

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

**Impactos socioeconômicos e ambientais da recuperação de pastagens
degradadas no Brasil**

Giovani William Gianetti

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Economia Aplicada

Piracicaba
2023

Giovani William Gianetti
Ciências Econômicas

Impactos socioeconômicos e ambientais da recuperação de pastagens degradadas no
Brasil

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

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Economia Aplicada

Piracicaba
2023

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

Gianetti, Giovani William

Impactos socioeconômicos e ambientais da recuperação de pastagens degradadas no Brasil / Giovani William Gianetti. - - Piracicaba, 2023.

104 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Agricultura de baixa emissão de carbono 2. Gases de efeito estufa 3. Acordo de Paris 4. Carbono orgânico no solo 5. Equilíbrio geral computável
I. Título

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida. Agradeço minha família: à minha esposa Alessandra, que me faltam palavras para agradecer e descrever sua importância na minha vida. Minha mãe Cláudia e meu irmão Eric, pelo apoio incondicional. Ao meu pai Renato (em memória), que sempre estará presente em meu coração. Aos meus sogros Alexandre e Simone, e toda família Artuso que sempre me acolheram como parte da família.

Agradeço ao meu orientador Joaquim Bento de Souza Ferreira Filho por todos os ensinamentos, oportunidades e incentivo na realização deste trabalho, e na minha formação pessoal e profissional. Da mesma forma gostaria de estender meus sinceros agradecimentos aos professores do Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada.

Aos meus amigos do PPGEA, Adauto, Miranda, Gustavo, João Paraná, Marcela, Taís, William, Willian, André e Seabra que compartilharam a jornada do doutorado e fizeram desta experiência mais enriquecedora e valiosa. Também agradeço aos meus amigos de Campo Grande Yuri, Isadora, Diego, Fabi, Arnaldo, Lizandra, Campeão, Thiago, Elenir, Dani, Cututi, Isabela, Pipão e Juliana, que apesar da distância não deixaram de ser parte importante desta jornada.

Ao Sergio, Rodrigo, Alberto e Simone agradeço todo o Grupo de Políticas Públicas pelo incentivo e apoio no meu desenvolvimento profissional. Para toda a equipe de Geo, José Lucas, Paulo André, Arthur, Ana, Pedro e Pietro por suas valiosas contribuições.

À Luciane agradeço as conversas e almoços compartilhados, e em seu nome agradeço ao corpo técnico da Esalq e da USP. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior agradeço pelo apoio financeiro na realização desta pesquisa.

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	9
1. INTRODUÇÃO	11
1.1. Objetivos	14
2. REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1. Emissões de GEE no Brasil	17
2.1.1. Emissões da agropecuária	19
2.1.2. Emissões do uso da terra, mudança de uso da terra e florestas (LULUCF)	19
2.2. Impactos das mudanças climáticas no Brasil	20
2.3. Avaliações de impacto de políticas ambientais no Brasil	22
2.3.1. Avaliações de impacto do Plano ABC e da NDC	23
2.4. Intensificação da produção pecuária	27
2.4.1. Manejo de pastagens e as emissões de GEE	29
3. METODOLOGIA	35
3.1. O modelo de equilíbrio geral computável TERM-BR	35
3.2. Calibração do modelo	37
3.2.1. Procedimentos e base de dados para representação da economia brasileira em 2015	37
3.2.2. Módulo de emissões de GEE	45
3.2.2.1. Atividades produtivas	45
3.2.3. Módulo de uso da terra, mudança do uso da terra e florestas	48
3.3. Estratégia de simulação	50
3.3.1. Linha de base	51
3.3.1.1. Indicadores macroeconômicos	51
3.3.1.2. Uso da terra e mudança do uso da terra	52
3.3.2. Simulações de política	53
3.3.2.1. Área de pastagens recuperadas	55
3.3.2.2. Investimentos para recuperação de pastagens	57

3.3.2.3. Produtividade diferencial das pastagens recuperadas em relação às pastagens degradadas	57
3.3.2.4. Elasticidade de produtividade-emissões de GEE na pecuária bovina	58
3.3.3. Fechamento macroeconômico	60
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
4.1. Impactos socioeconômicos	63
4.1.1. Impactos sobre a produção e área da agropecuária	65
4.1.2. Impacto sobre as exportações da agropecuária e de carnes	68
4.1.3. Impactos sobre o consumo das famílias	70
4.2. Impactos ambientais	72
5. CONCLUSÃO	79
REFERÊNCIAS	81
APÊNDICES	91

RESUMO

Impactos socioeconômicos e ambientais da recuperação de pastagens degradadas no Brasil

Políticas e ações para adaptação às mudanças climáticas estão sendo fomentadas por compromissos globais de mitigação de emissões de gases de efeito estufa (GEE), como o Acordo de Paris. Entre as práticas para agricultura de baixa emissão de carbono, a recuperação de pastagens degradadas (RPD), visa mitigar a poluição ocasionada pelo rebanho bovino, a principal fonte de emissões do setor agropecuário. A RPD tem mostrado capacidade de ampliar a produção pecuária ao mesmo tempo que permite fixação de carbono orgânico no solo (SOC) e reduz a intensidade de emissões de GEE, porém a alteração dos níveis de SOC ainda não é considerada oficialmente pelo inventário de emissões do Brasil. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar os impactos socioeconômicos e ambientais da recuperação de pastagens degradadas no Brasil no período de 2015 a 2035, utilizando dois métodos para contabilizar a variação nas emissões de carbono. Para isto foi utilizado um modelo de equilíbrio geral computável, denominado TERM-BR15, simulando três cenários para o período de 2015 a 2035. No Cenário 1 (CEN 1) foram simulados os choques de produtividade, investimento e de mitigação de GEE decorrentes da RPD. Os Cenários 2 e 3 (CEN 2 e CEN 3) são análises de sensibilidade, reduzindo os choques de produtividade na pecuária em 10% e 20%, respectivamente. Em todos os cenários as emissões de GEE foram analisadas considerando as alterações de SOC (método alternativo) ou não (método original do inventário de emissões do Brasil). A RPD apresentou crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) em 0,47% e do consumo real das famílias em 0,59%, em relação à linha de base para 2035. Dessa forma, haveria um retorno social em 2035 de R\$ 85,8 bilhões a preços de 2022, uma taxa de retorno real de R\$ 8,31 para cada real investido (16,04% ao ano). A pecuária ampliaria a produção utilizando menor área, resultando em efeito-poupa terra de 972,6 mil hectares em 2035. Apesar do desmatamento evitado, regionalmente nas fronteiras agrícolas do Acre, Amazonas e Roraima (AmazACRR), e Maranhão, Tocantins e Piauí (MaToPi) o desmatamento aumentaria. No método original das emissões de GEE haveria aumento de 9,3%, decorrente do crescimento de rebanho, das operações de RPD e do nível de atividade. Contudo, no método alternativo ocorreria mitigação de 0,16% das emissões, mostrando que a fixação de SOC pode mais que compensar o crescimento da atividade econômica. A mitigação de emissões de GEE seriam maiores em 2025 e 2030 (42,86% e 38,89%, respectivamente, em relação à 2005), mas ainda não seriam suficientes para atingir a meta da NDC para 2030.

Palavras-chave: Agricultura de baixa emissão de carbono, Gases de efeito estufa, Acordo de Paris, Carbono orgânico no solo, Equilíbrio geral computável

ABSTRACT

Socioeconomic and environmental impacts of degraded pastures recovery in Brazil

Climate change adaptation policies and actions are being promoted by global commitments to mitigate greenhouse gas (GHG) emissions, such as the Paris Agreement. Among the practices for low carbon agriculture, the degraded pastures recovery (recuperação de pastagens degradadas - RPD) aims to mitigate the pollution caused by cattle, the main source of emissions from the agricultural sector. RPD has shown capacity to increase cattle production while allowing fixation of soil organic carbon (SOC) and reducing livestock GHG emissions intensity, however the change in SOC levels is not yet officially considered by Brazil's emission inventory. In this context, this work aims to evaluate the socioeconomic and environmental impacts of degraded pastures recovery in Brazil from 2015 to 2035, using two methods to account for the change in GHG emissions. For this we used a computable, dynamic, inter-regional and bottom-up general equilibrium model, called TERM-BR15, simulating three scenarios for the period 2015 to 2035. Scenario 1 (CEN 1) simulate shocks of livestock productivity, investments and GHG mitigation from RPD. Scenarios 2 and 3 are sensitivity analyses, reducing the productivity shocks by 10% and 20%, respectively. The scenarios allow the comparison of GHG emissions results considering (alternative method) or not (original method from Brazil's emission inventory) the SOC stock change. SC1 shows 0.47% growth in Gross Domestic Product (GDP) and 0.59% in real household consumption relative to the 2035 baseline. Thus, there would be a social return of R\$85.8 billion in 2022 prices, representing R\$8.31 for every real invested (16.04% per year). Cattle ranching would expand production using less area, resulting in a land-saving effect of 972.6 thousand hectares in 2035. Regionally, despite the reduction in aggregate deforestation, in the agricultural frontier regions of "Acre, Amazonas and Roraima", and "Maranhão, Tocantins and Piauí", deforestation would increase. In the original method of GHG emissions accounting, emissions would increase by 9.3%, resulting from the RPD, herd growth, and activity level. In the alternative method 0.16% mitigation of emissions would occur, showing that SOC fixation can more than offset the economic activity growth. Brazil's mitigation levels would be higher in 2025 and 2030 (42.86% and 38.89% respectively, relative to 2005), but still not enough to meet the 2030 NDC target.

Keywords: Low carbon agriculture, Greenhouse gases, Paris Agreement, Soil organic carbon, Computable general equilibrium

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Participação dos setores nas emissões de GEE do Brasil (1990-2016)	18
Figura 2. Emissões de CO ₂ por unidade de PIB (US\$ de 2010) do G20.....	18
Figura 3. Emissões da agropecuária em 2016, por subsetor.	19
Figura 4. Emissões do setor LULUCF em 2016, por subsetor. Fontes (A) e Remoções (B).....	20
Figura 5. Intensificação produtiva e emissões de GEE na pecuária leiteira.....	29
Figura 6. Estrutura de produção do modelo TERM-BR.	35
Figura 7. Composição do consumo por classificação de família, por setor de atividade econômica e em relação ao Brasil.....	44
Figura 8. Participação do consumo das famílias em relação ao total dos setores de atividade econômica.....	44
Figura 9. Matriz de transição do uso da terra e emissões de GEE	49
Figura 10. Localização espacial das regiões do TERM-BR15	51
Figura 11. Estratégia de simulação do modelo TERM-BR15.....	55
Figura 12. Redução de preço da pecuária bovina no CEN 1. Variação % em relação à linha de base, acumulada em 2035	66
Figura 13. Produção nacional da agropecuária e indústria de carnes no CEN 3. Variação percentual em relação a linha de base, acumulada em 2023	66
Figura 14. Produção regional da pecuária e indústria de carnes no CEN 1. Variação % em relação à linha de base, acumulada em 2035	67
Figura 15. Área utilizada pela pecuária e pela vegetação nativa no CEN 1, nível regional. Variação % em relação à linha de base, acumulada em 2035.....	68
Figura 16. Exportação nacional da agropecuária e indústria de carnes no CEN 1. Variação % em relação à linha de base, acumulada em 2035	69
Figura 17. Variação (%) das emissões totais de GEE em relação à linha de base, acumulada em 2035	75
Figura 18. Variação (%) da intensidade de emissões (CO ₂ eq/produção) em relação à linha de base, acumulada em 2035	76
Figura 19. Mitigação de emissões de GEE do CEN1 em relação as metas de mitigação da NDC	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Emissões em Tg CO ₂ eq por setor, para os anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2015	17
Tabela 2. Descrição do modelo, período de calibração e simulação, impactos no PIB e de mitigação de GEE das principais avaliações do Plano ABC e da NDC.....	27
Tabela 3. Descrição da localização, impactos na intensidade de emissões da produção pecuária ou no estoque de SOC nos estudos selecionados	33
Tabela 4. Distribuição regional da produção por setor de atividade econômica e UF.....	40
Tabela 5. Classificações dos tipos de trabalho (OCC) e famílias (FAM).....	41
Tabela 6. Participação na massa salarial do Brasil por classificação de trabalho e família.....	41
Tabela 7. Percentual de famílias por classificação e UF.	42
Tabela 8. Participação no consumo total das famílias por classificação de família e UF.....	43
Tabela 9. Percentual de emissões de GEE por fonte de emissão e principais setores de atividade econômica. Módulo de Atividades Produtivas*.....	47
Tabela 10. Percentual de Emissões de GEE por fonte de emissão e UF. Módulo de Atividades Produtivas*.....	48
Tabela 11. Regiões do TERM-BR15 e correspondência às Unidades da Federação.....	50
Tabela 12. Taxas de crescimento anuais das variáveis para calibração do modelo	52
Tabela 13. Taxa de variação da vegetação nativa anual absoluta (mil ha) e percentual (%) por bioma e transição de uso do solo.....	52
Tabela 14. Projeções da variação anual média da área de pastagens 2015-2035 (mil ha), por bioma e região	53
Tabela 15. Choque anual de RPD, investimento e produtividade	56
Tabela 16. Elasticidade produtividade-emissões de GEE.....	59
Tabela 17. Variáveis macroeconômicas. Variação % em relação à linha de base, acumulada em 2025, 2030 e 2035.....	64
Tabela 18. A pecuária bovina na produção regional, crescimento de produtividade, consumo das famílias e PIB real no CEN 1.....	65
Tabela 19. Consumo real das famílias regional no CEN 1. Variação % em relação à linha de base, acumulada em 2035.....	70
Tabela 20. Participação (%) das classes de trabalho na pecuária bovina e no total da economia regional em 2020	71
Tabela 21. Trabalho OCC1 na pecuária bovina e na economia regional em 2020, frente aos impactos de produção da RPD.....	72
Tabela 22. Emissões de GEE no método original – CEN 1. Variação % e absoluta em relação à linha de base, acumulada em 2025, 2030 e 2035	73
Tabela 23. Emissões de GEE no método alternativo – CEN 1. Variação % em relação à linha de base, acumulada em 2025, 2030 e 2035	75

1. INTRODUÇÃO

São atribuídas às mudanças climáticas ampliações nas ocorrências e nas intensidades de eventos extremos relacionados ao clima¹, assim como o crescimento da temperatura média da atmosfera e oceanos. O incremento da concentração de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, imputado às emissões antropogênicas, é considerado o principal fator para essas alterações (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC, 2015; Brasil, 2016). Avaliações como de Assad et al. (2004) e Carvalho et al. (2015) têm evidenciado possibilidades de impactos negativos na produtividade agrícola decorrentes de mudanças climáticas, consequentemente Ferreira Filho e Moraes (2015) e Santos et al. (2022) destacam que também são esperados efeitos socioeconômicos, prejudicando especialmente as regiões e famílias mais pobres do Brasil.

Como signatário da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC) e pela abundância de recursos naturais, o Brasil apresenta importante posicionamento e interesse nas questões globais relacionadas às mudanças climáticas (Brasil, 2016). Historicamente a principal fonte de emissões de GEE brasileiras é o setor de uso da terra, mudança do uso da terra e florestas (*Land Use, Land Use Change, and Forestry* - LULUCF), relacionado à remoção da vegetação nativa (desmatamento) para exploração de matérias-primas e conversão em pastagens ou lavouras. Contudo, houve redução no patamar dessas emissões, de 1.580 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (Tg CO₂eq)² em 2005, para 403 Tg CO₂eq em 2016, representando queda de 75% (Brasil, 2021). Não obstante, de 2010 a 2016 as emissões de LULUCF cresceram cerca de 55% (Brasil, 2021b), tendência que deve ser mantida, pois após o menor nível histórico de desmatamento na Amazônia Legal em 2012 (4,4 mil quilômetros quadrados - km²), vem sendo observada ampliação da área desmatada, alcançando 10,5 mil km² em 2020, ou seja, uma taxa de crescimento de aproximadamente 11,5% ao ano (a.a.) nesse período (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2021).

Em 2016 a agropecuária passou a representar a maior fonte de emissões líquidas de GEE do país, com participação de 36%, frente a aproximadamente 26% de LULUCF. O Brasil apresenta destaque na produção das cadeias da carne, grãos, cana-de-açúcar (açúcar e etanol), algodão, entre outras, com elevada inserção no mercado externo, colocando o país entre os maiores produtores e exportadores desses bens (OECD/FAO, 2021). Como resultado, o agronegócio representou 27,6% do Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil em 2021 (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – CEPEA e Confederação Nacional da Agricultura e Pecuária – CNA, 2022), ocupando para a produção agrícola, pecuária e florestal aproximadamente 263 milhões de hectares (MapBiomas, 2022). Apesar do nível de atividade no setor agropecuário resultar em emissões de GEE, é preciso observar a intensidade de emissões por unidade de produto. Entre 1990 e 2016 o Brasil reduziu as emissões de GEE de fermentação entérica por cabeça de gado e de metano por litro de leite na ordem de 8% e 58%, respectivamente (Brasil, 2021). Além disso, em 2018 o Brasil apresentou o terceiro menor nível de emissão de GEE por unidade de PIB do G20³, com coeficiente aproximadamente 34% e 81% inferior ao dos Estados Unidos e China, respectivamente (Climate Watch, 2023).

¹ São exemplos de eventos extremos climáticos: secas, enchentes, furacões, etc.

² Foi utilizada metodologia *Global Warming Potential – 5ª Assessment Report* (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2015).

³ G20 (Grupo dos 20) é um grupo formado pelos ministros de finanças e chefes dos bancos centrais das 19 maiores economias do mundo mais a União Europeia.

Mesmo com a supracitada redução relativa das emissões de GEE da atividade pecuária, acompanhada da ampliação do rebanho bovino e redução das áreas de pastagens (Vieira Filho, 2018), em 2020 o país ainda apresentava cerca de 89 milhões de hectares de pastagens em estágio de degradação intermediário ou severo, representando 55,35% das pastagens do país (Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento – LAPIG, 2022), mostrando que ainda existem oportunidades para implementação de tecnologias para mitigação das emissões de GEE. O sistema de manejo de pastagens tradicional no Brasil é constituído, em sua maioria, pela forma extensiva, com baixa produtividade e aporte de capital, que pode resultar em degradação dos solos e em pastagens de baixa produtividade, as quais estão associadas a elevados coeficientes de emissões de GEE por unidade de produto (Dias-Filho, 2012; Teague et al., 2011; Vieira Filho, 2018).

Diversos fatores influenciam as emissões de GEE da pecuária, como aspectos climáticos e biofísicos (precipitação, temperatura média, tipo de solo, entre outros), características do rebanho (idade, gênero, raça e peso), volume de ingestão de ração, digestibilidade da alimentação, sistema de manejo (extensivo e intensivo), entre outros (Carvalho et al., 2010; Fearnside e Barbosa, 1998; IPCC, 2019; Maia et al., 2009; Minasny et al., 2017). A recuperação de pastagens degradadas (RPD) é apontada como estratégia que, além de possibilitar maior fixação de carbono nos solos, pode estar associada a melhorias nos sistemas de manejo e adoção de tecnologias que também resultem em redução na intensidade de emissões de GEE da pecuária, em alguns casos permitindo até “zerar” as emissões líquidas decorrentes da produção (Thornton e Herrero, 2010; Alves et al., 2015; Oliveira et al., 2017; de Figueiredo et al., 2017; Eri et al., 2020; Damian et al., 2021).

O IPCC (2019) apresenta fator de mudança de estoque de carbono no solo (*Soil Organic Carbon - SOC*) cerca de 30% menor para pastagens severamente degradadas, do que para pastagens não degradadas. Há ainda a possibilidade de ampliar o estoque de SOC em relação às pastagens não degradadas caso sejam adotados sistemas com melhoramento de espécies, fertilização, irrigação, entre outros. Apesar dos parâmetros supracitados, esses ainda não são formalmente considerados nas comunicações à CQNUMC, ou seja, o benefício potencial da recuperação de 26,8 milhões de hectares de pastagens degradadas no período de 2010 a 2018, não consta no relatório do Brasil (2021). Nesse contexto, Sanderman et al. (2020) realizaram estimativas da variação de estoque de SOC em diferentes cenários de recuperação de pastagens, destacando que de 2018 a 2038 o Brasil poderia obter incrementos de fixação de SOC entre 2,23 a 4,07 t CO₂eq por hectare (0 a 30 centímetros de profundidade), resultando em mitigação de emissões de 1.906 a 3.483 Tg CO₂eq, ou seja, de 120% a 220% em relação às emissões totais do Brasil em 2016.

Mesmo com as informações anteriormente mencionadas, a dinâmica do estoque de SOC ainda é discutida na literatura, onde estudos nos diversos biomas brasileiros destacam que existe a possibilidade tanto de ampliação, quanto de redução do estoque de SOC na conversão de vegetação nativa para pastagens. Para Assad et al. (2013), Desjardins et al. (1994) e Groppo et al. (2015), as pastagens ocasionam redução do estoque de SOC, em comparação com a vegetação nativa. Por outro lado, de Moraes et al. (1996), Desjardins et al. (2004), Cerri et al. (2004), Cerri et al. (2007) e dos Santos et al. (2019), estimam ampliações desse estoque. Existem ainda estudos como de Fearnside e Barbosa (1998), Maia et al. (2009), Carvalho et al. (2010) e Braz et al. (2013), que apontam a possibilidade de ambos os casos (ampliação ou redução do estoque de SOC), dependendo principalmente do sistema de manejo das pastagens, onde as bem manejadas apresentam fixação de SOC, enquanto as degradadas, redução dos estoques. Para resultados de mitigação das emissões de GEE, Cerri et al. (2007) destacam ainda a importância que ocorra efetivamente a recuperação de pastagens ao invés de ampliação de área das mesmas, pois o desmatamento resulta na redução do estoque de carbono das árvores (carbono acima do solo), o que não seria compensado pela ampliação de SOC.

Foi nesse contexto dos sistemas de produção sustentáveis (SPS), como a intensificação de pastagens, que se estabeleceu a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), que apresenta programas e ações para compreender as mudanças climáticas abordando conjuntamente aspectos produtivos, sociais e ambientais, desde o meio-rural aos setores de saúde, transporte e siderurgia (Brasil, 2009). Segundo Brasil (2016) existem nove⁴ principais planos setoriais para mitigação e adaptação à mudança do clima. Entre esses planos, o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC) (Brasil, 2012a), estabelecido após a 15ª Conferência das Partes (COP15), teve vigência de 2010 a 2020, e apresentava diretrizes para o incentivo e implementação de SPS na agropecuária⁵, em especial com metas para recuperação de 15 milhões de hectares de pastagens degradadas e reflorestamento de 3 milhões de hectares. Para isto foi criada uma linha de crédito rural subsidiada, por meio do Programa para a Redução da Emissão de Gases de Efeito Estufa na Agricultura (Programa ABC). A supracitada recuperação de 26,8 milhões de hectares de pastagens de 2010 a 2018 é atribuída por Brasil (2021) aos resultados do Plano ABC. O Plano ABC foi “renovado” e denominado “Plano ABC+” com vigência de 2020 a 2030, o qual sinaliza a manutenção do incentivo aos SPS, inclusive a recuperação de pastagens degradadas (Brasil, 2021a).

Também são iniciativas no âmbito das políticas ambientais do Brasil a reformulação do Código Florestal⁶, implementação do Cadastro Ambiental Rural (CAR) (Brasil, 2012b), a Política Nacional de Biocombustíveis (Brasil, 2017) e a Contribuição Nacionalmente Determinada (*Nationally Determined Contribution* – NDC) (Brasil, 2015b). Do ponto de vista global, a NDC destaca-se por se tratar de acordo fruto da 21ª Conferência das Partes (COP21) em 2015, sediada em Paris, que prevê esforços para limitar o aumento da temperatura média global em 2°C em relação aos níveis pré-industriais, por meio da qual o Brasil se comprometeu inicialmente em reduzir suas emissões de GEE em nível 37% e 43% menor que o apresentado em 2005. Na COP26, realizada em 2021, o Brasil (2022) se comprometeu a ampliar a redução de emissões de GEE em 2030, atingindo 50% ao invés dos 43% originalmente previstos. A primeira meta deve ser cumprida até 2025 e a segunda até 2030 (Brasil, 2015; 2022). Além da intenção de limitar o aumento da temperatura média global, na COP21 também se propôs ampliar o estoque de SOC em 0,4% por ano, o que poderia resultar em mitigação anual entre 20% e 35% de todas as emissões antropogênicas de GEE (Minasny et al., 2017).

Entre as ações propostas pelo Brasil para atingir as metas da NDC estão: o fim do desmatamento ilegal na Amazônia e recuperação de 12 milhões de hectares (Mha) de florestas; recuperação de 15 Mha de pastagens degradadas (RPD) e 5 Mha de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF); entre outras (Brasil, 2015b). Na COP26, o governo revisa as ações propostas, se comprometendo a zerar o desmatamento ilegal até 2028, e aumenta as metas para 2030 de recuperação de florestas de 12 para 18 Mha e da RPD de 15 para 30 Mha (Brasil, 2022b).

⁴ Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal; Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado; Plano Decenal de Expansão de Energia; Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura; Plano Setorial de Redução de Emissões da Siderurgia; Plano Setorial de Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Indústria de Transformação; Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação à Mudança do Clima na Mineração de Baixa Emissão de Carbono; Plano Setorial de Transporte e de Mobilidade Urbana para Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima; e, Plano Setorial da Saúde para Mitigação e Adaptação à Mudança do Clima.

⁵ Explicações sobre o Plano ABC, os SPS fomentados como a Recuperação de Pastagens Degradadas (RPD), e análise sobre a alocação e distribuição dos recursos do Programa ABC podem ser consultadas em Gianetti (2018).

⁶ Lei no 12.651, vigente desde maio de 2012.

Em vista da abrangência de políticas como a NDC e o Plano ABC sobre aspectos macroeconômicos, sociais e ambientais, existem dificuldades na avaliação de seus impactos, que podem estar relacionados à política fiscal, ao uso da terra, à tecnologia, à produtividade, dentre outros fatores. No caso brasileiro, essa complexidade é reforçada pelo território de dimensões continentais, que resulta em heterogeneidade na qualidade do solo, no tipo de relevo, no regime de chuvas, na amplitude térmica, no processo de formação socioeconômica, entre outras características das regiões brasileiras (Fornazier e Vieira Filho, 2012). A utilização de modelos de equilíbrio geral tem auxiliado nas análises de impacto. Esses modelos consideram a estrutura da economia de forma sistemática, capaz de retratar as interrelações de preços e quantidades, ao mesmo tempo que permitem estimar os efeitos puros de restrições nas disponibilidades de fatores, mudanças tecnológicas, impostos e subsídios, entre outros aspectos, sobre a trajetória de base da economia. São exemplos dessa utilização para avaliação da PNMC os trabalhos de La Rovere et al. (2018), Ferreira Filho e Horridge (2017), Stocco et al. (2020), Gurgel et al. (2019) e Machado et al. (2020).

Em análise da diminuição do hiato de produtividade das pastagens da pecuária de corte, utilizando exclusivamente fatores biofísicos considerando 66 milhões de hectares com alta ou muito alta aptidão agrícola, Stocco et al. (2020) obtiveram ampliação de 0,43% no PIB real de 2030. Esse aumento de produtividade estaria relacionado a uma ampliação de 0,9% nas emissões decorrentes do nível de atividade da pecuária. No entanto, caso fosse incorporada a mudança da intensidade de emissões de GEE em virtude do aumento da produtividade, estimado por Silva et al. (2016) que para cada 1% de crescimento da produtividade da terra haveria redução de 0,0043% nas emissões da pecuária, essas emissões reduziriam 18,3% em relação a linha de base para 2030. É importante destacar que avaliações como de Gurgel et al. (2019) explicitam a não consideração do potencial de incorporação de SOC pelas pastagens recuperadas, devido à carência de informações naquele momento.

Dessa forma, observa-se que existe uma lacuna na avaliação dos impactos da RPD para o cumprimento das metas de mitigação de GEE previstas na NDC. Além disso, as análises anteriormente citadas baseiam-se em informações defasadas sobre a estrutura tecnológica da economia brasileira, considerando que existem informações para elaboração de modelos para o ano de 2015⁷. Este estudo apresenta novas calibrações de informações regionais da RPD na produtividade, no investimento e na emissão de Gases de Efeito Estufa (alteração de SOC) na pecuária de corte e de leite no Brasil. Assim, a presente tese visa contribuir para a literatura sobre as políticas ambientais do Brasil relacionadas à agricultura de baixa emissão de carbono por meio uma avaliação sistemática da RPD (intensificação na produção pecuária) para a mitigação de emissões de GEE e seus efeitos socioeconômicos.

1.1. Objetivos

Propõe-se como objetivo geral deste trabalho avaliar os impactos socioeconômicos e ambientais da recuperação de pastagens degradadas no Brasil no período de 2015 a 2035, utilizando dois métodos para contabilizar a variação nas emissões de carbono.

Apresenta-se como objetivos específicos:

- i. Calibração do modelo de equilíbrio geral computável (EGC) TERM-BR para o ano base de 2015;

⁷ A principal fonte de informações para os modelos de equilíbrio geral computável é proveniente da Matriz Insumo-Produto, onde a última elaboração disponibilizada para o Brasil pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2018) refere-se a 2015.

ii. Calibração das emissões de gases de efeito estufa decorrentes do nível de atividade e do uso da terra com o método original do inventário de emissões de GEE do Brasil e método alternativo incorporando a alteração do estoque de SOC da RPD, ao nível estadual;

iii. Avaliar os impactos da recuperação de pastagens observada a partir da implementação do Plano e Programa ABC e da NDC no uso da terra, nas emissões de GEE e nos agregados macroeconômicos, ao nível estadual.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Emissões de GEE no Brasil

O Brasil apresenta desde 2004 a Comunicação Nacional à CQNUMC com estimativas das emissões de GEE no país. Na Tabela 1 estão as estimativas da quarta comunicação, disponibilizada em 2021, com dados dos cinco setores de emissões, a saber: energia, processos industriais e uso de produtos (acrônimo em inglês IPPU), agropecuária, uso da terra, mudança de uso da terra e florestas (LULUCF), e resíduos (Brasil, 2021b). As emissões ainda são divididas entre líquidas e brutas, onde as primeiras consideram as remoções de GEE pelo crescimento da vegetação nas florestas e campos naturais manejados, enquanto as emissões brutas não computam essas remoções.

De 2005 a 2010 observa-se uma redução das emissões de GEE do Brasil, de 2.562 Tg CO₂eq para 1.336 Tg CO₂eq, respectivamente, decréscimo de aproximadamente 48%. No entanto, com o aumento em 2016, o saldo do período após 2005 é uma redução de 38,5% no nível de emissões (-4,3% ao ano)⁸. Essa diminuição foi decorrente da queda das emissões de LULUCF, as quais passaram de 1.580 Tg CO₂eq em 2005, para 403 Tg CO₂eq em 2016, diminuição de 74,5%, ou seja, -11,7% ao ano.

Tabela 1. Emissões em Tg CO₂eq por setor, para os anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2015

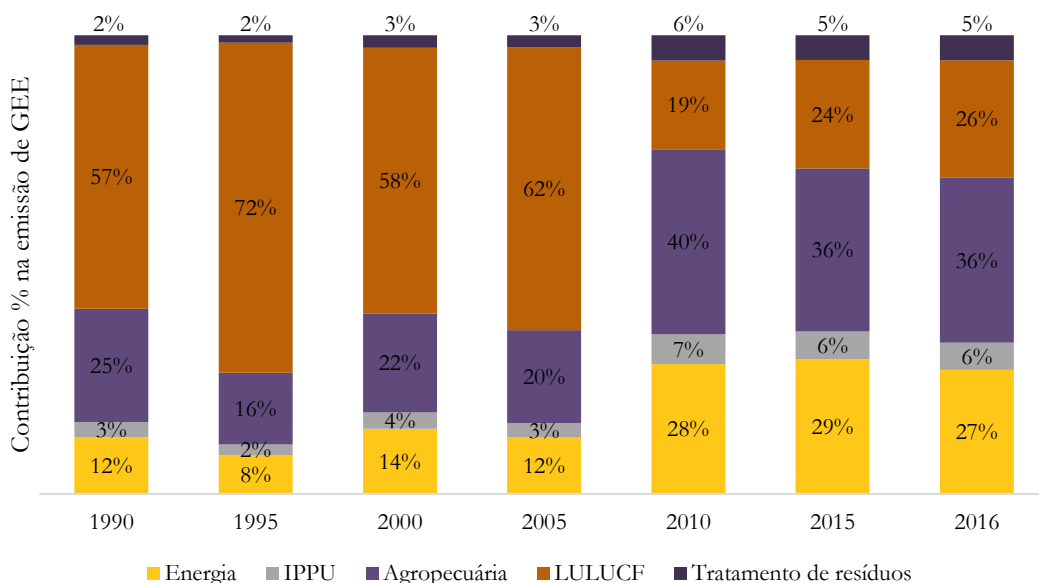
Setores de emissão	Tg CO ₂ eq							Variação	
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2005-2016	2010-2016
Energia	196	234	291	317	378	459	426	34,4%	12,8%
IPPU	54	64	73	78	87	95	94	19,7%	7,1%
Agropecuária	395	430	441	520	538	555	567	9,0%	5,3%
LULUCF	916	1.984	1.187	1.58	258	370	403	-74,5%	56,1%
Resíduos	34	45	55	67	74	84	86	28,6%	16,9%
Total	1.594	2.756	2.047	2.562	1.336	1.564	1.577	-38,5%	18,0%

Fonte Brasil (2021b). Tg = milhões de toneladas de CO₂eq conforme o Global Warming Potential – 5º Assessment Report; IPPU = Processos industriais e uso de produtos; LULUCF = Uso da terra, mudança do uso da terra e florestas.

As emissões dos demais setores aumentaram de 983 Tg CO₂eq em 2005 para 1.173 Tg CO₂eq em 2016 (acréscimo de 19,4%). O setor de energia registrou o maior crescimento no período de 2005 a 2016, cerca de 109 Tg CO₂eq, ampliando sua participação nas emissões totais de 12% para 27% no período anteriormente mencionado (Figura 1). Os setores de processos industriais e tratamentos de resíduos, mesmo contabilizando crescimentos na ordem de 20% ou mais de 2005 a 2016 (Tabela 1), ainda correspondem à parcela pequena das emissões, somando aproximadamente 11,4% em 2016. Apesar do menor crescimento percentual entre 2005 e 2016 em relação aos demais setores (Tabela 1), as emissões da agropecuária aumentaram 47 Tg CO₂eq, e representam a maior fonte de emissões em 2016 com 36% do total (Figura 1).

⁸ Nesse momento a mitigação de emissões de GEE atinge as metas da NDC para 2025. Entretanto, o crescimento econômico e mudanças em LULUCF até 2025 podem ampliar as emissões de GEE do país, ocasionando um descumprimento do acordo.

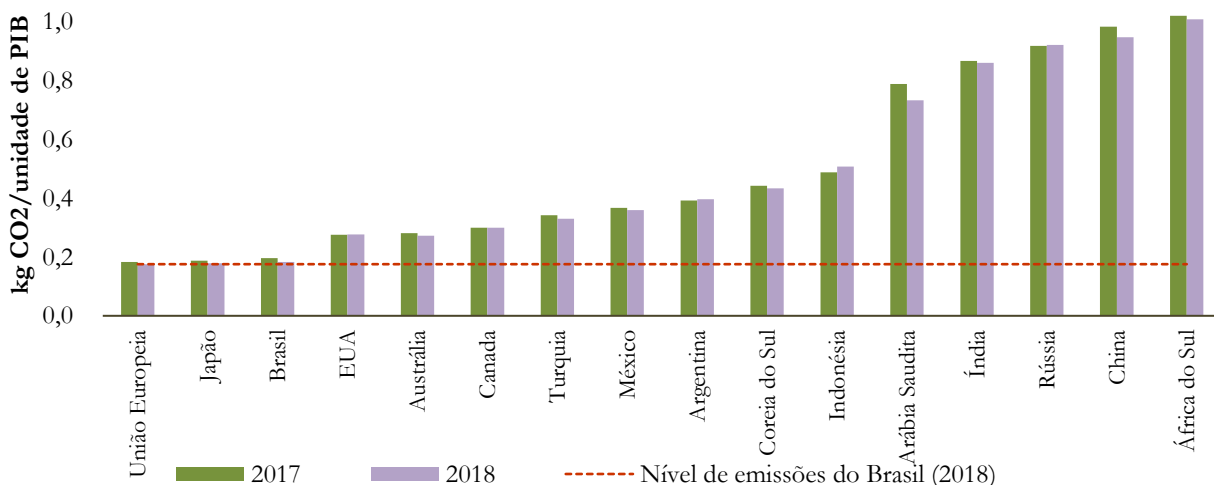
Figura 1. Participação dos setores nas emissões de GEE do Brasil (1990-2016)



Fonte: elaboração própria. Dados de Brasil (2021b).

