OCC8	-0,29	-0,14	-0,02	-0,15	-0,05	-0,01
OCC9	-0,24	-0,11	-0,02	-0,07	-0,02	0,00
OCC10	-0,23	-0,11	-0,02	-0,07	-0,03	0,00

Fonte: *Resultados da pesquisa e Instituto Escolhas (2017).
**Resultados da pesquisa.

Em termos agregados, a redução nos salários tende a afetar a composição da renda familiar de forma distinta, já que os trabalhadores que recebem salários menores geralmente compõem famílias com menor renda. Em outras palavras, a queda mais forte nos salários causada pela redução do desmatamento tende a afetar de forma mais intensa a renda das famílias mais pobres. Outro ponto importante para a implantação de políticas de controle do desmatamento, refere-se ao fato de que regiões de fronteira possuem um número elevado de estabelecimentos de agricultura familiar[5]. Ou seja, estas famílias, que dependem basicamente da renda advinda da agricultura e com mão de obra menos qualificada, são mais afetadas com a aplicação das políticas. A intensidade do impacto na renda destas famílias dependerá, entre outros fatores, do grau de dependência que a atividade agropecuária destes estabelecimentos tem do uso da terra.

O impacto da redução do desmatamento na renda de pequenos agricultores ou de agricultura familiar é uma consequência social importante a se considerar na aplicação de políticas de controle do desmatamento. Neste sentido, vale a pena destacar alguns estudos da literatura realizados na Amazônia brasileira, conforme descrito na revisão de literatura desta pesquisa, que sugeriram maneiras de manter a renda destas famílias ou até mesmo aumentá-la em conjunto com a redução do desmatamento. Como o trabalho de Perz (2001), que concluiu que a aplicação de métodos de conservação florestal na Amazônia brasileira podem gerar efeitos positivos na renda agropecuária local, assim como na valorização da propriedade rural. Outro estudo que chega à uma conclusão semelhante refere-se à pesquisa de Vosti *et al.* (2003), que analisou a relação entre o desmatamento privado causado por pequenos produtores agrícolas na região da Amazônia brasileira e suas rendas. O estudo sugere a transferência do direito de propriedade para realização da atividade de silvicultura, com isso seria possível reduzir o desmatamento e aumentar a renda destes produtores. Dessa forma, apesar da possível perda de renda destas famílias devido à implantação de políticas de redução do desmatamento, existem indicações na literatura que sugerem que a renda local e a preservação das florestas não seguem, necessariamente, direções opostas.

Outra consequência das políticas simuladas e que afeta o poder de compra das famílias é o preço dos alimentos, principalmente no caso das famílias mais pobres, que possuem uma participação maior dos gastos com alimentos em suas rendas. O gráfico da figura 5.6 mostra o efeito das simulações nos preços ao consumidor por faixa de renda. No modelo as famílias são classificadas por faixa de renda, sendo a categoria POF1 a faixa de menor renda e POF10 a de maior renda. O gráfico mostra que conforme a faixa de renda se eleva o impacto nos preços é menor, inclusive nas faixas de renda mais altas ocorre uma redução dos preços gerais. Ou seja, as famílias mais

[5]De acordo com o último censo agropecuário divulgado pelo IBGE (2017), os estabelecimentos classificados como agricultura familiar em relação ao total de estabelecimentos concentra-se na região norte e nordeste e em alguns pontos da região sul do país. Destacam-se os estados com participação elevada da agricultura familiar no valor total da produção dos estabelecimentos: Amazonas (67,4%), Amapá (57,1%) e Acre (52,4%).

pobres (POF1) sofreram mais com o aumento dos preços do que as famílias mais ricas. Este efeito é explicado pela composição da cesta de consumo das famílias, por exemplo, no ano base do modelo as famílias na faixa de renda POF1 detêm cerca de 40% do total de consumo de bens para alimentação, incluindo produtos do setor agropecuário e agroindústria, já as famílias com maior poder aquisitivo, na categoria POF10, gastam cerca de 9% de sua renda com alimentos. No entanto, a utilização de serviços para as famílias da POF1 é de 23%, já para as famílias da categoria POF10 os serviços representam cerca de 61% do consumo total.

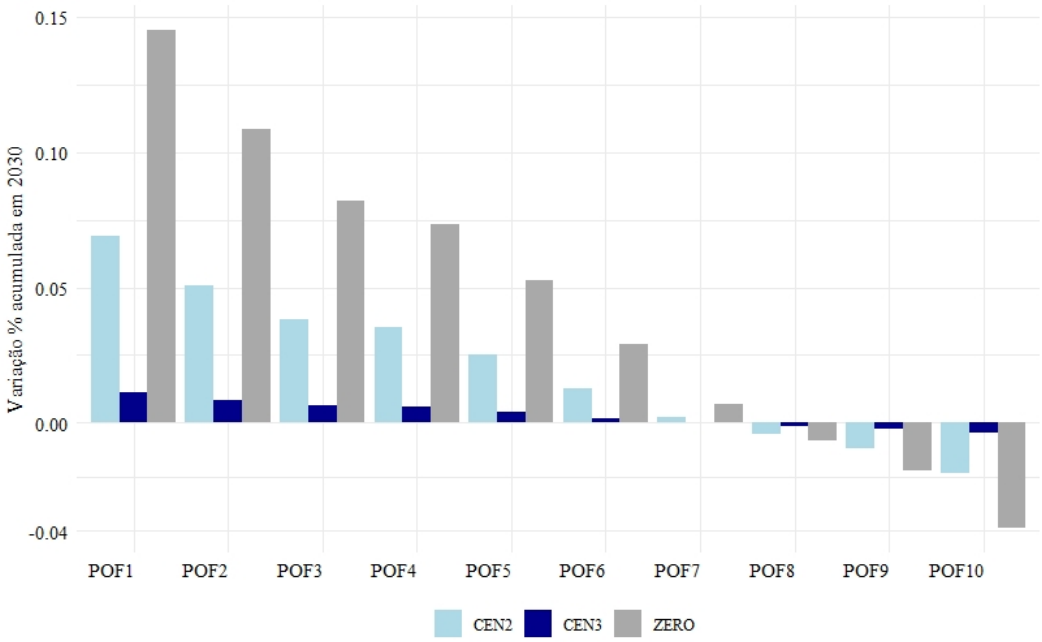

Figura 5.6. Preços ao consumidor por faixa de renda. Variação percentual em relação à linha de base, acumulada em 2030.

Fonte: Resultados da pesquisa e Instituto Escolhas (2017).

Neste sentido, o gráfico da figura 5.7 apresenta o efeito das simulações nos preços ao consumidor por produto nos três cenários. Estes resultados confirmam que as variações positivas mais significativas ocorrem nos preços dos alimentos, com impacto maior conforme o cenário alternativo se torna mais intenso no controle do desmatamento. Vale destacar que a indústria de suínos e avicultura são setores da agropecuária que não utilizam a terra como fator de produção, dessa forma a redução do desmatamento não afeta diretamente sua produção. Pode-se notar que esta e outras indústrias que não utilizam a terra, como o setor de serviços, apresentaram retração em seus preços. Ou seja, como os preços dos alimentos são mais impactados pela aplicação da política (figura 5.7), as famílias com renda menor são mais impactadas com o aumento dos preços (figura 5.6) devido à composição da cesta de consumo das famílias de acordo com cada faixa de renda.

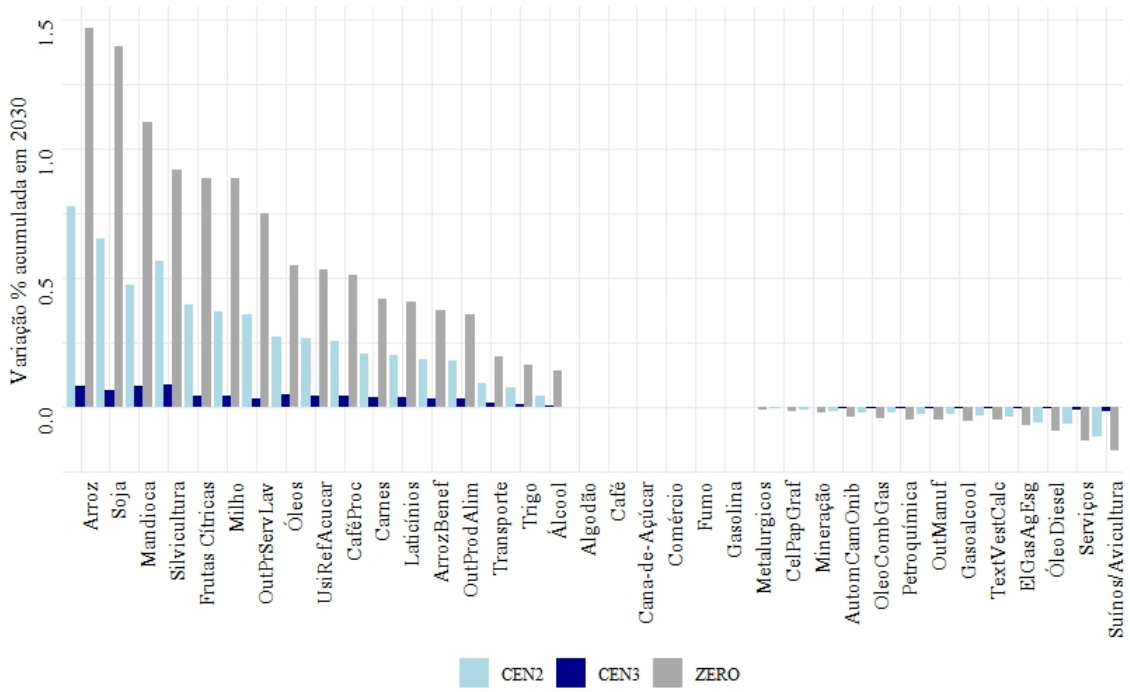

Figura 5.7. Preços ao consumidor por produto. Variação percentual em relação à linha de base, acumulada em 2030.

Fonte: Resultados da pesquisa.

A redução da renda e do poder de compra das famílias mais pobres impacta diretamente seu consumo. No cenário ZERO, por exemplo, a variação em relação ao cenário base, acumulada em 2030, do consumo real das famílias foi de -0,64% para as famílias na faixa de renda POF1, sendo que o impacto negativo se reduz conforme as categorias se aproximam das famílias com renda mais elevada, na categoria POF10 a variação foi de 0,03%. O cenário CEN2 apresenta resultados semelhantes para o consumo real das famílias, com retração de -0,36% para as famílias na categoria POF1 e 0,03% para as famílias na faixa de renda POF10[6].

Os resultados apresentados nessa seção indicam que políticas de redução do desmatamento podem afetar negativamente a renda e o poder de compra das famílias mais pobres da sociedade, principalmente nos estados de fronteira onde o setor agropecuário emprega muitos trabalhadores com menor qualificação. Estes efeitos distributivos, tanto para a economia de forma geral como para o setor agropecuário, são fatores a serem levados em consideração na aplicação de políticas de controle do desmatamento, de forma a mitigar os efeitos negativos para os estados, setores e famílias mais afetados por ela. Uma forma de amenizar tais impactos na economia e sociedade é através do aumento da produtividade de forma à manter a expansão da produção sem aumentar o desmatamento. Este tópico é tratado na próxima seção com a apresentação de um cenário adicional de política que considera o avanço do progresso tecnológico no modelo.

5.4 Progresso tecnológico

Esta seção apresenta uma simulação adicional que calcula o ganho de produtividade (Produtividade Total dos Fatores - PTF) necessário para manter o mesmo nível de produção do cenário base, mas considerando a implantação das políticas de controle do desmatamento. Dessa forma, será possível verificar o aumento de produtividade necessário para minimizar as perdas da renda agropecuária nos estados mais dependentes do uso da terra para expansão da produção. A tabela 5.11 apresenta para os três cenários as variações percentuais, acumuladas em 2030, da mudança tecnológica necessária para manter a produção das *commodities* agropecuárias nos níveis do cenário de

[6] A tabela completa com estes dados para os três cenários é apresentada na tabela A.6, no apêndice.

linha de base. A estratégia de simulação utilizada aqui foi uma alteração no fechamento do modelo, transformando a variável que representa a mudança tecnológica de todos os insumos[7] em variável endógena, com a variável de produção total fixa no nível base. Dessa forma, a variável relacionada à mudança tecnológica é determinada pela resolução do sistema de equações.

Vale destacar que o sinal negativo dos resultados da tabela 5.11 refere-se à forma como o modelo trata a variável de produtividade. O progresso tecnológico é redutor do uso de insumos (intermediários e fatores primários), dessa forma as variações negativas nos resultados mostram que, para que a produção seja mantida no nível base, o uso de insumos devem ser reduzidos em determinado percentual. Isto significa que a variação no progresso tecnológico resulta em igual variação de produtividade para todos os insumos. Por exemplo, no cenário ZERO a produção da mandioca necessita de um crescimento de produtividade de 3,36% no período de projeção (2019-2030) para que os mesmos níveis de produção do cenário de linha de base sejam mantidos após as aplicações das políticas de controle do desmatamento. Os resultados mostram que os maiores aumentos de produtividade seriam requeridos nas culturas de mandioca, na pecuária de corte, no algodão e na soja, que são produtos com relevância na produção agropecuária de regiões localizadas na fronteira agrícola brasileira.

Os resultados relacionados à produtividade da pecuária corroboram outros estudos na literatura, como o trabalho de Cattaneo (2005) que, ao investigar como os efeitos da produtividade ocorrida na Amazônia brasileira impactaram o desmatamento e a renda agropecuária concluiu que a atividade pecuária exerce um papel importante na determinação do desmatamento e na renda do setor. Um dos resultados do estudo indicou que a melhoria da produtividade da atividade pecuária dentro da Amazônia aumenta a renda do setor, mas eleva as taxas de desmatamento devido à procura de elevação dos lucros pelos produtores, enquanto fora desta região o oposto é verdadeiro. O estudo do Instituto Escolhas (2017) também apontou ser necessário um aumento de produtividade da atividade pecuária relativamente modesto para que os níveis de produção sejam mantidos após a redução do desmatamento.

Tabela 5.11. Progresso tecnológico (PTF) necessário para manter os níveis de produção do cenário base. Variação percentual em relação à linha de base, acumulada em 2030.

Produto	ZERO	CEN2	CEN3
Arroz	-1,45	-0,69	-0,10
Milho	-0,79	-0,30	-0,06
Trigo	-0,02	-0,01	-0,01
Cana-de-açúcar	-0,35	-0,10	-0,02
Soja	-1,71	-0,68	-0,08
OutPrServLav	-1,04	-0,51	-0,04
Mandioca	-3,36	-1,37	-0,30
Fumo	-0,09	-0,04	-0,03
Algodão	-2,28	-0,94	-0,10
Frutas Cítricas	-0,72	-0,34	-0,04
Café	-0,58	-0,16	-0,02
Silvicultura	-0,61	-0,38	-0,06
Pecuária - corte	-2,33	-1,32	-0,24
Pecuária - leite	-1,12	-0,56	-0,12

Fonte: Resultados da pesquisa.

Neste sentido, a tabela 5.12 apresenta a variação necessária no progresso tecnológico para manter os mesmos níveis de produção agropecuária do cenário de linha de base, por região. Os resultados mostraram que as maiores variações ocorreram nos estados do Amazonas, Roraima, Acre, Pará, Matopiba e Rondônia. Vale ressaltar que, as diferenças de produtividade entre as regiões refletem a intensidade da queda de produção causada pelo choque de política (tabela 5.5). Dessa forma, os estados de fronteira, que foram as regiões mais afetadas pela redução de área para agropecuária, sofreram uma retração relativamente maior em suas produções e portanto apresentaram

[7] Esta variável representa os termos de uma mudança tecnológica Hicks neutra, ou seja, afeta igualmente todos os insumos (HORRIDGE, 2006).

necessidade de um crescimento maior de produtividade para manter a quantidade produzida projetada no cenário de linha de base.