O Brasil apresenta menor volume de emissões de GEE, em termos absolutos e também relativos, quando comparado à maioria dos países do G20. Em relação às emissões globais de GEE, em 2017 o país contribuía com aproximadamente 2,9%, enquanto países como China, Estados Unidos, Índia e Rússia representavam 25%, 12,5%, 7,1% e 4,3%, respectivamente (United Nations Environment Programme – UNEP, 2019). Em 2018 o Brasil apresentou o terceiro menor nível de emissão de GEE por unidade de PIB do G20, registrando coeficiente de 0,18 kg CO₂ para cada unidade de PIB (US\$ de 2010), aproximadamente 34% e 81% inferior ao dos Estados Unidos e China, respectivamente (Figura 2) (Climate Watch, 2023). Para 2030, as projeções de emissões de GEE *per capita* do Brasil são menores que em todos os países do G20, com exceção da Índia (UNEP, 2020).

Figura 2. Emissões de CO₂ por unidade de PIB (US\$ de 2010) do G20



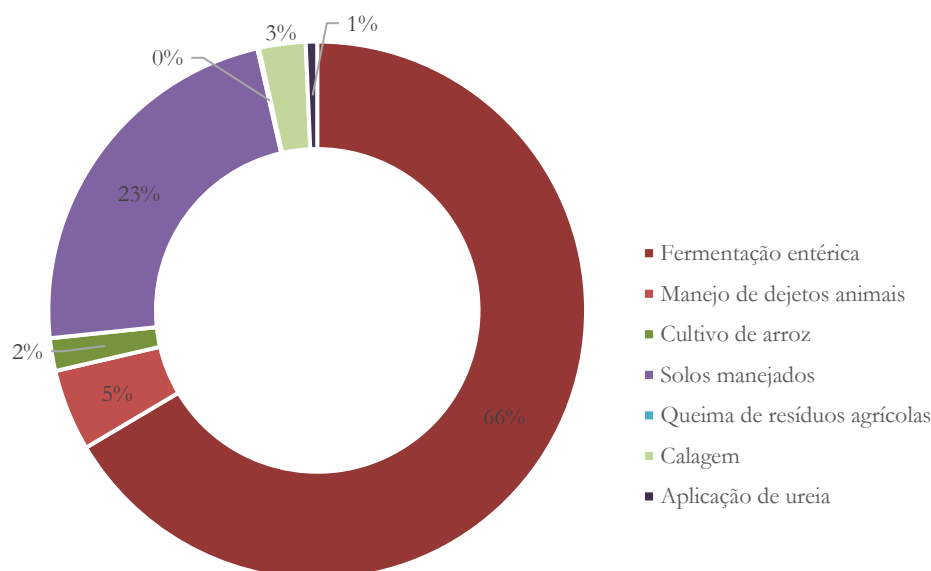
Fonte: elaboração própria. Dados de Climate Watch (2023).

As seções 2.1.1 e 2.1.2 detalham as fontes de emissões e remoções da agropecuária e LULUCF, respectivamente. Cabe destacar ainda que uma avaliação da relação das emissões de GEE com os setores de atividade econômica, presentes na Matriz Insumo-Produto do Brasil de 2015, foi realizada na seção 3.2.2.

2.1.1. Emissões da agropecuária

No setor agropecuário estão incluídas as emissões diretas e indiretas das atividades relacionadas à produção animal (pecuária) e vegetal (agricultura). A fermentação entérica corresponde a geração de metano no processo de digestão animal, que constitui a principal fonte de emissões da agropecuária, alcançando parcela de 66% (Figura 3). Aproximadamente 97,2% das emissões da fermentação entérica são originadas do rebanho bovino, ou seja, menos de 3% é emitido por aves, suínos, caprinos, ovinos e outros animais. Apesar desse elevado nível de emissões de GEE, o Brasil (2021b) apresenta que entre 1990 e 2016 houve redução de 8,2% da fermentação entérica por cabeça de gado e 58% das emissões de metano por litro de leite, destacando a convergência dos ganhos de produtividade e melhoria nos aspectos zootécnicos com impactos positivos em fatores ambientais. Já a segunda maior fonte de emissões de GEE da agropecuária, os solos manejados, apresentam expressiva desagregação, sendo representada pela deposição de dejetos em pastagens (38%), resíduos agrícolas (20%), lixiviação (14%), fertilizantes sintéticos (14%), deposição atmosférica (9%), entre outros, correspondente tanto aos solos com pastagens quanto às culturas agrícolas. Se consideradas apenas as subcategorias que apresentam “pastagens” ou “bovinos”, a pecuária corresponderia ao menos a 53% das emissões do subsetor de solos manejados.

Figura 3. Emissões da agropecuária em 2016, por subsetor.



Fonte: Adaptado de Brasil (2021b).

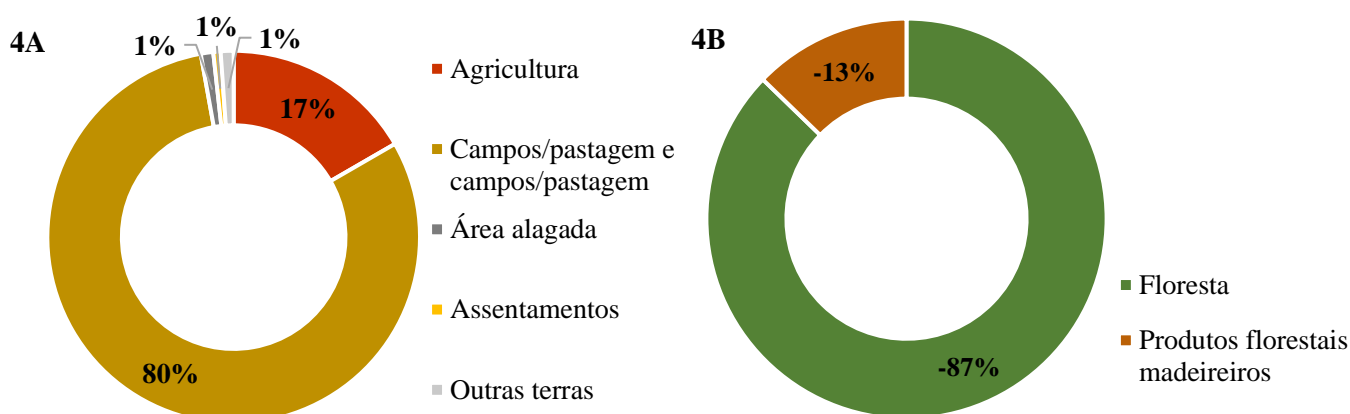
2.1.2. Emissões do uso da terra, mudança de uso da terra e florestas (LULUCF)

Nesse setor são consideradas tanto as fontes como as remoções de GEE, relacionadas à mudança no uso e cobertura da terra, sendo evidenciadas as emissões líquidas dos subsetores e categorias, podendo apresentar saldo

tanto positivo (emissões), quanto negativo (remoções). A Figura 4 apresenta separadamente os subsetores que são fontes de emissões de GEE (Figura 6A) dos que constituem remoções (Figura 6B). Observa-se que entre as fontes, a conversão de outros usos da terra para pastagens corresponde a 80% das emissões de GEE de LULUCF, das quais somente a conversão de florestas (desmatamento) representa cerca de 99%. Apesar disso, destaca-se que as possíveis remoções da RPD não foram consideradas pelo Brasil (2021b). Em seguida, a conversão de florestas para agricultura e de pastagens para agricultura somam 17% das emissões totais de LULUCF.

Dessa forma, apenas considerando as emissões da conversão de outros usos da terra para pastagens e lavouras obtém-se 778 Tg CO₂eq. Entretanto, as florestas e produtos florestais madeireiros apresentam remoções de GEE. O subsetor de florestas apresenta 347 Tg CO₂eq de remoções, i.e., 87% das remoções de 2016, que são representadas em 89% por florestas permanecendo florestas e 11% pela conversão de outros usos da terra em florestas (incluindo florestas naturais e plantadas). Além disso, produtos florestais madeireiros, como papel, madeira processada, entre outros, constituem remoções para os países produtores, visto que as emissões da decomposição desses produtos são contabilizadas nos países consumidores, registrando remoção de 50 Tg CO₂eq (13%). Como balanço final 403 Tg CO₂eq foram emitidos em LULUCF.

Figura 4. Emissões do setor LULUCF em 2016, por subsetor. Fontes (A) e Remoções (B)



Fonte: Adaptado de Brasil (2021b).

2.2. Impactos das mudanças climáticas no Brasil

O Brasil apresenta elevada biodiversidade de fauna e flora, destacando-se pela disponibilidade de recursos naturais, o que caracteriza, em parte, a importância do país nas ações para mitigação das mudanças climáticas (Brasil, 2016b). Essa disponibilidade permite ao país amplo desempenho na produção de diversas cadeias agropecuárias, como carne, soja, cana-de-açúcar, café, laranja, silvicultura, entre outros (CEPEA/CNA, 2022). Assim, é de particular interesse os efeitos das mudanças climáticas sobre os recursos naturais brasileiros e a produção agropecuária.

A partir do primeiro relatório sobre as mudanças climáticas produzido pelo IPCC (1990), diversos estudos foram conduzidos para identificar os fatores responsáveis das mudanças climáticas (naturais ou antropogênicos), para mensurá-las e estimar seus impactos sobre os recursos naturais, a produção agropecuária, a indústria, a infraestrutura, a saúde humana, entre outros. São exemplos da quantificação das mudanças climáticas os trabalhos de

Sansigolo e Kayano (2010) sobre as variações de temperatura e precipitação no sul do Brasil entre 1913 e 2006, Re e Barros (2009) retratando o aumento de pluviosidade no Brasil, Argentina e Uruguai no período de 1959 a 2002 e Dai (2011) quantificando a alteração na ocorrência de secas no mundo de 1950-2008. Outros estudos mensuram às mudanças climáticas por meio dos cenários do IPCC, como Mello et al. (2008) apresentando as modificações do regime hídrico na bacia hidrográfica do Rio Paracatu no período de 2001 a 2099, e Marengo et al. (2012) que realizaram projeções para a pluviosidade e temperatura nas bacias hidrográficas da Amazônia, do Rio São Francisco e do Rio Paraná.

Essas projeções de mudanças climáticas são importantes para a quantificação dos impactos socioeconômicos das mesmas. Analisando o caso brasileiro, as variações nas culturas agropecuárias são relevantes. Para Assad et al. (2004), se o cenário mais pessimista do IPCC de 2001 para os próximos 100 anos fosse confirmado, a produção do café arábica poderia sofrer reduções de até 95% em Goiás, Minas Gerais e São Paulo, e de até 75% no Paraná, com o sistema produtivo e cultivos disponíveis até aquele momento. Lobell et al. (2008) utilizaram as projeções climáticas para 2030, sem ações de adaptação às mudanças climáticas, verificando para as produções de soja, cana-de-açúcar, mandioca, milho, arroz e trigo consistentes probabilidades de decréscimo no volume produzido, nos piores casos, podendo alcançar aproximadamente 15% para o trigo e 10% para soja, mandioca, milho e arroz. Costa et al. (2009) estimam diminuições nas produções de milho e feijão na região sul do Brasil em até 30%, nos piores cenários do IPCC de 2007. Carvalho et al. (2015), utilizando cenários do IPCC de 2007, identificam a possibilidade de decréscimo da produtividade da cana-de-açúcar em municípios do nordeste brasileiro de 80-130 toneladas por hectare ano, para menos de 40 toneladas por hectare ano em 2100.

Por outro lado, Walter et al. (2010) apresentam impactos positivos para produção de arroz irrigado em cenários de ampliação da concentração de CO₂ na atmosfera e da temperatura média em municípios da região sul do Brasil. Zullo et al. (2011) também encontraram resultados semelhantes para cultura de café arábica na mesma região, segundo os autores aumentos de temperatura entre 2°C e 3°C ampliariam áreas de pouco risco para o cultivo dessa cultura, reduzindo áreas sujeitas à geada.

Assim, pode-se verificar que as mudanças climáticas tem potencial de mudar a organização geográfica da agropecuária nacional, conseqüentemente, gerar impactos socioeconômicos regionais distintos. Ferreira Filho e Moraes (2015) utilizam as projeções de Assad et al. (2007), Assad e Pinto (2008) e Lobell et al. (2008) para avaliar os efeitos da mudança de disponibilidade de terras agricultáveis e produção para as culturas de algodão, mandioca, arroz, cana-de-açúcar, milho, feijão, soja e café. Como os maiores impactos da mudança climática ocorrem em regiões que já apresentavam baixa participação na agropecuária nacional, os efeitos agregados são relativamente pequenos no longo prazo. No entanto, os estados mais pobres seriam os mais afetados pelas mudanças, gerando significativos efeitos regionais.

Santos et al. (2022) usaram cenário intermediário (RCP4.5) e pessimista (RCP8.5) de mudança climática do 5º relatório do IPCC para analisar os impactos na produção agrícola, principalmente arroz, trigo e outros cereais, milho em grão, soja em grão, algodão e cana-de-açúcar, bem como seus encadeamentos para a economia brasileira de 2018 a 2040. Em ambos os cenários haveria redução no PIB real, com efeitos negativos especialmente para estados com maior participação da agricultura na produção regional. Além disso, os autores confirmam os resultados de Ferreira Filho e Moraes (2015), no qual as famílias mais pobres, principalmente no Centro-Oeste e Nordeste seriam as mais prejudicadas.

2.3. Avaliações de impacto de políticas ambientais no Brasil

Como mostrado na seção 2.2, diversos autores têm realizado avaliações de impacto das mudanças climáticas sobre a agropecuária e, conseqüentemente, sobre aspectos socioeconômicos. Com a observação desses efeitos e as perspectivas futuras, políticas e ações estão sendo implementadas pelos governos para mitigar as mudanças climáticas (Brasil, 2016b). No entanto, essas políticas também acarretam efeitos socioeconômicos, principalmente no Brasil, onde há elevada heterogeneidade na estrutura produtiva e social no território (Fornazier e Vieira Filho, 2012). A utilização de modelos de Equilíbrio Geral Computável (EGC), que contemplam a complexidade das diversas regiões de um país, dos setores de atividade e produtos, os agentes econômicos, os fatores de produção e as interrelações de preços e níveis de produção, conjuntamente com informações sobre as emissões de GEE, o uso do solo, a migração populacional, entre outras especificidades, permitem avaliar como choques exógenos geram efeitos diretos, indiretos e induzidos sobre todos os aspectos mencionados anteriormente (Gurgel e Laurenzana, 2016).

Para o Brasil, Tourinho et al. (2003) realizaram uma avaliação de políticas de tributação sobre carbono por meio de cenários de tarifas de US\$ 3, US\$ 10 e US\$ 20 por tonelada de carbono. Foi utilizado modelo de EGC estático, calibrado para o ano de 1998, sem detalhamento regional e com volumes de emissão de CO₂ estabelecidos por um vetor de intensidade de poluição setorial. Os resultados mostraram reduções das emissões de CO₂ entre -0,198% e -1,36%, para decréscimos do PIB real entre -0,002% e -0,026%. Apesar disso, a receita das famílias seria a variável mais afetada, com impactos entre -0,23% e -1,57%.

Por sua vez, Ferreira Filho e Rocha (2008) também avaliaram tributações sobre carbono, com inserção de tarifa de US\$ 10 por tonelada de carbono, em cenários de incidência somente sobre o uso de combustíveis, somente sobre o nível de atividade e para ambos conjuntamente. Os autores utilizaram um modelo de EGC estático, *bottom-up*, desagregado para as cinco grandes regiões brasileiras, calibrado para 1996, contemplando ainda módulo de emissões de GEE sobre as atividades econômicas e queima de combustíveis (desconsiderando a mudança do uso da terra), denominado MMRF-GREEN. Os resultados mostraram que a política de taxaço sobre o nível de atividade apresentaria menor impacto agregado sobre o PIB real (variação percentual próxima à zero) e maior impacto de mitigação das emissões de GEE (-6,83%), mas também acarretaria nos maiores prejuízos para as regiões mais pobres do país.

Diniz e Ferreira Filho (2015) utilizam modelo de EGC estático, *bottom-up*, desagregado para 27 Unidades da Federação, calibrado para 2005, denominado TERM-BR, para avaliar a mudança no Código Florestal brasileiro, ocorrida em 2012. Foram estimados cenários considerando a possibilidade de compensação da Reserva Legal dentro do imóvel rural ou fora do imóvel (mas no mesmo bioma). Os resultados mostram projeções de redução do PIB entre -0,17% e -0,19% para o Novo Código Florestal, enquanto o cumprimento da versão anterior do Código Florestal diminuiria o PIB em -0,37%.

Estes trabalhos mostram a diversidade de aplicações dos modelos de EGC na avaliação de políticas ambientais. Além destes, poderiam ser citados Barbieri et al. (2010), Barbieri et al. (2015), Diniz (2019), Ferreira Filho e Moraes (2015), Ferreira Filho e Horridge (2006a; 2006b), Alvim e Sanguinet (2021) entre outros que também tratam do tema, destacando a consolidação da metodologia para o problema de pesquisa sugerido.

2.3.1. Avaliações de impacto do Plano ABC e da NDC

Apesar da aplicação de modelos de EGC para avaliações de diversas políticas ambientais no Brasil, as análises diretamente relacionadas aos aspectos setoriais da agropecuária, do uso da terra, mudança do uso da terra e florestas são relevantes para a fundamentação da presente pesquisa. Nesse contexto, pode-se salientar na PNMC brasileira o fomento aos sistemas de produção sustentáveis, inicialmente abordados pelo Plano ABC⁹ e recentemente reforçados pela NDC.

Gurgel e Laurenzana (2016) realizaram uma avaliação sobre a adoção de sistemas de produção sustentáveis na agropecuária fomentados pelo Plano ABC. Para isto, foi utilizado um modelo de EGC dinâmico recursivo, *bottom-up*, detalhado para 16 regiões/países, sendo uma delas o Brasil, calibrado para 2005, denominado EPPA. Uma das características desse modelo é o detalhamento dos setores de produção de energia e combustíveis. O autor destaca uma limitação no modelo para avaliação da política sugerida pela falta de capacidade de mensurar a variação do estoque de SOC dos SPS, seja pela RPD, iLPF ou outros. Como resultados, as políticas de mitigações de emissões não ocasionariam perdas significativas no curto prazo para a produção agropecuária, mas em 2050 reduziriam a produção da agricultura em 3% e da pecuária em 10%, em relação ao cenário de base da economia.

Particularmente quanto as metas do Plano ABC de 15 Mha de recuperação de pastagens degradadas e 4 Mha de iLPF, entre 2010 e 2020, a Fundação Getúlio Vargas - FGV (2017) utilizou um modelo de equilíbrio parcial, estático, desagregado para seis regiões considerando os biomas predominantes, calibrado para 2009, *Brazilian Land Use Model* (Blum). A instituição definiu a degradação de pastagens conforme faixas de lotação animal por hectare, considerando valores abaixo de 0,75 UA/ha como degradadas, e utilizou *benchmarking* de custos de recuperação com do valores de crédito por hectare do Programa ABC para estabelecer choques de subsídios para implementação das áreas necessárias dos SPS. Como premissa sobre as emissões de GEE, as pastagens bem manejadas e sistemas iLPF apresentariam mitigação de 1,0 e 1,7 t C por hectare ano, respectivamente. Foram usados dois cenários, um com alocação em regiões prioritárias (com maior nível de degradação de pastagens) e outro com livre alocação de recursos. Os resultados mostraram necessidade de investimentos entre R\$ 34,4 e R\$ 39,0 bilhões, sendo o limite inferior em livre alocação e o superior para às áreas prioritárias. Na livre alocação obter-se-ia aumento de consumo das famílias de R\$ 8 bilhões em relação a linha de base, enquanto nas áreas prioritárias redução de R\$ 0,724 bilhão. Haveria ainda aumento das áreas de vegetação nativa entre 4,85 e 5,09 Mha. Quanto as emissões de GEE da agropecuária, essas seriam 50,1 Tg CO₂eq menores em relação ao cenário de base, representando entre 31% e 37% das metas de redução do Plano ABC.

Souza et al. (2020) analisaram os impactos do Programa ABC de RPD no período de 2015 a 2025. Os autores utilizaram um modelo de EGC dinâmico recursivo, *bottom-up*, detalhado para os biomas e Unidades da Federação do Brasil, totalizando 48 regiões, calibrado para 2015, denominado *Brazilian Biomes General Equilibrium Model* (BBGEM). Os efeitos foram estimados em um cenário com hipótese de eliminação dos financiamentos do Programa ABC para RPD, incorporado por meio da relação dos valores financiados em relação ao total da produção pecuária. A redução da produtividade e produção pecuária aumentariam os preços desses produtos e reduziriam o nível de atividade, resultando em -0,4% no PIB de 2025 em comparação à linha de base. Regionalmente, locais com maior proporção do Programa ABC em relação à produção, como no bioma Cerrado do Tocantins e no bioma

⁹ Explicações sobre o Plano ABC, os SPS fomentados como a Recuperação de Pastagens Degradadas (RPD), e análise sobre a alocação e distribuição dos recursos do Programa ABC podem ser consultadas em Gianetti (2018).

Amazônico de Roraima apresentariam as maiores perdas de produção. Efeitos ambientais como de emissões de GEE não foram analisados.

Ferreira Filho e Horridge (2016; 2017) avaliam especificamente os efeitos da mudança do uso da terra de 2016 a 2030, como a adequação ao código florestal e recuperação de pastagens (Ferreira Filho e Horridge, 2016), e o fim do desmatamento ilegal até 2030 e reflorestamento (Ferreira Filho e Horridge, 2017). Para isto, um modelo de EGC dinâmico recursivo, *bottom-up*, desagregado para as 27 Unidades da Federação, calibrado para 2005 (atualização histórica para 2015), denominado *The Enormous Regional Model for Brazil* (TERM-BR). Em análise do código florestal (Ferreira Filho e Horridge, 2016), foram considerados três cenários: i) Código Florestal (CF) sem compensação de reserva legal, com conversão de 21 Mha de pastagens para vegetação nativa; ii) CF com compensação de reserva legal, reduzindo a conversão de pastagens para vegetação nativa para 13,1 Mha; iii) cenário ii, adicionalmente aumento da produtividade das pastagens como o dobro das pastagens de baixa produtividade. Haveria redução do PIB de 2030 na ordem de 0,557%, 0,349% e 0,192% nos cenários i a iii, respectivamente, em relação a linha de base, e diminuição do consumo das famílias de 0,444%, 0,279% e 0,142%, na mesma ordem. A mitigação de GEE até 2030 seria de 19,0% a 12,2%, insuficientes para o atingimento da meta de mitigação de 43% da NDC, sendo o pior resultado no cenário com aumento da produtividade das pastagens, visto que não foi incorporado parâmetro de mudança da “eficiência” ambiental da intensificação, ocorrendo o aumento das emissões de GEE com o crescimento do nível de atividade da pecuária.

Ferreira Filho e Horridge (2017) apresentaram detalhamento na estimativa das áreas permitidas para desmatamento legal e caracterização das áreas de déficit de Reserva Legal e Áreas de Preservação Permanentes, considerando a disponibilidade de terras agricultáveis e alocação do reflorestamento para áreas que possuem déficit de cobertura vegetal. Foram elaborados três cenários: i) fim do desmatamento ilegal até 2030, por consequência, 2,25 Mha preservados; ii) cenário i, adicionalmente a restauração de 12,3 Mha até 2030; iii) cenário ii, mas com transferência do desmatamento do bioma Amazônico para o Cerrado, resultando em desmatamento adicional de 7,3 Mha para o bioma Cerrado. De acordo com os autores, em nenhum dos cenários seriam atingidas as metas de mitigação de GEE para 2030. Os impactos no PIB real de 2030 situaram-se entre -0,03% e -1,10%, em comparação a linha de base da economia. A maior redução ocorreu com o fim do desmatamento ilegal e reflorestamento de 12,3 Mha, sem permitir a transferência do desmatamento entre biomas. O menor impacto ocorreria com essa transferência, resultando a maior produtividade da agropecuária no Cerrado. Apesar disso, no cenário mais otimista quanto às metas da NDC, ainda seria preciso mitigar mais 5,9 bilhões de toneladas (Gt) CO₂eq de emissões para 2030, isto é, 13,7 p.p. em relação a meta.

Abordando ainda exclusivamente a RPD, Stocco et al. (2020) em simulação para o período de 2016 a 2030 estimaram os impactos socioeconômicos e ambientais da diminuição de 50% do hiato de produtividade das pastagens alocadas somente à pecuária de corte, correspondente a 66 milhões de hectares. Foi utilizado o mesmo modelo de Ferreira Filho e Horridge (2016; 2017). Os choques de produtividade consideraram apenas aspectos biofísicos (capacidade de suporte de animais por hectare), e os de investimentos e de mitigação de emissões de GEE consistem em parâmetro único para o território brasileiro, elaborados conforme dados de Silva et al. (2016). Para os autores o crescimento de 1% na produtividade da pecuária causa reduções de 0,0043% de emissões relacionadas ao nível de atividade. Nas simulações haveria efeito poupa-terra, com liberação de 4,69 Mha da pecuária para outras atividades. Além disso, incorporando os benefícios da intensificação da pecuária no coeficiente de emissões de GEE, reduziria as emissões da pecuária em -18,29%, frente a um aumento de 0,9% se esse benefício não fosse considerado. No agregado o consumo das famílias reduziria em -0,05%, o PIB real aumentaria em 0,43% e as emissões de GEE

reduziriam em 3.904,1 mil toneladas (Gg) CO₂eq em relação à linha de base – frente a aumento de 85.533,1 Gg CO₂eq caso os benefícios da intensificação das pastagens não fossem considerados.

Por sua vez, Gurgel et al. (2019) analisam todos os compromissos da NDC por meio de modelo de EGC dinâmico recursivo, *bottom-up*, detalhado para 16 regiões/países, sendo uma delas o Brasil, calibrado para 2004 (atualização histórica para 2010), denominado EPPA5. Nesse caso, há maior detalhamento dos fatores primários relacionados aos combustíveis que em Ferreira Filho e Horridge (2017). Para as simulações foram incorporados instrumentos de precificação de carbono em diversos cenários. Os autores mostraram a insuficiência das políticas propostas pela NDC para atingir seus objetivos. Além disso, destacam que os potenciais de mitigação com o fim do desmatamento, reflorestamento, incremento de energias renováveis e intensificação da agropecuária terão sinais de esgotamento em 2030. A partir desse momento os custos de mitigação crescem consideravelmente, como resultado, até 2030 as políticas da NDC produziram decréscimo de aproximadamente 0,7% no PIB, enquanto no longo prazo (2050) as reduções poderiam alcançar 19%. Em geral, os cenários da NDC apresentaram pior performance que os cenários com precificação de carbono (*cap-and-trade*).

Machado et al. (2020) utilizam as ações da NDC como cenário de base para avaliar impactos de maiores incentivos à bioeconomia (energia, químicos e materiais). Os autores usaram um modelo de EGC estático, ao nível nacional, integrado com análise econômica do ciclo de vida de insumo-produto, desagregado para as grandes regiões brasileiras, com detalhamento da matriz energética e calibrado para 2009. Para os cenários determinaram (exógeno) a redução de 14% das áreas de pastagens e permitiram apenas 0,95% (25.000 km²) de expansão de área agricultável no período de 2009-2030. No entanto, o desmatamento acumulado na Amazônia Legal de 2010-2019 é de aproximadamente 65.000 km² (INPE, 2021). Destaca-se que os autores realizaram cálculo de emissões de acordo com o sistema de manejo de pastagens e que em nenhum cenário foi possível atingir as metas de mitigação da NDC. Como a NDC é utilizada como cenário base para análises de cenários com ênfase na bioeconomia, não há enfoque nos impactos dessas ações sobre a trajetória da economia sem as políticas ambientais propostas pela NDC, fornecendo informações limitadas sobre os impactos específicos da NDC.

Faccin (2019) elaborou simulações dos cenários de cumprimento da NDC sobre as metas de uso do solo e mudança da matriz energética. Os autores permitem o desmatamento legal e incluem o reflorestamento de 12 Mha para o cenário do uso do solo. O atingimento das participações das energias renováveis na matriz energética é realizado por subsídios. Para isto, um modelo de EGC dinâmico recursivo, *bottom-up*, detalhado para 18 regiões/países, sendo uma delas o Brasil, calibrado para 2007 (atualização histórica para 2010), denominado EPPA6-L. Os resultados mostram o atingimento das metas da NDC e pequeno efeito de redução no PIB real. No entanto, o autor não apresenta detalhadamente a composição dos choques e os resultados, dificultando precisar as variações percentuais apresentadas em forma gráfica.

Francisco (2018) utiliza o mesmo modelo de Faccin (2019) para avaliar apenas as metas da NDC relacionadas ao uso do solo. A autora utiliza o cenário base do modelo sem políticas econômicas refletindo a tendência de desmatamento dos últimos 15 anos, calculando área de 6,07 Mha de florestas e 12,31 Mha de cerrados e campos, no período de 2016 a 2030. Para a política, foi estabelecido imposto sobre desmatamento (definido endogenamente) para atingir meta exógena de limite de desmatamento, com redução dos níveis de forma progressiva, e um cenário hipotético de desmatamento zero a partir de 2020. A autora destaca a necessidade de utilizar de aproximações para contabilização das áreas de cada bioma, pela inexistência da base específica no modelo. Os resultados mostram reduções do PIB praticamente nulas até 2030, e entre -0,02% e -0,07% até 2050. A meta de

mitigação de emissões seria atingida para 2030 em todos os cenários simulados, mas após 2030 as emissões voltariam a crescer.

Para analisar os impactos socioeconômicos de medidas de mitigação no Brasil de 2005 a 2030, La Rovere et al. (2018) a partir de uma linha de base incluindo as medidas da PNMC, elaboraram cenários de mitigação adicional envolvendo a agropecuária, uso da terra, energia, indústria, resíduos e transportes, os quais poderiam resultar entre -1,48% a +2,46% no PIB em relação à linha de base e mitigação de emissões de GEE incrementais de 21,4% a 38,5%. Os efeitos macroeconômicos não foram apresentados conforme a decomposição setorial, entretanto resultados de nível de produção e emissões de GEE mostraram que a pecuária manteria o volume de carne produzida, porém o rebanho poderia ser entre 4 a 5 milhões de cabeça menor (de -1,82% a -2,27%), resultando em mitigação de emissões de fermentação entérica entre 6 e 7 milhões de t CO₂e e sequestro adicional de SOC nas pastagens de 43 milhões de t CO₂e.

Para analisar exclusivamente as modificações na política industrial, Tanure et al. (2021) utilizaram modelo de EGC, dinâmico recursivo, agregado para o Brasil, com detalhada especificação energética e ambiental, calibrado para 2015 e atualizado para 2020, BeGreen. Para as simulações foram utilizados os montantes de investimento projetados pelas políticas governamentais para atingir as mitigações setoriais previstas, em um cenário não permitindo a acumulação de capital, de forma que os investimentos de outros setores precisariam ser realocados para os industriais; e um cenário em que se pressupõe estruturas de financiamento e outros instrumentos de geração de novos investimentos. Nesse último cenário haveria um pico de mitigação de emissões de GEE em 2026 de 1,47% em relação à linha de base, com crescimento do PIB de 0,95% decorrente aos efeitos dos investimentos na ampliação da produção industrial. Nesse contexto, em 2030 os encadeamentos e efeitos multiplicadores resultariam em aumento de 2,65% no PIB, então apesar da redução das emissões setoriais, os efeitos indiretos em outros setores provocariam ampliação das emissões em 0,19% em relação à linha de base.

Tratando de uma análise do mercado de carbono da União Europeia (em inglês, *European Union's Emission Trading System*) sobre as emissões relacionadas à matriz energética nacional, Oliveira et al. (2019) também utilizam de modelo de EGC semelhante aos trabalhos de Gurgel et al. (2019), Faccin (2019) e Francisco (2018), o EPPA6. Foram estimados cenários de criação da taxa de carbono ao nível nacional, com cooperação da União Europeia, ou mercado global, com restrições somente sobre o volume absoluto de emissões de CO₂. Os resultados são custos de mitigação para o Brasil de US\$106, US\$100 e US\$85 bilhões, para os cenários anteriormente mencionados, respectivamente. Segundo os autores, considerar as emissões relacionadas à mudança do uso do solo poderia reduzir o custo de mitigação estimado.

A Tabela 2 destaca o resumo das principais avaliações do Plano ABC e da NDC, apresentando os intervalos de variação no PIB em relação à linha de base e da mitigação de GEE comparando aos níveis de 2005, que deveria atingir ao menos 43% em 2030 para cumprimento da meta da NDC na época da elaboração das análises (após a COP-26 o compromisso é de 50%). A partir dessas avaliações, observa-se que ainda existem questões a serem exploradas. Os estudos supracitados basearam-se em informações defasadas sobre a estrutura tecnológica da economia brasileira. Apenas os trabalhos de Ferreira Filho e Horridge (2016; 2017) e Stocco et al. (2020) apresentam detalhes sobre os efeitos socioeconômicos e ambientais em nível regional. Os potenciais efeitos da intensificação agropecuária sobre a mitigação das emissões de GEE foram considerados apenas em La Rovere et al. (2018), FGV (2017) e Stocco et al. (2020), ainda assim calibrados com parâmetros técnicos exclusivamente biofísicos e sem detalhamento regional. Assim, a presente tese busca incorporar número maior de efeitos às análises de emissões de GEE nas ações propostas pela PNMC do que tem sido feito, até o momento, na literatura.

Tabela 2. Descrição do modelo, período de calibração e simulação, impactos no PIB e de mitigação de GEE das principais avaliações do Plano ABC e da NDC

Descrição	Modelo	Ano base	Ano projetado	Impacto no PIB	Mitigação de emissões de GEE	Fonte
RPD pelo Programa ABC	BBGEM	2015	2025	-0,40%	NA	Souza et al. (2020)
Novo código florestal e RPD	TERM-BR	2005-2016	2030	De -0,19 a -0,56%	De 12,2 a 19,0%	Ferreira Filho e Horridge (2016)
Novo código florestal e fim do desmatamento ilegal	TERM-BR	2005-2016	2030	De -0,03 a -1,10%	De 26,2 a 37,1%	Ferreira Filho e Horridge (2017)
Recuperação de 66 Mha de pastagens	TERM-BR	2005-2016	2030	0,43%	NA	Stocco et al. (2020)
Metas setoriais da NDC	EPPA	2004-2010	2030	-0,70%	35,4%	Gurgel et al. (2019)
Mitigação na agropecuária, uso da terra, energia, indústria, resíduos e transportes	MESSAGE, LEAP, BLUM e IMACLIM-BR	2005	2030	De -1,48 a +2,46%	De 21,4 a 38,5%	La Rovere et al. (2018)

Fonte: elaboração própria. Impacto no PIB: impacto percentual nos cenários de política em relação à linha de base; Mitigação de emissões de GEE: mitigação percentual de emissões de GEE em relação à 2005 – comparável a meta da NDC; NA: não apresentado pelos autores.