De forma geral, os estados do Amazonas, Roraima, Acre, Pará, Matopiba e Mato Grosso são as regiões que demandaram um aumento de produtividade maior para manter o mesmo nível de produção anterior à aplicação das políticas. Em termos nacionais, os resultados mostraram que o cenário mais restrito (ZERO) demanda um crescimento maior de produtividade no período de projeção para a produção agropecuária, com variação acumulada de 1,41%. Os cenários CEN2 e CEN3 exigem um crescimento de produtividade de 0,67% e 0,03%, respectivamente. Estes resultados podem ser considerados factíveis nos dias atuais, um estudo realizado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2020) projetou crescimento de 16,7% da área plantada de grãos em 2029/2030, contudo é esperado um crescimento de produção de 27% no período, indicando que o crescimento ocorrerá devido aos ganhos de produtividade. O estudo apontou um crescimento de médio de 2,93% ao ano da Produtividade Total dos Fatores (PTF) até 2030, com redução da área de pastagens.

Tabela 5.12. Progresso tecnológico (PTF) necessário para manter os níveis de produção agropecuária do cenário base. Variação percentual em relação à linha de base, acumulada em 2030.

Região	ZERO	CEN2	CEN3
Rondonia	-3,42	-2,34	-0,75
Acre	-6,82	-5,01	-0,79
Amazonas	-10,62	-2,13	-1,34
Roraima	-7,32	-1,63	-1,19
Pará	-4,59	-3,51	-0,52
Amapá	-1,68	-0,52	-0,33
Matopiba	-3,94	-2,22	-0,17
PernAlag	-0,09	-0,04	-0,01
RestNE	-0,14	-0,06	-0,02
Minas Gerais	-0,89	-0,17	-0,06
São Paulo	-0,12	-0,05	-0,01
RestSE	-0,13	-0,07	-0,03
Sul	-0,13	-0,06	-0,03
Mato G. Sul	-0,60	-0,09	-0,02
Mato Grosso	-2,46	-0,80	-0,13
GoiasDF	-0,87	-0,10	-0,02
Brasil	**-1,41**	**-0,67**	**-0,03**

Fonte: Resultados da pesquisa.

A tabela 5.13 mostra quais seriam os efeitos na renda agropecuária para as diversas regiões do Brasil em um cenário onde ocorre a implantação de politicas de controle do desmatamento e o ganho de produtividade necessário para que a produção seja mantida de acordo com as projeções do cenário de linha de base do modelo. Em termos nacionais, a renda do setor continuou apresentando crescimento nos três cenários simulados, porém com crescimento menor se comparado com as simulações que não consideravam o progresso tecnológico[8]. Para os resultados regionais nota-se a melhora nos rendimentos do setor, que antes apresentavam variações negativas nos estados de fronteira[9]. Os dados da tabela 5.13 indicam que a implantação de políticas de controle do desmatamento em conjunto com o crescimento da produtividade causou uma inversão nos resultados regionais nos três cenários, os estados de fronteira registraram crescimento da renda e os demais estados leve decrescimento.

[8] Tabela 5.3.
[9] Tabela 5.7.

Tabela 5.13. Renda agropecuária com progresso tecnológico. Variação percentual em relação à linha de base, acumulada em 2030.

Região	ZERO	CEN2	CEN3
Rondônia	1,77	1,25	0,44
Acre	3,49	2,79	0,44
Amazonas	5,42	0,82	0,72
Roraima	1,50	0,13	0,28
Pará	2,27	1,85	0,27
Amapá	0,00	-0,15	0,08
Matopiba	1,70	0,96	0,06
PernAlag	-0,19	-0,12	-0,02
RestNE	-0,30	-0,19	-0,03
Minas Gerais	0,23	-0,06	0,01
São Paulo	-0,09	-0,07	-0,01
RestSE	-0,17	-0,11	-0,01
Sul	-0,15	-0,09	-0,01
Mato G. Sul	0,06	-0,11	-0,01
Mato Grosso	1,55	0,48	0,08
GoiasDF	0,22	-0,07	-0,01
Brasil	**0,51**	**0,21**	**0,03**

Fonte: Resultados da pesquisa.

Considerando o benefício que uma política de desmatamento zero poderia trazer para o Brasil e os impactos desiguais entre as regiões brasileiras após a implantação destas políticas, este crescimento de produtividade é essencial na discussão sobre a implantação de políticas como essas e suas consequências para o setor que poderia ser mais afetado, ou seja, da agropecuária. De forma geral, estes resultados indicam que as medidas de controle do desmatamento em conjunto com o aumento da produtividade é benéfico para a renda do setor, inclusive nas regiões que seriam mais afetadas por essas políticas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o aumento da demanda mundial por alimentos prevista para os próximos anos, a produção agropecuária brasileira ganha força e contribui para as discussões em torno do problema do desmatamento no Brasil que, em geral, preconiza que a atividade agropecuária é a maior beneficiária da devastação das florestas brasileiras, com a expansão da produção pautada pelo uso das terras desmatadas. Contudo, os resultados encontrados nesta pesquisa indicaram que a aplicação das medidas de controle do desmatamento no Brasil não prejudicariam a renda agropecuária nos três cenários de desmatamento simulados, ao contrário, em termos agregados as simulações mostraram que há um ganho moderado na renda do setor. Este resultado ocorre principalmente devido ao crescimento dos retornos originados da terra, que se torna escassa com a aplicação de tais políticas e com o aumento dos preços dos alimentos e matérias primas, que elevam o valor da produção. Além disso, os rendimentos do capital e trabalho se elevam nos estados menos dependentes do uso da terra, ou seja, aqueles que não fazem parte da região da Amazônia Legal, contribuindo para a elevação da renda agregada do setor.

Vale destacar que, os bons resultados obtidos em termos nacionais não foram observados em todas as regiões do país, os estados mais próximos à fronteira agrícola, ou seja, que dependem mais do uso da terra para expansão da produção registraram queda na renda agropecuária. Conforme ressaltado anteriormente, a aplicação das políticas de controle do desmatamento afetam a renda destas regiões, que possuem uma participação grande da agricultura familiar. Apesar destas famílias dependerem em grande medida do uso do solo para aumentar produção e renda, a implantação de métodos de conservação ambiental por pequenos produtores vem sendo apontada na literatura como uma medida eficiente de conservação de florestas em conjunto com a manutenção da renda agrícola e até de crescimento da mesma. Outro efeito desigual, em termos nacionais, refere-se à redução do consumo real das famílias mais pobres, devido ao aumento nos preços dos alimentos, e dos salários reais, como resultado da queda da atividade econômica. Estes últimos resultados também foram constatados no estudo do Instituto Escolhas (2017).

Outro resultado que vale a pena ser destacado refere-se à produtividade, que desempenha um papel importante neste contexto. Os resultados desta pesquisa indicaram que o mesmo nível de produção anterior à aplicação das políticas de controle do desmatamento pode ser mantido com um crescimento realista de produtividade nos próximos anos, inclusive nos estados que tiveram suas rendas mais prejudicadas pela redução do desflorestamento, com destaque para os resultados referente à atividade pecuária (corte e leite), que registrou um dos maiores aumentos de produtividade necessários para manter o mesmo nível de produção do cenário base. Conforme destacado anteriormente, este resultado corrobora outros estudos na literatura, que ressaltaram a importância da produtividade na atividade pecuária para a determinação do desmatamento e dos impactos econômicos que a redução deste pode causar para as regiões mais dependentes do uso da terra.