2.4. Intensificação da produção pecuária

A agropecuária brasileira vem apresentando aumento na produtividade total dos fatores ao longo dos anos, devido tanto aos aspectos produtivos, como maiores investimentos e inovações tecnológicas, quanto aos de mercado, tais quais alterações de preços relativos de produtos e insumos (Gasques et al., 2016). Valentim e Andrade (2009) destacam que o rebanho bovino no Brasil ampliou de 102 para 207 milhões de cabeças no período de 1975 a 2005, apesar disso, as áreas de pastagens aumentaram apenas 4%, com reduções de áreas nas regiões Sudeste e Sul, em contrapartida à ampliação na região Norte. No período, a taxa de lotação das pastagens teria aumentado 83%, atingindo 0,94 UA/ha em 2006. O crescimento da produtividade das pastagens teria evitado a incorporação de 213,1 Mha, ao comparar a área necessária para atender o rebanho de 2006, com a produtividade de 1975.

No mesmo sentido, Vieira Filho (2018) indica a ocorrência do processo de intensificação na produção pecuária no período de 1990 a 2015, com diminuição da área de pastagens em conjunto com o crescimento do rebanho bovino. A taxa de lotação de pastagens quase dobrou, atingindo 1,5 cabeça/ha em 2015, crescimento de produtividade que seria equivalente a um efeito poupa-terra de 366 Mha (Vieira Filho, 2018). Martha et al. (2012), por sua vez, destacam que no período de 1950-1975 o crescimento da área explicou 85,8% do aumento da produção, porém nas décadas seguintes esse comportamento se alterou, culminando no período de 1996-2006 uma contribuição negativa de 20,6% do fator terra, em contraposição ao impacto positivo da produtividade de 122%. Quanto a produtividade, 78 pontos percentuais (p.p.) foram decorrentes da performance animal (genética, nutrição, entre outros) e 42,2 p. p. derivaram da ampliação da taxa de lotação. Em suma, os autores salientam que no período de 1996 a 2006 teria ocorrido efeito poupa terra de 143,2 Mha.

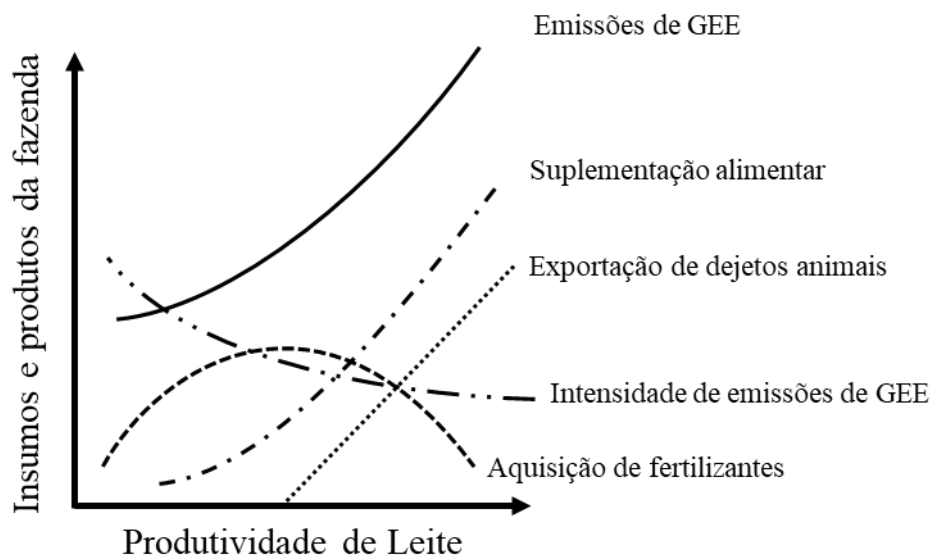
Apesar da intensificação produtiva apresentada por Valentim e Andrade (2009), Martha et al. (2012), Gasques et al. (2016) e Vieira Filho (2018), em 2018 ainda existiam cerca de 97,7 Mha em estágio de degradação intermediário ou severo, representando 58,86% das pastagens do país (Lapig, 2022). Também permanece um hiato entre a lotação potencial de animais por hectare, em vista da qualidade de solo, relevo e clima das regiões brasileiras e a lotação real obtida (Lapig, 2019). De acordo com Dias-Filho (2012), a deficiência existente na pecuária decorre do sistema de manejo das pastagens no Brasil, o qual ainda é realizado, em sua maioria, de forma extensiva, que é caracterizada pela baixa produtividade. Nesse sistema de manejo, é comum a degradação dos solos, ocasionada pela manutenção de taxa de lotação de animais superior à capacidade de suporte da pastagem, utilização de forrageiras não adaptadas ao clima, solo e relevo, falta de adubação e manutenção das pastagens, entre outros fatores (Teague et al., 2011). Com isso, ocorre o aumento da população de plantas daninhas e pragas, com perda da capacidade do solo da manutenção da cobertura vegetal, baixa disponibilidade de nutrientes na matéria orgânica e, conseqüentemente, diminuição da produtividade da pecuária, que caracteriza a “pastagem degradada”¹⁰ (Dias-Filho, 2012).

A produtividade das pastagens e da pecuária pode ser compreendida por um conjunto de fatores. Conforme o IPCC (2019) para a definição da produtividade dessa atividade, características da alimentação, da genética, do rebanho, de sistemas de manejo, do nível de utilização de insumos e de produção devem ser consideradas. Esses fatores, assim como outros aspectos climáticos e biofísicos, impactam tanto na produtividade, quanto nas emissões de GEE. Oenema et al. (2014) apresenta a estrutura de aspectos socioeconômicos, biofísicos e ambientais para ocorrência da intensificação, bem como seus potenciais de ampliar a rentabilidade de produtores com possibilidade de acesso à tecnologia e excluir àqueles que não tem¹¹, e a complexidade de mensuração de efeitos ambientais, que podem aumentar as emissões de GEE por unidade de área, porém reduzi-las por unidade de produto (Figura 5). Nesse contexto, Alves et al. (2015), Cardoso et al. (2016), Damian et al. (2021), de Figueiredo et al. (2017), Eri et al. (2020), Oliveira et al. (2017), Ruviano et al. (2015) e Thornton e Herrero (2010) também apresentam que a intensificação de pastagens permite conciliar ganhos de produtividade, com reduções relativas à intensidade de emissões de GEE por unidade de produto.

¹⁰ Entretanto, o autor destaca que não existe consenso em parâmetros biofísicos e de produtividade para determinar a degradação de pastagens, existindo heterogeneidade do conceito na literatura.

¹¹ Brinegar e Cochrane (1958) define o processo como “*treadmill*”, em que a adoção de tecnologia na agropecuária, ao ampliar a produção apresenta impacto negativo nos preços, mantendo os níveis de lucratividade. No entanto, produtores que não conseguem adotar a tecnologia são pressionados para fora da atividade pela redução de preços.

Figura 5. Intensificação produtiva e emissões de GEE na pecuária leiteira



Fonte: adaptado de Oenema et al. (2014).

2.4.1. Manejo de pastagens e as emissões de GEE

Thornton e Herrero (2010) analisaram as emissões de metano (CH_4) e CO_2 decorrentes do rebanho e manejo de pastagens, em cenários de melhoramento de pastagens, intensificação da dieta animal (digestibilidade), adoção de sistemas agroflorestais e melhoramento genético animal. Segundo os autores, o melhoramento das pastagens na América Central e do Sul pode resultar em até 46% de redução na emissão de metano por kg de carne e 60% por litro de leite. A intensificação da dieta por meio da digestibilidade ou ampliação da suplementação com grãos poderia mitigar de 57% a 69% da emissão de metano por litro de leite e 72% a 80% por kg de carne. Os autores também evidenciam que poderiam ser sequestradas de 23,5 a 53,6 Mt CO_2eq pela fixação de SOC decorrentes da recuperação de pastagens. Da mesma forma, de Fonseca de Souza et al. (2022) em análise no bioma Amazônico mostraram que o sistema de manejo pode auxiliar a mitigar as emissões de metano das pastagens em média até 35% na presença de cobertura de grama em relação aos solos expostos. No entanto, a mitigação de emissões de metano nas pastagens seria inferior ao observado na vegetação nativa e caso houvesse calagem no processo de recuperação e formação das pastagens, a absorção de metano nas pastagens seria revertida para uma emissão.

Por meio de avaliação de sete sistemas produtivos no Rio Grande do Sul, Ruviaro et al. (2015) apresentaram que a atividade pecuária em pastagens naturais não manejadas emitia 42,6 kg CO_2eq por kg carcaça, enquanto em pastagens naturais manejadas, incluindo fertilização, apresentou coeficiente de 20,2 kg, ou seja, mitigação de 52,5% nas emissões relacionadas à produção animal (dejetos, fermentação entérica, fertilização, etc.). Cardoso et al. (2016) utilizando dados representativos do bioma Cerrado elaboraram cinco cenários para produção pecuária de pastagens sem adoção de fertilização ou suplementação animal, com taxa de lotação de 0,5 UA/ha, até pastagens fertilizadas, com reforma periódica, suplementação alimentar e outras práticas de manejo, atingindo 2,75 UA/ha. O cenário de pastagens não manejadas resultaria em 31,2 kg CO_2eq por hectare para cada animal, frente a 221,4 kg no cenário mais intensivo. Mesmo com as ampliações de emissões de GEE decorrentes do consumo de

combustíveis fósseis e fertilização no cenário mais intensivo, a redução na produção de metano por equivalente de carcaça permitiria reduzir as emissões de GEE de 58,3 kg CO₂eq por kg carcaça no cenário não manejado, para 29,4 kg no cenário mais intensivo.

Considerando sistemas de iLPF, de pecuária extensiva e intensiva em bioma Mata Atlântica, Oliveira et al. (2017) estimaram que em todos os sistemas produtivos houve mitigação das emissões de GEE decorrentes tanto da fixação de SOC, quanto nos componentes arbóreos. Nas pastagens extensivas houve fixação anual bruta de 6,24 t CO₂eq por hectare, porém descontando as emissões da atividade, obteve-se acumulação líquida anual de 3,29 t CO₂eq por hectare. Pastagens intensivas, além de taxa de lotação aproximadamente 50% superior às pastagens extensivas, atingindo 3,13 animais por hectare, permitiram o acúmulo anual bruto de 11,49 t CO₂eq por hectare, e líquido de 5,94 t CO₂eq por hectare. Além desses cenários, os autores apresentaram que com o componente arbóreo, em iLPF, pode-se obter fixação anual líquida de até 29,15 t CO₂eq por hectare, com taxa de lotação de 2,57 animais por hectare.

De Figueiredo et al. (2017) estimaram o balanço de carbono na produção de carne em pastagens degradadas, pastagens bem manejadas e iLPF para período de 10 anos. Nas pastagens degradadas não foram considerados insumos como fertilizantes e herbicidas, sendo a única suplementação alimentar o sal mineral, enquanto nas pastagens bem manejadas houve utilização de adubos, fertilizantes, herbicidas, suplementação alimentar, diesel para as operações agrícolas, entre outros. Como resultado da baixa utilização de insumos, nas pastagens degradadas cerca de 87% das emissões de GEE são provenientes de metano, o que decresce para 61% nas pastagens bem manejadas e 51% no iLPF. As pastagens bem manejadas e iLPF apresentam capacidade de ampliação de SOC de 16,13 t CO₂eq por hectare. Apesar de emissões de GEE mais elevadas nas pastagens bem manejadas, observou-se coeficiente de 7,6 kg CO₂eq por kg vivo animal, frente a 18,5 kg CO₂eq para pastagens degradadas, isto é, o manejo de pastagens proporcionou reduções de GEE de aproximadamente 60% para produção de carne. Adicionalmente, o iLPF que além da mudança de SOC tem acúmulo de biomassa nos componentes arbóreos, resultou em mitigação de 28,1 kg CO₂eq por kg vivo animal.

Eri et al. (2020) avaliaram a morte súbita de pastagens na Amazônia, relacionada à baixa fertilidade dos solos, bem como fatores climáticos, fisiológicos, entre outros, em especial no município de Alta Floresta-MT, por meio de 148 observações. Nesse município, 77,1% das pastagens estavam acometidas pela morte súbita, isto é, 42.627 hectares, sendo possível acumular 26,5 t CO₂eq por hectare com a recuperação dessas pastagens, o que poderia reduzir a pegada de carbono da carne produzida.

Ainda em análise da diferença dos estoques de SOC entre pastagens mal manejadas, pastagens fertilizadas e iLPF, Damian et al. (2021) utilizaram dados do Mato Grosso (bioma Amazônico), São Paulo (bioma Mata Atlântica) e Rio Grande do Sul (bioma Pampa). Os melhores resultados foram encontrados com as pastagens fertilizadas, que aumentaram o estoque de SOC (0-30 cm de profundidade) em 0,95 t CO₂eq por hectare ao ano. Pastagens fertilizadas mitigaram 43 t CO₂eq por hectare a.a., enquanto as pastagens mal manejadas emitiram cerca de 33 t CO₂eq por hectare. Sistemas de integração pecuária e floresta podem ainda mais que dobrar a capacidade de mitigação, alcançando fixação de 116 t CO₂eq por hectare ao ano. Além disso, as pastagens bem manejadas ampliaram a renda dos produtores entre 44% e 267% em relação às pastagens mal manejadas.

Apesar das perspectivas favoráveis quanto à redução da intensidade de emissões de GEE, as condições edafoclimáticas e biofísicas podem impactar a variação de SOC decorrente da recuperação de pastagens. Nesse sentido, pode-se ainda destacar análises como de Assad et al. (2013), Desjardins et al. (1994) e Groppo et al. (2015) que mostram que as pastagens podem ocasionar redução do estoque de SOC, em comparação com a vegetação

nativa, enquanto Cerri et al. (2004; 2007), de Moraes et al. (1996), Desjardins et al. (2004) e dos Santos et al. (2019) encontram resultado oposto, de ampliação nesse estoque. Adicionalmente, Braz et al. (2013), Carvalho et al. (2010), Fearnside e Barbosa (1998) e Maia et al. (2009), encontraram resultados ambíguos, dependendo principalmente do sistema de manejo das pastagens, onde as bem manejadas apresentam fixação de SOC, enquanto as degradadas, redução dos estoques.

Desjardins et al. (1994) compararam solos sobre área de vegetação nativa com pastagens de 10 anos no Pará (bioma Amazônico). Até 20 cm de profundidade os autores observaram decréscimo de 7,34 t CO₂eq¹² por hectare, isto é, -6,5% em relação a vegetação nativa. Assad et al. (2013) analisaram 17 locais com vegetação nativa, pastagens e integração lavoura-pecuária, obtendo mais de 100 amostras de solos nos biomas Cerrado, Mata Atlântica e Pampa. Para os autores, tanto os sistemas de integração, quanto pastagens, reduzem o estoque de SOC. As pastagens reduziram de 27,5 a 40,4 t CO₂eq por hectare a 10 e 30 cm de profundidade, respectivamente, representando diminuição de aproximadamente 20% em relação a vegetação nativa. Groppo et al. (2015) utiliza a mesma base de dados de Assad et al. (2013) para analisar impactos ainda no nitrogênio e fósforo, mostrando a razão entre carbono e nitrogênio. Para os autores, as pastagens e integração lavoura pecuária apresentam maior razão entre carbono (SOC) e nitrogênio, entretanto, isto seria decorrente da maior perda de nitrogênio, e não de ganho de SOC.

Dentre aqueles que encontraram resultados de ampliação do estoque de SOC nas pastagens em relação a vegetação nativa, de Moraes et al. (1996) analisaram pastagens em Rondônia no bioma Amazônico. Para os autores, nas florestas a quantidade total de SOC era de 135,67 t CO₂eq por hectare até 30 cm de profundidade, enquanto nas pastagens com 20 anos de idade havia 17% a 20% mais carbono. Desjardins et al. (2004) analisaram duas crono seqüências de pastagens no Amazonas e Pará, no bioma Amazônico (Central e Oriental). Para esses autores na camada até 5 cm de profundidade das pastagens com 15 anos de idade na Amazônia Central possuíam 204,2 t CO₂eq por hectare, enquanto as florestas apresentavam 140,7 CO₂eq por hectare, i.e., as pastagens ampliaram em aproximadamente 45,2% o estoque de SOC. Para Amazônia Oriental, houve a mesma tendência, porém os estoques nas florestas e pastagens de 15 anos foram 63,4 a 104,5 t CO₂eq por hectare, respectivamente, representando aumento de 64,9% nas pastagens em relação à vegetação nativa.

Cerri et al. (2004; 2007) ressaltam que após a conversão de florestas em pastagens há uma redução inicial de SOC, porém ao longo do tempo ocorre uma ampliação que supera os níveis iniciais das florestas. Cerri et al. (2004) realizaram estudo em sete locais em Rondônia (Amazônia Ocidental), destalhando os resultados conforme diferentes idades de pastagens, formadas desde 1911 até 1989. Os estoques de SOC das pastagens nas profundidades de 0-5cm, 5-10cm e 10-20cm, variaram de 4,0% a 58,7%, -13,3% a 63,3% e -14,1% a 47,9%, em relação à vegetação nativa, respectivamente.

Cerri et al. (2007) avaliaram onze transições de florestas para pastagens no Pará, Amazonas, Rondônia e Mato Grosso (bioma Amazônico), com sistemas de manejo semelhantes, apresentando que em alguns casos (em Nova Vida), para até 20 cm de profundidade, houve crescimento de 73,3 t CO₂eq por hectare na vegetação nativa para mais de 144,67 t CO₂eq por hectare em pastagens com mais de 100 anos. Em análise de mudanças no estoque de SOC após 16 anos da remoção da vegetação nativa na Bahia (bioma Mata Atlântica), dos Santos et al. (2019) obtiveram com dois cultivares de pastagens ampliações em torno de 55 a 73,3 t CO₂eq por hectare, em 30 cm e 100 cm de profundidade, respectivamente, em relação a vegetação nativa, isto é, cerca de 30% e 20% maiores.

¹² Fator de conversão de carbono (C) para dióxido de carbono (CO₂) informado pela Energy Protection Agency of United States (2023) de aproximadamente 3,6667 (44/12). Essa referência para conversão foi utilizada em todo o trabalho.

Dentre os autores que apresentaram resultados ambíguos, Fearnside e Barbosa (1998) utilizaram dados abrangendo toda a Amazônia Legal. Pastagens sobre o manejo tradicional representaram emissões de 18 t CO₂eq por hectare na camada de 0 a 20 cm de profundidade, i.e., -17,8% de SOC em relação a vegetação nativa. Entretanto, pastagens sobre manejo ideal apresentam aumento de 31,5 t CO₂eq por hectare, resultando em montante 15,0% maior em relação a vegetação nativa. Ainda assim, devido às maiores proporções de pastagens sobre o manejo tradicional, a média ponderada foi de -16,2% de SOC na área estudada.

Maia et al. (2009) avaliaram locais em Rondônia e Mato Grosso, em 22 municípios, abrangendo cerca de 6 tipos de solos e os biomas Cerrado e Amazônico, que resultaram em 11 regiões com características de solo, vegetação, clima, topografia e geologia particulares. Os autores coletaram dados de pastagens degradadas, não degradadas e melhoradas, conforme metodologia do IPCC (2006). Pastagens degradadas reduzem o estoque de SOC (0 a 30 cm de profundidade) em 9% comparando com a vegetação nativa, pastagens não degradadas em -1% para Oxisols e aumentaram em 24% em outros solos, e pastagens melhoradas ampliaram em 19%. Dessa forma, pastagens não degradadas e melhoradas poderiam remover anualmente até 2,6 e 2,2 t CO₂eq por hectare, respectivamente.

Para Carvalho et al. (2010) por meio de informações de Rondônia, Mato Grosso e Goiás, abrangendo os biomas Amazônico e Cerrado, pastagens não degradadas em solos férteis resultaram na acumulação de SOC de 1,7 t CO₂eq por hectare a.a. (0 a 30 cm de profundidade), enquanto pastagens em áreas pouco férteis registraram perdas de 0,55 a 5,6 t CO₂eq por hectare em pastagens não degradadas e degradadas, respectivamente. Braz et al. (2013), comparando pastagens produtivas às degradadas em Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e São Paulo, no bioma Cerrado, apresentaram que as pastagens produtivas aumentariam o SOC entre 17,6 e 27,1 t CO₂eq por hectare (0 a 30 cm de profundidade), ou seja, de 10% a 20,2%, em relação a vegetação nativa. No entanto, pastagens degradadas mostraram reduções de 12,5 a 17,6 t CO₂eq por hectare, representando entre -4,7% e -16,4% em relação a vegetação nativa.

Destaca-se, portanto, expressiva literatura quantificando o estoque de SOC em diferentes condições edafoclimáticas, biofísicas e de sistemas de manejo, que pelas suas diferenças, resultam em níveis de estoques heterogêneos, tanto em intensidade, quanto em sentido. Apesar disso, em parâmetro geral, o IPCC (2019) apresenta que as pastagens não degradadas ou melhoradas possuem maior fator de estoque de SOC do que as pastagens degradadas, mostrando que a RPD pode constituir estratégia para mitigação das emissões de GEE provenientes da pecuária bovina. Para Arantes et al. (2018), a taxa de lotação bovina das pastagens de 2014/2015 situava-se em 0,97 UA por hectare, contudo a capacidade de suporte alcança 3,6 UA/ha, mostrando ainda o hiato que existe na tecnologia e sistema de manejo de pastagens no Brasil, em relação ao seu potencial.

De acordo com Silva et al. (2016), além de compreender as alterações na dinâmica de emissões de GEE é necessário verificar quais seriam os impactos de diferentes cenários de demanda por alimentos, pois esse fenômeno é importante para a ocorrência da intensificação. Cenários de arrefecimento na demanda por carne resultam em menores rebanhos e, conseqüentemente, menores incentivos para a intensificação da atividade, ampliando o estoque de pastagens degradadas e aumentando as emissões de GEE. Exemplificando, segundo os autores, uma redução de 20% na demanda no período de 2006-2030 resultaria em crescimento de 9% nas emissões. Por outro lado, o crescimento da demanda em 20% no mesmo período, acompanhada com políticas efetivas de comando e controle, gerariam intensificação da produção e mitigação de 10% das emissões de GEE via fixação de SOC. Contudo, caso o crescimento da demanda fosse acompanhado por ampliação do desmatamento, as emissões poderiam aumentar 44%. Apesar dos resultados otimistas, o benefício do armazenamento de SOC apresenta um limite temporal, assim

quando todo o estoque de pastagens estiver inserido no sistema de recuperação periódica, não haveria mais o crédito. Em análise de sensibilidade os autores estimaram que se mantida fixa a demanda e área de pastagens de 2030, com a recuperação das pastagens, somente em 2057 haveria aumento de emissões de GEE decorrente da pecuária.

Portanto, conforme síntese da Tabela 3, existem evidências que sistemas de pastagens bem manejados podem apresentar menores coeficientes relativos de emissões de GEE por unidade de produto, do que sistemas extensivos ou à vegetação nativa (coluna *benchmarking* indica essa comparação). Em período de tempo limitado existe a possibilidade, inclusive, de efeito de mitigação absoluta de emissões de GEE, contudo haveria esgotamento desse benefício quando a maioria das pastagens estiverem recuperadas e inseridas em manejo periódico e adequado. Esse potencial de intensificação da produção pecuária associado à mitigação de emissões de GEE é especialmente importante para avaliações de políticas ambientais como o Plano ABC e a NDC.

Tabela 3. Descrição da localização, impactos na intensidade de emissões da produção pecuária ou no estoque de SOC nos estudos selecionados

Região	Bioma	Impacto		Profundidade do solo (cm)	Benchmarking	Fonte
		Intensidade de emissões	Estoque de SOC			
PA	Amazônico	-	-6,50%	0-20	Vegetação nativa	Desjardins et al. (1994)
RO	Amazônico	-	De 17% a 20%	0-30	Vegetação nativa	de Moraes et al. (1996)
Amazônia Legal	Amazônico	-	De -17,8 a +15,0%	0-20	Vegetação nativa	Fearnside e Barbosa (1998)
RO	Amazônico	-	De -14,1% a +65,3%	0-5, 5-10 e 10-20	Vegetação nativa	Cerri et al. (2004)
AM e PA	Amazônico	-	De 45,2% a 64,9%	0-5	Vegetação nativa	Desjardins et al. (2004)
MT e RO	Amazônico e Cerrado	-	De -9% a +24%	0-30	Vegetação nativa	Maia et al. (2009)
GO, MT e RO	Amazônico e Cerrado	-	De 45 a 146 tCO ₂ eqha ⁻¹	0-30	Outras pastagens	Carvalho et al. (2010)*
América Central e do Sul	-	De -46% a -80%	-	-	-	Thornton e Herrero (2010)
MG, PR, RS e SP	Cerrado, Mata Atlântica e Pampa	-	De -17,2% a -25,9%	10-30	Vegetação nativa	Assad et al. (2013)
MS, MG e SP	Cerrado	-	De -16,4% a +20,2%	0-30	Vegetação nativa	Braz et al. (2013)
RS	Pampa	-52,5%	-	-	-	Ruviaro et al. (2015)
Brasil	Cerrado	-49,6%	-	-	-	Cardoso et al. (2016)
Brasil	-	-58,9%	-	-	-	de Figueiredo et al. (2017)
BA	Mata Atlântica	-	De 20% a 30%	0-30 e 0-100	Vegetação nativa	dos Santos et al. (2019)
MT, RS e SP	Amazônico, Mata Atlântica e Pampa	-	76 tCO ₂ eq ha ⁻¹	0-30	Outras pastagens	Damian et al. (2021)*

Fonte: elaboração própria. *: na ocorrência de inversão de emissões para fixação de GEE em vista do manejo das pastagens, sem benchmarking com a vegetação nativa, foi apresentado o valor absoluto ao invés de percentual. Legenda das UFs no Apêndice Tabela A 3.

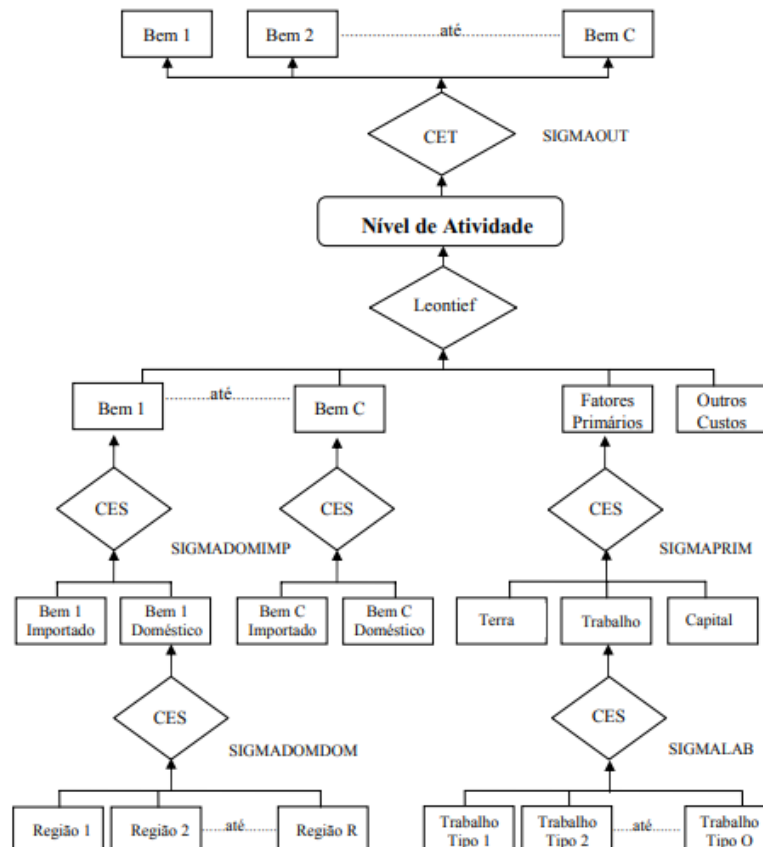
3. METODOLOGIA

3.1. O modelo de equilíbrio geral computável TERM-BR

Os modelos de equilíbrio geral computável (EGC) são modelos aplicados, abrangendo uma série de aproximações teóricas para representar os fenômenos e características relacionadas a um objeto específico. Essa particularidade quanto aos fatos estilizados é especialmente interessante para avaliação de políticas. Os modelos de EGC são calibrados a partir de uma única observação, sendo assim, consideram apenas os aspectos sistemáticos de determinada economia, não tratando de fenômenos estocásticos (randômicos) das respostas das variáveis econômicas a estímulos exógenos¹³. A abordagem relacionada aos modelos de EGC permite a avaliação de impactos diretos, indiretos e circulares das políticas, sobre toda a economia, e em alguns modelos, sobre os recursos naturais, como o uso da terra e emissões de GEE (Ferreira Filho, 2018).

Para o presente trabalho foi utilizado como base o modelo TERM-BR. Este modelo foi inicialmente apresentado por Ferreira Filho e Horridge (2006a; 2006b). A estrutura básica do modelo TERM-BR é ilustrada pela Figura 6.

Figura 6. Estrutura de produção do modelo TERM-BR.



Fonte: Fachinello (2008).

¹³ Por sua vez, essa abordagem tem limitações, pois o ano de calibração pode apresentar efeitos de choques aleatórios, comprometendo a confiabilidade dos valores apresentados. Da mesma forma, também se faz necessário limitar a escolha das formas funcionais, que implicam em restrições tecnológicas e da preferência dos agentes.

Como o TERM-BR é um modelo dinâmico, é possível analisar a trajetória da economia em um período de implementação de políticas. Nesse caso, a acumulação de capital e o investimento ao longo do tempo são determinados endogenamente. Além disso, é um modelo inter-regional e *bottom-up*, onde a economia do Brasil é desagregada em suas unidades federativas, obtendo resultado particular para cada região, com integração dessas economias sendo feita por um fluxo de comércio inter-regional e pelo mercado de fatores. A agregação desses resultados individuais gera os impactos ao nível nacional. Salienta-se que no comércio inter-regional é possível a ocorrência de déficits, o consumo das famílias está associado à renda regional, há mobilidade inter-regional do fator trabalho conforme as alterações no salário real relativo e a demanda dos usuários pelos produtos de outras regiões ocorre em proporções fixas.

Este modelo representa uma economia competitiva, derivada dos modelos Walrasianos, com implementação empírica que identifica o comportamento individual dos agentes. Assim, o modelo TERM-BR apresenta um conjunto de equações e identidades que reproduzem um equilíbrio competitivo, ou seja, obtém-se a maximização da função de utilidade das famílias, sujeitas às restrições orçamentárias, e as firmas minimizam seus custos, para uma determinada função e nível de produção, dadas as disponibilidades de fatores de produção. Da mesma maneira, o conceito de otimização condicionada é incluído para representar o comportamento de todos os demais agentes (governo, resto do mundo, etc.). Então observa-se que a determinação do equilíbrio envolve os preços e a interação entre oferta e demanda (Dixon e Jorgenson, 2013).

A sistematização do equilíbrio geral consiste em problema não linear, mas a formulação baseada no método utilizado por Johansen (1964) realiza a linearização das equações, gerando resultados em sua forma percentual. Originalmente esse procedimento era essencial para reduzir o esforço computacional na solução dos problemas, apesar de incorrer em erro de linearização, mas atualmente é possível implementar procedimentos computacionais para eliminar esses erros (Dixon e Jorgenson, 2013). Na versão do TERM-BR utilizada, a tecnologia da produção define que cada indústria pode produzir apenas um produto, representando uma matriz de produção diagonal. Para isto, as indústrias combinam insumos intermediários, fatores primários e outros custos de produção (como impostos), em proporção fixa, dada a função Leontief.

As alocações dos insumos intermediários são definidas por uma função de Elasticidade de Substituição Constante (CES), que determinam a proporção de utilização de insumos domésticos ou importados, conforme a elasticidade de substituição de Armington, que apresenta valores diferentes para cada produto. Ademais, os insumos domésticos também possuem coordenação por uma função CES, dadas elasticidades de substituição no uso de insumos intermediários de cada unidade da federação brasileira (Aguiar et al., 2019; Diniz, 2019).

A utilização dos fatores primários também é determinada por uma função CES, gerando o uso de terra, capital e trabalho, conforme a elasticidade de substituição. São consideradas elasticidades idênticas para os produtos agropecuários de 0,25 (exceto suínos, aves e ovos, e pesca e aquicultura) e para os demais produtos é estabelecida elasticidade unitária. Além disso, o fator trabalho é derivado de uma função CES, coordenando a substituição entre os 10 tipos de trabalho do modelo, conforme a elasticidade de substituição (0,35 para todos os produtos) (Diniz, 2019).

Quanto à demanda final (investimentos, governo, exportações e consumo das famílias), a demanda de exportações de cada região é determinada pelos preços e elasticidades de cada produto. Conforme mencionado anteriormente, as famílias maximizam sua utilidade, de acordo com suas restrições orçamentárias. É utilizada a função *Klein-Rubin* (também denominada *Stone-Geary*), na qual são desagregadas parcelas de consumo de subsistência e de supranumerária. Pela maximização dessa, obtém-se um sistema linear de dispêndio. Ao todo, são considerados

10 tipos de famílias representativas no modelo. As elasticidades-renda de consumo das 10 famílias representativas foram elaboradas com base nos dados de Hoffmann (2010)¹⁴. Demais componentes da demanda final podem ser determinados de forma exógena ou pela atribuição de regras específicas, por exemplo, o consumo do governo pode apresentar variações proporcionais ao consumo das famílias, ou do PIB.

3.2. Calibração do modelo

De acordo com o exposto na seção 3.1, propõe-se a utilização do modelo TERM-BR. Foram realizados os procedimentos necessários para a calibração do modelo para o ano de 2015¹⁵, caracterizando as informações mais recentes disponíveis da Matriz Insumo-Produto brasileira, realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2018), para tanto, o modelo será doravante denominado TERM-BR15.

A calibração do TERM-BR15 demanda a obtenção e processamento de grande volume de informações, capazes de representar a dinâmica da economia brasileira para o ano de 2015, abrangendo os setores de atividade, produtos, consumo das famílias, consumo do governo, investimentos, exportações e importações. Também são incluídos os módulos de emissões de GEE, contemplando as atividades produtivas e a mudança do uso do solo. A presente seção visa mostrar as etapas realizadas para a calibração.

3.2.1. Procedimentos e base de dados para representação da economia brasileira em 2015

A Matriz Insumo Produto do Brasil de 2015 (MIP15) (IBGE, 2018) é a principal fonte de informação para o TERM-BR15. A mesma apresenta originalmente 67 indústrias e 127 produtos. As indústrias (setores) “transporte aéreo”, “transporte aquaviário”, “transporte terrestre” e os produtos “transporte terrestre de carga”, “transporte terrestre de passageiros”, “transporte aquaviário”, “transporte aéreo”, “armazenamento e serviços auxiliares aos transportes” e “correio e outros serviços de entrega”, foram agregados em uma única indústria e produto, respectivamente. Assim, obtêm-se 65 indústrias e 122 produtos.

A seguir os valores da MIP15 foram analisados, buscando possíveis inconsistências teóricas para elaboração do modelo de equilíbrio geral. As indústrias de “fabricação e refino de açúcar”, “metalurgia de metais não ferrosos e a fundição de metais” e “fabricação de peças e acessórios para veículos automotores” apresentam, na MIP15 original, excedente operacional bruto ou remuneração dos autônomos negativas. Estes valores foram corrigidos pela tipificação dos resultados nos últimos 5 anos.

Então foi realizado procedimento de diagonalização da matriz de produção, conforme Horridge (2005). Assim, cada indústria é responsável pela produção de um único produto, resultando em matriz de produção quadrada com 122 indústrias e 122 produtos. Esse procedimento permite avaliação dos efeitos de política sobre os produtores de maneira mais específica, onde posteriormente podem ser ajustadas às estruturas tecnológicas (de

¹⁴ A versão anterior do TERM-BR não considerava diferenças de elasticidades-renda despesa nos diferentes tipos de família. Ademais, foi necessária adaptação no caso de bens inferiores (elasticidade-renda negativas), visto a inconsistência teórica com o sistema linear de dispêndio (Parks, 1969), onde foi utilizado o parâmetro do tipo de família anterior quando disponível, caso contrário foi atribuída a elasticidade média.