O resultado central desta pesquisa indica que a redução do desmatamento não prejudica a renda agregada do setor agropecuário. Analisando este efeito de outro ponto de vista, significa que a expansão contínua do uso da terra para aumento da produção agropecuária não traz o desenvolvimento econômico e benefícios para o setor como tem sido defendido por uma parte do setor ruralista brasileiro. Conforme discutido anteriormente, este efeito reforça um resultado importante encontrado na literatura, no qual a expansão do uso da terra para aumento da produção agropecuária pode reduzir, no longo prazo, a renda real per capita de países em desenvolvimento que possuem vastas áreas com vegetação natural.

Também vale a pena ressaltar os resultados relacionados ao setor da agroindústria. Enquanto o setor agropecuário apresentou crescimento da renda com a aplicação das políticas de controle do desmatamento, a renda da agroindústria recuou, em termos nacionais, devido à elevação dos preços de produtos agropecuários. Isso torna esse segmento da cadeia um importante ator nas discussões sobre o controle do desmatamento no Brasil, dada a sua organização e capacidade de influenciar políticas públicas. A atuação deste setor merece atenção mais detalhada, uma vez que, de acordo com os resultados da pesquisa, seria impactado de forma diferente da agricultura nos cenários de controle do desmatamento.

A antecipação destes efeitos econômicos causados pela redução do desmatamento, como os resultados

obtidos nesta pesquisa, assim como diversos outros contidos na literatura do tema, são importantes no que diz respeito à discussão e formação de políticas de redução do desmatamento no Brasil. O reconhecimento dos agentes e setores econômicos que tendem a ganhar, ou perder, com a implantação destas políticas poderá guiar medidas compensatórias para aqueles que são mais prejudicados e incentivá-los à colaborar com as políticas de redução do desflorestamento. Os resultados regionais deste trabalho refletem essa situação, com a redução da renda agropecuária nos estados mais próximos à fronteira, regiões onde o setor agropecuário possui uma participação mais elevada na atividade econômica. Em um país com elevada desigualdade social e pobreza como o Brasil, os resultados relacionados à redução do emprego e consumo das famílias mais pobres, também é uma consequência importante a ser considerada na formação de tais políticas.

Conforme visto ao longo deste estudo, a discussão do desmatamento no Brasil vai além dos interesses do setor agropecuário, é preciso considerar na formação de políticas relacionadas ao controle da devastação florestal outras questões e agentes que podem perder, de forma legal ou ilegal, com a redução ou interrupção do desflorestamento. Dessa forma, vale a pena enfatizar outras questões que podem ter papel relevante no crescimento contínuo do desmatamento no Brasil, como o processo ilegal de apropriação de terras públicas na Amazônia brasileira. Estas terras, que não possuem atribuição definida pelo governo federal ou estadual, têm sido desmatadas e registradas ilegalmente como propriedade privada, processo conhecido como "grilagem" de terras[1].

Por fim, vale destacar algumas limitações e possíveis melhorias para pesquisas futuras. O cenário externo foi mantido constante e apesar de ser um elemento importante na dinâmica do setor agropecuário, o principal objetivo deste trabalho foi verificar os impactos internos da redução do desmatamento, principalmente no que diz respeito à renda do setor. Além disso, os resultados relacionados aos rendimentos da terra, que registraram forte elevação com a redução do desmatamento, podem ser analisados com mais profundidade em estudo futuro, uma vez que esta variável tem participação importante na composição da renda agrícola. Outra sugestão de melhoria refere-se ao papel da PTF, que pode ser estudada entre os diversos setores da economia, não somente da agropecuária, em um cenário de controle do desmatamento.

[1] O estudo de Azevedo-Ramos *et al.* (2020) constatou que cerca de 50 Mha de florestas públicas permanecem sem atribuição e aproximadamente 23% dessas terras foram tomadas por "grileiros".

REFERÊNCIAS

ANGELSEN, A. Policies for reduced deforestation and their impact on agricultural production. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 46, p. 19639-19644, 2009.

ANGELSEN, A. *et al.* Environmental income and rural livelihoods: a global-comparative analysis. **World Development**, v. 64, p. S12-S28, 2014.

ARRAES, R. A. *et al.* Curva ambiental de Kuznets e desenvolvimento econômico sustentável. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 44, n. 3, p. 525-547, 2006.

AREVALO, L. A. *et al.* Metodologia para estimar o estoque de carbono em diferentes sistemas de uso da terra. **EMBRAPA**. 2002.

ASSIS, L. F. F. G.; Ferreira, K. R.; Vinhas, L.; Maurano, L.; Almeida, C.; Carvalho, A.; Rodrigues, J.; Maciel, A.; Camargo, C. **TerraBrasilis: A Spatial Data Analytics Infrastructure for Large-Scale Thematic Mapping**. ISPRS International Journal of Geo-Information. 8, 513. DOI: 10.3390/ijgi8110513. 2019.

AZEVEDO-RAMOS, C. *et al*. Lawless land in no man's land: The undesignated public forests in the Brazilian Amazon. **Land Use Policy**, v. 99, p. 104863, 2020.

BARBIER, E. B. Long run agricultural land expansion, booms and busts. **Land Use Policy**, v. 93, p. 103808, 2019.

BARBIER, E. B. Agricultural expansion, resource booms and growth in Latin America: implications for long-run economic development. **World Development**, v. 32, n. 1, p. 137-157, 2004.

BARROS, G. S. C. *et al.* Os ganhos de produção se refletiram em geração de maior renda para o agronegócio brasileiro nas últimas décadas?. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 17, n. 2, 2019.

BHATTARAI, M.; HAMMIG, M. Institutions and the environmental Kuznets curve for deforestation: a crosscountry analysis for Latin America, Africa and Asia. **World development**, v. 29, n. 6, p. 995-1010, 2001.

CABRAL, C. S. R. Impactos econômicos da limitação do desmatamento no Brasil. 2013. 132 f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da USP, Ribeirão Preto, 2013.

CAMPOS, C. P. Emissões históricas de CO_2 da mudança do uso da terra para agricultura e pastagem e a contribuição dos países para a mudança do clima: A proposta do Brasil para a convenção do clima. 2007. 165 f. Tese (Doutorado em Planejamento estratégico). Programa de Pós-Graduação de Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

CARVALHO, T. S. *et al.*. Desmatamento e a contribuição econômica da floresta na Amazônia. **Estudos Econômicos (São Paulo)**, v. 46, n. 2, p. 499-531, 2016a.

CARVALHO, T. S. *et al.* Impactos econômicos e de uso do solo de uma politica de controle de desmatamento na Amazônia Legal brasileira. **42º. Encontro nacional de economia–ANPEC**, 2016b.

CARVALHO, T. S. *et al.*. Commodities demand growth and its impacts on deforestation and CO2 emissions in the Brazilian Amazon region. *In*: **23rd Annual Conference on Global Economic Analysis (Virtual Conference)**. 2020.

CARVALHO, T. S.; ALMEIDA, E. A hipótese da curva de Kuznets ambiental global: uma perspectiva econométrico-espacial. **Estudos Econômicos (São Paulo)**, v. 40, n. 3, p. 587-615, 2010.

CARVALHO, T. S. Uso do solo e desmatamento nas regiões da Amazônia legal brasileira: condicionantes econômicos e impactos de políticas públicas. 2014. 219 f. Tese (Doutorado em Economia). Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional da Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal de Minas Gerais.

CATTANEO, A. Inter-regional innovation in Brazilian agriculture and deforestation in the Amazon: income and environment in the balance. **Environment and Development Economics**, p. 485-511, 2005.

CARAVAGGIO, N. Economic growth and the forest development path: A theoretical re-assessment of the environmental Kuznets curve for deforestation. **Forest Policy and Economics**, v. 118, p. 102259, 2020.

CELENTANO, D. *et al.* Welfare outcomes and the advance of the deforestation frontier in the Brazilian Amazon. **World Development**, v. 40, n. 4, p. 850-864, 2012.

COMEX Stat. **Exportação e Importação Geral**. 2018. Disponível em <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral>. Acesso em: 12 de abr. de 2020.

COPS. **GEMPACK General Equilibrium Modelling Software**. Disponível em: <https://www.copsmodels.com/gempack.htm>. Acesso em 10 out. de 2020.

CUARESMA, J. C. *et al.* Economic development and forest cover: evidence from satellite data. **Scientific reports**, v. 7, p. 40678, 2017.

DERVIS, K; DE MELO, J.; ROBINSON, S. General equilibrium models for development policy. **World Bank Research Publications**. Cambridge University Press. 1982.

DINIZ, T. B. **Impactos econômicos e regionais dos investimentos em geração de energia elétrica no Brasil**. 2019. 102 f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada). Programa de pós-Graduação em Economia Aplicada. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

DIXON, P. B.; RIMMER, M. T. Johansen's legacy to CGE modelling: Originator and guiding light for 50 years. **Journal of Policy Modeling**, v. 38, n. 3, p. 421-435, 2016.

DOMINGUES, E. P.; SESSA, C. B.;SIMONATO, T. C. O Ciclo das Commodities e Crescimento Regional Desigual no Brasil: **uma aplicação de Equilíbrio Geral Computável (EGC)**. *In*: **Anais do 44º Encontro Nacional de Economia**, 2016.

FAO. **World Food and Agriculture - Statistical Pocketbook 2018**. 2018a. Rome. 254 pp. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. Disponível em: <http://www.fao.org/3/CA1796EN/ca1796en.pdf>. Acesso em 05 de jun. de 2019.

FAO. **Food Price Monitoring and Analysis (FPMA)**. 2018b. International prices. Disponível em: <https://fpma.apps.fao.org/giews/food-prices/tool/public/#/dataset/international>. Acesso em 17 de jun. de 2020.

FAO. **FAO Food Price Index (FFPI)**. 2018c. Disponível em: <http://www.fao.org/worldfoodsituation/foodpricesindex/en/>. Acesso em 18 de jun. de 2020.

FAOSTAT. **Crops and livestock products: Export Quantity**. 2018. Disponível em:<http://www.fao.org/faostat/en/#data/TP>. Acesso em 12 de Abr. de 2020.

FERREIRA FILHO, J. B. S.; HORRIDGE, M. Endogenous land use and supply, and food security in Brazil. *In*: **15th Annual Conference on Global Economic Analysis**, Geneva, Switzerland. 2012.

FERREIRA FILHO, J. B. S. *et al.*. Deforestation control and agricultural supply in Brazil. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 97, n. 2, p. 589-601, 2015.

FERREIRA FILHO, J. B. S.; HORRIDGE, M. Ethanol expansion and indirect land use change in Brazil. **Land Use Policy**, v. 36, p. 595-604, 2013.

FERREIRA FILHO, J. B. S. **Introdução aos modelos de equilíbrio geral: conceitos, teoria e aplicações**. 2018. 33 p. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2018. Disponível em: <http://escolhas.org/wp-content/uploads/2018/09/Serie-Didatica-120-ESALQ.pdf>. Acesso em: 14 set. 2019.

FRANCISCO, A. X.; GURGEL, A. Costs of Reducing Deforestation In Brazil: a General Equilibrium Approach. *In*: **23rd Annual Conference on Global Economic Analysis (Virtual Conference)**. 2020.

GARRETT, R. D. *et al*. Explaining the persistence of low income and environmentally degrading land uses in the Brazilian Amazon. **Ecology and Society**, v. 22, n. 3, 2017.

GINSBURGH, V.; ROBINSON, S. Equilibrium and prices in multisector models. *In*: **Economic structure and performance**. Academic Press. p. 429-450. 1984.

GURGEL, A. C. Impactos da política americana de estímulo aos biocombustíveis sobre a produção agropecuária e o uso da terra. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 49, n. 1, p. 181-213, 2011.

HADDAD, E. A.; DOMINGUES, E. P.; PEROBELLI, F. S. Short-run Regional Effects of Alternative Strategies for Economic Integration: The Case of Brazil. *In*: **41st Congress of the European Regional Science Association**. 2001.

HARRISON, W. J.; PEARSON, K. R. Computing solutions for large general equilibrium models using GEMPACK. **Computational Economics**, v. 9, n. 2, p. 83-127, 1994.

HORRIDGE, J. M.; MADDEN, J.; WITTWER, G. The impact of the 2002-2003 drougth on Australia. **Journal of Policy Modelin**, New York, v. 27, n. 3, p. 285-308, Apr. 2005.

HORRIDGE J. M.; JERIE M.; MUSTAKINOV D.; SCHIFFMANN F. GEMPACK manual, GEMPACK Software, ISBN 978-1-921654-34-3. 2018.

HORRIDGE, M. ORANI-G: A generic single-country computable general equilibrium model. **Centre of Policy Studies and Impact Project**. Monash University, Australia, 2006. Disponível em: <https://www.copsmodels.com /ftp/gpextra/oranig06doc.pdf>. Acesso em 15 de dez. de 2020.

HORRIDGE, M. ORANIGRD: A Recursive Dynamic version of ORANIG. Fev, 2002. Disponível em: <https:// www.copsmodels.com/ftp/oranig/oranigrd.zip>. Acesso em 10 de dez. de 2020.

HORRIDGE, M. The TERM model and its database. **Centre of Policy Studies (COPS)**. General Paper No. G-219 July 2011.

HERTEL, T. W.; TSIGAS M. E. Structure of GTAP. *In*: HERTEL, T. W. **Global trade analysis: modeling and applications**. Cambridge University Press, 1997. p. 13-73. Available in: <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/7686.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2020.

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

HERTEL, T. W.; HORRIDGE, J. M.; PEARSON, K. R. Mending the family tree a reconciliation of the linearization and levels schools of AGE modelling. Economic Modelling, v. 9, n. 4, p. 385-407, 1992.

IBGE. **Contas Nacionais.**. 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-naci onais/9052-sistema-de-contas-nacionais-brasil.html?=&t=o-que-e>. Acesso em 10 de fev. de 2020.

IBGE. **Amazônia Legal**. 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15819-amazonia-legal.html?=&t=o-que-e>. Acesso em 10 de mai. de 2021.

IBGE. **Censo Agropecuário**. 2017. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/ agro_2017_resultados_definitivos.pdf>. Acesso em 15 de mai. de 2021.

IMF. **Primary Commodity Price System (PCPS)**. 2018. Disponível em: <https://data.imf.org/?sk=471DDDF8-D8A7-499A-81BA-5B332C01F8B9>. Acesso em 10 jun. de 2020.

INPE. **Observação da terra**. PRODES - Amazônia. 2020a. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/OBT/assun tos/programas/amazonia/prodes>. Acesso em 10 out. de 2020.

INPE. **TerraBrasilis**: PRODES (Desmatamento), 2020b. Disponível em: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dash board/deforestation/biomes/legal_amazon/rates>. Acesso em: 15 de jan. de 2021.

INSTITUTO ESCOLHAS. Qual o impacto do desmatamento zero no Brasil? São Paulo: Instituto Escolhas, 2017. 70 p. Disponível em:<http://escolhas.org/wp-content/uploads/2017/10/171027_Relatório-vFinalsite.pdf>. Acesso em 15 de set. de 2019.

INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL (ISA). **Novo arco do desmatamento: fronteira de destruição avança em 2019 na Amazônia**. 2019. Disponível em: <https://www.socioambiental.org/pt-br/noticias-socioambientais/novo-arco-do-desmatamento-fronteira-de-destruicao-avanca-em-2019-na-amazonia>. Acesso em 10 de mai. de 2021.

INTERNATIONAL Coffee Organization (ICO). **Historical Data on the Global Coffee Trade.** 2019. Disponível em: <https://www.ico.org/new_historical.asp>. Acesso em 21 de Mai. de 2020.

KAMANGA, P.; VEDELD, P.; SJAASTAD, E. Forest incomes and rural livelihoods in Chiradzulu District, Malawi. **Ecological Economics**, v. 68, n. 3, p. 613-624, 2009.