¹⁵ A versão anterior era calibrada para o ano de 2005 e atualizada por simulação histórica para 2010.

custos e de investimentos), assim como elaborado nessa pesquisa, para representar de maneira mais fidedigna os diferentes produtos em cada “indústria”. Foram realizadas verificações e adequações (se necessárias) para eliminar usos negativos e a ocorrência de margens sobre uso igual à zero. Esse procedimento envolveu os produtos agrícolas (e exploração florestal e silvicultura), pecuária, agroindústrias da pecuária e agroindústrias diversas (exceto “óleos e gorduras vegetais e animais”, “rações balanceadas para animais”, “outros produtos alimentares” e “bebidas”, pelas suas composições de custos diversificada),

Além disso, a estrutura de custos de “bovinos e outros animais vivos, produtos animal, caça e serviços”, “leite de vaca e de outros animais”, “suínos”, “aves e ovos”, “conservas de frutas, legumes, outros vegetais e sucos de frutas”, “café beneficiado”, “arroz beneficiado e produtos derivados do arroz”, “produtos derivados do trigo, mandioca ou milho”, “rações balanceadas para animais” e “etanol e outros biocombustíveis” foram ajustadas segundo informações adicionais do Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (2019), Associação Brasileira das Indústrias do Milho (2019), CEPEA (2015), Companhia Nacional de Abastecimento (2015), Embrapa Suínos e Aves (2015), Sindicato Nacional Da Indústria De Alimentação Animal (2019) e União da Indústria de Cana-de-açúcar (2019). Após estes procedimentos foi realizado o método RAS¹⁶ para ajustar o balanceamento da MIP15.

A inclusão do fator primário “terra” e exclusão das margens e impostos sobre os estoques são os últimos ajustes realizados na MIP15. O fator terra foi adicionado somente para os setores da agropecuária, mineração, petróleo e gás natural. Então foi realizada a elaboração das matrizes regionais por meio de parcelas de produção, consumo, remuneração, entre outras. Nessa etapa foram distribuídas parcelas para as 26 UFs e para o DF. A distribuição da produção da agropecuária foi calculada conforme informações da Pesquisa Pecuária Municipal e Produção Agrícola Municipal (IBGE, 2018b, 2018c). Para as demais atividades foram utilizadas informações de remuneração e emprego da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) (Brasil, 2016a) – incluindo apenas o setor formal – e da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) (IBGE, 2016). Para o comércio exterior, dados do Brasil (2015a). Por fim, o consumo das famílias foi alocado conforme estimativas da Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) (IBGE, 2021) e PNAD (IBGE, 2017). As parcelas foram elaboradas conforme os códigos CNAE 2.0 dos produtos¹⁷. Por fim, há uma grande quantidade de elasticidades utilizadas para elaboração do modelo TERM-BR15, explicadas na seção 3.1. Foram utilizadas as bases de dados do *Global Trade Analysis Project* (GTAP) (Aguiar et al., 2019) e a calibração da versão anterior do modelo (Diniz, 2019) para estabelecimento dessas elasticidades.

A desagregação regional das indústrias e serviços por meio das informações de emprego da RAIS constitui inovação em relação ao procedimento adotado nas versões anteriores. A utilização de microdados permite informações mais fidedignas sobre a distribuição da produção no território nacional, auxiliando a maior precisão das análises realizadas ao nível regional, característica importante para avaliar uma política de nível nacional como ocorre com a RPD. Apesar do maior detalhamento, a desagregação por meio de parcelas de remuneração implica a hipótese de que os produtos apresentem tecnologias de produção relativamente homogêneas entre os estados (parcelas de produto em relação à remuneração). Na versão anterior do TERM-BR a desagregação era elaborada por meio de parcelas de produção, que também implicam hipótese de tecnologias de produção homogêneas. Essa limitação decorre da inexistência de informações da estrutura tecnológica (de custo) para produtos e regiões. Exemplificando para o setor automobilístico, seriam necessários dados para identificar se a composição dos custos de produção de um veículo no Rio Grande do Sul é diferente da observada no Amazonas.

¹⁶ Para mais informações verificar Jackson e Murray (2004).

¹⁷ Foram realizadas com base nos dados da Comissão Nacional de Classificação (CONCLA, disponível em: <https://concla.ibge.gov.br/>) e, quando necessário, na descrição das atividades.

A Tabela 4 apresenta a distribuição da produção regional obtida. A região Sudeste concentra a maior parcela da produção nacional (55,5%), onde aproximadamente 57% (31,7 p.p.) desta é decorrente da economia do estado de São Paulo (coluna “Total”). A segunda maior participação na produção, de 18,4%, é da região Sul, representando cerca de 33% em relação ao Sudeste. Ademais, as regiões Nordeste, Centro-Oeste e Norte, com parcelas de 13,3%, 8,1% e 4,7%, respectivamente, em relação ao total da produção do Brasil.

A atividade agropecuária (Tabela 4 coluna “Agropecuária”) registrou distribuição semelhante nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, com parcelas de produção de 27,4%, 25,8% e 23,7% em relação ao Brasil, respectivamente. As regiões Norte e Nordeste, por sua vez, corresponderam a 8,5% e 14,5% da produção, na mesma ordem. Ao nível estadual observa-se maior heterogeneidade na distribuição da produção agropecuária. Cinco estados obtêm aproximadamente 58% da produção agropecuária do país, a saber: Paraná (12 p.p.), Minas Gerais (11,7 p.p.), Mato Grosso (11,6 p.p.), São Paulo (11,4 p.p.) e Rio Grande do Sul (10,9 p.p.). Dessa maneira, pode-se observar, por exemplo, que o resultado do Sudeste decorre das produções de Minas Gerais e São Paulo, enquanto o Espírito Santo e Rio de Janeiro têm participações expressivamente menores.

Ao contrário da relativa distribuição no território nacional da produção agropecuária, na indústria 57,8% da produção ocorre na região Sudeste, sendo 54,3% (31,4 p.p.) desta localizada em São Paulo (Tabela 4 coluna “Indústria”). As demais regiões contribuem com parcelas de 20%, 11,4%, 6,1% e 4,6%, para o Sul, Nordeste, Centro-Oeste e Norte, respectivamente. Também há maior diversidade nas características de produção ao nível estadual. As maiores participações são de São Paulo (31,4%), Rio de Janeiro (14,4%), Minas Gerais (10,3%), Paraná (7,8%) e Rio Grande do Sul (6,8%), totalizando quase 71% da produção nacional. Além disso, existem estados com elevadas produções em algumas indústrias, mas pequenas em outras. Por exemplo, o Rio de Janeiro representa 50,6% da produção das indústrias extrativas (principalmente pela exploração de petróleo e gás natural), mas participa com apenas 6,6% da indústria de eletricidade e gás, água, esgoto e atividades de gestão de resíduos e descontaminação (tabela com os subsetores no Apêndice A, Tabela A 5, Tabela A 6 e Tabela A 7).

A distribuição da produção de serviços entre as grandes regiões é semelhante à da indústria (Tabela 4 coluna “Serviços”). Assim, obtêm-se o ordenamento de importância, da maior para a menor, do Sudeste (56,4%), Sul (16,5%), Nordeste (14,5%), Centro-Oeste (8,2%) e Norte (4,4%). Os estados que obtêm predominância na produção de serviços são: São Paulo (33,5%), Rio de Janeiro (11,9%), Minas Gerais (9,3%), Paraná (6,4%) e Rio Grande do Sul (6,1%), representando 67% do total. Observa-se que há o mesmo ordenamento dos principais estados na produção industrial. Entretanto, no caso dos serviços, as participações estaduais apresentam variações menos expressivas nos diferentes “produtos”.

Tabela 4. Distribuição regional da produção por setor de atividade econômica e UF.

UF e setor	Agropecuária	Indústria	Serviços	Total
Norte	8,5	4,6	4,4	4,7
RO	1,5	0,6	0,5	0,6
AC	0,4	0,1	0,2	0,2
AM	0,7	1,4	0,9	1,1
RR	0,2	0,1	0,1	0,1
PA	4,1	2,0	2,0	2,1
AP	0,2	0,1	0,2	0,2
TO	1,4	0,3	0,4	0,4
Nordeste	14,5	11,4	14,5	13,3
MA	1,9	1,0	1,3	1,2
PI	1,1	0,5	0,8	0,7
CE	1,2	1,6	2,2	2,0
RN	0,7	0,7	1,1	0,9
PB	0,5	0,7	1,1	0,9
PE	1,4	1,9	2,9	2,4
AL	0,7	0,5	0,6	0,6
SE	1,1	0,7	0,6	0,6
BA	5,9	3,9	4,0	4,0
Sudeste	25,8	57,8	56,4	55,5
MG	11,7	10,3	9,3	9,8
ES	1,9	1,7	1,7	1,7
RJ	0,8	14,4	11,9	12,4
SP	11,4	31,4	33,5	31,7
Sul	27,4	20,0	16,5	18,4
PR	12,0	7,8	6,4	7,2
SC	4,5	5,4	4,0	4,6
RS	10,9	6,8	6,1	6,6
Centro-Oeste	23,7	6,1	8,2	8,1
MS	5,0	1,4	1,3	1,5
MT	11,6	1,3	1,3	1,8
GO	7,0	2,6	2,9	3,0
DF	0,2	0,8	2,7	1,9

Fonte: elaboração própria. Legenda das UFs no Apêndice e Tabela A 3 e subsetores de atividade econômica na Tabela A 5, Tabela A 6 e Tabela A 7.

Conforme mencionado anteriormente, o TERM-BR15 apresenta 10 tipos de trabalho e 10 famílias representativas. Para os trabalhos foram utilizados dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD pessoas) (IBGE, 2017), gerando as classificações com base em faixas de remuneração que representam uma aproximação da qualificação da mão-de-obra. As famílias também foram classificadas conforme faixas de remuneração, no entanto, por meio de informações das unidades domiciliares da PNAD (IBGE, 2017). As classificações podem ser verificadas na Tabela 5.

Tabela 5. Classificações dos tipos de trabalho (OCC) e famílias (FAM).

Classificação das Famílias	Classificação dos Trabalhos	Faixa de Remuneração em R\$ de 2015	Faixa de Remuneração em Salários Mínimos
FAM1	OCC1	[0-788)	[0-1)
FAM2	OCC2	[788-1.576)	[1-2)
FAM3	OCC3	[1.576-2.364)	[2-3)
FAM4	OCC4	[2.364-3.152)	[3-4)
FAM5	OCC5	[3.152-3.940)	[4-5)
FAM6	OCC6	[3.940-4.728)	[5-6)
FAM7	OCC7	[4.728-5.516)	[6-7)
FAM8	OCC8	[5.516-6.304)	[7-8)
FAM9	OCC9	[6.304-7.880)	[8-10)
FAM10	OCC10	≥7.880	≥10

Fonte: elaboração própria.

A Tabela 6 mostra a distribuição da massa salarial com base na classificação da Tabela 5. Apesar da maior concentração do número de famílias nos estratos de renda mais baixos, como 39,6% com renda de até dois salários mínimos (FAM1 e FAM2, Tabela 7), observa-se que estas famílias representavam aproximadamente 9,1% da massa salarial do país. Por outro lado, os trabalhadores (individualmente) que recebem até essa faixa de remuneração (OCC1 e OCC2), representam 32,8% da massa salarial de 2015. As famílias com renda de até 7 salários mínimos (FAM1 a FAM7) correspondem a cerca de 54% da massa salarial (Tabela 6) e 87,4% dos domicílios (Tabela 7). Assim, o restante de 46% da remuneração está concentrado em 12% dos domicílios. Observa-se ainda que somente as famílias de maior renda (FAM10) registraram 34,1% da massa salarial (Tabela 6).

Tabela 6. Participação na massa salarial do Brasil por classificação de trabalho e família.

Classificação	FAM1	FAM2	FAM3	FAM4	FAM5	FAM6	FAM7	FAM8	FAM9	FAM10	Total
OCC 1	1,4	2,3	2,0	1,1	0,6	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	8,2
OCC 2		5,4	5,3	5,2	3,2	2,1	1,2	0,7	0,7	0,8	24,6
OCC 3			3,2	2,5	2,5	2,0	1,2	0,8	0,9	1,1	14,2
OCC 4				2,3	1,4	1,7	1,5	1,1	1,2	1,7	10,9
OCC 5					1,0	0,5	0,6	0,4	0,8	0,9	4,3
OCC 6						1,2	0,6	0,6	0,9	1,9	5,4
OCC 7							1,2	0,6	1,0	2,9	5,6
OCC 8								0,6	0,5	1,8	2,8
OCC 9									1,0	2,4	3,4
OCC 10										20,5	20,5
Total	1,4	7,7	10,5	11,1	8,8	7,9	6,5	5,0	7,1	34,1	100

Fonte: elaboração própria. Dados da PNAD (IBGE, 2017).

Tabela 7. Percentual de famílias por classificação e UF.

Família/UFs	FAM1	FAM2	FAM3	FAM4	FAM5	FAM6	FAM7	FAM8	FAM9	FAM10	%Brasil
Norte	20,0	31,3	18,1	10,9	5,6	3,9	2,5	1,7	1,9	4,1	7,6
RO	15,0	28,8	18,8	13,8	5,8	5,2	3,2	2,4	2,6	4,5	0,9
AC	20,9	32,1	18,1	9,8	5,4	3,6	2,5	1,2	2,1	4,3	0,3
AM	19,8	29,1	17,8	10,8	6,4	4,5	2,7	1,7	1,9	5,2	1,6
RR	15,1	30,1	16,1	10,0	6,1	4,8	4,3	3,3	2,7	7,4	0,2
PA	21,9	33,2	18,0	10,7	5,1	3,1	2,1	1,3	1,5	3,0	3,5
AP	14,0	27,6	20,8	10,8	7,6	5,3	2,3	3,3	2,6	5,8	0,3
TO	20,7	31,5	17,9	9,3	5,2	3,6	2,7	2,0	2,3	4,8	0,7
Nordeste	27,0	31,7	17,7	8,6	4,4	2,7	1,8	1,3	1,4	3,2	26,5
MA	30,8	31,3	17,3	8,0	3,8	2,2	1,4	1,1	1,1	2,9	2,9
PI	24,9	31,7	18,3	9,2	5,1	3,3	1,7	1,2	1,8	3,0	1,4
CE	29,1	30,9	17,7	9,4	3,9	2,6	1,6	1,0	1,2	2,5	4,2
RN	22,4	30,2	18,4	8,5	6,0	3,4	2,8	1,6	2,6	4,0	1,6
PB	23,5	31,2	18,2	9,0	5,9	2,8	1,6	1,6	1,7	4,6	1,9
PE	25,9	32,8	17,3	8,9	4,1	3,0	1,7	1,2	1,4	3,9	4,4
AL	31,4	33,8	15,3	7,1	3,8	1,9	2,0	1,5	1,1	2,2	1,6
SE	24,6	31,9	18,3	9,7	3,8	3,4	2,4	1,4	1,2	3,4	1,0
BA	26,9	31,8	18,0	8,3	4,5	2,7	1,9	1,4	1,4	3,0	7,5
Sudeste	10,1	21,0	18,5	14,4	9,2	6,5	4,7	3,1	3,8	8,7	42,9
MG	13,5	24,2	19,6	13,5	8,1	5,4	3,9	2,2	3,1	6,5	10,5
ES	14,1	25,8	19,2	11,8	8,0	5,0	3,7	2,7	3,2	6,6	2,0
RJ	10,3	24,0	19,4	14,2	8,4	5,6	3,7	2,5	3,0	9,0	8,7
SP	7,9	17,8	17,6	15,2	10,2	7,5	5,6	3,7	4,5	9,9	21,7
Sul	8,7	19,9	17,6	15,2	9,6	7,7	5,2	3,4	4,0	8,7	15,3
PR	9,6	21,4	17,4	15,2	8,6	6,9	4,9	3,4	3,9	8,6	5,7
SC	5,8	17,2	16,5	16,3	11,3	9,1	6,1	3,8	4,4	9,7	3,6
RS	9,4	20,2	18,5	14,5	9,7	7,6	5,0	3,2	3,8	8,1	6,1
Centro-Oeste	10,4	21,6	17,9	14,2	8,1	6,6	4,4	3,0	3,8	9,9	7,7
MS	10,0	21,8	18,6	15,0	8,0	7,2	3,9	2,9	3,6	9,0	1,4
MT	10,5	24,0	19,4	14,6	8,2	6,8	4,5	2,9	3,0	6,0	1,6
GO	12,3	23,0	18,9	14,7	8,7	6,2	4,4	2,7	3,2	5,9	3,3
DF	6,2	15,7	13,2	11,9	6,9	6,9	5,0	3,8	6,0	24,3	1,5
Total	15,1	24,5	18,1	12,7	7,6	5,5	3,8	2,5	3,0	7,0	100

Fonte: elaboração própria. Dados da PNAD (IBGE, 2017).

A participação regional no consumo, correspondente a cada classificação de família, também apresenta particularidades (Tabela 8). Pode-se observar que a maioria dos estados do Norte e Nordeste apresentam participação das categorias de FAM1, FAM2, FAM3 e FAM4 superiores à média nacional, com exceção de FAM1 no AP e SE, bem como FAM4 em RR. Nos estados das demais regiões, prevalecem casos com maior participação em relação à média do Brasil para as classificações de família com remuneração superior a 4 salários mínimos.

Tabela 8. Participação no consumo total das famílias por classificação de família e UF.

Consumo/UFs	FAM1	FAM2	FAM3	FAM4	FAM5	FAM6	FAM7	FAM8	FAM9	FAM10	%Brasil
Norte	5,1	15,0	16,4	12,3	9,5	6,8	5,4	4,5	4,9	20,0	5,0
RO	2,6	10,6	15,3	13,1	11,5	7,9	7,6	5,4	7,0	18,9	0,6
AC	3,4	14,5	15,4	12,6	9,9	5,9	6,3	4,6	5,4	21,9	0,3
AM	5,5	14,5	15,0	12,4	9,3	5,6	4,2	4,8	4,9	23,7	1,0
RR	3,5	11,4	13,6	9,5	7,9	6,2	4,9	6,9	8,3	27,9	0,1
PA	6,3	16,3	16,9	12,3	9,5	7,2	5,5	3,9	4,6	17,6	2,3
AP	1,4	13,0	14,2	11,0	8,1	6,3	4,3	6,4	4,5	30,8	0,3
TO	5,6	18,3	22,3	13,1	8,1	7,8	5,4	3,5	2,2	13,7	0,4
Nordeste	4,0	14,3	16,0	11,9	8,8	7,0	5,0	3,8	5,8	23,3	18,2
MA	7,1	20,5	21,1	14,2	8,0	6,6	4,4	3,0	5,8	9,3	1,7
PI	3,8	15,7	18,8	12,7	8,4	6,4	5,1	3,8	6,0	19,4	0,9
CE	4,6	15,5	17,7	11,0	10,1	6,3	6,1	4,1	3,4	21,2	2,6
RN	2,6	10,6	15,2	10,8	9,4	7,8	6,3	3,8	8,2	25,4	1,4
PB	4,9	17,1	14,7	11,2	9,0	5,6	5,1	4,3	6,3	21,9	1,1
PE	3,4	12,3	14,0	12,2	8,4	7,4	4,6	3,9	5,9	28,0	3,3
AL	7,4	19,8	18,8	13,0	8,5	4,4	4,2	4,5	3,8	15,6	0,8
SE	1,4	10,5	12,9	14,0	7,5	7,2	5,9	5,3	7,6	27,8	0,9
BA	3,3	13,1	15,0	11,1	8,9	7,8	4,4	3,5	6,2	26,7	5,4
Sudeste	0,7	4,7	8,6	9,0	7,9	7,6	7,1	4,7	8,0	41,7	50,6
MG	0,8	6,4	11,3	11,5	9,6	9,2	7,8	5,8	9,2	28,4	9,9
ES	1,5	7,9	11,8	12,5	9,4	7,0	6,7	4,0	7,3	32,0	1,7
RJ	1,3	7,0	10,7	9,9	7,2	7,6	4,9	4,0	7,5	39,8	8,5
SP	0,4	3,4	6,9	7,7	7,5	7,0	7,6	4,5	7,8	47,1	30,5
Sul	0,7	4,6	8,3	9,2	9,5	7,7	7,6	6,4	9,0	36,9	16,9
PR	1,0	5,0	8,6	8,2	9,2	7,3	5,9	6,0	8,5	40,3	6,3
SC	0,4	4,4	8,4	10,4	10,6	9,2	8,4	7,1	9,8	31,3	3,9
RS	0,6	4,3	8,0	9,4	9,2	7,3	8,9	6,3	9,1	37,0	6,7
Centro-Oeste	0,9	5,1	8,4	8,3	8,6	6,7	5,4	4,9	7,9	43,8	9,3
MS	0,5	5,5	9,0	10,6	11,6	9,4	6,7	5,4	8,9	32,4	1,4
MT	1,4	7,3	9,6	10,6	10,2	8,0	6,2	4,6	7,7	34,5	1,7
GO	0,9	6,1	11,5	9,6	10,0	7,7	6,3	5,9	8,6	33,4	3,6
DF	0,8	2,1	3,3	4,1	4,3	3,3	3,0	3,7	6,6	68,9	2,7
Total	1,5	7,0	10,3	9,6	8,5	7,4	6,6	4,8	7,6	36,7	100

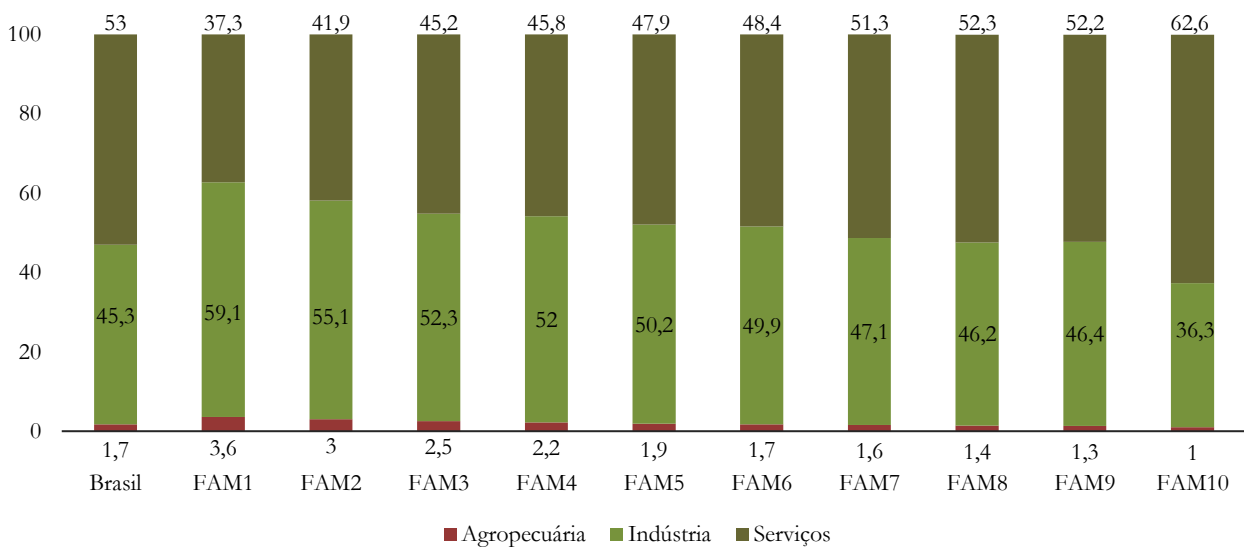
Fonte: elaboração própria. Dados da POF (IBGE, 2021).

A Figura 7 sintetiza informações da composição do consumo por setor de atividade econômica. Por volta de 1,7% do total de consumo das famílias de 2015 foi de produtos agropecuários, 45,3% de industriais e 53,0% de serviços. A diminuta participação direta da agropecuária é resultado da atribuição de alimentos processados e serviços de alimentação na indústria e serviços, respectivamente. Na medida que a renda familiar amplia, a participação da agropecuária e indústria no dispêndio total das famílias decresce, e a participação dos serviços cresce. Enquanto a distribuição das parcelas de consumo das famílias com renda inferior à 1 salário mínimo consiste em 3,6% na agropecuária, 59,1% na indústria e 37,3% em serviços, as famílias mais ricas (FAM10) gastam 1,0%, 36,3% e

62,6%, na mesma ordem. Assim, as famílias mais ricas gastam proporcionalmente 70% mais em serviços que as famílias mais pobres.

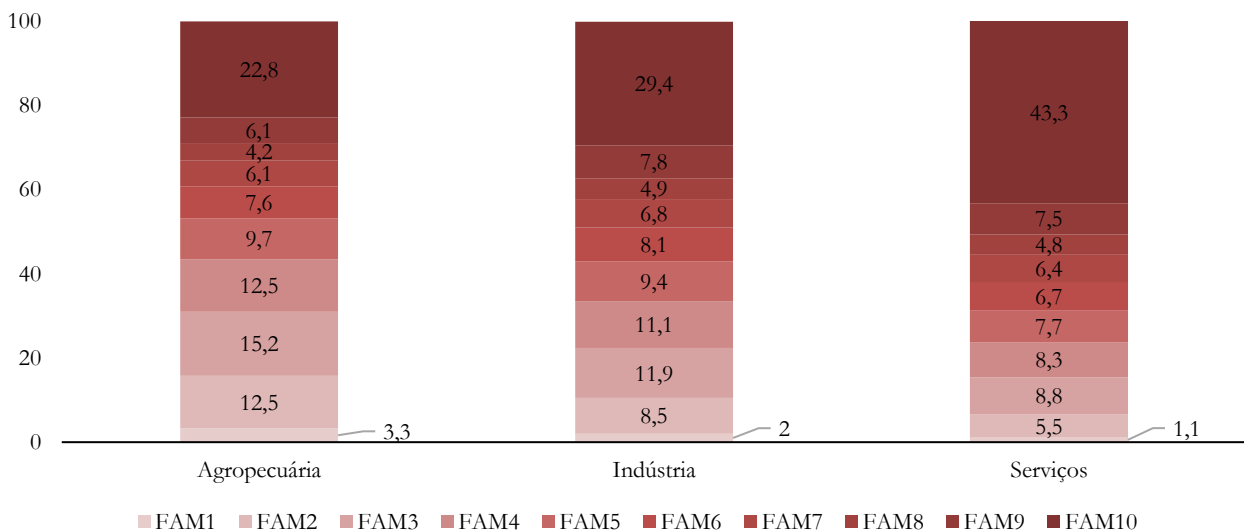
A participação do consumo em relação ao total dos setores de atividade econômica mostra a importância relativa de cada classificação familiar (Figura 8). As famílias com renda superior à 8 salários mínimos (FAM9 e FAM10) correspondem a 28,9% do consumo de produtos agropecuários, 37,2% dos industriais e 50,8% dos serviços. Em todos os setores as famílias mais ricas (FAM10) são responsáveis pelas maiores parcelas de consumo. No caso das famílias com renda inferior à 4 salários mínimos (FAM1, FAM2, FAM3 e FAM4), os percentuais para os setores são de 43,5%, 33,5% e 23,7%, respectivamente. Os dados das últimas colunas reforçam as relações anteriormente discutidas, mas evidenciam a participação em relação ao total de consumo registrado no país.

Figura 7. Composição do consumo por classificação de família, por setor de atividade econômica e em relação ao Brasil.



Fonte: elaboração própria. Dados da POF (IBGE, 2021).

Figura 8. Participação do consumo das famílias em relação ao total dos setores de atividade econômica



Fonte: elaboração própria. Dados da POF (IBGE, 2021).

3.2.2. Módulo de emissões de GEE

Além das informações econômicas, o modelo TERM-BR15 apresenta dois módulos de emissões de GEE. O primeiro relacionado às atividades produtivas, apresentando a queima de combustíveis, nível de atividade e a demanda final para todas as indústrias e produtos. O segundo está relacionado ao uso da terra, mudança do uso da terra e florestas, mostrando as emissões oriundas das transições no uso da terra, o estoque de terra disponível e a taxa de desmatamento, detalhado para 4 categorias de uso da terra e 6 biomas brasileiros.

3.2.2.1. Atividades produtivas

A elaboração desse módulo de emissões de GEE foi realizada com base no Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2019), para o ano de 2015. A versão anterior contemplava em sua estrutura a queima de combustíveis fósseis pelos subsetores energéticos, industriais, transportes e diversos, emissões fugitivas, processos industriais, fermentação entérica, manejo de dejetos animais, cultura de arroz, solos agrícolas, queima de resíduos agrícolas, tratamento de resíduos e uso de solventes. Atualmente há maior detalhamento das origens das emissões.

Foram desagregadas as emissões relacionadas a 35 processos industriais, 22 a mais que na versão anterior do TERM-BR; as emissões da queima de combustíveis fósseis do subsetor energético permitem a desagregação das Centrais Elétricas Auto propelidas em 16 produtos e o Consumo do Setor Energético em 6 produtos; as emissões de Solos Agrícolas podem ser separadas em animais em pastagem (5 categorias), dejetos animais (5 categorias), emissões indiretas (7 categorias) e resíduos agrícolas (8 categorias); nas emissões do Tratamento de Resíduos foram desagregados 11 produtos de esgoto industrial; e, o Uso de Solventes apresenta também o consumo de outros produtos não energéticos (3 categorias). Desse modo, é possível representar com maior precisão a dinâmica das emissões de GEE na economia brasileira, consistindo em importante contribuição para o modelo TERM-BR para avaliações de políticas ambientais, como as propostas pelo Plano ABC e NDC.

A partir dessa elaboração é preciso associar o módulo de emissões de GEE às variáveis econômicas do modelo, como realizado por Ferreira Filho e Rocha (2008) e dos Santos e Ferreira Filho (2017). Assim, existem diferenças quanto às formas de atribuições de emissões da queima de combustíveis fósseis e demais atividades anteriormente mencionadas, visto que as primeiras estão baseadas no uso dos combustíveis, enquanto as demais são obtidas por meio do nível de atividade (produção). No primeiro caso, foi necessário compatibilizar os 43 combustíveis descritos na base de dados do SEEG (2019) para produtos existentes na MIP15. Como resultado, as emissões foram associadas ao “carvão mineral”, “petróleo, gás natural e serviços de apoio”, “combustíveis para aviação”, “gasoálcool”, “naftas”, “óleo combustível”, “diesel e biodiesel”, “outros produtos do refino do petróleo” e “etanol e outros biocombustíveis”¹⁸ (legenda dos combustíveis e correspondências do SEEG (2019) no Apêndice Tabela A 4). Para obtenção das emissões estaduais foram utilizadas das parcelas regionais de uso e produção. As

¹⁸ Os combustíveis renováveis não apresentam emissões especificamente de CO₂. No entanto, como as unidades dos demais gases foram convertidas para CO₂ equivalente (GWP-AR5), são gerados valores de emissões para esses combustíveis.

emissões estão desagregadas por 14 tipos de gases¹⁹, dos quais as unidades de peso foram convertidas para CO₂eq pelo Potencial de Aquecimento Global (GWP) desenvolvidos pelo quinto relatório do IPCC (AR5) (SEEG, 2019).

Os resultados desses procedimentos estão expostos nas Tabela 9 e Tabela 10. A Tabela 9 apresenta as emissões percentuais de GEE conforme as fontes de emissões e principais setores de atividade econômica. O nível de atividade produtiva representou 57,0% das emissões de GEE em 2015 (exceto às relacionadas ao uso da terra, mudança do uso da terra e florestas), caracterizando a maior fonte de emissões, em sequência os combustíveis “DieselBiodis” com 13,4%, “PetroGasNat” representando 12,4% e “Gasoalcool” com 6,5%. Somados, caracterizam cerca de 89,2% das emissões. As emissões decorrentes do nível de atividade estão, em sua maioria (68,1%), relacionadas à pecuária, o que resulta em participação desse setor em 38% nas emissões totais do Brasil. A utilização de “PetroGasNat”, por sua vez, ocorre principalmente na indústria (74,0%), apesar de haver participação do consumo das famílias (11,4%). A utilização de “DieselBiodis” apresenta maior diversificação, com 45,2% em serviços (majoritariamente transportes), 31% na indústria e 20,7% na agropecuária. Por fim, no “Gasoalcool” há participação de 80,6% do consumo das famílias.

A Tabela 10 mostra a distribuição das emissões por fonte de emissão de GEE e UF. O estado de São Paulo registrou o maior volume de emissões, com participação de 17,9% em relação ao total do Brasil (coluna “% do total de emissões”). Deste volume, 34,1% são decorrentes do nível de atividade, ou seja, 6,1% das emissões totais do país. Da mesma forma, as emissões do estado de São Paulo quanto ao “DieselBiodis”, o “PetroGasNat” e o “Gasoalcool” correspondem a 3,3%, 3,3% e 2,1% das emissões totais, respectivamente. Esse estado somente não é o maior emissor em relação ao nível de atividade, no qual Minas Gerais representa 6,4% do total de emissões de GEE do Brasil. Outras UFs com grande participação nas emissões totais de GEE são Minas Gerais (11,6%), Rio Grande do Sul (8,0%), Rio de Janeiro (7,4%) e Paraná (6,9%).

Observa-se que apenas no Amazonas, Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo e Distrito Federal menos da metade das emissões de GEE são provenientes do nível de atividade (Tabela 11). Ademais, quanto à composição das fontes de emissões nas UFs, o Distrito Federal apresenta os maiores valores em “CarvMiner” (4,5 p.p.), o Rio de Janeiro em “PetroGasNat” (24,7 p.p.) e em “CombAviacao” (4,8 p.p.), o Distrito Federal em “Gasoalcool” (12,9 p.p.) e “DieselBiodis” (21,2 p.p.), São Paulo em “OleoComb” (5,1 p.p.), “OutProRefPet” (2,5 p.p.) e “EtanolCombust” (2,2 p.p.). Em relação ao nível de atividade, destacam-se Tocantins, Acre, Rondônia, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso, com parcelas superiores a 80% das emissões estaduais.

¹⁹ Dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), perfluorometano (CF₄), Perfluoroetano (C₂F₆), hidrofluorocarbono (HFC) HFC-23 (CHF₃), HFC125 (C₂HF₅), HFC134a (CH₂FCF₃), HFC143a (C₂H₃F₃), Difluoroetano - HFC152a (C₂H₄F₂), hexafluorsulfúrico (SF₆), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e Compostos Orgânicos Voláteis não metano (NMVOC).

Tabela 9. Percentual de emissões de GEE por fonte de emissão e principais setores de atividade econômica. Módulo de Atividades Produtivas*.

Fonte e setor	CarvMiner	Petro GasNat	Comb Aviacao	Gasool	Nafta	Oleo Comb	Diesel Biodis	OutPro RefPet	Etanol Combust	Atividade	% total
Agropecuária	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	0,4	20,7	0,0	9,1	77,0	45,2
Agricultura	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,3	15,0	0,0	3,4	8,4	6,7
Pecuária	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,1	4,3	0,0	1,1	68,1	38,0
ProdFlorPes	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	1,3	0,0	4,6	0,5	0,5
Indústria	90,5	74,0	33,3	8,9	100,0	92,0	31,0	99,9	33,0	26,6	38,2
IndExtrat	6,0	12,2	10,9	0,0	0,0	4,8	7,0	1,2	0,1	5,1	6,1
IndTransf	35,0	41,8	21,7	7,9	100,0	48,9	14,5	98,7	32,8	10,2	19,0
Eletricidade	49,4	20,0	0,0	0,2	0,0	35,9	6,7	0,0	0,1	11,3	12,6
Serviços	0,3	1,3	64,1	9,3	0,0	7,5	45,2	0,0	1,8	0,3	8,5
TranspArmz	0,0	0,0	59,4	1,7	0,0	3,9	37,3	0,0	0,1	0,0	6,4
Famílias	0,0	11,4	2,6	80,6	0,0	0,1	3,1	0,1	56,2	0,0	8,0
% total	2,7	12,4	2,0	6,5	0,4	3,3	13,4	1,1	1,3	57,0	100

Fonte: Elaboração própria. Dados do SEEG (2019). *Emissões de GEE relacionadas ao uso da terra, mudança do uso da terra e florestas, não estão incluídas.

Tabela 10. Percentual de Emissões de GEE por fonte de emissão e UF. Módulo de Atividades Produtivas*.