LOAIZA, T.; NEHREN, U.; GEROLD, G. REDD+ and incentives: An analysis of income generation in forest-dependent communities of the Yasuní Biosphere Reserve, Ecuador. **Applied Geography**, v. 62, p. 225-236, 2015.

LUNA, T. O. *et al.* Measuring forest and agricultural income in the Ecuadorian lowland rainforest frontiers: Do deforestation and conservation strategies matter?. **Forest Policy and Economics**, v. 111, p. 102034, 2020.

MAPA. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2019/20 a 2029/30**. 2020. 104 p. Disponível em: <https://www.gov.br/ agricultura/pt-br/assuntos/noticias/ao-completar-160-anos-ministerio-da-agricultura-preve-crescimento-de-27-na

-producao-de-graos-do-pais-na-proxima-decada/ProjecoesdoAgronegocio2019_20202029_2030.pdf>. Acesso em 15 de mai. de 2021.

MAPA. **Balança Comercial Brasileira e Balança Comercial do Agronegócio: 1997 a 2019**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/relacoes-internacionais/documentos/estatisticas-do-agro negocio/ SERIEHISTORICABCARESUMIDA19972019.xls>. Acesso em: 7 ago. 2020.

MATA, M. V. M. *et al*. Emissões de CO2 provenientes do uso e mudanças no uso da terra no bioma caatinga no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 01, p. 144-155, 2015.

MULLAN, K. *et al.* Converting forests to farms: the economic benefits of clearing forests in agricultural settlements in the Amazon. **Environmental and Resource Economics**, v. 71, n. 2, p. 427-455, 2017.

NARDY, V.; GURGEL, A. Impactos da liberalização do comércio de etanol entre Brasil e Estados Unidos sobre o uso da terra e emissão de CO2. **Nova Economia**, v. 23, n. 3, p. 693-726, 2013.

OECD/FAO (2019), **OECD-FAO Agricultural Outlook 2019-2028**, OECD Publishing, Paris/Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/agr_outlook-2019-en>. Acesso em 15 de jul. de 2019.

PERZ, S. G. From sustainable development to "productive conservation:" Forest conservation options and agricultural income and assets in the Brazilian Amazon. **Rural Sociology**, v. 66, n. 1, p. 93-112, 2001.

SÁ, S. A. *et al.* Dynamics of indirect land-use change: empirical evidence from Brazil. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 65, n. 3, p. 377-393, 2013.

SAATH, K. C. O.; FACHINELLO, A. L. Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 56, n. 2, p. 195-212, 2018.

SACHS, J. D.; WARNER, A. M. Natural resource abundance and economic growth. **National Bureau of Economic Research**, 1995.

SACHS, J. D.; WARNER, Andrew M. The big push, natural resource booms and growth. **Journal of development economics**, v. 59, n. 1, p. 43-76, 1999.

STABILE, M. C. C. *et al.* Solving Brazil's land use puzzle: Increasing production and slowing Amazon deforestation. **Land Use Policy**, v. 91, p. 104362, 2019.

SILBERBERG, E.; SUEN W. **The structure of Economics: A Mathematical Analysis**. McGraw-Hill Book Co. 2000.

SOUZA, G. C. P. Cenários de expansão da cana-de-açúcar e seus impactos sobre o uso da terra no Brasil: Exercícios a partir de um modelo de equilíbrio geral computável. 2017. 100 f. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada). Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada. Universidade Federal de Viçosa.

TAMBO, J. A.; MOCKSHELL, J. Differential impacts of conservation agriculture technology options on household income in Sub-Saharan Africa. **Ecological Economics**, v. 151, p. 95-105, 2018.

UNITED Nations, Department of Economic and Social Affairs, **Population Division (2019). World Population Prospects 2019: Highlights** (ST/ESA/SER.A/423). Disponível em: <https://population.un.org/wpp/Publications/ Files/WPP2019_Highlights.pdf>. Acesso em 05 de jul. de 2019.

VERIKIOS, G; WITTWER, G. Introducing dynamics to TERM. *In*: WITTWER, G. (Editor). **Economic modeling of water: the Australian CGE experience**. Dordrecht: Springer, cap. 3, p. 37-55. 2012.

VOSTI, S. A. *et al.* Rights to forest products, deforestation and smallholder income: evidence from the western Brazilian Amazon. **World Development**, v. 31, n. 11, p. 1889-1901, 2003.

WEINHOLD, D. *et al.* Boom-bust patterns in the Brazilian Amazon. **Global Environmental Change**, v. 35, p. 391-399, 2015.

WING, I. S. Computable general equilibrium models and their use in economy-wide policy analysis. **Technical Note, Joint Program on the Science and Policy of Global Change, MIT**, 2004.

WORLD Bank. **World Integrated Trade Solution (WITS)**. 2018. Disponível em: <https://wits.worldbank.org/ CountryProfile/en/Country/WLD/StartYear/2005/EndYear/2018/TradeFlow/Export/Indicator/XPRT-TRD-VL/Partner/WLD/Product/sitc-rev2-groups>. Acesso em 17 de jun de 2020.

WORLD Bank. 2019. **Global Economic Prospects, June 2019:** Heightened Tensions, Subdued Investment. Washington, DC: World Bank. doi: 10.1596/978-1-4648-1398-6. Disponível em: <https://www.worldbank.org/en/publication/global-economic-prospects>. Acesso em 07 de jul. de 2019.

APÊNDICES

Tabela A.1. Valores dos parâmetros de elasticidades do TERM-BR

Nome	Armington (ARMSIGMA)	Fatores primários (SIGMA1PRIM)
Arroz em casca	4,4	0,3
Milho em grão	4,9	0,3
Trigo e outros	5,8	0,3
Cana-de-açúcar	0	0,3
Soja em grão	4,9	0,3
Outros produtos e serviços da lavoura	3,9	0,3
Mandioca	3,9	0,3
Fumo em folha	3,9	0,3
Algodão	3,9	0,3
Frutas cítricas	3,9	0,3
Café em grão	0	0,3
Silvicultura e exploração florestal	3,9	0,3
Bovinos e outros	3, 9	0,3
Leite	0	0,3
Suínos e outros	3,9	1,0
Mineração	0,5	1,0
Carnes	3,5	1,0
Óleos	2,1	1,0
Laticínios	1,8	1,0
Arroz beneficiado	2,3	1,0
Açúcar refinado	5,9	1,0
Café processado	3,9	1,0
Outros produtos alimentícios	3,2	1,0
Têxteis, vestuário e calçados	1,5	1,0
Celulose, papel e gráfica	0,5	1,0
Gasolina pura	0,2	1,0
Gasolina e álcool	0,2	1,0
Etanol	1,2	1,0
Óleo combustível e gás	0,2	1,0
Óleo Diesel	0,2	1,0
Petroquímica	0,4	1,0
Outras manufaturas	0,8	1,0
Automóveis, caminhões e ônibus	1.4	1,0
Produtos metalúrgicos	1,1	1,0
Eletricidade, gás, água, esgoto	2,1	1,0
Comércio	2,1	1,0
Transporte	6,3	1,0
Serviços	1,1	1,0

Fonte: Elaboração Própria.

Tabela A.2. Variação média dos preços internacionais das *commodities*, 2013 à 2018

Nome	Var percentual
Arroz em casca	-4,1
Milho em grão	-7,3
Trigo e outros	-5,8
Cana-de-açúcar	-5,6
Soja em grão	-6,6
Outros produtos e serviços da lavoura	1,0
Mandioca	1,0
Fumo em folha	1,0
Algodão	0,2
Frutas cítricas	2,4
Café em grão	-1,2
Silvicultura e exploração florestal	1,0
Bovinos e outros	3,1
Leite	-3,8
Suínos e outros	3,1
Mineração	-3,9
Carnes	3,1
Óleos	-4,8
Laticínios	-3,8
Arroz beneficiado	-4,1
Açúcar refinado	-5,6
Café processado	-1,2
Outros produtos alimentícios	-1,8
Têxteis, vestuário e calçados	-1,1
Celulose, papel e gráfica	-4,8
Gasolina pura	-6,9
Gasolina e álcool	-6,9
Etanol	-6,9
Óleo combustível e gás	-6,9
Óleo Diesel	-6,9
Petroquímica	-6,9
Outras manufaturas	1,5
Automóveis, caminhões e ônibus	2,3
Produtos metalúrgicos	1,5
Eletricidade, gás, água, esgoto	1,5
Comércio	3,1
Transporte	1,5
Serviços	3,1

Fonte: Elaboração Própria.
Dados: FMI, FAO, Banco Mundial, *International Coffee Organization* (ICO).