Fonte e Setor/UFs	Carv Miner	Petro GasNat	Comb Aviacao	Gasool	Nafta	Oleo Comb	Diesel Biodis	OutPro RefPet	Etanol Combust	Atividade	% BR
Norte	2,0	6,2	1,0	2,9	0,1	2,2	9,0	0,2	0,6	75,8	9,7
RO	1,5	4,1	0,5	1,8	0,1	1,5	5,1	0,1	0,4	85,0	2,3
AC	0,7	3,0	0,5	2,6	0,0	0,7	5,4	0,0	0,5	86,6	0,5
AM	3,3	15,6	2,7	6,9	0,2	4,2	18,1	0,7	1,3	47,0	0,8
RR	1,7	5,4	1,3	4,3	0,2	1,8	11,0	0,2	0,7	73,6	0,2
PA	2,6	6,8	1,1	2,5	0,2	2,8	10,5	0,2	0,6	72,6	4,4
AP	3,6	12,5	1,6	9,9	0,1	4,0	15,0	0,2	1,8	51,2	0,2
TO	0,6	2,6	0,4	2,3	0,0	0,8	5,2	0,1	0,4	87,6	1,4
Nordeste	2,8	11,5	1,7	5,8	0,3	3,0	11,6	0,8	1,0	61,6	16,6
MA	3,0	9,5	1,3	4,7	0,5	3,0	9,5	0,7	0,8	67,0	2,3
PI	1,9	7,5	1,1	5,3	0,1	2,0	10,4	0,2	0,9	70,7	1,0
CE	2,9	10,5	1,6	6,6	0,3	3,2	11,2	0,7	1,1	61,9	1,9
RN	2,4	11,7	2,1	5,8	0,2	2,4	12,6	0,3	1,0	61,6	0,9
PB	3,2	12,7	1,5	8,1	0,1	3,2	12,2	0,3	1,4	57,3	0,9
PE	2,6	11,2	2,0	6,3	0,2	3,3	13,3	0,6	1,0	59,4	2,5
AL	3,7	12,9	1,7	5,0	0,1	3,7	13,1	0,6	0,9	58,3	0,8
SE	2,6	14,5	1,7	3,8	0,0	2,9	12,0	0,9	0,8	60,7	0,9
BA	2,7	12,7	1,7	5,9	0,4	2,9	11,5	1,2	1,1	59,9	5,4
Sudeste	3,5	17,7	3,1	8,9	0,7	4,4	16,9	1,8	1,6	41,2	38,6
MG	3,5	12,1	2,1	6,2	1,0	3,7	13,5	1,4	1,2	55,2	11,6
ES	3,2	18,6	3,1	6,8	0,8	3,9	17,1	1,1	1,3	44,2	1,7
RJ	2,9	24,7	4,8	7,2	0,4	3,8	18,3	1,1	1,1	35,6	7,4
SP	3,8	18,4	3,1	11,5	0,7	5,1	18,6	2,5	2,2	34,1	17,9
Sul	2,6	11,6	1,5	6,4	0,4	3,3	12,7	0,9	1,3	59,2	19,5
PR	2,5	11,3	1,7	6,3	0,3	3,3	15,1	1,1	1,5	56,9	6,9
SC	4,0	13,7	1,5	7,4	0,6	4,5	12,0	0,8	1,5	54,2	4,6
RS	2,0	10,7	1,3	5,9	0,3	2,6	11,2	1,0	1,1	63,9	8,0
Centro-Oeste	1,3	4,8	0,9	3,6	0,1	1,4	9,9	0,4	0,9	76,7	15,6
MS	1,0	3,2	0,5	2,3	0,1	1,2	7,3	0,3	0,8	83,2	3,8
MT	0,7	2,7	0,5	2,0	0,1	0,8	9,5	0,2	0,5	83,0	5,4
GO	1,4	5,4	1,1	4,4	0,2	1,6	9,9	0,5	1,2	74,2	5,4
DF	4,5	18,6	4,0	12,9	0,2	4,9	21,2	0,7	1,7	31,3	1,0
BR	2,7	12,4	2,0	6,5	0,4	3,3	13,4	1,1	1,3	57,0	100

Fonte: elaboração própria. Dados do SEEG (2019). *Emissões de GEE relacionadas ao uso da terra, mudança do uso da terra e florestas, não estão incluídas.

3.2.3. Módulo de uso da terra, mudança do uso da terra e florestas

Após a preparação do módulo das atividades produtivas, realizou-se a calibração do uso da terra, mudança do uso da terra e florestas. Nesse caso, são utilizadas informações do Brasil (2016b) fornecidas pelo Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE), relativas às matrizes de transição de uso da terra (2002-2010) e de

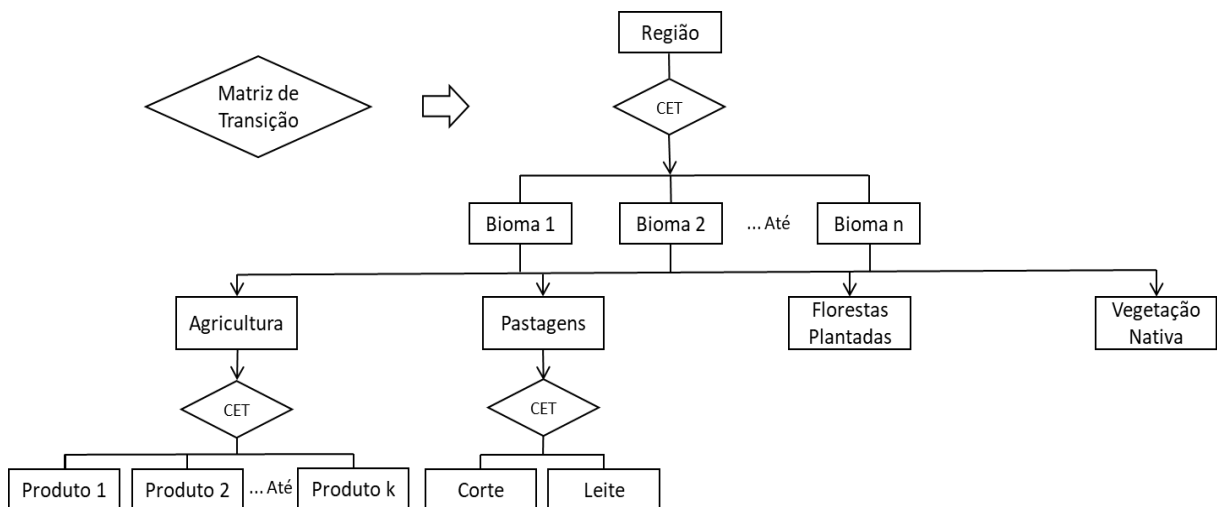
emissões líquidas (2002-2010). Dessa forma, a contribuição da presente pesquisa para esse módulo consiste na atualização da base de dados.

São considerados pelo Brasil (2016b) os seguintes usos da terra: Floresta Primária em Áreas Não Manejadas (FNM), Floresta Primária em Área Manejada (FM), Floresta Secundária (FSec), Reflorestamento (Ref), Floresta com Corte Seletivo de Madeira (CS), Campo com Vegetação Nativa Não Manejada (GNM), Campo com Vegetação Nativa Manejada (GM), Campo Secundário (GSec), Pastagens (Ap), Áreas Agrícolas (Ac), Áreas Urbanas (S), Áreas Alagadas (A e Res), Outras Áreas (O) e Não Observado (N.O.). Essa classificação foi traduzida em cinco categorias: Agricultura, Pastagens, Florestas Plantadas, Vegetação Nativa e uma categoria residual. Dessa maneira foram elaboradas as matrizes específicas para cada UF, contemplando 6 biomas brasileiros (Amazônia, Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal). Alternativamente, a categoria de Vegetação Nativa e a residual podem ser agregadas.

O processo para distribuição dos usos da terra por região, bioma e produto para uma única região foi apresentado na Figura 9, porém esse é elaborado para todas as regiões do modelo. A partir das matrizes de usos da terra foi possível estimar a probabilidade da alteração do estoque de terra entre as categorias agricultura, pastagens, florestas plantadas e vegetação nativa, de um determinado ano para o ano seguinte, bem como os coeficientes de emissões de GEE associados às mudanças. Esse processo é específico por região e bioma, conforme função de Elasticidade de Transformação Constante (CET), e a demanda por terra iguala-se a oferta de terra. Essa oferta é dada pela matriz de transição, mas pode sofrer impactos endógenos devido a mudanças tecnológicas e na remuneração das atividades nos diferentes usos da terra e regiões. Desta forma, as matrizes de transição determinam o estoque total de terra disponível para cada categoria de uso da terra, bioma e ano (Ferreira Filho et al., 2015).

Após a matriz de transição, a distribuição dos usos da terra aos produtos da MIP é elaborada atribuindo os produtos agrícolas, pecuários e de florestas plantadas às áreas de agricultura, pastagens e florestas plantadas, respectivamente, conforme a diferença de remuneração dos produtos em cada uso da terra e função CET. Nesse processo as áreas de vegetação nativa não são incluídas. O limite regional de áreas disponíveis para alocação é considerado para o processo de distribuição (Ferreira Filho et al., 2015).

Figura 9. Matriz de transição do uso da terra e emissões de GEE



Fonte: elaboração própria.

3.3. Estratégia de simulação

A RPD resulta na ampliação da produtividade da pecuária (corte e leite) e no estoque de SOC, necessitando de determinado volume de investimentos para sua implementação. Do ponto de vista socioeconômico a alteração da produtividade pode influenciar os volumes produzidos e os seus preços relativos, impactando todos os agregados macroeconômicos. Essas modificações podem afetar o uso da terra, mudança do uso da terra e as florestas, que por sua vez tem implicações sobre as emissões de GEE, além propriamente da redução da intensidade de emissões da pecuária decorrente da fixação de SOC. Nesse contexto que o presente estudo se insere ao apresentar e estimar os impactos supracitados.

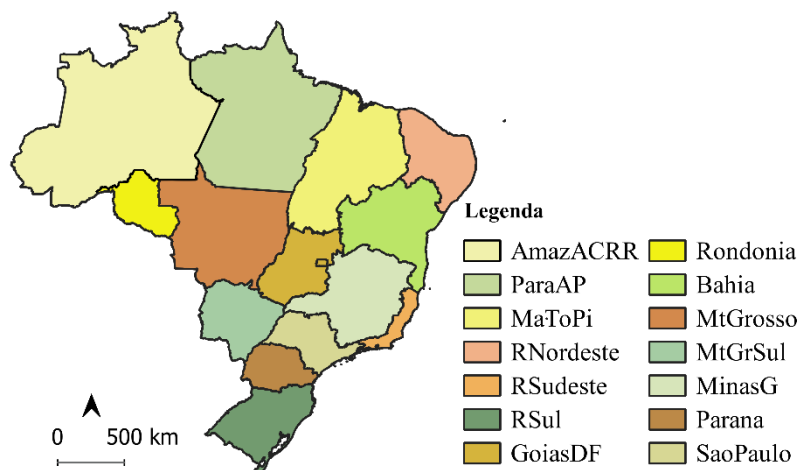
Para elaboração dos parâmetros de simulação da linha de base e dos cenários de política foi considerada agregação do Brasil de 27 Unidades da Federação para 14 regiões, observando a representatividade e importância para a produção pecuária (Tabela 11 e Figura 10). Ademais, os 122 produtos da MIP2015 foram agregados para 38 produtos, contudo os produtos da agropecuária foram mantidos desagregados (Apêndice Tabela A 1). Esse procedimento é fundamental para reduzir os custos computacionais de solução do modelo e de complexidade analítica dos resultados.

Tabela 11. Regiões do TERM-BR15 e correspondência às Unidades da Federação

Região TERM-BR15	Unidades Federativas
Rondonia	Rondônia
AmazACRR	Acre, Amazonas e Roraima
ParaAP	Pará e Amapá
MaToPi	Maranhão, Tocantins e Piauí
RNordeste	Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas e Sergipe
Bahia	Bahia
MinasG	Minas Gerais
RSudeste	Espírito Santo e Rio de Janeiro
SaoPaulo	São Paulo
Parana	Paraná
RSul	Santa Catarina e Rio Grande do Sul
MtGrSul	Mato Grosso do Sul
MtGrosso	Mato Grosso
GoiásDF	Goiás e Distrito Federal

Fonte: elaboração própria.

Figura 10. Localização espacial das regiões do TERM-BR15



Fonte: elaboração própria.

3.3.1. Linha de base

Após a calibração do modelo TERM-BR15, apresentada na seção 3.2, foi projetada uma linha de base para retratar a dinâmica da economia brasileira, de uso do solo, de emissões de GEE, entre outros aspectos, permitindo verificar posteriormente como a implementação de choques de política impactam a linha de base de modo contrafactual. Foi elaborada simulação histórica para atualização do modelo de 2015 para 2020 por meio das variações observadas no uso da terra, PIB, consumo das famílias, consumo da administração pública, investimentos, exportações e importações de bens e serviços, e população. Em sequência, projetam-se as variáveis macroeconômicas e as áreas de pastagens totais até 2035, sem considerar choques de produtividade ou mitigação de GEE da RPD.

3.3.1.1. Indicadores macroeconômicos

A Tabela 12 resume os indicadores macroeconômicos utilizados para a projeção da linha de base de simulação. Os agregados macroeconômicos até 2020 representam atualização histórica do desempenho da economia, provenientes do IBGE (2020; 2022). Após 2020, a simulação da linha de base conta com projeções do Banco Mundial (2021a) para o PIB de 2021 a 2023, e a partir de 2024 foram utilizadas estimativas do Plano Decenal de Expansão de Energia 2031 (Brasil, 2022a), considerando um cenário de crescimento no limite inferior, correspondente a longa duração da pandemia do Covid-19, dificuldades na recuperação econômica mundial, na aprovação de reformas e no ambiente de negócios brasileiro, problemas fiscais, entre outros critérios. A população foi projetada conforme dados do IBGE (2020). Mudanças de preços relativos de exportação e importação até 2030, também foram incluídas por meio de previsões realizadas pelo Banco Mundial (2021b).

Tabela 12. Taxas de crescimento anuais das variáveis para calibração do modelo

Varição percentual na variável	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024-2035
PIB	-3,3	1,3	1,8	1,2	-3,9	4,5	2,5	2,3	1,9
Consumo das famílias	-3,8	2,0	2,4	2,6	-5,4				
Consumo da administração pública	0,2	-0,7	0,8	-0,5	-4,5				
Investimento	-12,1	-2,6	5,2	4,0	-0,5				
Exportação de bens e serviços	0,9	4,9	4,1	-2,6	-1,8				
Importação de bens e serviços	-10,3	6,7	7,7	1,3	-9,8				
População	0,83	0,80	0,82	0,79	0,77	0,74	0,71	0,68	0,56

Fonte: elaboração própria.

3.3.1.2. Uso da terra e mudança do uso da terra

A análise do uso da terra e mudança do uso da terra no âmbito da avaliação de impacto da RPD conta com dois aspectos principais para a projeção da linha de base, a variação da área de vegetação nativa (desmatamento ou reflorestamento) e a da área de pastagens.

A projeção do desmatamento foi feita por bioma e UF. A Tabela 13 destaca a taxa de desmatamento anual em variação absoluta de área e percentual no total (estoque) de vegetação nativa por bioma, em que se observa a concentração do desmatamento nos biomas Amazônico e Cerrado, majoritariamente para formação de pastagens. O desmatamento anual acumulado situa-se em cerca de 1,3 Mha. As emissões de GEE correspondentes ao uso e transição do uso do solo são calibradas conforme a transição, bioma e UF, também provenientes de Brasil (2016b).

Tabela 13. Taxa de variação da vegetação nativa anual absoluta (mil ha) e percentual (%) por bioma e transição de uso do solo

Bioma	Mil ha				%			
	Agricultura	Pastagens	Florestas plantadas	Total	Agricultura	Pastagens	Florestas plantadas	Total
Amazônia	-31	-812	20	-823	-0,01	-0,21	0,01	-0,21
Cerrado	-257	-717	-28	-1.002	-0,30	-0,84	-0,03	-1,17
Caatinga	39	774	1	814	0,07	1,30	0,00	1,37
Mata Atlântica	-69	55	-73	-87	-0,14	0,11	-0,15	-0,17
Pampa	-29	-80	-22	-131	-0,52	-1,44	-0,40	-2,36
Pantanal	0	-51	0	-51	0,00	-0,63	0,00	-0,63
Brasil	-348	-840	-101	-1.289	-0,06	-0,14	-0,02	-0,22

Fonte: elaboração própria. Dados de Brasil (2016b). Valores negativos significam desmatamento de vegetação nativa.

Para a projeção das pastagens foi elaborada simulação histórica da variação observada de 2015 a 2020 e para 2021 a 2035 foi utilizada a variação média da área de pastagens de 2010 a 2020 (Lapig, 2022), porém foi aplicada progressão geométrica para refrear a diminuição das áreas de pastagens, sendo destacada na Tabela 14 a variação anual média da área de pastagens de 2015 a 2035. Esse procedimento foi realizado pois apesar da redução de pastagens no período de 2010 a 2020, se considerado o intervalo de 2000 a 2020 a área permaneceu praticamente constante, e analisando a ampliação da taxa de desmatamento após 2012 (INPE, 2021) estima-se que não será possível manter no longo prazo a dinâmica de transição agrícola observada de 2010 a 2020.

Tabela 14. Projeções da variação anual média da área de pastagens 2015-2035 (mil ha), por bioma e região

Região	Variação anual média 2015-2035 (Mil ha)						Total
	Amazônia	Cerrado	Caatinga	Mata Atlântica	Pampa	Pantanal	
Rondonia	26	0	0	0	0	0	26
AmazACRR	54	0	0	0	0	0	54
ParaAP	-37	0	0	0	0	0	-37
Bahia	0	-13	-26	-14	0	0	-53
MaToPi	-16	-24	-10	0	0	0	-49
RNordeste	0	0	-56	-11	0	0	-67
MinasG	0	-73	-2	-50	0	0	-124
SaoPaulo	0	-13	0	-45	0	0	-58
RSudeste	0	0	0	-24	0	0	-24
Parana	0	-1	0	-32	0	0	-32
RSul	0	0	0	-27	-62	0	-89
MtGrSul	0	-85	0	-12	0	-23	-119
MtGrosso	-41	-25	0	0	0	-3	-68
GoiasDF	0	-70	0	-1	0	0	-71
Brasil	-13	-302	-94	-215	-62	-25	-712

Fonte: elaboração própria. Dados do Lapig (2022).

Foi projetada redução média de 712 mil ha de pastagens de 2015 a 2035, somando aproximadamente 14,2 Mha no período de projeção, ou seja, -8,8% em relação as áreas de pastagens de 2020. Apenas não ocorre diminuição nas áreas de pastagens em Rondônia e no AmazACRR, que apresentam ampliações médias anuais de 80 mil ha. Todas as demais regiões somadas registraram reduções médias anuais de 792 mil ha. Portanto, somente se verifica crescimento da área de pastagens no bioma Amazônico.

3.3.2. Simulações de política

A partir da linha de base, foram elaborados os choques de política de 2020 a 2035 por meio das estimativas da taxa anual de RPD, os investimentos necessários para o processo de recuperação, a ampliação de produtividade da pecuária (de corte e de leite, sem distinção) e elasticidade produtividade-emissões de GEE. As áreas de RPD foram projetadas conforme a taxa média anual de RPD observada de 2010 a 2020 (Lapig, 2022), os investimentos utilizando os valores médios por hectare do Programa ABC para RPD (Banco Central do Brasil – BACEN, 2022), a ampliação da produtividade com dados dos efeitos marginais da RPD de Rocha Junior et al. (2022), e a elasticidade de produtividade-emissões de GEE por meio da relação entre a variação de SOC de Sanderman et al. (2020) e o aumento de produtividade supracitado.

As informações obtidas ao nível municipal foram agregadas ao nível estadual para solução do modelo. A variação do estoque de SOC apresenta dados espacialmente explícitos, isto é, em escala menor que a municipal, também agregado para obtenção dos efeitos médios ao nível estadual. A estimativa de produtividade foi elaborada com modelo econométrico para evidenciar o efeito da substituição do insumo pastagem degradada por pastagem em boas condições, controlando as características municipais que vão além de efeitos puramente biofísicos ou da taxa de

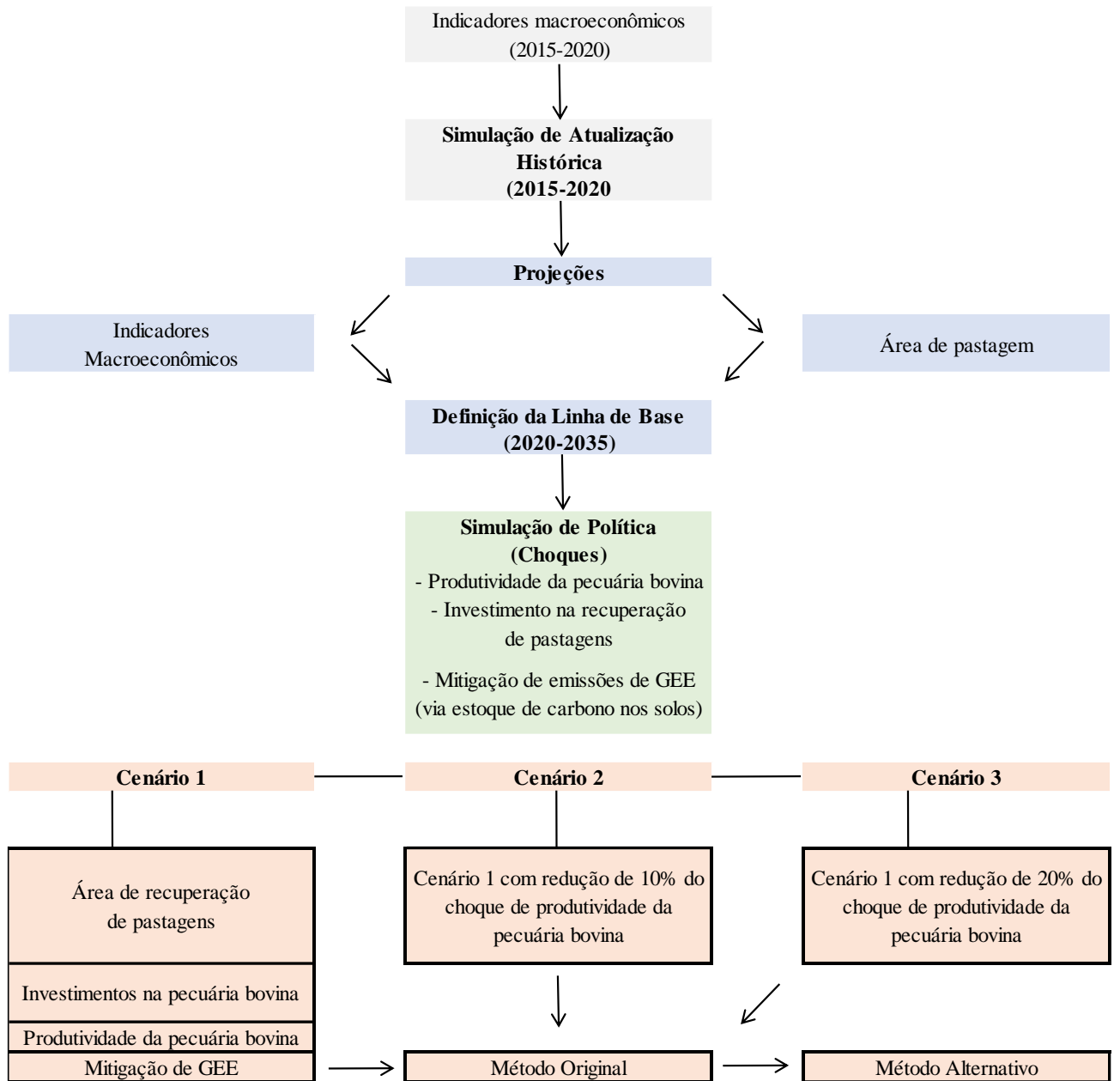
lotação, porém alocativos e de eficiência, de forma a retratar de forma indireta a completude da heterogeneidade dos sistemas produtivos da pecuária nos municípios (Rocha Junior et al., 2022).

Os dados disponíveis da pecuária no Censo Agropecuário de 2017 (IBGE, 2019), limitam informações sobre a composição de rebanho e atividades de corte e leite, de forma que a estimativa de produtividade apresenta de forma conjunta os efeitos para corte e leite. Apesar disso, os choques foram elaborados sobre a produtividade do fator terra, de modo que a diferença na estrutura produtiva do leite, mais intensiva em rações e suplementação animal do que em terra quando comparada a pecuária de corte, permite capturar a diferença do impacto da RPD entre as diferentes atividades da pecuária bovina²⁰. Nesse contexto, avança-se na definição de parâmetros específicos às regiões brasileiras em relação aos trabalhos elaborados anteriormente. Os impactos da RPD na produtividade pecuária e a aplicação da elasticidade de produtividade-emissões de GEE a nível regional são dados inéditos na avaliação da PNMC brasileira, sobretudo sobre às metas da NDC.

Foram simulados três cenários: i) Cenário 1 (CEN 1) recuperação de pastagens contemplando os choques de produtividade, investimento e impactos de mitigação de GEE do crescimento do estoque de SOC; ii) Cenário 2 (CEN 2), CEN 1 com redução de 10% dos choques de produtividade; iii) Cenário 3 (CEN 3), CEN 1 com redução de 20% dos choques de produtividade. Desse modo, o CEN 1 representa a simulação principal de avaliação, enquanto os outros dois cenários são análises de sensibilidade. Os cenários possibilitam a comparação dos resultados de emissões de GEE considerando ou não o estoque de SOC, resultados sem inclusão desse benefício são denominados de “método original”, enquanto a contabilização dos efeitos de mitigação de “método alternativo”. A Figura 11 sintetiza a estratégia de simulação utilizada.

²⁰ A desagregação da pecuária bovina de corte e leite em diferentes produtos conforme seu nível tecnológico encontra-se na fronteira do desenvolvimento dos modelos de equilíbrio geral, sobretudo de forma a representar adequadamente a heterogeneidade dos sistemas de produção das 27 UFs em seus diferentes níveis de intensificação e modais produtivos. Essa é uma limitação da presente pesquisa que considera os impactos em termos de um produto único, com efeitos em torno do investimento e da produtividade, sem choques exógenos de alterações nas estruturas de custos decorrentes da recuperação de pastagens.

Figura 11. Estratégia de simulação do modelo TERM-BR15



Fonte: elaboração própria.

3.3.2.1. Área de pastagens recuperadas

Os Censos Agropecuários (IBGE, 2012, 2019) apresentam informações quanto às áreas de pastagens naturais, degradadas e não degradadas. No último Censo Agropecuário de 2017 (IBGE, 2019), havia aproximadamente 159,5 Mha de pastagens²¹, dos quais cerca de 11,9 Mha em estágio de degradação, isto é, menos de 7,5% do total. Entretanto, esses dados são autodeclarados pelos produtores, sem critério específico para definição dos tipos de pastagens, conseqüentemente, tanto a área total quanto o volume de pastagens degradadas possuem

²¹ Não considerando os 13,9 Mha de sistemas agroflorestais (área cultivada com espécies florestais também usada para lavouras e pastoreio por animais)

diferenças em relação aos dados obtidos por sensoriamento remoto, tais quais do MapBiomass (2022) e Lapig (2022). Para o MapBiomass (2022) em 2017 existiam 158,4 Mha de pastagens, dos quais 31,2 Mha e 63,2 Mha encontravam-se em estágio de degradação severo e moderado, respectivamente, ou seja, 60% da área total. Por outro lado, o Lapig (2022) estimou a área de pastagens de 2017 em 166 Mha, sendo 35,4 Mha e 68 Mha em estágio de degradação severo e moderado, na mesma ordem, cerca de 59,7% das pastagens.

Como os levantamentos dos Censos Agropecuários (IBGE, 2012, 2019) não permitiam identificar a dinâmica recente da recuperação de pastagens após a ratificação de compromissos e metas específicas pelo governo, como o Plano ABC e NDC, foram usados os levantamentos da qualidade das pastagens do Lapig (2022). Ao incluir a tendência das áreas totais e não degradadas, as áreas degradadas são obtidas de forma residual. A partir da diferença dos estoques de pastagens não degradadas de 2010 a 2020 foi estabelecida para os cenários de simulação a taxa média de RPD nas regiões, conforme a Tabela 15²². Destaca-se ainda que foi analisada a tendência da área total de pastagens (Tabela 14) e de RPD (Tabela 15) considerando a taxa média de recuperação por aptidão agrícola do território (Sparovek et al., 2018), de forma que foi possível verificar a existência de pastagens passíveis de recuperação para os cenários de simulação até 2035. Entretanto, simulações com períodos mais extensos necessitam de cautela, especialmente pelo esgotamento de áreas de alta aptidão agrícola para recuperação de pastagens em estados como São Paulo, Mato Grosso e Goiás.

Tabela 15. Choque anual de RPD, investimento e produtividade

Região	RPD (mil ha)	Choque de investimento (% a.a.)	Choque de produtividade (% a.a.)	Produtividade-Investimento
Rondonia	71	3,03	2,02	0,67
AmazACRR	46	8,71	2,4	0,28
ParaAP	108	1,33	1,47	1,11
Bahia	110	1,14	1,37	1,20
MaToPi	195	2,99	2,35	0,79
RNordeste	33	0,75	0,77	1,03
MinasG	96	0,72	0,67	0,93
SaoPaulo	25	0,84	1,34	1,60
RSudeste	19	0,94	1	1,06
Parana	0	0	0	0,00
RSul	106	2,85	2,54	0,89
MtGrSul	73	0,33	1,08	3,27
MtGrosso	262	1,71	2,3	1,35
GoiásDF	162	0,85	1,93	2,27
Brasil	1304	1,72	0,99	0,58

Fonte: elaboração própria.

O BACEN (2022) apresenta que no período de 2015 a 2021 foram beneficiados aproximadamente 1,72 Mha pelo Programa ABC no subprograma de Recuperação de Pastagens Degradadas, valor próximo a recuperação anual projetada com os dados do Lapig (2022) na Tabela 16. No entanto, como apresentado por Carauta et al. (2018)

²² A recuperação percentual apresenta variações conforme a mudança do estoque de pastagens ao longo do período de simulação.

quanto a sistemas de integração, a intensificação produtiva, apesar de fomentada pelo Programa ABC, não depende exclusivamente dessa política existindo relação com um conjunto mais amplo de fatores socioeconômicos, biofísicos e ambientais, tais quais destacados por Oenema et al. (2014). Desse modo justifica-se a utilização dos dados do Lapig (2022), pois abrangem toda a variação da qualidade de pastagens no Brasil, não exclusivamente a área recuperada pelo programa de crédito rural.

3.3.2.2. Investimentos para recuperação de pastagens

De posse da área de RPD, foram utilizados dados do BACEN (2022) para obter a quantidade de recursos²³ e área dos contratos de Recuperação de Pastagens Degradadas do Programa ABC, conforme os produtos financiados e UF para o período de 2015 a 2021²⁴. Primeiramente para obtenção do volume de investimentos do Programa ABC foram filtrados dos produtos financiados aqueles destinados ao investimento conforme a estrutura da MIP²⁵, em sequência utilizando a área total de abrangência dos contratos obtém-se o investimento médio por hectare para RPD (Apêndice Tabela A 8).

O produto do investimento médio por hectare e a projeção de área de RPD (explicada na seção anterior) resulta na ampliação total de investimento, a qual dividida pelo investimento na atividade pecuária no ano base do TERM-BR15 consiste na relação percentual de aumento de investimento da pecuária decorrente da RPD, para cada região²⁶. Esse indicador é recalculado anualmente conforme a variação do estoque de investimentos (i.e., o choque é decrescente de acordo com o aumento do estoque de investimentos na atividade). A Tabela 15 mostra o choque anual médio de investimento da pecuária.

3.3.2.3. Produtividade diferencial das pastagens recuperadas em relação às pastagens degradadas

A última informação necessária para as simulações foi o choque de produtividade dada área de RPD. Foi utilizada estimativa do efeito marginal de produtividade da substituição de pastagem degradada por pastagem não degradada, para as atividades de pecuária de corte e leite²⁷, por meio de uma função de distância (Rocha Junior et al., 2022), elaborada ao nível municipal e agregada para as regiões. Em seguida, o cálculo de produtividade para as simulações apresenta três etapas: i) obtenção do efeito total de ampliação do Valor Bruto de Produção (VBP) por meio da área de RPD para cada região utilizando o efeito marginal específico (Apêndice Tabela A 9); ii) cálculo do novo patamar de produtividade estimado por região; iii) cálculo do aumento percentual de produtividade por região para o choque na simulação de política. Esse procedimento foi elaborado anualmente para que o impacto de

²³ Valores monetários em termos reais de 2015, deflacionados pelo IGPM.

²⁴ O período de 2010 a 2015, apesar da existência de operação do Programa ABC, não apresenta dados consolidados quanto aos subprogramas, impossibilitando a utilização no presente trabalho (Gianetti, 2018).

²⁵ Produtos como aquisição de máquinas e equipamentos, armazéns, depósitos, silo, galpão, estufa, armazém, tratores, colhedoras, entre outros bens semelhantes.

²⁶ Para o Amapá, Ceará e Rio Grande do Norte, que não possuem média histórica do Programa ABC, foi imputada a média da grande região.

²⁷ Peculiaridades dessa análise foram detalhadas na seção 3.3.2 Simulações de política.

ampliação da produtividade em determinado período de tempo (deslocamento da fronteira de produção) fosse considerado nos anos subsequentes. Na Tabela 15 apresenta-se o choque médio de produtividade da pecuária.

Nos estados onde ocorreu a redução da área de pastagens de boa qualidade (Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Paraná – antes da agregação regional), foi observada diminuição proporcionalmente maior da área total de pastagens. Dessa forma a redução da área de pastagens de boa qualidade pode ter sido ocasionada pela transição agrícola, ao invés da “degradação” de pastagens. Portanto, a implementação de choque de simulação como se houvesse a “degradação” das pastagens poderia apresentar viés em relação aos processos efetivamente observados, por isso não foram considerados os choques negativos de produtividade, a mantendo no seu nível original.

Em média, para a RPD de 1,3 Mha (aproximadamente 0,8% em relação a área de pastagens de 2020) seria necessária uma ampliação de 1,72% do investimento nas atividades da pecuária bovina, que proporcionaria um crescimento da produtividade das pastagens de 0,99% (Tabela 15). As maiores áreas recuperadas seriam no MtGrosso, MaToPi e GoiásDF, com participação de 20,1%, 14,9% e 12,4% no total do Brasil, respectivamente, somando quase 50% do total de RPD. Contudo, os maiores impactos percentuais na produtividade ocorreriam na RSul e AmazACRR, com 2,54% e 2,40% ao ano, respectivamente. Essa diferença é ocasionada tanto pela relação percentual de RPD sobre a área total de pastagens, quanto pelos diferentes níveis de efeitos marginais de produção obtidos.

A relação de produtividade-investimento, mostra que no MtGrSul e GoiásDF ocorreriam os melhores índices de retorno de produtividade por variação no investimento, com 3,24 e 2,28, respectivamente. As regiões AmazACRR e Rondônia apresentam os dois menores coeficientes, 0,28 e 0,67, na mesma ordem. Desse modo, verifica-se *a priori* que há uma menor relação custo-benefício da RPD na região Norte, do que na região Centro-Oeste, por exemplo.

3.3.2.4. Elasticidade de produtividade-emissões de GEE na pecuária bovina

A mudança do estoque de SOC decorrente de alterações de sistemas de manejo, da utilização de insumos, entre outros fatores, pode apresentar variabilidade conforme as condições biofísicas e edafoclimáticas, a exemplo da heterogeneidade dos resultados apresentados na seção 2.4. Apesar disso, Sanderman et al. (2020) realizaram estimativas da alteração do estoque de SOC derivada das mudanças de uso dos solos, por meio de parâmetros fornecidos pelo IPCC (2019), que contemplam fatores relacionados ao estágio de degradação das pastagens, manejo de insumos orgânicos, tipos de solo e clima. A metodologia considera que os efeitos das mudanças de SOC ocorrem linearmente em um período de 20 anos. Para o cálculo da variação do estoque de SOC foram usados os dados de Sanderman et al. (2020) e filtragem do território com áreas de pastagens conforme dados anteriormente discutidos (Lapig, 2022).