Tabela A.3. Agregação setorial do modelo

Nome	Descrição
ArrozCasca	Arroz em casca
MilhoGrao	Milho em grão
TrigoOutCere	Trigo e outros
CanaDeAcucar	Cana-de-açúcar
SojaGrao	Soja em grão
OutPrServLav	Outros produtos e serviços da lavoura
Mandioca	Mandioca
Fumo	Fumo em folha
AlgodHerb	Algodão
FrutasCitric	Frutas cítricas
CafeGrao	Café em grão
ExplFlorSilv	Silvicultura e exploração florestal
BovOutrAnim	Bovinos e outros
LeitVacOuAni	Leite
SuinAvOvPesc	Suínos e outros
Mineracao	Mineração
Carnes	Carnes
Oleos	Óleos
Laticinios	Laticínios
ArrozBenef	Arroz beneficiado
UsiRefAcucar	Açúcar refinado
CafeProc	Café processado
OutProdAlim	Outros produtos alimentícios
TextVestCalc	Têxteis, vestuário e calçados
CelPapGraf	Celulose, papel e gráfica
Gasolina	Gasolina pura
Gasoalcool	Gasolina e álcool
Alcool	Etanol
OleoCombGas	Óleo combustível e gás
OleoDiesel	Óleo Diesel
Petroquimic	Petroquímica
OutManuf	Outras manufaturas
AutomCamOnib	Automóveis, caminhões e ônibus
Metalurgicos	Produtos metalúrgicos
ElGasAgEsg	Eletricidade, gás, água, esgoto
Comercio	Comércio
Transporte	Transporte
Servicos	Serviços

Fonte: Elaboração Própria.

Tabela A.4. Renda agropecuária e seus componentes por região (ZERO). Variação percentual em relação à linha de base, acumulada em 2030.

Região	Renda nominal	Rendimento capital	Rendimento trabalho	Rendimento terra
Amazonas	-5,20	-12,95	-8,65	19,28
Acre	-2,76	-8,79	-7,84	14,02
Roraima	-1,69	-8,15	-5,06	8,61
Pará	-0,88	-5,17	-4,59	14,05
Matopiba	-0,46	-4,25	-3,78	8,37
Mato Grosso	0,19	-2,93	-3,15	7,89
Rondônia	1,18	-2,47	-3,12	13,94
Amapá	1,44	-0,35	-0,58	7,29
GoiasDF	1,67	-0,05	-0,35	5,07
Minas Gerais	1,89	0,20	-0,03	7,90
RestNE	2,10	1,02	0,04	5,75
Sul	1,39	0,75	0,27	3,26
São Paulo	1,58	0,99	0,45	4,17
RestSE	2,17	1,24	0,58	6,16
PernAlag	2,45	1,42	0,62	6,55
Mato Grosso Sul	3,18	1,17	0,77	8,09

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tabela A.5. Renda agropecuária e seus componentes por região (CEN3). Variação percentual em relação à linha de base, acumulada em 2030.

Região	Renda nominal	Rendimento capital	Rendimento trabalho	Rendimento terra
Roraima	-0,73	-2,24	-1,21	3,32
Acre	-0,38	-1,43	-1,04	2,10
Pará	-0,32	-1,54	-0,73	1,26
Amazonas	-0,28	-1,33	-0,95	2,23
Matopiba	-0,15	-0,82	-0,57	1,78
Mato Grosso	0,05	-0,34	-0,17	0,85
PernAlag	0,08	-0,14	-0,15	0,63
Rondônia	0,12	-0,11	-0,11	0,70
GoiasDF	0,12	0,10	0,03	0,31
RestNE	0,12	0,06	0,01	0,29
Amapá	0,18	0,10	0,00	0,50
Minas Gerais	0,18	0,11	0,04	0,53
São Paulo	0,19	0,07	0,02	0,69
Mato Grosso Sul	0,19	0,10	0,02	0,43
Sul	0,20	0,14	0,05	0,53
RestSE	0,34	0,22	0,12	0,73

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tabela A.6. Consumo real das famílias por região. Variação percentual em relação à linha de base, acumulada em 2030.

Faixa de renda	ZERO	CEN2	CEN3
POF1	-0,64	-0,36	-0,04
POF2	-0,47	-0,26	-0,03
POF3	-0,30	-0,15	-0,02
POF4	-0,25	-0,13	-0,02
POF5	-0,17	-0,08	-0,01
POF6	-0,11	-0,05	-0,01
POF7	-0,09	-0,04	-0,01
POF8	-0,03	0,00	0,00
POF9	0,00	0,01	0,00
POF10	0,03	0,03	0,00

Fonte: Resultados da pesquisa e Instituto Escolhas (2017).

ANEXOS

Anexo A - Mecanismo de alocação do investimento no TERM-BR

Este anexo visa descrever as equações que determinam o investimento no modelo, as equações e notações apresentadas aqui são baseadas no trabalho de Horridge (2002). A apresentação do procedimento será dividida de acordo com os dois componentes que compõem a alocação do investimento no modelo: i) a relação positiva entre a razão investimento/capital e a taxa de retorno esperada; e ii) a conversão da taxa de retorno esperada para a taxa de retorno atual através de um mecanismo de ajuste parcial, conforme definido abaixo:

i) Investimento e taxa de retorno esperada

$$R = P_k/P_r \tag{A.1}$$

$$G = Y/K \tag{A.2}$$

$$E$$

Onde:
P_k = preço do aluguel de uma unidade de capital
P_r = preço de uma unidade de capital
Y = investimento
K = volume de capital
R = taxa de retorno bruta do capital atual
G = taxa de crescimento bruta do capital no próximo período
E = taxa de retorno bruta esperada para o próximo período

A hipótese assumida de que a taxa de crescimento do estoque de capital está positivamente relacionada com as taxas de retorno esperadas, pode ser expressa da seguinte forma:

$$G = F(E) \tag{A.3}$$

Em que $F(E) > 0$. Dessa forma, tanto G quanto R, e por extensão E, devem ser > 0. No caso de R isso é garantido por outras equações do modelo, o capital sempre retornará um aluguel positivo.

Outra hipótese considerada é a de que cada indústria tem uma taxa de retorno natural ou de longo prazo, chamada no modelo de R_{normal}. Quando a taxa de retorno esperada (E) é igual a taxa de longo prazo (R_{normal}), então $G = G_{trend}$, em que G_{trend} é a taxa de crescimento natural ou secular do capital. Isso quer dizer que:

$$G_{trend} = F(R_{normal}) \tag{A.4}$$

Atribuindo uma forma funcional do tipo logística para a função $F(\cdot)$ tem-se:

$$G = \frac{Q\, G_{trend}\, M^{\alpha}}{(Q - 1 + M^{\alpha})} \tag{A.5}$$

Onde:

$$M = \frac{E}{R_{normal}} \tag{A.6}$$

Dessa forma:
Se $M = 1$ então $G = G_{trend}$.
Se $M > G$ então $G = QG_{trend} = G_{max}$, em que geralmente $Q = 4$.

Se $M = 0$ então $G = 0$.