Para os parâmetros de base empregados nas estimativas, Sanderman et al. (2020) utilizaram a classificação de sistemas de manejo de pastagens do IPCC (2019), que utiliza quatro sistemas, a saber: i) não-degradado, onde apesar da não utilização de sistemas de manejo melhorados, há baixa ou média intensidade de pastejo; ii) alta intensidade de pastejo, que consiste em elevadas taxas de lotação (i.e., pastejo), podendo existir degradação, porém não em estágio severo; iii) severamente degradado, quando ocorrem solos expostos, erosão, entre outros problemas nas pastagens que suscitam reduções de produtividade em relação às pastagens bem manejadas; iv) melhorado,

quando há a aplicação de pelo menos um sistema de manejo melhorado, como irrigação, além de não haver alta intensidade de pastejo.

A partir das características observáveis iniciais do território e utilizando os critérios supracitados, Sanderman et al. (2020) estimam o estoque de SOC para o ano de 2018, então realizam cenários de mudança no estoque para o período de 2018 a 2038, no caso das pastagens, decorrentes da transição entre quatro classificações de sistemas de manejo do IPCC (2019). O cenário de recuperação parcial de pastagens dos autores compreende a RPD para sistema de alta intensidade de pastejo, em todas as áreas com estágio de degradação mais avançado que o limite para classificação nesse sistema, o que representa lógica de intensificação produtiva semelhante à fomentada no Brasil, em que se espera o aproveitamento da maior capacidade de suporte das pastagens com ampliação na taxa de lotação.

Portanto, com os estoques de SOC por hectare em 2018 e em 2038, a diferença dos dois períodos corresponde ao efeito total de incremento de SOC, isto é, de mitigação de emissões de GEE, que quando dividido pelo período total de 20 anos resulta no fator de mitigação anual de GEE. Efetuando a razão dessa mitigação anual pelas emissões de GEE por hectare da pecuária bovina proveniente dos dados do TERM-BR15, para as atividades específicas de corte e leite, obtém-se o percentual de mitigação decorrente da RPD para cada atividade (Apêndice Tabela A 10).

Em sequência, a relação da mitigação percentual de GEE por hectare e a ampliação percentual de produtividade por hectare (obtida na seção anterior) resulta na elasticidade produtividade-emissões de GEE. A Tabela 16 apresenta para cada UF o impacto de mitigação nas emissões de GEE decorrentes da ampliação de 1% na produtividade. As diferentes magnitudes das elasticidades refletem a heterogeneidade edafoclimática e biofísica das regiões conforme mostrado anteriormente na seção 2.4, por exemplo pela característica do bioma Amazônico, regiões como Rondônia, AmazACRR e ParaAP apresentam elasticidades de aproximadamente 7 e 21 vezes inferiores às observadas nas regiões com predominância do bioma Cerrado como o MtGrSul e GoiásDF, o que modula os impactos regionais de mitigação de emissões de GEE pela RPD.

Tabela 16. Elasticidade produtividade-emissões de GEE

Região	BovOutrAnim	LeitVacOuAni
Rondonia	-0,002	-0,004
AmazACRR	-0,001	-0,003
ParaAP	-0,002	-0,012
Bahia	-0,030	-0,052
MaToPi	-0,060	-0,122
RNordeste	-0,039	-0,025
MinasG	-0,070	-0,020
SaoPaulo	-0,011	-0,009
RSudeste	-0,063	-0,024
Parana	-0,021	-0,009
RSul	-0,074	-0,047
MtGrSul	-0,021	-0,153
MtGrosso	-0,019	-0,100
GoiásDF	-0,014	-0,012

Fonte: elaboração própria.

Conforme mencionado anteriormente, há uma particularidade da ampliação do estoque de SOC, visto que o efeito da RPD seria observado linearmente ao longo de 20 anos. Em projeção com uma taxa de RPD anual constante, por exemplo, de 1.000 ha, obtém-se uma redução persistente no nível de emissões de GEE ao longo do tempo compatível com a ampliação anual do estoque de SOC. Porém, após o período de 20 anos, a RPD adicional de 1.000 ha apenas proporcionaria a manutenção dos benefícios de mitigação de GEE já incorporados, de forma que o crescimento da produtividade não mais seria acompanhado de novos impactos de mitigação, ou seja, não haveria mais o “bônus” de mitigação de emissões com a intensificação de pastagens. Alterações nos efeitos de mitigação somente poderiam ser observados caso a taxa de RPD anual não fosse constante.

Apesar da formação e recuperação de pastagens, o desmatamento e outras mudanças no uso dos solos ocorrem no território nacional há séculos, porém os dados da RPD estão disponíveis até 2020 (Lapig, 2022), as informações do estoque de SOC são calibradas para o ano base de 2018 (Sanderman et al., 2020) e a produtividade baseia-se na dinâmica de 2017 (Rocha Junior et al., 2022). Em vista que os fatores edafoclimáticos, biofísicos e produtivos alteram os níveis de estoque de SOC, o hiato potencial para a ampliação da fixação de carbono e produtividade, e a apresentação de monitoramento e controle de contratos do Programa ABC de forma mais detalhada a partir de 2015²⁸, optou-se por considerar o ano de calibração do modelo (2015) como início do processo. Dessa forma, segundo a metodologia de Sanderman et al. (2020) a fixação de SOC ocorreria de forma linear para um período de 20 anos, determinando o horizonte de simulação até 2035. O período de 2015 a 2035 também compatível com o período de vigência da NDC, permitindo analisar os impactos do estoque de SOC no cumprimento da PNMC brasileira.

Por fim, é importante destacar que ainda existe incerteza nas estimativas dos estoques de SOC, de forma que Sanderman et al. (2020) recomendam cautela na utilização das informações elaboradas. Segundo os autores, a metodologia não é adequada para análise territorial em nível muito específico, o que não é o caso da proposta dessa pesquisa, visto que as regiões do TERM-BR15 representam grandes extensões territoriais. Também deve se considerar que além do estoque de SOC, diversos fatores influenciam os coeficientes de emissões de GEE da pecuária, que podem ou não serem afetados pela recuperação de pastagens. O IPCC (2019) – Capítulo 10 – salienta que características do rebanho, como idade, gênero, raça e peso, volume de ingestão de ração, digestibilidade da alimentação, entre outros fatores, apresentam efeitos nas emissões dos GEE na pecuária. A RPD pode estar associada à mudança nas características de digestibilidade da alimentação, mudança na composição de rebanho e outros componentes que vão além dos estimados por Sanderman et al. (2020). Dessa forma, podem haver ainda efeitos complementares de mitigação de GEE, ou de ampliação, dependendo das mudanças observadas, e que não foram incluídas neste estudo, por falta de informações.

3.3.3. Fechamento macroeconômico

Nos modelos de EGC é necessário estabelecer um fechamento macroeconômico, tanto devido às restrições matemáticas, quanto à aspectos teóricos (Ferreira Filho, 2018). Sobre a primeira condição, é necessário obter um sistema de equações exatamente determinado, apresentando o mesmo número de equações independentes

²⁸ O período de 2010 a 2015, apesar da existência de operação do Programa ABC, não apresenta dados consolidados quanto aos subprogramas, impossibilitando a utilização no presente trabalho (Gianetti, 2018).

e variáveis endógenas. Entretanto no TERM-BR15 há um sistema subdeterminado, sendo preciso considerar um conjunto de variáveis como exógenas ao modelo.

Do ponto de vista teórico existe a questão do modelo econômico que se pretende representar, bem como o período de tempo que será analisado (curto ou longo prazo). Na avaliação da recuperação de pastagens no período de 20 anos (2015-2035) pressupõe-se que possam ocorrer ampliações na disponibilidade dos fatores de produção, bem como a mudança na produtividade dos mesmos, em especial da terra, se enquadrando em uma avaliação de longo prazo.

Para isto, o capital agregado é calculado endogenamente, dependendo da dinâmica do investimento e da depreciação. O investimento nos setores e regiões é condicionado pela taxa de retorno do capital, determinada endogenamente, de forma que a variação do estoque de capital impacta a remuneração desse fator de produção. Apenas na simulação de política o fechamento foi modificado para que nos setores da pecuária de corte e de leite (BovOutrAnim e LeitVacOuAni) o investimento seja exógeno, sendo estabelecido o choque determinado pelo volume de investimentos necessários à área de recuperação de pastagens estimada. Portanto, os investimentos para a recuperação de pastagens são provenientes da realocação de investimentos de outros setores. Justifica-se essa premissa devido a existência de mecanismos de crédito para o financiamento da agricultura de baixa emissão de carbono, o que significa uma opção de financiar a pecuária em detrimento de outras atividades, e o pequeno volume de recursos necessários, dado que dos R\$ 236,31 bilhões projetados de Crédito Rural para a Safra 2020/21, apenas R\$ 2,5 bilhões eram destinados ao ABC, representando menos de 1,1% (Brasil, 2020). Dessa forma, não são necessárias mudanças na estrutura tributária, na taxa de poupança ou mecanismo de financiamento externo para implementação da política analisada.

Os usos da terra são considerados endógenos, exceto a área de pastagens nas regiões consolidadas (Rnordeste, RSudeste, São Paulo, Paraná e RSul), onde pressupõe-se o esgotamento de áreas disponíveis para ampliação da área agropecuária, portanto, não devendo ocorrer desmatamento nas regiões consolidadas. O consumo real das famílias é endógeno, variando conforme as alterações na renda regional. O consumo real do governo também é endógeno, seguindo as variações no consumo real das famílias.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Impactos socioeconômicos

A RPD resultaria em crescimento do consumo real das famílias e do PIB real em 0,71% e 0,57%, respectivamente, em relação à linha de base de 2035²⁹ (Tabela 17). Essa ampliação percentual do PIB é equivalente a R\$ 85.800,68 milhões em valores de 2022 (corrigidos pelo IGPM), frente a variação de investimento de R\$ 9.215,86 milhões³⁰. Desse modo, para cada R\$ 1,00 de investido em RPD haveria um retorno social de aproximadamente R\$ 8,31, uma taxa de retorno (real) de 16,04% ao ano. As exportações aumentariam em 0,65% mesmo com uma apreciação cambial de 1,02%, dado crescimento de produtividade da agropecuária. As importações cresceriam em 1,0%, pelo incremento de renda e da apreciação cambial. Os cenários de sensibilidade (CEN 2 e CEN 3) mostraram que os impactos são consistentes, mantendo direção e proporção razoáveis em comparação as diminuições dos choques de produtividade.

A Tabela 17 também apresenta os resultados macroeconômicos para 2025 e 2030, períodos que correspondem às metas da NDC. Em 2030, último ano de referência para meta da NDC, obter-se-ia no CEN 1 um aumento de PIB real de 0,41% em relação à linha de base. Esse resultado econômico é de apenas 0,02 pontos percentuais menor (-4,6%) em relação ao encontrado por Stocco et al. (2020)³¹, mesmo que esses autores tenham considerado recuperação de 66 Mha, frente a 13 Mha na presente simulação³². Os autores também encontraram redução de 0,05% no consumo real das famílias, enquanto a presente pesquisa um aumento de 0,53%. Ainda quanto ao PIB real, o resultado deste trabalho também foi 0,17 p.p. menor (42,5% inferior) que os estimados por Souza et al. (2020) para 2025. Por outro lado, é entre 0,045 p.p. e 0,253 p.p. maior (de 12,3% a 161% superior) do que os estimados por Ferreira Filho e Horridge (2016) em cenário conjunto da RPD de 15,02 Mha e políticas de redução do desmatamento de 2015 a 2030. Destaca-se que a estimativa de crescimento de produtividade por um modelo econômico, controlando os aspectos socioeconômicos e biofísicos das estruturas tecnológicas da pecuária ao nível municipal permite analisar as alterações de produtividade de maneira mais específica, traduzindo ainda essas mudanças em termos monetários, diferentemente de métodos exclusivamente biofísicos como os utilizados pelos autores supracitados³³.

²⁹ Todos os resultados analisados são diferenças percentuais em relação à linha de base, mesmo que se omita a expressão desse detalhe metodológico.

³⁰ Considerando o produto dos investimentos necessários para RPD e da área de RPD, conforme descrito na metodologia.

³¹ Os autores avaliaram exclusivamente a pecuária de corte, projetando o impacto de produtividade com base em hiato biofísico e na proporção de áreas de pastagens de alta aptidão agropecuária. Na presente pesquisa também foi incluída a pecuária de leite e os choques de produtividade foram elaborados pelo efeito marginal da RPD e tendência de área recuperada nas regiões, conforme explicado na metodologia. Isto implica em diferenças da intensividade e distribuição dos choques nas regiões brasileiras.

³² Caso a redução da área de pastagens também seja computada no efeito da intensificação assim como em Brasil (2021b), o efeito seria de RPD de aproximadamente 20 Mha, visto que de 2020 a 2030 na linha de base haveria redução de cerca de 6,8 Mha de pastagens. Da mesma forma os resultados de Stocco et al. (2020) ampliariam para 96 Mha pela projeção de diminuição de 30,4 Mha de pastagens de 2016 a 2030 na linha de base.

³³ Outros autores como a Gurgel e Laurenzana (2016) e FGV (2017) não abordaram o período de 2020 a 2030. Pesquisas como de La Rovere et al. (2018), Gurgel et al. (2019) e Machado et al. (2020) não permitem análises de resultados macroeconômicos da recuperação de pastagens de forma comparável.

Tabela 17. Variáveis macroeconômicas. Variação % em relação à linha de base, acumulada em 2025, 2030 e 2035

Variável	2025			2030			2035		
	CEN 1	CEN 2	CEN 3	CEN 1	CEN 2	CEN 3	CEN 1	CEN 2	CEN 3
Consumo real das famílias	0,29	0,26	0,23	0,53	0,48	0,43	0,71	0,65	0,59
Exportações (volume)	0,12	0,11	0,10	0,32	0,29	0,25	0,65	0,58	0,52
Importações (volume)	0,20	0,18	0,16	0,66	0,60	0,53	1,00	0,90	0,81
PIB real	0,23	0,21	0,19	0,41	0,38	0,34	0,57	0,52	0,47
Salário real	0,35	0,32	0,28	0,66	0,61	0,55	0,91	0,83	0,76

Fonte: elaboração própria. O Cenário 2 (CEN 2) e Cenário 3 (CEN 3) são análises de sensibilidade de redução do choque de produtividade na pecuária em 10% e 20%, respectivamente.

Em termos regionais, os investimentos necessários à RPD resultariam em realocação de recursos de outras atividades para a pecuária bovina³⁴, inclusive de setores mais dinâmicos, o que reduziria o nível de investimentos na região Sudeste. Entretanto, em razão dos aumentos de produtividade, em todas as regiões observaria-se aumento do PIB real, com exceção de São Paulo onde ocorreria diminuição de 0,06% (Tabela 18). Apesar da redução da atividade econômica em São Paulo, os resultados foram diferentes dos obtidos por Stocco et al. (2020) no qual toda região Sudeste registrou redução do PIB real.

Regiões com maior participação da produção pecuária e ampliações de produtividade, como Rondônia, Mato Grosso, AmazACRR, RSul e MaToPi (Tabela 18) receberiam as maiores ampliações nos investimentos (Tabela 15), proporcionando crescimento da atividade econômica. Essas regiões também apresentam maior proporção de crescimento do PIB em relação às áreas recuperadas (coluna PIB por Mha de RPD da Tabela 18). Desse modo, verifica-se que o impacto da RPD proporcionaria maior crescimento no PIB real para estados com economias mais dependentes da pecuária ou onde o melhoramento do sistema produtivo permite maiores ganhos relativos de produtividade. Em economias mais desenvolvidas e diversificadas, que possuem interconexões mais intensas entre os setores de atividade, realocar investimentos para pecuária reduz os benefícios do aumento da produtividade dessa atividade.

Apesar do resultado no CEN 1 de aumento no consumo das famílias, como o incremento da produtividade da terra permite liberar fatores de produção da pecuária bovina ocorre a diminuição da demanda do trabalho nessa atividade, em particular de trabalho menos qualificado, consequentemente da renda das famílias podendo afetar o nível de consumo. Nas regiões da Bahia e RNordeste, com elevada dependência desse tipo de trabalho, os efeitos de equilíbrio geral no resto da economia não foram capazes de contrapor a redução da renda das famílias, que registrariam diminuição do consumo real das famílias em 0,33% e 0,04% em relação à linha de base de 2035, respectivamente. Esse resultado será discutido com mais detalhamento na seção 4.1.3.

³⁴ Este resultado é decorrente da opção pelo fechamento macroeconômico fixando o nível de investimento agregado ao nível da linha de base.

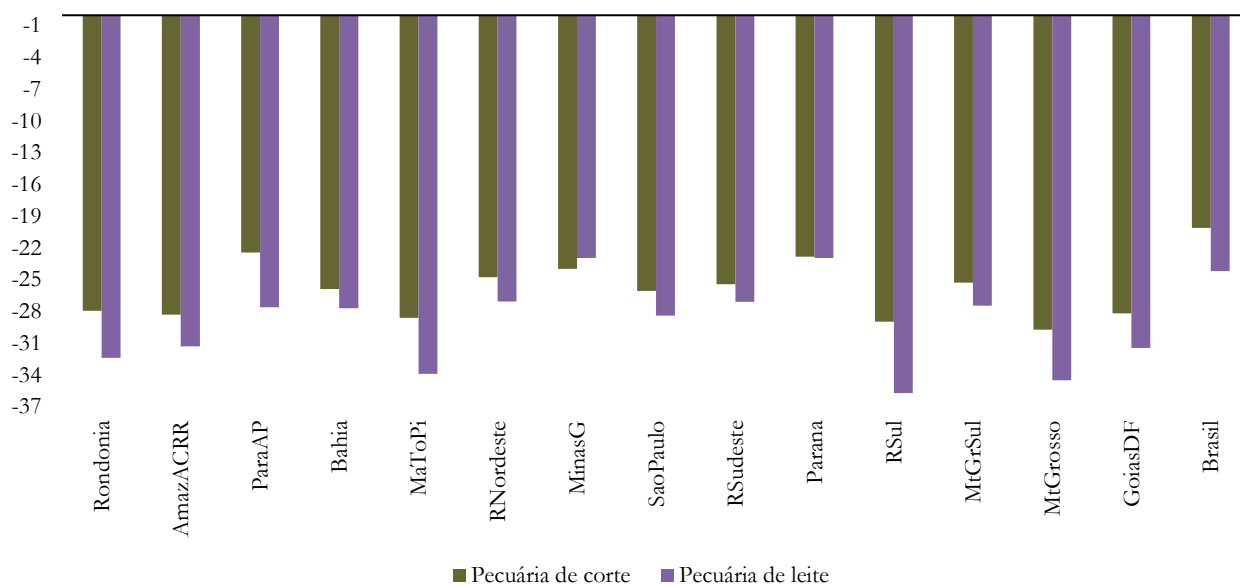
Tabela 18. A pecuária bovina na produção regional, crescimento de produtividade, consumo das famílias e PIB real no CEN 1

Região	Participação da pecuária bovina na produção regional (% 2020)	Choque total de produtividade na pecuária bovina (% ac. 2035)	Consumo real das famílias (% ac. 2035)	PIB real (% ac. 2035)	PIB por Mha de RPD
Rondonia	7,8	23,85	2,59	5,11	4,46
AmazACRR	1,4	30,37	1,63	0,85	1,16
ParaAP	3,5	16,04	0,74	1,51	0,87
Bahia	1,5	14,79	-0,33	0,43	0,24
MaToPi	3,4	27,72	1,06	2,14	0,68
RNordeste	1,3	8,33	-0,04	0,27	0,52
MinasG	1,5	6,61	0,57	0,53	0,34
SaoPaulo	0,1	12,05	0,36	-0,06	-0,14
RSudeste	0,2	9,5	0,45	0,04	0,14
Parana	0,8	0	1,43	0,73	0
RSul	0,9	27,83	2,12	1,07	0,69
MtGrSul	4,5	10,8	0,6	2,15	1,83
MtGrosso	5	26,49	1,55	4,52	1,07
GoiásDF	2	21,22	0,33	1,05	0,40

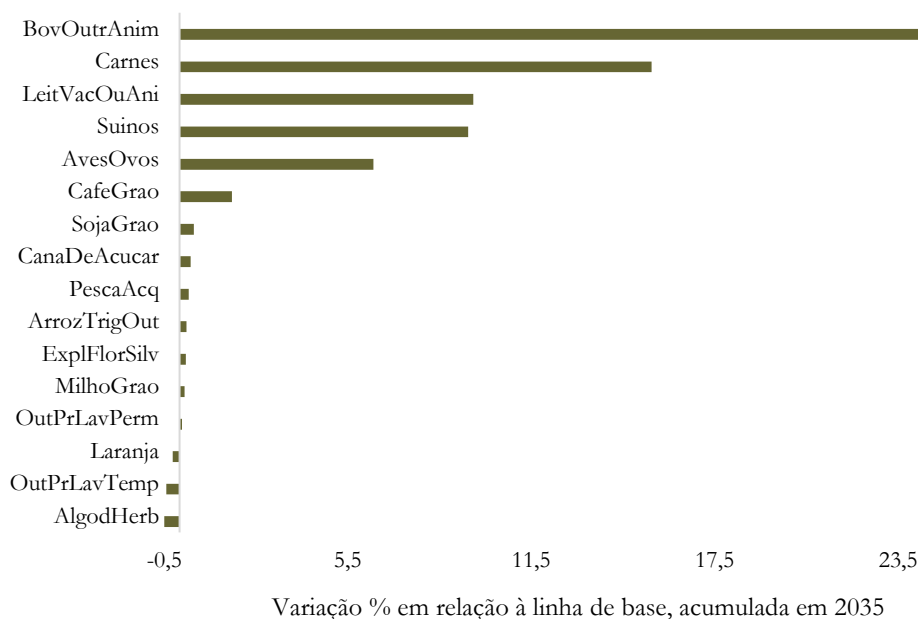
Fonte: elaboração própria. Variáveis macroeconômicas em variação % acumulada em relação a linha de base de 2035.

4.1.1. Impactos sobre a produção e área da agropecuária

O impacto do crescimento da produtividade da pecuária bovina na produção agropecuária e de carnes inicialmente ocorre pela ampliação da produção da pecuária de corte e leite. Esse incremento acompanha a redução dos preços dos produtos da pecuária (Figura 12; valores detalhados no Apêndice Tabela A 11), contudo o efeito de aumento das quantidades produzidas seria capaz de compensar a diminuição de preços ampliando o produto total da pecuária em 2035 na ordem de 27,88% para corte e 9,61% para leite, em relação à linha de base (Figura 13; valores detalhados no Apêndice Tabela A 12). A diminuição dos preços da pecuária teria ainda impactos nas demais atividades da cadeia, aumentando a competitividade de outros setores como de processamento de carne, ocasionando incremento de produção em 2035 de 15,44% comparando à linha de base (Figura 13).

Figura 12. Redução de preço da pecuária bovina no CEN 1. Variação % em relação à linha de base, acumulada em 2035

Fonte: elaboração própria.

Figura 13. Produção nacional da agropecuária e indústria de carnes no CEN 3. Variação percentual em relação a linha de base, acumulada em 2023

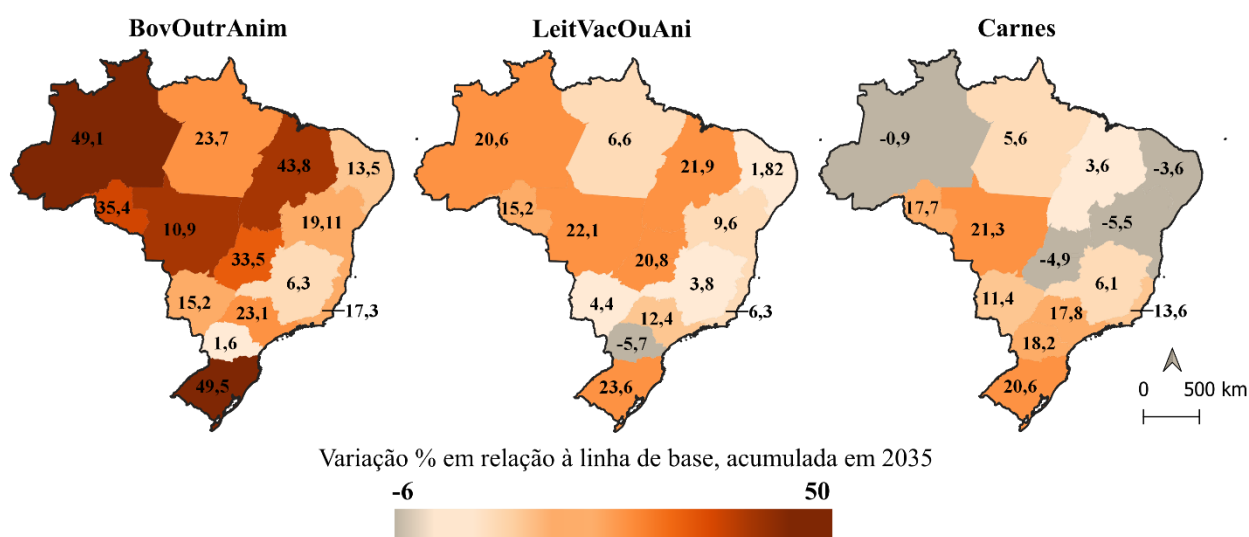
Fonte: elaboração própria.

Como mencionado anteriormente, o aumento de produtividade da pecuária permitiria ampliar a produção dessa atividade utilizando menor quantidade de insumos e recursos (terra, capital e trabalho) liberando-os para outras atividades, resultando em novos efeitos sobre preços e quantidades produzidas sobre a pecuária e demais produtos. A apreciação cambial também impacta os produtos agropecuários, porém de forma negativa, especialmente aqueles com maior parcela exportada. A seguir apresenta-se os principais resultados desses efeitos na produção agropecuária.

A maioria dos produtos agropecuários apresentaria aumento na produção, principalmente pela liberação de área de pastagens para à agricultura, como será explicado a seguir. Para a cana-de-açúcar o crescimento está relacionado a maior demanda por combustíveis acompanhando o crescimento econômico. Já a produção das demais carnes cresce aproveitando-se tanto do crescimento econômico, quanto da liberação de recursos, inclusive à jusante da cadeia da carne, que ampliaria o consumo intermediário de matérias-primas (bovinos, suínos e aves) em 4,79% para o aumento de produção de 15,44% (Figura 13).

Nas regiões a produção pecuária aumenta diretamente relacionada com o crescimento da produtividade. Desse modo as regiões com maior ampliação da produtividade (Tabela 18), AmazACRR, RSul, MaToPi, Mato Grosso, Rondônia e GoiásDF registrariam crescimentos da produção da pecuária de corte maiores que 35%, e de leite superiores a 15%, frente a 28,9% e 9,6%, respectivamente, no agregado do Brasil (Figura 14). O crescimento de produtividade da terra na pecuária leiteira libera áreas de pastagens para a pecuária de corte, ainda assim, pela magnitude do impacto de produtividade nesse produto, em todas as regiões (exceto no Paraná que não apresenta choques de RPD) ocorreria aumento da produção de leite. Essa competição por área da pecuária de corte e leite é especialmente importante nas regiões RNordeste, São Paulo, RSudeste, Paraná e Rsul, onde conforme apresentado anteriormente (seção 3.3.3) impõe-se a fixação das áreas de pastagens totais em vista do esgotamento das fronteiras agrícolas dessas regiões.

Figura 14. Produção regional da pecuária e indústria de carnes no CEN 1. Variação % em relação à linha de base, acumulada em 2035

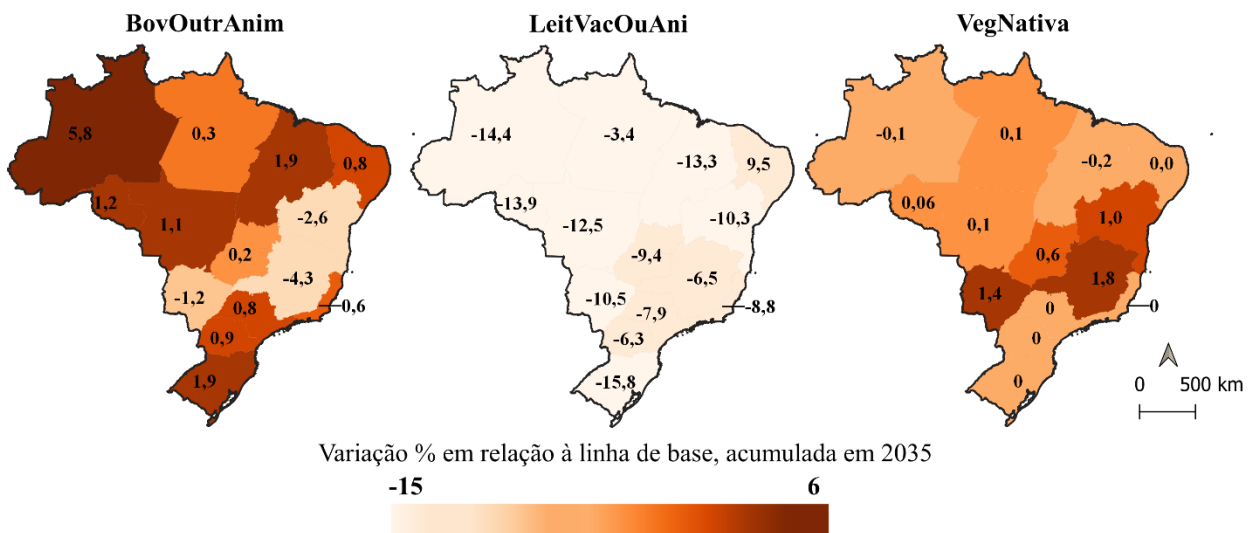


Fonte: elaboração própria.

No agregado do Brasil, apesar da redução da área de pastagens da pecuária de corte na Bahia, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul (Figura 15; variações percentuais completas no Apêndice Tabela A 13), haveria uma ampliação de área total da pecuária bovina de corte de 0,05% em comparação à linha de base. A pecuária de leite reduziria a área em 11,19%, com diminuições em todas as regiões. Como a redução de pastagens na pecuária leiteira foi maior que o aumento na pecuária de corte, ocorreria a liberação de áreas de pastagens de 1,37 Mha em relação à linha de base de 2035, proporcionando o aumento de área utilizada em atividades agrícolas em 334 mil hectares e de florestas plantadas em 65 mil hectares, o que estaria relacionado a produtividade dessas culturas (variação de área em termos absolutos no Apêndice Tabela A 14).

O crescimento da área agrícola e de florestas plantadas ocorreria apenas nos estados onde houve redução total de pastagens, Bahia, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul, registrando incremento de aproximadamente 488 mil hectares dessas áreas, i.e., as demais regiões registrariam diminuição de 89 mil ha de áreas agrícolas e de florestas plantadas (Tabela A 10). Nesse caso, a redução de preços dos produtos apresenta como efeito a redução de áreas utilizadas na agropecuária (Figura 15), como consequência a elevação de vegetação nativa no Brasil de 0,17% (972 mil de ha) em relação à linha de base para 2035 (Apêndice Tabela A 14). Regionalmente, haveria exceções desse resultado nas regiões AmazACRR e MaTToPi onde a área absoluta de pastagens aumentou e a vegetação nativa diminuiu em 0,1% (195 mil ha) e 0,21% (124 mil ha), respectivamente (Figura 15). Esse resultado apresenta relevantes implicações teóricas e práticas para a análise do uso da terra e dos aspectos ambientais, por isso esses serão analisados detalhadamente na seção seguinte (4.2).

Figura 15. Área utilizada pela pecuária e pela vegetação nativa no CEN 1, nível regional. Variação % em relação à linha de base, acumulada em 2035



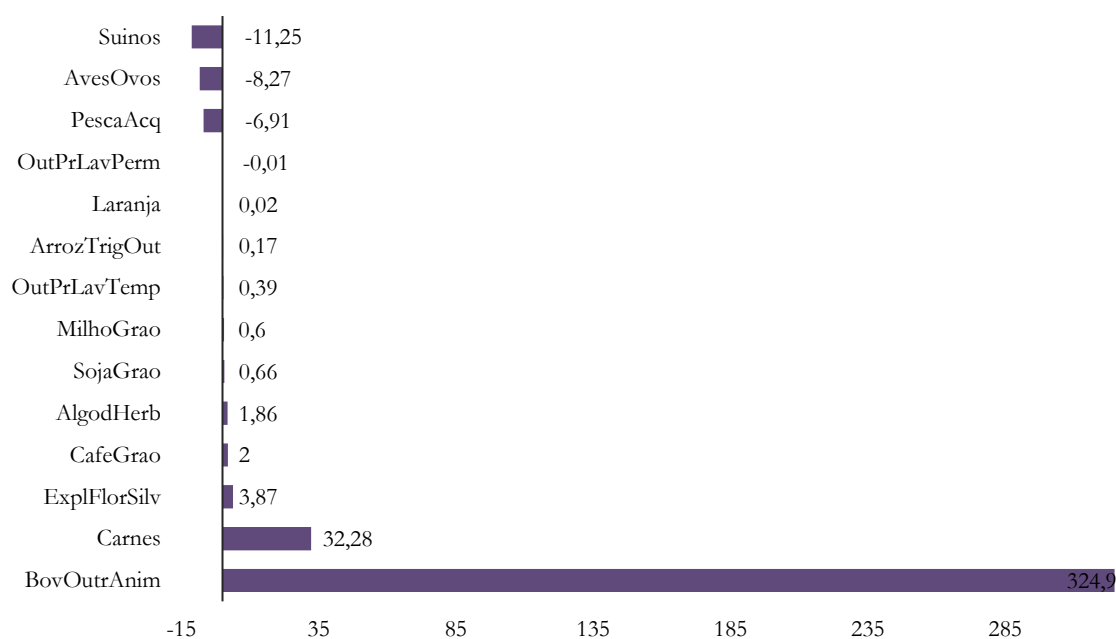
Fonte: elaboração própria.

4.1.2. Impacto sobre as exportações da agropecuária e de carnes

Pelo aumento da produção da pecuária e seus efeitos na ampliação da competitividade à jusante da cadeia (carnes industrializadas), mesmo na presença de valorização cambial ocorreria aumento das exportações da pecuária de corte e de carnes no Brasil de 324,9% e 32,3%, respectivamente (Figura 16). Apesar disso, como o crescimento agregado de importações foi proporcionalmente superior as exportações, seria observada uma redução no saldo da balança comercial de 10,6% em relação à linha de base. Destaca-se ainda que não obstante o expressivo crescimento de exportações na pecuária de corte, a exportação de animais vivos era de apenas 1,1% da produção da pecuária de corte em 2020, representando pequeno impacto em valores absolutos. O setor de carnes, por sua vez, exportava 32,3% da produção, de forma que o crescimento das exportações apresenta maior contribuição para a balança comercial. Esse crescimento de exportações de carnes está de acordo com a projeção do United States Department of Agriculture (2022) na qual o Brasil corresponderia a 50% do aumento das exportações de 2022 a 2031.

Os produtos de carne suína e de aves apresentariam ampliação do consumo intermediário pelos setores industriais como o de carnes, com crescimento em 2035 de 9,2% e 8,5% em relação à linha de base, respectivamente. Esse resultado associado ainda ao crescimento econômico, do consumo das famílias e apreciação cambial, ocasionaria redução das exportações de suínos e aves e ovos em 10,7% e 9%, respectivamente (Figura 16). Entretanto, como no ano base (2020) apenas 0,1% e 5,5% da produção de suínos e aves e ovos era exportada, a diminuição das exportações representa pequeno valor em relação ao total produzido.

Figura 16. Exportação nacional da agropecuária e indústria de carnes no CEN 1. Variação % em relação à linha de base, acumulada em 2035



Fonte: elaboração própria.