Assim, tem-se a conversão da taxa de retorno esperada para a taxa de retorno atual.

ii) Ajuste parcial das taxas de retorno esperadas às taxas de retorno atuais

É assumido pelo modelo que as taxas de retorno esperadas no final do período, chamada de E_1, são uma média da taxa esperada inicial, E_0, e a taxa de retorno atual no final do período, R_1. Essa hipótese implica na teoria dos investidores conservadores e míopes, pois só consideram as taxas de retorno passadas e atuais afetam suas decisões para composição da taxa de retorno esperada para o próximo período. Dessa forma, tem-se que:

$$E_1 = (1-a)E_0 + aR_1 \tag{A.7}$$

$$E_0 + \Delta E = (1-a)E_0 + a(R_0 + \Delta R)$$

$$\Delta E = a(R_0 - E_0 + \Delta R) \tag{A.8}$$

Com $0 < a < 1$.
Também é conveniente expressar ΔR em termos de m, considerando $M = \frac{E}{R_{normal}}$:

$$m + r_{normal} = e = 100\frac{\Delta E}{E} \tag{A.9}$$

$$\Delta E = 0.01E(m + r_{normal}) \tag{A.10}$$

Anexo B - Mecanismo regional de ajuste do mercado de trabalho no TERM-BR

As equações e texto do dinamismo no mercado de trabalho apresentado neste anexo está baseado em Verikios e Wittwer (2012). O ajuste dos salários reais ao nível de emprego segue conforme as fórmulas abaixo:

$$\left(\frac{W_t^r}{Wf_t^r} - 1\right) = \left(\frac{W_{t-1}^r}{Wf_{t-1}^r} - 1\right) + \alpha\left(\frac{EMP_t^r}{EMPf_t^r}\right) - \left(\frac{LS_t^r}{LSf_t^r}\right) \tag{B.11}$$

Em que:
W_t^r = salário real na região r no período t.
EMP_t^r = demanda por trabalho na região r no período t.
LS_t^r = oferta por trabalho na região r no período t. α = parâmetro > 0.
f = subscrito para representar a variável em sua trajetória de equilíbrio, no texto original chamada de *forecast*.

De acordo com os autores, a interpretação da equação B.11 pode ser exemplificada por um choque de política que enfraquece o mercado de trabalho na região r e no período t em relação a sua previsão, ou sua trajetória de equilíbrio, os salários reais, W_t^r, irão se reduzir gradualmente em relação ao previsto, Wf_t^r. Dessa forma, haverá uma diferença entre a oferta (LS_t^r) e demanda (EMP_t^r) no mercado de trabalho em relação aos seus níveis de equilíbrio, LSf_t^r e $EMPf_t^r$, respectivamente. Conforme os anos avançam essa diferença entre oferta e demanda retornaria para o equilíbrio através do declínio nos salários reais. A velocidade na qual esses ajustes no mercado de trabalho é guiada pelo parâmetro positivo α.

A oferta de trabalho no nível regional é dada por:

$$\frac{LS_t^r}{LSf_t^r} = \frac{(W_t^r)^\gamma}{\sum_q (W_t^q)^\gamma S_t^q} \Big/ \frac{(Wf_t^r)^\gamma}{\sum_q (Wf_t^q)^\gamma Sf_t^q} \tag{B.12}$$

Em que:
S_t^q = participação da região q no emprego nacional no período t.
γ = parâmetro > 0.

Dessa forma, a equação B.12 mostra que a variação da oferta regional de trabalho em relação a sua trajetória de equilíbrio depende do desvio dos salários reais em relação à sua previsão. A combinação das equações B.11 e B.12 fará inicialmente o ajuste no mercado de trabalho na região r no período t através da conciliando desemprego adicional com salários reais mais baixos.

Anexo C - Desmatamento observado e projetado por cenário no TERM-BR

Os dados apresentados neste anexo referem-se aos dados de desmatamento criados e consolidados pelo estudo do Instituto Escolhas (2017) e que também foram utilizados como base de dados para construção dos cenários desta pesquisa.

Tabela C7. Cenários de desmatamento para o bioma Amazônia

Estados	Dominialidade	Desmatamento médio anual (2011-2015)	Desmatamento acumulado entre 2016 e 2030			
			Linha de Base	CEN2	CEN3	DZERO
AC	Privado	19.269	289.039	74.290	289.039	0
	Público	8.601	129.014	81.709	81.709	0
AM	Privado	32.380	485.705	485.705	485.705	0
	Público	17.640	264.606	167.584	167.584	0
AP	Privado	721	10.818	10.818	10.818	0
	Público	869	13.031	8.253	8.253	0
MA	Privado	22.424	164.691	2.401	164.691	0
	Público	5.881	88.220	55.872	55.872	0
MT	Privado	91.965	1.379.474	1.150.747	1.379.474	0
	Público	17.350	260.245	164.822	164.822	0
PA	Privado	151.602	2.274.034	595.478	2.274.034	0
	Público	56.725	850.870	538.884	538.884	0
RO	Privado	52.442	434.276	140.449	434.276	0
	Público	31.412	471.176	298.411	298.411	0
RR	Privado	9.045	135.677	135.677	135.677	0
	Público	3.943	59.144	37.458	37.458	0
TO	Privado	4.237	49.344	4.159	49.344	0
	Público	938	14.076	8.915	8.915	0
Desmatamento total projetado pela média		**527.444**	**7.373.437**	**3.961.631**	**6.584.964**	**0**

Fonte: Instituto Escolhas (2017).

Tabela C8. Cenários de desmatamento para o bioma Cerrado

Estados	Dominialidade	Desmatamento médio anual (2011-2015)	Desmatamento acumulado entre 2016 e 2030			
			Linha de Base	CEN2	CEN3	DZERO
BA	Privado	61.255	918.825	918.825	918.825	0
	Público	22	330	209	209	0
DF	Privado	87	1.300	1.300	1.300	0
	Público	0	0	0	0	0
GO	Privado	26.147	392.199	392.199	392.199	0
	Público	53	794	503	503	0
MA	Privado	32.173	482.599	444.906	482.599	0
	Público	1.891	28.365	17.965	17.965	0
MG	Privado	30.869	463.029	463.029	463.029	0
	Público	120	1.805	1.143	1.143	0
MS	Privado	14.290	214.351	214.351	214.351	0
	Público	21	308	195	195	0
MT	Privado	63.791	956.859	641.717	956.859	0
	Público	1.930	28.949	18.334	18.334	0
PI	Privado	63.332	949.975	315.714	949. 975	0
	Público	1.880	28.195	17.857	17.857	0
PR	Privado	273	33	2	33	0
	Público	0	0	0	0	0
SP	Privado	1.085	16.273	14.635	16.273	0
	Público	0	0	0	0	0
TO	Privado	99.100	1.486.495	506.308	1.486.495	0
	Público	3.547	53.204	33.696	33.696	0
Desmatamento total projetado pela média		**401.863**	**6.023.885**	**4.002.886**	**5.971.837**	**0**

Fonte: Instituto Escolhas (2017).

Tabela C9. Cenários de desmatamento para o bioma Mata Atlântica

Estados	Dominialidade	Desmatamento médio anual (2011-2015)	Desmatamento acumulado entre 2016 e 2030			
			Linha de Base	CEN2	CEN3	DZERO
AL	Privado	27	398	252	252	0
BA	Privado	4.529	67.942	43.030	43.030	0
CE	Privado	269	4.042	2.560	2.560	0
ES	Privado	115	1.725	1.093	1.093	0
GO	Privado	35	532	337	337	0
MG	Privado	7.728	115.925	73.419	73.419	0
MS	Privado	369	5.538	3.508	3.508	0
PB	Privado	19	283	179	179	0
PE	Privado	71	1.064	674	674	0
PR	Privado	1.685	25.279	16.010	16.010	0
RJ	Privado	245	3.676	2.328	2.328	0
RN	Privado	33	489	309	309	0
RS	Privado	108	1.623	1.028	1.028	0
SC	Privado	669	10.037	6.357	6.357	0
SE	Privado	181	2.720	1.723	1.723	0
SP	Privado	138	2.073	1.313	1.313	0
PI	Privado	3.606	54.090	34.257	34.257	0
Desmatamento total projetado pela média		**19.829**	**297.436**	**188.376**	**188.376**	**0**

Fonte: Instituto Escolhas (2017).