Para todas as culturas agrícolas, com exceção de OutPrLavPerm, ocorreria aumento das exportações (Figura 16; informações regionais complementares no Apêndice Tabela A 15). As produções de café (CafeGrao), soja (SojaGrao), milho (MilhoGrao) e de algodão, trigo e outros cereais (ArrozTrigOut) cresceriam conforme mencionado anteriormente, mas a industrialização de alimentos (OutAliment), rações, têxteis e outros produtos da agroindústria (OutAgrindus), apresentaria redução de 0,19% e 2,93%, respectivamente, ocasionando diminuição do consumo intermediário de matérias-primas agrícolas, as quais seriam redirecionadas ao mercado externo. Esse menor consumo intermediário dos setores industriais não seria contraposto pelo aumento do consumo das famílias, que se dá justamente nos produtos já beneficiados. No caso do algodão (AlgodHerb), mesmo com a redução na produção as exportações cresceriam em 1,86%, visto que a industrialização de produtos têxteis (OutAgrindus), que representavam 41,44% da demanda por algodão, apresentaria diminuição de produção mais intensa (2,93%) proporcionando diminuição do consumo intermediário de algodão de 1,27%, que seria redirecionado para o mercado externo.

Regionalmente apenas haveria reduções nas exportações de café, soja e milho aonde a produção destes decresceu dada a maior ampliação da produtividade na pecuária e destinação de áreas da agricultura para pastagens, como Rondônia, AmazACRR, MaToPi e Mato Grosso (Apêndice Tabela A 15). No caso do arroz (incluído no

produto ArrozTrigOut) haveria aumento de exportações principalmente no Paraná e RSul, que representavam mais de 75% da produção em 2020. No algodão apenas em AmazACRR haveria redução das exportações (4,32%), pois este estado registraria também a maior diminuição na produção (4,81%), um decréscimo maior que o do consumo intermediário da indústria. Entretanto, cabe destacar que a exportação de algodão de AmazACRR é pequena, não alcançando 0,01% do uso da região.

4.1.3. Impactos sobre o consumo das famílias

A RPD impacta o consumo das famílias pelo efeito renda do crescimento econômico, redução do preço dos produtos (Apêndice Tabela A 16) e pela realocação de recursos produtivos, reduzindo a demanda por trabalho na agropecuária. Por meio da Tabela 19 observa-se que, na maioria dos casos, o efeito renda decorrente do crescimento econômico e da redução de preços superaria a diminuição de renda da realocação do trabalho, resultando em aumento de consumo real no Brasil para todas as classes de famílias.

Tabela 19. Consumo real das famílias regional no CEN 1. Variação % em relação à linha de base, acumulada em 2035

Consumo	POF1	POF2	POF3	POF4	POF5	POF6	POF7	POF8	POF9	POF10
Rondonia	1,57	2,58	2,45	2,36	2,45	2,14	2,33	2,37	2,54	3,10
AmazACRR	5,36	2,61	1,88	1,62	1,35	1,05	1,03	0,80	0,71	0,52
ParaAP	0,94	0,88	0,77	0,75	0,68	0,60	0,73	0,72	0,77	0,67
Bahia	-1,90	-0,52	-0,35	-0,25	-0,26	-0,25	-0,17	-0,24	-0,07	-0,15
MaToPi	1,92	1,17	0,98	0,84	0,92	0,83	0,98	0,82	0,93	1,07
RNordeste	-1,63	-0,22	-0,07	-0,03	-0,07	0,03	0,13	0,09	0,25	0,46
MinasG	-1,11	0,22	0,18	0,24	0,97	0,41	0,49	0,62	0,61	0,83
SaoPaulo	0,47	0,64	0,66	0,74	0,49	0,39	0,31	0,41	0,27	0,24
RSudeste	0,24	0,41	0,66	0,52	0,51	0,53	0,53	0,73	0,57	0,32
Parana	1,61	2,06	1,62	1,65	1,47	1,27	1,27	1,38	1,28	1,33
RSul	1,57	1,60	1,62	1,62	1,70	1,65	1,94	1,99	1,93	2,63
MtGrSul	1,30	-0,20	0,03	0,06	0,07	0,21	0,41	1,09	0,54	1,14
MtGrosso	2,30	3,19	1,97	1,56	1,27	0,89	0,83	0,89	0,91	1,37
GoiásDF	0,18	0,15	-0,01	-0,02	-0,05	0,01	0,31	0,13	0,32	0,70
Brasil	0,01	0,56	0,62	0,71	0,73	0,64	0,70	0,75	0,69	0,79

Fonte: elaboração própria.

O crescimento do consumo real médio das três classes de famílias mais ricas seria aproximadamente 46,6% superior ao das três famílias mais pobres (crescimento médio de 0,75 p.p. e 0,40 p.p., respectivamente - Tabela 19). As famílias mais ricas possuem uma parcela de produtos importados maior, então são mais beneficiadas pela apreciação cambial, e ofertam menor proporção de trabalho menos qualificado, sendo menos prejudicadas pela redução da demanda de trabalho pela pecuária bovina. A pecuária de corte apresenta 10,63% de seu emprego (mensurado pelo volume de salários) na classe de trabalho menos qualificado (OCC1), representando 5,10% de toda essa classe na economia; a pecuária de leite também possui elevada parcela de trabalho OCC1, 9,39%, porém representando apenas 1,33% do volume na economia (Tabela 20).

As maiores reduções de consumo real das famílias ocorrem na POF1, nas regiões Bahia, RNordeste e Minas Gerais (Tabela 19). Essas regiões apresentam parcela de trabalho menos qualificado na pecuária de 27,6%, 23,0% e 13,8%, respectivamente (Tabela 21), superiores aos 10,63% da média do Brasil (Tabela 20). Além disso, essas regiões apresentam os menores crescimentos de produção pecuária, que não seriam suficientes para compensar a redução de trabalho. As condições são diferentes para o MaToPi, que apesar da mais elevada parcela de trabalho menos qualificado na economia (5,66%), sendo aproximadamente 19% do trabalho na atividade pecuária nesta classificação (Tabela 21), apresentaria o terceiro maior crescimento na produção de pecuária de corte (43,47%) e leite (21,99%), de forma que os efeitos multiplicadores sobre a renda compensariam a redução de demanda por trabalho na pecuária.

Tabela 20. Participação (%) das classes de trabalho na pecuária bovina e no total da economia regional em 2020

Base 2020	Pecuária bovina		Total da economia	
	BovOutrAnim	LeitVacOuAni	BovOutrAnim	LeitVacOuAni
OCC1	10,63	9,39	5,10	1,33
OCC2	53,98	58,12	2,26	0,72
OCC3	20,41	19,54	1,66	0,47
OCC4	5,67	4,92	0,80	0,21
OCC5	2,31	2,05	0,48	0,13
OCC6	1,54	1,30	0,42	0,11
OCC7	1,15	0,91	0,39	0,09
OCC8	0,59	0,52	0,25	0,07
OCC9	0,99	0,79	0,26	0,06
OCC10	2,72	2,46	0,16	0,04

Fonte: elaboração própria.

Tabela 21. Trabalho OCC1 na pecuária bovina e na economia regional em 2020, frente aos impactos de produção da RPD

Regiões	BovOutrAnim		LeitVacOuAni		% OCC1 total produtos
	%OCC1 (2020)	Variação % produção (CEN1)	%OCC1 (2020)	Variação % produção (CEN1)	
Rondonia	8,8	35,43	8,8	15,18	3,5
AmazACRR	17,8	49,13	15,1	20,62	3,89
ParaAP	13,5	23,67	13,5	6,73	4,33
Bahia	27,6	19,11	27,6	9,62	5,23
MaToPi	18,9	43,47	19,9	21,99	5,66
RNordeste	22,9	13,53	23	1,82	5,25
MinasG	13,8	6,26	13,8	3,82	4,08
SaoPaulo	1,3	23,08	1,3	12,44	1,47
RSudeste	5,4	17,31	5,3	6,32	1,82
Parana	2,7	1,58	2,7	-5,67	1,87
RSul	1,8	49,53	2	23,57	1,84
MtGrSul	2	15,24	2	4,37	2,42
MtGrosso	3,8	40,92	3,8	22,07	2,13
GoiásDF	6,9	33,55	6,9	20,84	3,11

Fonte: elaboração própria.

4.2. Impactos ambientais

O segundo conjunto de efeitos da RPD é o ambiental, relacionado às externalidades sobre a poluição atmosférica, de recursos hídricos, alterações da biodiversidade e a mudança do uso da terra. Por meio do modelo TERM-BR15 pode-se analisar as modificações nas emissões de GEE e a LULUCF. Quanto a LULUCF, o principal efeito da RPD a ser analisado é a ocorrência de ampliação do desmatamento ou da manutenção da vegetação nativa. A literatura é incerta quanto aos impactos da produtividade da agropecuária no uso da terra, controvérsia marcada pela dicotomia entre o efeito *Borlaug* (Borlaug, 2002) e o efeito *Jevons* (Jevons, 1866). O efeito *Borlaug* estabelece que o aumento da produtividade da terra ocasionaria um impacto poupa-terra, isto é, há um deslocamento da fronteira de possibilidade de produção permitindo alcançar maior nível de produto com a mesma quantidade de insumos, reduzindo a demanda por terra. Por outro lado, o efeito *Jevons* parte do princípio que o aumento da produtividade da agropecuária proporcionaria ampliação da lucratividade, incentivando o aumento da produção e do uso do fator terra.

Hertel (2012) mostra que a maioria das análises sobre a produtividade da agropecuária e a LULUCF são de abrangência territorial limitada, não garantindo a consistência dos efeitos em escalas maiores, portanto poderia ser observado efeito *Borlaug* em escala regional, porém efeito *Jevons* em escala nacional, ou vice-versa. O autor apresenta um modelo teórico com as condições em que cada um dos efeitos seria observado, e em cenário semelhante a estratégia de simulação utilizada na presente pesquisa, com choque de produtividade não Hicks-neutro e possibilidade de substituição entre fatores de produção (terra, capital e trabalho), o resultado dependeria da elasticidade de oferta de terras, elasticidade de substituição entre fatores de produção, importância da terra no custo

de produção e a elasticidade da demanda por produtos agropecuários. Para ocorrer o efeito *Jevons* são fatores críticos a demanda por produtos agropecuários e substituição entre fatores de produção com comportamento elástico.

O uso da terra e a mudança do uso da terra foram mencionados na seção anterior (4.1.1), apresentando que haveria diminuição do desmatamento de 972,6 mil ha em relação à linha de base de 2035, então a RPD implicaria no efeito *Borlaug*. Esse resultado apresenta concordância com as pré-condições para o efeito *Borlaug* destacadas por Hertel (2012), dada a baixa elasticidade preço da demanda por produtos agropecuários e da substituição entre fatores de produção na agropecuária, e baixa participação da terra (menos de 5%) nos custos com de produção. Como resultado ocorreria também uma redução das emissões de GEE de LUC em 1.303 Gg CO₂eq (-0,53%) em relação à linha de base de 2035 (Tabela 22).

Tabela 22. Emissões de GEE no método original – CEN 1. Variação % e absoluta em relação à linha de base, acumulada em 2025, 2030 e 2035

Emissões	Gg CO ₂ eq			%		
	2025	2030	2035	2025	2030	2035
Mineracao	-237	-711	-1.236	-0,12	-0,34	-0,53
OutCombust	-438	-1.091	-1.785	-0,16	-0,37	-0,55
Gasoolcool	318	662	946	0,36	0,65	0,82
Etanol	57	126	191	0,34	0,65	0,88
Atividade	42.684	95.184	154.023	5,33	10,80	16,39
LUC	-4.692	-2.533	-1.303	-2,04	-1,05	-0,53
Total	37.692	91.636	150.836	3,10	6,25	9,31

Fonte: elaboração própria.

Destaca-se ainda que os impactos na LUC e nas emissões de GEE não tiveram comportamento linear, ocorrendo redução do benefício ao longo do período de simulação. Todos os biomas apresentariam desmatamento evitado, com exceção do bioma Amazônico, responsável pela particularidade mencionada, visto a maior intensidade de carbono na vegetação nativa desse bioma em relação aos demais. A ampliação do desmatamento em relação à linha de base ocorreu exclusivamente nas regiões AmazACRR e MaToPi – as principais fronteiras agrícolas do país –, as quais observariam redução em todas as áreas agrícolas, com transição para as pastagens na atividade de corte. Esse comportamento ocorreria de forma constante em AmazACRR, porém no MaToPI, inicialmente o aumento da produtividade da pecuária liberaria área para a produção de soja, porém conforme o efeito da produtividade se acumulou³⁵, em 2028 há uma mudança na atratividade (rentabilidade) das produções, que passam a liberar área para a pecuária de corte.

De acordo com Villoria et al. (2014), a maioria das avaliações da ampliação de produtividade da terra apresentam resultados de desmatamento evitado (efeito *Borlaug*). No entanto, os autores mencionam que podem ocorrer resultados diferentes dependendo da localização e abrangência desse progresso tecnológico. Por exemplo, Villoria et al. (2013) mostraram que o aumento da produtividade de óleo de palma na Indonésia e Malásia aumentaria o desmatamento nestes países, porém reduziria com maior intensidade o desmatamento na Índia, no Canadá e no Brasil, apresentando efeitos globais de diminuição do desmatamento. Esse resultado se assemelha ao encontrado na presente avaliação quanto às regiões AmazACRR e MaToPI em comparação ao resto do Brasil.

³⁵ Impactos sobre quantidades produzidas, preços e demais elementos de equilíbrio geral discutidos na seção anterior.

Análises anteriormente citadas sobre políticas ambientais no Brasil também encontraram resultados semelhantes à presente pesquisa no que se refere ao uso da terra e emissões de GEE³⁶. Em período anterior ao estudado na presente pesquisa, compreendendo a primeira fase do Plano ABC (2010 a 2020), a FGV (2017) mostrou que a RPD e iLPF proporcionariam desmatamento evitado de 4,85 a 5,09 Mha e mitigação de 50.100 GgCO₂eq. Stocco et al. (2020) no período de 2020 a 2030 destacaram que a RPD proporcionaria 0,88 Mha de desmatamento evitado e mitigação de 8.176,5 GgCO₂eq, ou seja, -9,71% em relação à linha de base. Desse modo, a presente pesquisa registrou pelas diferenças de calibração do modelo e de abrangência de área das políticas simuladas, o menor impacto sobre LUC do que aquelas presentes na literatura.

Avaliações econométricas da intensificação da agropecuária também apresentaram efeito poupa-terra, Garrett et al. (2018) em amostra ao nível municipal do Mato Grosso, mostraram que a intensificação de pastagens não apresentou alterações de curto prazo no desmatamento intramunicipal, entretanto ampliou a área de vegetação nativa nos municípios vizinhos. Entre as hipóteses de Garrett et al. (2018) para explicar esse resultado estão a restrição orçamentária e de financiamento de pecuaristas para aquisição e abertura de novas áreas após os investimentos na intensificação, a baixa elasticidade preço-demanda da carne e aspectos especulativos e de reserva de valor da atividade pecuária, características não necessariamente relacionadas a rentabilidade da pecuária.

Mesmo com a mitigação de emissões de GEE de LUC, no método original de contabilidade das emissões o aumento de produção da pecuária bovina resultaria em ampliação das emissões de GEE na pecuária de corte e de leite em 27,8% e 9,53%, respectivamente (Figura 17; informações complementares Apêndice Tabela A 17). Como a pecuária representa 68,1% das emissões associadas ao nível de atividade (Tabela 9), principalmente por causa da emissão de metano (98% das emissões da pecuária bovina), as emissões totais ampliariam em 150.836 Gg CO₂eq (9,31%) em relação à linha de base de 2035 (Tabela 22). Como a RPD aumenta a produção da pecuária bovina há ampliação do rebanho, que por sua vez emitiria maiores volumes de GEE. Ao mesmo tempo a RPD amplia a demanda de insumos para as operações de recuperação, como combustível para máquinas e implementos agrícolas, sementes de pastagens e defensivos agrícolas, que também contribuiria para o aumento das emissões de GEE.

Apesar disso, no método alternativo de contabilidade das emissões de GEE ocorreria mitigação das emissões da pecuária de corte e de leite de 0,77% e 1,18%, respectivamente (Figura 17; informações complementares Apêndice Tabela A 17), proporcionando mitigação total de 419 Gg CO₂eq (-0,16%) em relação à linha de base de 2035 (Tabela 23). Ademais, a alteração na intensidade de emissões (Figura 18) é apenas parcialmente considerada pela estratégia de simulação, uma vez que outros aspectos associados à melhoria na qualidade das pastagens, como a composição do rebanho, digestibilidade da dieta, entre outros fatores que impactam as emissões de GEE da pecuária conforme o IPCC (2019) não puderam ser incorporados pela falta de dados.

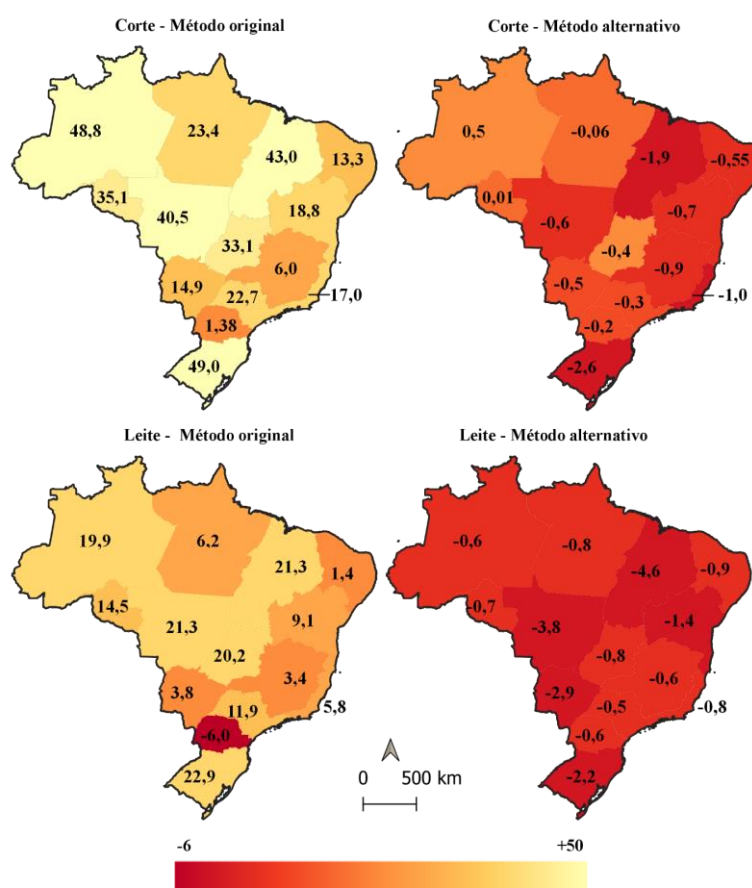
³⁶ Ferreira Filho e Horridge (2016) tiveram como foco a análise do cumprimento de metas quanto ao desmatamento, de forma que a recuperação de pastagens não geraria adicionalidade sobre a mudança de uso da terra. Autores como Gurgel et al. (2019) e Machado et al. (2020) condicionaram os resultados ao cumprimento da NDC, englobando, portanto, a intensificação e o controle do desmatamento de forma associada, também não permitindo desagregação dos impactos da recuperação de pastagens sobre o desmatamento. Souza et al. (2020) não apresentam dados de emissões ou de mudança de uso da terra.

Tabela 23. Emissões de GEE no método alternativo – CEN 1. Variação % em relação à linha de base, acumulada em 2025, 2030 e 2035

Emissões	Gg CO ₂ eq			%		
	2025	2030	2035	2025	2030	2035
Mineracao	-237	-711	-1.236	-0,12	-0,34	-0,53
OutCombust	-438	-1.091	-1.785	-0,16	-0,37	-0,55
Gasoolcool	318	662	946	0,36	0,65	0,82
Etanol	57	126	191	0,34	0,65	0,88
Atividade	-255	-359	-419	-0,04	-0,05	-0,06
LUC	-4.692	-2.533	-1.303	-2,04	-1,05	-0,53
Total	-5.247	-3.907	-3.606	-0,04	-0,10	-0,16

Fonte: elaboração própria.

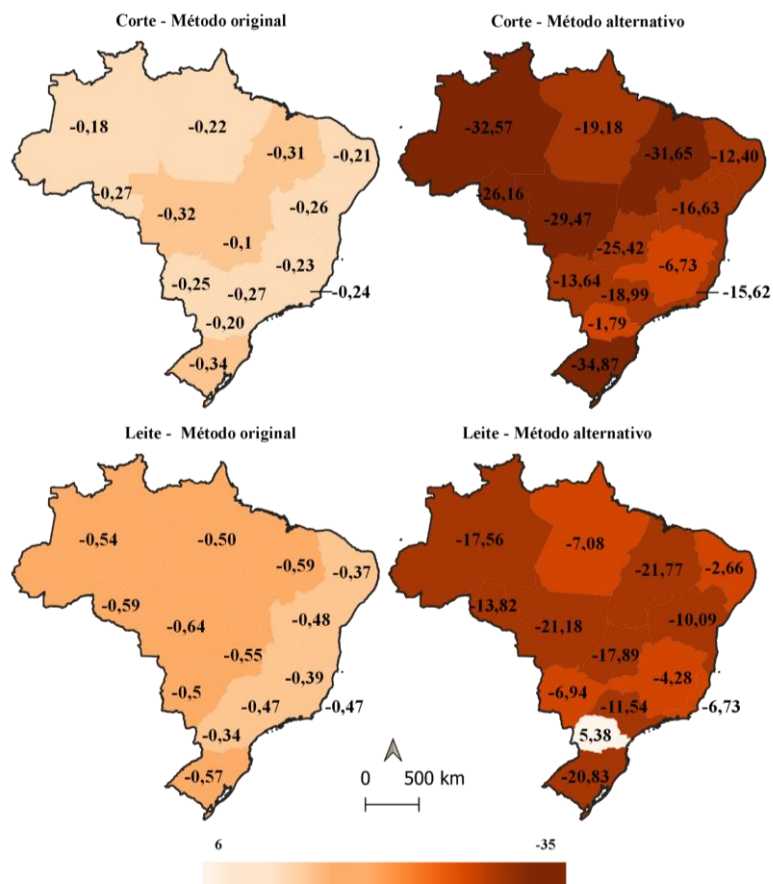
Figura 17. Variação (%) das emissões totais de GEE em relação à linha de base, acumulada em 2035



Fonte: elaboração própria.

No método alternativo, com exceção de AmazACRR e Rondônia, haveria redução absoluta do nível de emissões da pecuária bovina em todas as regiões (Tabela 23). As intensidades de emissões de GEE da pecuária de corte de RSul, AmazACRR e MaToPi reduziriam em mais de 30% em relação ao método original, destacando o efeito potencial da fixação de SOC tanto para regiões consolidadas como RSul, quanto para regiões de fronteira como AmazACRR e MaToPi (Figura 18).

Figura 18. Variação (%) da intensidade de emissões (CO₂eq/produção) em relação à linha de base, acumulada em 2035



Fonte: elaboração própria.

Nesse ponto cabe uma observação importante a respeito dos resultados. As metas da NDC brasileira se referem ao nível de emissões de GEE de 2005, o ano base do modelo contudo foi 2015. Como no período de 2005 a 2015 houve diminuição importante no desmatamento, comparar os resultados com os de 2005 já incorporam a mitigação de emissões de GEE antes do ano base da presente simulação. Em 2005 foram emitidas 2.562 Tg CO₂eq (GWP-AR5), comparando-o ao nível observado na última estimativa do Brasil (2021b) de 2016 de 1.576 Tg CO₂eq, o Brasil já teria mitigado aproximadamente 38,5% de suas emissões de GEE. Essa redução, portanto, está na linha de base e não é resultado do modelo. Na projeção da linha de base da presente simulação (business-as-usual) atingir-se-ia ainda mitigação de 38,94% e 32,91% em 2025 e 2030, respectivamente, cumprindo a meta de 2025, mas não a de 2030.

Considerando o método original de contabilidade das emissões de GEE ocorreria diminuição do nível de mitigação de emissões de GEE em relação à linha de base, registrando 37,84% e 29,79% em 2025 e 2030, respectivamente, porém não alterando o cumprimento da meta em 2025 (Figura 19³⁷). No método alternativo, os níveis de mitigação seriam maiores, 42,86% e 38,89% em 2025 e 2030, respectivamente, mas ainda não o suficiente para cumprir a meta da NDC de 2030. Ao comparar os resultados do método original e alternativo observa-se que

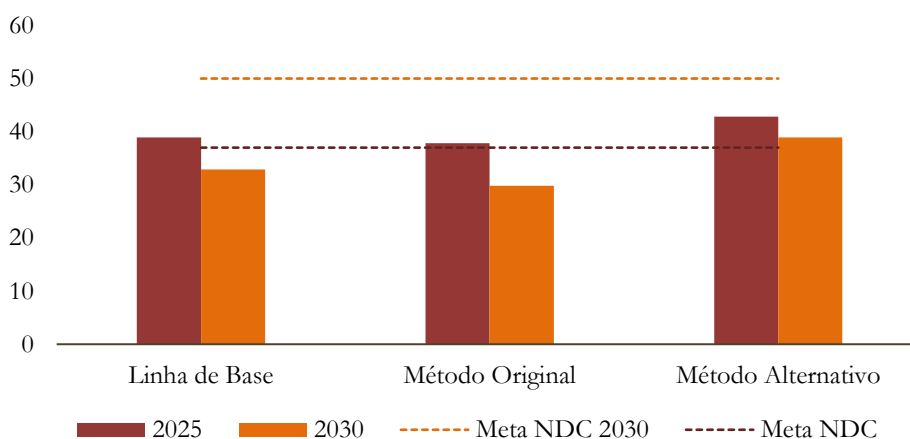
³⁷ As variações dos níveis de mitigação de GEE nos cenários de sensibilidade não alteram as análises apresentadas. Para o método alternativo de contabilidade de emissões de GEE os resultados nos Cenários 1, 2 e 3 para 2030 são de 38,89%, 38,86% e 38,82%, respectivamente (Apêndice Tabela A 19). Portanto, os Cenários 2 e 3 apresentam diferenças inferiores a 0,2% em relação ao Cenário 1.

apenas a fixação de SOC representaria 13,6% e 18,4% das mitigações de GEE necessárias para o cumprimento das metas da NDC de 2025 e 2030, respectivamente.

Somando a mitigação de emissões de LUC (1.303 Gg CO₂eq) à proporcionada pela fixação de SOC (151.255 Gg CO₂eq), obter-se-ia uma redução de aproximadamente 152.588 Gg CO₂eq, o que poderia resultar em ampliação da taxa de retorno da RPD caso fossem comercializados em mercado de crédito de carbono. Conforme a FGV (2023), em 2022 o preço médio da tonelada de CO₂eq (69 iniciativas de precificação) foi de US\$ 32,37, ou caso considerado apenas os Sistemas de Comércio de Emissões (33 iniciativas) o preço médio seria de US\$ 22,63 em reais os valores seriam de R\$ 167,18 e R\$ 116,88³⁸, respectivamente. Portanto, poder-se-ia obter entre R\$ 17.830,89 e R\$ 25.505,34 milhões caso todo o volume de emissões de GEE mitigado fosse comercializado, correspondente de 20,8% a 29,7% do retorno social anteriormente apresentado (R\$ 85.800,68 milhões).

Em comparação com a literatura existente sobre a NDC³⁹, Ferreira Filho e Horridge (2016; 2017) nas avaliações anteriormente mencionadas sobre o Código Florestal, desmatamento e RPD mostraram que em nenhum cenário se atingiria a meta de mitigação de 2030 (naquele momento de 43% em relação ao nível de 2005), contudo ainda ocorreria redução do PIB e do consumo real das famílias. Stocco et al. (2020), projetaram mitigação acumulada de 3.904 Gg CO₂eq em 2030, frente a 3.907 Gg CO₂eq na presente pesquisa (informações complementares no Apêndice Tabela A 18 e Tabela A 19), ou seja, nível de mitigação equivalente apesar da diferença em termos de projeção da área de RPD e calibração dos choques de produtividade, conforme mencionado anteriormente.

Figura 19. Mitigação de emissões de GEE do CEN1 em relação as metas de mitigação da NDC



Fonte: elaboração própria.

³⁸ Com base na taxa de câmbio comercial média de 2022 de R\$ 5,16 (Ipeadata, 2023).

³⁹ O nível de emissão de GEE de 2005 foi revisado ao longo do tempo, de forma que os trabalhos da literatura apresentam referencial diferente do trabalho atual, sendo possível comparativo daqueles trabalhos que discutiram especificamente as variações percentuais de emissões de GEE. Reforça-se que trabalhos como os de Gurgel et al. (2019) e Machado et al. (2020) condicionaram os resultados ao cumprimento das metas de mitigação de GEE da NDC, também não possibilitando comparação com a presente pesquisa.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho fez uma avaliação dos impactos socioeconômicos e ambientais da recuperação de pastagens degradadas (RPD) no Brasil no período de 2015 a 2035, utilizando dois métodos para contabilizar a variação nas emissões de carbono. Os resultados mostram que a RPD geraria crescimento econômico em todas as regiões com uma taxa de retorno social de R\$ 8,31 para cada real investido, a qual seria associada a um custo ambiental de aumento das emissões de GEE se os benefícios da fixação de SOC não forem incorporados à contabilidade de emissões. Esse resultado destaca a importância do estabelecimento de ferramentas de monitoramento e controle da variação de SOC, permitindo aprimorar a definição de subsídios e incentivos para a RPD nas diferentes regiões brasileiras.

A intensificação produtiva da pecuária bovina resultaria em maiores impactos socioeconômicos nas regiões Norte, Centro-Oeste e Matopiba, ou seja, regiões menos desenvolvidas, destacando o papel distributivo da RPD. Não obstante, as famílias mais pobres na Bahia, RNordeste e Minas Gerais, apresentariam diminuição no consumo real em decorrência da redução da demanda por trabalho pouco qualificado na pecuária bovina, que ao contrário do observado nas outras regiões não seria contrabalanceado pelo nível de atividade. Dessa forma, chama-se a atenção para necessidade de políticas compensatórias para auxiliar a realocação do mercado de trabalho da pecuária bovina para outras atividades, mitigando os efeitos negativos para as famílias.

A RPD se mostrou capaz de evitar o desmatamento no Brasil (efeito *Borlang*), com exceção das regiões de fronteira agrícola (AmazACRR e MaToPi). Desta forma, proporcionou mitigação das emissões de GEE de LUC. No entanto, a persistência do desmatamento em região de bioma Amazônico (efeito *Jevons*) mostrou potencial de reverter o impacto da mitigação de GEE de LUC, visto que nessa região o coeficiente de emissões de GEE na transição de uso do solo da vegetação nativa para outras atividades é maior do que a fixação de GEE da regeneração da vegetação nativa nos demais biomas.

Em todos os cenários de simulação o Brasil conseguiria atingir a meta de mitigação de GEE da NDC para 2025, mas os impactos da RPD não seriam suficientes ao cumprimento da meta de 50% para 2030, registrando apenas 38,89%. Não obstante, a RPD contribuiria com 18,2% do total de mitigação necessária para a meta de 2030 comparando os resultados do método alternativo ao método original de contabilidade das emissões de GEE. Apesar disso, destaca-se que as metas da NDC não dependem exclusivamente da RPD ou da agropecuária, sendo necessárias ações na composição e eficiência da matriz energética, transportes, entre outros fatores. Por fim, a presente pesquisa não esgota os efeitos da RPD na alteração da intensidade das emissões de GEE devido à falta de informação sobre a mudança da estrutura tecnológica da produção, tais como a composição do rebanho, o nível de suplementação alimentar, a digestibilidade da dieta, entre outros aspectos que influenciam as emissões de GEE e que podem ser abordados em futuras pesquisas.

REFERÊNCIAS

- Aguiar, A., Chepeliev, M., Corong, E. L., McDougall, R., & van der Mensbrugge, D. (2019). The GTAP Data Base: Version 10. *Journal of Global Economic Analysis*, 4(1), 1–27. <https://doi.org/10.21642/JGEA.040101AF>
- Alves, F. V., Almeida, R. G. de, & Laura, V. A. (2015). *Carne Carbono Neutro: um novo conceito para carne sustentável produzida nos trópicos*. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1056155/carne-carbono-neutro-um-novo-conceito-para-carne-sustentavel-produzida-nos-tropicos>
- Alvim, A. M., & Sanguinet, E. R. (2021). Climate Change Policies and the Carbon Tax Effect on Meat and Dairy Industries in Brazil. *Sustainability*, 13(16), 9026. <https://doi.org/10.3390/su13169026>
- Arantes, A. E., Couto, V. R. de M., Sano, E. E., & Ferreira, L. G. (2018). Livestock intensification potential in Brazil based on agricultural census and satellite data analysis. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 53(9), 1053–1060. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2018000900009>
- Assad, E. D., Pinto, H. S., Martins, S. C., Groppo, J. D., Salgado, P. R., Evangelista, B., Vasconcellos, E., Sano, E. E., Pavão, E., Luna, R., Camargo, P. B., & Martinelli, L. A. (2013). Changes in soil carbon stocks in Brazil due to land use: paired site comparisons and a regional pasture soil survey. *Biogeosciences*, 10(10), 6141–6160. <https://doi.org/10.5194/bg-10-6141-2013>
- Assad, E. D., Pinto, H. S., Zullo, J., & Helminsk Ávila, A. M. (2004). Climatic changes impact in agroclimatic zoning of coffee in Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39(11), 1057–1064. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004001100001>
- Assad, E. D., Pinto, H. S., & Zullo Junior, J. (2007). Impacts of global warmin in the Brazilian agroclimatic risk zoning. In P. L. da S. Dias, W. C. Ribeiro, & L. H. Nunes (Eds.), *A contribution to undestanding the regional impacts of global change in South America* (pp. 173–180). Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo.
- Assad, E. D., Pinto, H. S., Zullo Junior, J., & Ávila, A. M. H. (2004). Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39(11), 1057–1064. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004001100001>
- Assad, E., & Pinto, H. S. (2008). *Aquecimento Global e Cenários Futuros da Agricultura Brasileira* (Cepagri/Unicamp). www.climaeagricultura.org.br
- Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais. (2019). *Abiove Estatística*. <https://abiove.org.br/estatisticas/>
- Associação Brasileira das Indústrias do Milho. (2019). *Abimilho Estatísticas*. <http://www.abimilho.com.br/estatisticas>
- Banco Central do Brasil. (2022). *Matriz de Dados do Crédito Rural*. <https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/micrrural>
- Banco Mundial. (2021a). *Global Economic Prospects, June 2021*. The World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1665-9>
- Banco Mundial. (2021b, October). *World Bank Commodities Price Forecast*. <https://thedocs.worldbank.org/en/doc/ff5bad98f52ffa2457136bbe5703ddb-0350012021/related/CMO-October-2021-forecasts.pdf>
- Barbieri, A. F., Domingues, E., Queiroz, B. L., Ruiz, R. M., Rigotti, J. I., Carvalho, J. A. M., & Resende, M. F. (2010). Climate change and population migration in Brazil's Northeast: scenarios for 2025–2050. *Population and Environment*, 31(5), 344–370. <https://doi.org/10.1007/s11111-010-0105-1>

- Barbieri, A. F., Guedes, G. R., Noronha, K., Queiroz, B. L., Domingues, E. P., Rigotti, J. I. R., Motta, G. P. da, Chein, F., Cortezzi, F., Confalonieri, U. E., & Souza, K. de. (2015). Population transitions and temperature change in Minas Gerais, Brazil: a multidimensional approach. *Revista Brasileira de Estudos de População*, 32(3), 461–488. <https://doi.org/10.1590/S0102-3098201500000028>
- Borlaug, N. E. (2002). Feeding a world of 10 billion people: The miracle ahead. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, 38(2), 221–228. <https://doi.org/10.1079/IVP2001279>
- L12187 *Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNUMC e dá outras providências*, (2009) (testimony of Brasil). https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/112187.htm
- Brasil. (2012a). *Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono)*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério do Desenvolvimento Agrário, coordenação da Casa Civil da Presidência da República. <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/arquivo-publicacoes-plano-abc/download.pdf>
- Brasil. (2012b, May 25). *L12651 Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências*. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm
- Brasil. (2015a). *Estatísticas de Comércio Exterior em Dados Abertos*. Ministério Da Economia. <https://www.gov.br/produtividade-e-comercio-exterior/pt-br/assuntos/comercio-exterior/estatisticas/base-de-dados-bruta>
- Brasil. (2015b). *Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada*. http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf
- Brasil. (2016a). *Microdados RAIS e CAGED: 2015*. Ministério Do Trabalho. <http://pdet.mte.gov.br/microdados-rais-e-caged>
- Brasil. (2016b). *Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – Volume I*.
- Brasil. (2017, December 26). *L13576 Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências*. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/113576.htm
- Brasil. (2020). *Plano Safra 2020/2021: o florescer de uma nova colheita*. <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/plano-agricola-pecuario/plano-agricola-e-pecuario-2020-2021>
- Brasil. (2021a). Plano setorial de mitigação e adaptação à mudança do clima e baixa emissão de carbono na agropecuária com vistas ao desenvolvimento sustentável (2020-2030). In *MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO*. <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/arquivo-publicacoes-plano-abc/final-isbn-plano-setorial-para-adaptacao-a-mudanca-do-clima-e-baixa-emissao-de-carbono-na-agropecuaria-compactado.pdf>
- Brasil. (2021b). *Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Secretaria de Pesquisa e Formação Científica*. https://www.gov.br/mcti/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes-mcti/quarta-comunicacao-nacional-do-brasil-a-unfccc/sumario_executivo_4cn_brasil_web.pdf
- Brasil. (2022a). *Plano Decenal de Expansão de Energia 2031 /*. https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/PDE%202031_RevisaoPosCP_rvFinal_v2.pdf

- Brasil. (2022b). *Brazil's Nationally Determined Contributions*. <https://unfccc.int/NDCREG>
- Braz, S. P., Urquiaga, S., Alves, B. J. R., Jantalia, C. P., Guimarães, A. Paula., dos Santos, C. A., dos Santos, S. C., Machado Pinheiro, É. F., & Boddey, R. M. (2013). Soil Carbon Stocks under Productive and Degraded *Brachiaria* Pastures in the Brazilian Cerrado. *Soil Science Society of America Journal*, 77(3), 914–928. <https://doi.org/10.2136/sssaj2012.0269>
- Brinegar, G. K., & Cochrane, W. W. (1958). Farm Prices, Myth and Reality. In *American Journal of Agricultural Economics* (Vol. 40, Issue 3). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.2307/1235391>
- Carauta, M., Latynskiy, E., Mössinger, J., Gil, J., Libera, A., Hampf, A., Monteiro, L., Siebold, M., & Berger, T. (2018). Can preferential credit programs speed up the adoption of low-carbon agricultural systems in Mato Grosso, Brazil? Results from bioeconomic microsimulation. *Regional Environmental Change*, 18(1), 117–128. <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1104-x>
- Cardoso, A. S., Berndt, A., Leytem, A., Alves, B. J. R., de Carvalho, I. das N. O., de Barros Soares, L. H., Urquiaga, S., & Boddey, R. M. (2016). Impact of the intensification of beef production in Brazil on greenhouse gas emissions and land use. *Agricultural Systems*, 143, 86–96. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2015.12.007>
- Carvalho, A. L. de, Menezes, Rô. S. C., Nóbrega, R. S., Pinto, A. de S., Ometto, J. P. H. B., von Randow, C., & Giarolla, A. (2015). Impact of climate changes on potential sugarcane yield in Pernambuco, northeastern region of Brazil. *Renewable Energy*, 78(July), 26–34. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.12.023>
- Carvalho, J. L. N., Raucci, G. S., Cerri, C. E. P., Bernoux, M., Feigl, B. J., Wruck, F. J., & Cerri, C. C. (2010). Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. *Soil and Tillage Research*, 110(1), 175–186. <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.07.011>
- Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. (2015). *Gestão do Negócio Agropecuário*. <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/gestao-do-negocio-agropecuario.aspx>
- Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada e Confederação Nacional da Agricultura e Pecuária. (2022). *PIB do agronegócio brasileiro de 1996 a 2021*. <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>
- Cerri, C. E. P., Easter, M., Paustian, K., Killian, K., Coleman, K., Bernoux, M., Falloon, P., Powlson, D. S., Batjes, N., Milne, E., & Cerri, C. C. (2007). Simulating SOC changes in 11 land use change chronosequences from the Brazilian Amazon with RothC and Century models. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 122(1), 46–57. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.01.007>
- Cerri, C. E. P., Paustian, K., Bernoux, M., Victoria, R. L., Melillo, J. M., & Cerri, C. C. (2004). Modeling changes in soil organic matter in Amazon forest to pasture conversion with the Century model. *Global Change Biology*, 10(5), 815–832. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2004.00759.x>
- Climate Watch. (2023). *Global Historical Emissions*. https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?end_year=2019&start_year=1990
- Companhia Nacional de Abastecimento. (2015). *Custos de Produção*. <https://www.conab.gov.br/info-agro/custos-de-producao>
- Costa, L. C., Justino, F., Oliveira, L. J. C., Sediya, G. C., Ferreira, W. P. M., & Lemos, C. F. (2009). Potential forcing of CO₂, technology and climate changes in maize (*Zea mays*) and bean (*Phaseolus vulgaris*) yield in southeast Brazil. *Environmental Research Letters*, 4(1), 014013. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/4/1/014013>
- Dai, A. (2011). Drought under global warming: a review. *WIREs Climate Change*, 2(1), 45–65. <https://doi.org/10.1002/wcc.81>

- Damian, J. M., da Silva Matos, E., e Pedreira, B. C., de Faccio Carvalho, P. C., Premazzi, L. M., Williams, S., Paustian, K., & Cerri, C. E. P. (2021). Predicting soil C changes after pasture intensification and diversification in Brazil. *CATENA*, 202, 105238. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105238>
- de Figueiredo, E. B., Jayasundara, S., de Oliveira Bordonal, R., Berchielli, T. T., Reis, R. A., Wagner-Riddle, C., & la Scala Jr., N. (2017). Greenhouse gas balance and carbon footprint of beef cattle in three contrasting pasture-management systems in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 142, 420–431. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.132>
- de Moraes, J. F. L., Volkoff, B., Cerri, C. C., & Bernoux, M. (1996). Soil properties under Amazon forest and changes due to pasture installation in Rondônia, Brazil. *Geoderma*, 70(1), 63–81. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(95\)00072-0](https://doi.org/10.1016/0016-7061(95)00072-0)
- Desjardins, T., Andreux, F., Volkoff, B., & Cerri, C. C. (1994). Organic carbon and ¹³C contents in soils and soil size-fractions, and their changes due to deforestation and pasture installation in eastern Amazonia. *Geoderma*, 61(1–2), 103–118. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(94\)90013-2](https://doi.org/10.1016/0016-7061(94)90013-2)
- Desjardins, T., Barros, E., Sarrazin, M., Girardin, C., & Mariotti, A. (2004). Effects of forest conversion to pasture on soil carbon content and dynamics in Brazilian Amazonia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 103(2), 365–373. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.12.008>
- Dias-Filho, M. B. (2012). Desafios da Produção Animal em Pastagens na Fronteira Agrícola Brasileira. *Documentos / Embrapa Amazônia Oriental*, 382, 1–34. www.cpatu.embrapa.br
- Diniz Oliveira, T., Costa Gurgel, A., & Tonry, S. (2019). International market mechanisms under the Paris Agreement: A cooperation between Brazil and Europe. *Energy Policy*, 129, 397–409. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.01.056>
- Diniz, T. B. (2019). *Impactos econômicos e regionais dos investimentos em geração de energia elétrica no Brasil* [Universidade de São Paulo / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”]. https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11132/tde-22072019-100002/publico/Tiago_Barbosa_Diniz_versao_revisada.pdf
- Diniz, T., & Ferreira Filho, J. B. (2015). Impactos Econômicos do Código Florestal Brasileiro: uma discussão à luz de um modelo computável de equilíbrio geral. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 53(2), 229–250. <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-9479005302003>
- Dixon, P. B., & Jorgenson, D. W. (2013). *Handbook of computable general equilibrium modeling. Volume 1A* (1st ed.). Elsevier.
- dos Santos, C. A., Rezende, C. de P., Machado Pinheiro, É. F., Pereira, J. M., Alves, B. J. R., Urquiaga, S., & Boddey, R. M. (2019). Changes in soil carbon stocks after land-use change from native vegetation to pastures in the Atlantic forest region of Brazil. *Geoderma*, 337, 394–401. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.09.045>
- Embrapa Suínos e Aves. (2015). *Custos Suíno*. <https://www.embrapa.br/en/suinos-e-aves/cias/custos>
- Energy Protection Agency of United States. (2023). *Greenhouse Gases Equivalencies Calculator - Calculations and References | US EPA*. <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gases-equivalencies-calculator-calculations-and-references>
- Eri, M., Silva Junior, C. A. da, Lima, M., la Scala Júnior, N., Oliveira-Júnior, J. F. de, Teodoro, P. E., Capristo-Silva, G. F., Caione, G., & Peres, C. A. (2020). Capitalizing on opportunities provided by pasture sudden death to enhance livestock sustainable management in Brazilian Amazonia. *Environmental Development*, 33, 100499. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2020.100499>

- Faccin, F. (2019). *IMPACTOS DAS METAS DO ACORDO DE PARIS SOBRE A ECONOMIA BRASILEIRA: UMA ABORDAGEM DE EQUILÍBRIO GERAL COMPUTÁVEL* [Fundação Getúlio Vargas]. <https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/28071/Felipe%20Faccin%20-%20Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Fachinello, A. L. (2008). *Avaliação do impacto econômico de possíveis surtos de gripe aviária no Brasil: uma análise de equilíbrio geral computável* [Universidade de São Paulo / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”]. <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11132/tde-17072008-150109/publico/arlei.pdf>
- Fearnside, P. M., & Imbrozio Barbosa, R. (1998). Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 108(1–2), 147–166. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(98\)00222-9](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(98)00222-9)
- Ferreira Filho, J. B. de S. (2018). *Introdução aos modelos de Equilíbrio Geral Computável: conceitos, teoria e aplicações* (Série Didática n.120).
- Ferreira Filho, J. B. de S., & Horridge, M. (2006a). The Doha Development Agenda and Brazil: Distributional Impacts*. *Review of Agricultural Economics*, 28(3), 362–369. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9353.2006.00300.x>
- Ferreira Filho, J. B. de S., & Horridge, M. (2016, April 14). Reductions in land use change and agriculture GHG emissions in Brazil: the Brazilian commitment to COP21. *19th Annual Conference on Global Economic Analysis*. https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/res_display.asp?RecordID=4971
- Ferreira Filho, J. B. de S., & Horridge, M. (2017). Biome composition in deforestation deterrence and GHG emissions in Brazil 1 Mark Horridge 3. *20th Annual Conference on Global Economic Analysis*, 1–16. <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/8739.pdf>
- Ferreira Filho, J. B. de S., & Horridge, M. J. (2006b). Economic integration, poverty and regional inequality in Brazil. *Revista Brasileira de Economia*, 60(4). <https://doi.org/10.1590/S0034-71402006000400003>
- Ferreira Filho, J. B. de S., & Moraes, G. I. de. (2015). Climate change, agriculture and economic effects on different regions of Brazil. *Environment and Development Economics*, 20(1), 37–56. <https://doi.org/10.1017/S1355770X14000126>
- Ferreira Filho, J. B. de S., Ribera, L., & Horridge, M. (2015). Deforestation Control and Agricultural Supply in Brazil. *American Journal of Agricultural Economics*, 97(2), 589–601. <https://doi.org/10.1093/ajae/aav004>
- Ferreira Filho, J. B. de S., & Rocha, M. T. (2008). Economic Evaluation of Public Policies Aiming the Reduction of Greenhouse Gas Emissions in Brazil. *Journal of Economic Integration*, 23(3), 709–733. <https://doi.org/10.11130/jei.2008.23.3.709>
- Fonseca de Souza, L., Alvarez, D. O., Domeignoz-Horta, L. A., Gomes, F. V., de Souza Almeida, C., Merloti, L. F., Mendes, L. W., Andreote, F. D., Bohannan, B. J. M., Mazza Rodrigues, J. L., Nüsslein, K., & Tsai, S. M. (2022). Maintaining grass coverage increases methane uptake in Amazonian pastures, with a reduction of methanogenic archaea in the rhizosphere. *Science of The Total Environment*, 838, 156225. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156225>
- Fornazier, A., & Vieira Filho, J. E. R. (2012). TEXTO PARA DISCUSSÃO HETEROGENEIDADE ESTRUTURAL NO SETOR AGROPECUÁRIO BRASILEIRO: EVIDÊNCIAS A PARTIR DO CENSO AGROPECUÁRIO DE 2006. *Texto Para Discussão - IPEA*, 1708, 1–34. <http://www.ipea.gov.br>

- Francisco, A. X. (2018). *O impacto na economia brasileira e mundial do fim do desmatamento no Brasil: uma abordagem econômica por meio de modelo de equilíbrio geral* [Fundação Getúlio Vargas]. https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/25714/Disserta%20c3%a7%20c3%a3o%20FINAL%20202-%20AXF_Impacto%20Economico%20Desmatamento%20Ilegal%20Zero.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Fundação Getúlio Vargas. (2017). *Impactos econômicos e ambientais do Plano ABC*. <http://observatorioabc.com.br/publicacoes>
- Garrett, R. D., Koh, I., Lambin, E. F., le Polain de Waroux, Y., Kastens, J. H., & Brown, J. C. (2018). Intensification in agriculture-forest frontiers: Land use responses to development and conservation policies in Brazil. *Global Environmental Change*, 53, 233–243. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.09.011>
- Gasques, J. G., Rumenos, M., Bacchi, P., Rodrigues, L., Teles, E., & Valdes, B. C. (2016). PRODUTIVIDADE DA AGRICULTURA BRASILEIRA: A HIPÓTESE DA DESACELERAÇÃO. In J. E. R. Vieira Filho, J. G. Gasques, & A. X. Y. de Carvalho (Eds.), *Agricultura, transformação produtiva e sustentabilidade* (pp. 143–163). IPEA. <https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9241/1/Produtividade%20da%20agricultura.pdf>
- Gianetti, G. W. (2018). *O Plano e Programa ABC: uma avaliação da execução e distribuição dos recursos* [Universidade de São Paulo]. <https://doi.org/10.11606/D.11.2018.tde-03052018-132608>
- Grosso, J. D., Lins, S. R. M., Camargo, P. B., Assad, E. D., Pinto, H. S., Martins, S. C., Salgado, P. R., Evangelista, B., Vasconcelos, E., Sano, E. E., Pavão, E., Luna, R., & Martinelli, L. A. (2015). Changes in soil carbon, nitrogen, and phosphorus due to land-use changes in Brazil. *Biogeosciences*, 12(15), 4765–4780. <https://doi.org/10.5194/bg-12-4765-2015>
- Gurgel, A. C., & Laurenzana, R. D. (2016). DESAFIOS E OPORTUNIDADES DA AGRICULTURA BRASILEIRA DE BAIXO CARBONO. In J. E. R. Vieira Filho, J. G. Gasques, & A. X. Y. de Carvalho (Eds.), *Agricultura, transformação produtiva e sustentabilidade* (pp. 343–366). IPEA. <https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9262/1/Desafios%20e%20oportunidades.pdf>
- Gurgel, A. C., Paltsev, S., & Breviglieri, G. V. (2019). The impacts of the Brazilian NDC and their contribution to the Paris agreement on climate change. *Environment and Development Economics*, 24(04), 395–412. <https://doi.org/10.1017/S1355770X1900007X>
- Hertel, T. W. (2012). Implications of Agricultural Productivity for Global Cropland Use and GHG Emissions: Borlaug vs. Jevons. *GTAP Working Paper*, 69, 1–36. <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/6110.pdf>
- Hoffmann, R. (2010). ESTIMATIVAS DAS ELASTICIDADES-RENDA DE VÁRIAS CATEGORIAS DE DESPESA E DE CONSUMO, ESPECIALMENTE ALIMENTOS, NO BRASIL, COM BASE NA POF DE 2008-2009 1. *Revista de Economia Agrícola*, 57(2), 49–62. <http://www.ica.sp.gov.br/ftpica/publicacoes/rea/2010/rea2-4-2010.pdf>
- Horrige, M. (2005). *TABLO program to transform an ORANIG03 database so that the MAKE matrix is diagonal: ie, a commodity x industry table becomes a commodity x commodity table*. <https://www.copsmodels.com/archive.htm>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2012). *Censo agropecuário: 2006: Brasil, grandes regiões e unidades da federação: segunda apuração*. IBGE. <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=281073>

- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2017). *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios de 2015*.
<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/9127-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios.html?=&t=microdados>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2018a). *Matriz de insumo-produto: Brasil: 2015* (62nd ed.). IBGE.
<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101604.pdf>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2018b). *Pesquisa Pecuária Municipal*.
<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/quadros/brasil/2016>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2018c). *Produção Agrícola Municipal*.
<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2019). *Censo agropecuário: resultados definitivos: 2017* (IBGE). IBGE.
https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/agro_2017_resultados_definitivos.pdf
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2020). *Projeção da População: Tabela 7358: População, por sexo e idade*.
<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/7358>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2021). *Pesquisa de orçamentos familiares: 2017-2018: Microdados*. 2021.
<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101886.pdf>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2022). *Sistema de Contas Nacionais Trimestrais*.
<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9300-contas-nacionais-trimestrais.html?=&t=resultados>
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (2021). *PRODES: Incremento de desmatamento – Amazônia Legal – Estados*.
<http://terrabilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/amazon/increments>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (1990). *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment* (IPCC). Cambridge University Press.
https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_first_assessment_1990_wg1.shtml
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories* (S. Eggleston, Le. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, & K. Tanabe, Eds.; IPCC, Vol. 4). Institute for Global Environmental Strategies. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2015). *Climate Change 2014: Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. In R. K. Pachauri & L. Meyer (Eds.), *IPCC* (IPCC). IPCC.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2019). *2019 REFINEMENT TO THE 2006 IPCC GUIDELINES FOR NATIONAL GREENHOUSE GAS INVENTORIES* (D. Gómez & W. Irving, Eds.; IPCC). IPCC.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/12/19R_V0_01_Overview.pdf
- Jackson, R., & Murray, A. (2004). Alternative Input-Output Matrix Updating Formulations. *Economic Systems Research*, 16(2), 135–148. <https://doi.org/10.1080/0953531042000219268>
- Jevons, W. S. (1866). THE COAL QUESTION; AN INQUIRY CONCERNING THE PROGRESS OF THE NATION, AND THE PROBABLE EXHAUSTION OF OUR COAL-MINES. - ProQuest. *Fortnightly Review*, 6(34), 505–507. <https://www.proquest.com/openview/ea608da86bd69d2f/1?pq-origsite=gscholar&cbl=14004>
- Johansen, L. (1964). *A multi-sector study of economic growth (Contributions to economic analysis)*. North-Holland Publishing. <https://www.amazon.com/multi-sector-economic-growth-Contributions-analysis/dp/B0007J8JPW>

- la Rovere, E. L., Wills, W., Perereira, A. O., Dubeux, C. B., Cunha, S. H. F., Oliveira, B. C. P., Morerira, M. M. R., Watanabe, S., Loureiro, S. M., & Grottera, C. (2018). *IMPLICAÇÕES ECONÔMICAS E SOCIAIS DE CENÁRIOS DE MITIGAÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NO BRASIL ATÉ 2030 SUMÁRIO TÉCNICO* (COPPE/UFRJ). COPPE/UFRJ. <https://hal.science/hal-01695230>
- Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento. (2019). *Inteligência Geográfica*. 2019. <http://maps.lapig.iesa.ufg.br/lapig.html>
- Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento. (2022). *Atlas das Pastagens*. 2022. <https://atlasdaspastagens.ufg.br/>
- Lobell, D. B., Burke, M. B., Tebaldi, C., Mastrandrea, M. D., Falcon, W. P., & Naylor, R. L. (2008). Prioritizing Climate Change Adaptation Needs for Food Security in 2030. *Science*, *319*(5863), 607–610. <https://doi.org/10.1126/science.1152339>
- Machado, P. G., Cunha, M., Walter, A., Faaij, A., & Guilhoto, J. J. M. (2020). The potential of a bioeconomy to reduce Brazilian GHG emissions towards 2030: a CGE-based life cycle analysis. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, *14*(2), 265–285. <https://doi.org/10.1002/bbb.2064>
- Maia, S. M. F., Ogle, S. M., Cerri, C. E. P., & Cerri, C. C. (2009). Effect of grassland management on soil carbon sequestration in Rondônia and Mato Grosso states, Brazil. *Geoderma*, *149*(1–2), 84–91. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.11.023>
- MapBiomás. (2022). *Estatísticas: Coleção 6.0 da série anual de mapas de cobertura e uso de solo do Brasil*. <https://mapbiomas.org/estatisticas>
- Marengo, J. A., Chou, S. C., Kay, G., Alves, L. M., Pesquero, J. F., Soares, W. R., Santos, D. C., Lyra, A. A., Sueiro, G., Betts, R., Chagas, D. J., Gomes, J. L., Bustamante, J. F., & Tavares, P. (2012). Development of regional future climate change scenarios in South America using the Eta CPTEC/HadCM3 climate change projections: climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Paraná River basins. *Climate Dynamics*, *38*(9–10), 1829–1848. <https://doi.org/10.1007/s00382-011-1155-5>
- Martha, G. B., Alves, E., & Contini, E. (2012). Land-saving approaches and beef production growth in Brazil. *Agricultural Systems*, *110*, 173–177. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.03.001>
- Mello, E. L. de, Oliveira, F. A., Pruski, F. F., & Figueiredo, J. C. (2008). Efeito das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do Rio Paracatu. *Engenharia Agrícola*, *28*(4), 635–644. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162008000400003>
- Minasny, B., Malone, B. P., McBratney, A. B., Angers, D. A., Arrouays, D., Chambers, A., Chaplot, V., Chen, Z.-S., Cheng, K., Das, B. S., Field, D. J., Gimona, A., Hedley, C. B., Hong, S. Y., Mandal, B., Marchant, B. P., Martin, M., McConkey, B. G., Mulder, V. L., ... Winowiecki, L. (2017). Soil carbon 4 per mille. *Geoderma*, *292*, 59–86. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.01.002>
- OECD/FAO. (2021). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030*. OECD. <https://doi.org/10.1787/19428846-en>
- Oenema, O., de Klein, C., & Alfaro, M. (2014). Intensification of grassland and forage use: driving forces and constraints. *Crop and Pasture Science*, *65*(6), 524. <https://doi.org/10.1071/CP14001>
- Oliveira, P. P. A., Pezzopane, J. R. M., Méo Filho, P. de, Berndt, A., Pedroso, A. de F., & Bernardi, A. C. C. (2017). Balanço e emissões de gases de efeito estufa em sistemas integrados. In J. Jamhour & T. S. Assmann (Eds.), *Palestras: intensificação com sustentabilidade*. UTFPR. <http://www.utfpr.edu.br/cursos/coordenacoes/graduacao/pato-branco/pb-agronomia/documentos/materiais-de-apoio-do-curso/palestras-intensificacao-com-sustentabilidade>

- Parks, R. W. (1969). Systems of Demand Equations: An Empirical Comparison of Alternative Functional Forms. *Econometrica*, 37(4), 629. <https://doi.org/10.2307/1910439>
- Re, M., & Barros, V. R. (2009). Extreme rainfalls in SE South America. *Climatic Change*, 96(1–2), 119–136. <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9619-x>
- Rocha Junior, A. B., Gianetti, G. W., & Ferreira Filho, J. B. de S. (2022). Economic and environmental impacts of pastures recovery in Brazil. 2022 WESTERN AGRICULTURAL ECONOMICS ASSOCIATION. <https://waeonline.org/wp-content/uploads/2022/06/WAEA-2022-Program-6.15.22.pdf>
- Ruviaro, C. F., de Léis, C. M., Lampert, V. do N., Barcellos, J. O. J., & Dewes, H. (2015). Carbon footprint in different beef production systems on a southern Brazilian farm: a case study. *Journal of Cleaner Production*, 96, 435–443. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.037>
- Sanderman, J., Woolf, D., Lehmann, J., Rivard, C., Poggio, L., Heuvelink, G., & Bossio, D. (2020). *Soils Revealed soil carbon futures*. Harvard Dataverse. <https://doi.org/10.7910/DVN/HA17D3>
- Sansigolo, C. A., & Kayano, M. T. (2010). Trends of seasonal maximum and minimum temperatures and precipitation in Southern Brazil for the 1913–2006 period. *Theoretical and Applied Climatology*, 101(1–2), 209–216. <https://doi.org/10.1007/s00704-010-0270-2>
- Santos, C. V. dos, Oliveira, A. F. de, & Ferreira Filho, J. B. de S. (2022). Potential impacts of climate change on agriculture and the economy in different regions of Brazil. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 60(1). <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.220611>
- Santos, J. A. dos, & Ferreira Filho, J. B. de S. (2017). Substituição de combustíveis fósseis por etanol e biodiesel no Brasil e seus impactos econômicos: uma avaliação do Plano Nacional de Energia 2030. *Pesquisa e Planejamento Econômico*, 47(3), 185–224. <https://repositorio.usp.br/item/002886380>
- Silva, R. de O., Barioni, L. G., Hall, J. A. J., Folegatti Matsuura, M., Zanett Albertini, T., Fernandes, F. A., & Moran, D. (2016). Increasing beef production could lower greenhouse gas emissions in Brazil if decoupled from deforestation. *Nature Climate Change*, 6(5), 493–497. <https://doi.org/10.1038/nclimate2916>
- SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE ALIMENTAÇÃO ANIMAL. (2019). *Boletim Informativo do Setor: 2015*. <https://sindiracoes.org.br/>
- SISTEMA DE ESTIMATIVA DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. (2019). *Tabela Geral de Dados – Brasil e Estados: 2015*. 2019. <https://seeg.eco.br/download>
- Souza, G. C. P., Domingues, E. P., & Magalhães, A. (2020). Regional economic impacts of greenhouse gas emission mitigation policies in brazilian agriculture: the role of the degraded pasture recovery program. *23rd Annual Conference on Global Economic Analysis*.
- Sparovek, G., Guidotti, V., Pinto, L. F. G., Berndes, G., Barretto, A., & Cerignoni, F. (2018). Asymmetries of cattle and crop productivity and efficiency during Brazil's agricultural expansion from 1975 to 2006. *Elementa: Science of the Anthropocene*, 6. <https://doi.org/10.1525/elementa.187>
- Stocco, L., Ferreira Filho, J. B. de S., & Horridge, M. (2020). Closing the Yield Gap in Livestock Production in Brazil: New Results and Emissions Insights. In *Environmental Economics and Computable General Equilibrium Analysis* (pp. 153–170). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-15-3970-1_7
- Tanure, T. M. do P., Porsse, A. A., & Domingues, E. P. (2021). Política industrial verde no Brasil: impactos econômicos de opções de mitigação de gases de efeito estufa-uma análise através de Equilíbrio Geral Computável (EGC) 1. *49º Encontro Nacional de Economia (ANPEC)*.

- Teague, W. R., Dowhower, S. L., Baker, S. A., Haile, N., DeLaune, P. B., & Conover, D. M. (2011). Grazing management impacts on vegetation, soil biota and soil chemical, physical and hydrological properties in tall grass prairie. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 141(3–4), 310–322. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.03.009>
- Thornton, P. K., & Herrero, M. (2010). Potential for reduced methane and carbon dioxide emissions from livestock and pasture management in the tropics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(46), 19667–19672. <https://doi.org/10.1073/pnas.0912890107>
- Tourinho, O. A. F., Motta, R. S. da, & Alves, Y. L. B. (2003). Uma aplicação ambiental de um modelo de equilíbrio geral. *TEXTO PARA DISCUSSÃO*, 976. https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_0976.pdf
- União da Indústria de Cana-de-açúcar. (2019). *Unicadata: 2015*. <https://unica.com.br/>
- United Nations Environment Programme. (2019). *Emissions gap report 2019*. UNEP.
- United Nations Environment Programme. (2020). *Emissions Gap Report 2020*. United Nations.
- United States Department of Agriculture. (2022). *USDA Agricultural Projections to 2031 Interagency Agricultural Projections Committee Acknowledgments and Contacts*. <https://www.usda.gov/sites/default/files/documents/USDA-Agricultural-Projections-to-2031.pdf>
- Valentim, J. F., & Andrade, C. M. S. de. (2009). Tendências e perspectivas da pecuária bovina na Amazônia brasileira. *Amazônia: Ci. & Desenv.*, 4(8), 9–32. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/116460/1/22879.pdf>
- Vieira Filho, J. E. R. (2018). *Efeito poupa-terra e ganhos de produção no setor agropecuário brasileiro*. https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8381/1/TD_2386.pdf
- Villoria, N. B., Byerlee, D., & Stevenson, J. (2014). The Effects of Agricultural Technological Progress on Deforestation: What Do We Really Know? *Applied Economic Perspectives and Policy*, 36(2), 211–237. <https://doi.org/10.1093/AEPP/PPU005>
- Villoria, N. B., Golub, A., Byerlee, D., & Stevenson, J. (2013). Will Yield Improvements on the Forest Frontier Reduce Greenhouse Gas Emissions? A Global Analysis of Oil Palm. *American Journal of Agricultural Economics*, 95(5), 1301–1308. https://www.jstor.org/stable/24476914?casa_token=MkHiBCNAbIQAAAAA%3AGoaAavu5i9W-Spjahd_uSbWWufKsmPse2W1ABObjC_yrFG8zhdg1SsNS79SxyJ-4MkT8XxIkou4ZmW_ebK_x9pkkK3JyNwXrg39AjYM3kWGouqvAapX-
- Walter, L. C., Rosa, H. T., & Streck, N. A. (2010). Simulação do rendimento de grãos de arroz irrigado em cenários de mudanças climáticas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45(11), 1237–1245. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010001100002>
- Zullo, J., Pinto, H. S., Assad, E. D., & de Ávila, A. M. H. (2011). Potential for growing Arabica coffee in the extreme south of Brazil in a warmer world. *Climatic Change*, 109(3–4), 535–548. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0058-0>

APÊNDICES

APÊNDICE A.

Tabela A 1. Agregação dos 122 produtos da MIP2015 para 38 produtos

Agregação Final de Produtos do TERM-BR15	Produtos Originais da MIP2015
ArrozTrigOut	Arroz, trigo e outros cereais
MilhoGrao	Milho em grão
AlgodHerb	Algodão herbáceo, outras fibras da lavoura temporária
CanaDeAcucar	Cana-de-açúcar
SojaGrao	Soja em grão
OutPrLavTemp	Outros produtos e serviços da lavoura temporária
Laranja	Laranja
CafeGrao	Café em grão
OutPrLavPerm	Outros produtos da lavoura permanente
BovOutrAnim	Bovinos e outros animais vivos, produtos animal, caça e serviços
LeitVacOuAni	Leite de vaca e de outros animais
Suínos	Suínos
AvesOvos	Aves e ovos
ExplFlorSilv	Produtos da exploração florestal e da silvicultura
PescaAcq	Pesca e aquicultura (peixe, crustáceos e moluscos)
Mineracao	Carvão mineral, Minerais não metálicos, Petróleo, gás natural e serviços de apoio, Minério de ferro e Minerais metálicos não ferrosos
Carnes	Carne de bovinos e outros produtos de carne, Carne de suíno, Carne de aves e Pescado industrializado
OutAliment	Leite resfriado, esterilizado e pasteurizado, Outros produtos do laticínio, Açúcar, Conservas de frutas, legumes, outros vegetais e sucos de frutas, Óleos e gorduras vegetais e animais, Café beneficiado, Arroz beneficiado e produtos derivados do arroz, Produtos derivados do trigo, mandioca ou milho, Outros produtos alimentares e Bebidas
OutAgrindus	Rações balanceadas para animais, Produtos do fumo, Fios e fibras têxteis beneficiadas, Tecidos, Artigos têxteis de uso doméstico e outros têxteis, Artigos do vestuário e acessórios, Calçados e artefatos de couro, Produtos de madeira, exclusive móveis, Celulose
OutrManuf	Papel, papelão, embalagens e artefatos de papel, Serviços de impressão e reprodução, Artigos de borracha, Artigos de plástico, Cimento, Artefatos de cimento, gesso e semelhantes, Vidros, cerâmicos e outros produtos de minerais não metálicos, Móveis, Produtos de industrias diversas e Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos
OutCombust	Combustíveis para aviação, Naftas para petroquímica, Óleo combustível, Diesel - biodiesel e Outros produtos do refino do petróleo
Gasoalcool	Gasoálcool
Etanol	Etanol e outros biocombustíveis

Tabela A 2. Agregação dos 122 produtos da MIP2015 para 38 produtos (Continuação)

IndQuimica	Produtos químicos inorgânicos, Adubos e fertilizantes, Produtos químicos orgânicos, Resinas, elastômeros e fibras artificiais e sintéticas, Defensivos agrícolas e desinfestantes domissanitários, Produtos químicos diversos, Tintas, vernizes, esmaltes e lacas, Perfumaria, sabões e artigos de limpeza e Produtos farmacêuticos
IndMetalurg	Ferro-gusa e ferroligas, Semi-acabados, laminados planos, longos e tubos de aço, Produtos da metalurgia de metais não ferrosos, Peças fundidas de aço e de metais não ferrosos e Produtos de metal, exclusive máquinas e equipamentos
IndEIEletron	Componentes eletrônicos, Máquinas para escritório e equipamentos de informática, Material eletrônico e equipamentos de comunicações, Equipamentos de medida, teste e controle, ópticos e eletromédicos, Máquinas, aparelhos e materiais elétricos e Eletrodomésticos
VeicAutom	Tratores e outras máquinas agrícolas, Máquinas para a extração mineral e a construção, Outras máquinas e equipamentos mecânicos, Automóveis, camionetas e utilitários, Automóveis, camionetas e utilitários, Peças e acessórios para veículos automotores e Aeronaves, embarcações e outros equipamentos de transporte
EletridGas	Eletricidade, gás e outras utilidades
AguaEsgRes	Água, esgoto, reciclagem e gestão de resíduos
Construcao	Edificações, Obras de infraestrutura e Serviços especializados para construção
Comercio	Comércio por atacado e a varejo
Transporte	Transporte terrestre de carga, Transporte terrestre de passageiros, Transporte aquaviário, Transporte aéreo, Armazenamento e serviços auxiliares aos transportes e Correio e outros serviços de entrega
AlojAliment	Serviços de alojamento em hotéis e similares e Serviços de alimentação
InforComFin	Livros, jornais e revistas, Serviços cinematográficos, música, rádio e televisão, Telecomunicações, TV por assinatura e outros serviços, Desenvolvimento de sistemas e outros serviços de informação e Intermediação financeira, seguros e previdência complementar
Servicos	Aluguel efetivo e serviços imobiliários, Aluguel imputado, Serviços jurídicos, contabilidade e consultoria, Pesquisa e desenvolvimento, Serviços de arquitetura e engenharia, Publicidade e outros serviços técnicos, Aluguéis não imobiliários e gestão de ativos de propriedade intelectual, Condomínios e serviços para edifícios, Outros serviços administrativos, Serviços de vigilância, segurança e investigação, Serviços de previdência e assistência social, Serviços de artes, cultura, esporte e recreação, Organizações patronais, sindicais e outros serviços associativos, Manutenção de computadores, telefones e objetos domésticos e Serviços pessoais
AdmPublic	Serviços coletivos da administração pública
EducSaudSoc	Educação pública, Educação privada, Saúde pública e Saúde privada
ServDomest	Serviços domésticos

Fonte: elaboração própria.

Tabela A 3. Legenda das Unidades da Federação

Sigla	Unidade da Federação
RO	Rondônia
AC	Acre
AM	Amazonas
RR	Roraima
PA	Pará
AP	Amapá
TO	Tocantins
MA	Maranhão
PI	Piauí
CE	Ceará
RN	Rio Grande do Norte
PB	Paraíba
PE	Pernambuco
AL	Alagoas
SE	Sergipe
BA	Bahia
MG	Minas Gerais
ES	Espírito Santo
RJ	Rio de Janeiro
SP	São Paulo
PR	Paraná
SC	Santa Catarina
RS	Rio Grande do Sul
MS	Mato Grosso do Sul
MT	Mato Grosso
GO	Goiás
DF	Distrito Federal

Fonte: elaboração própria.

Tabela A 4. Legenda das fontes de emissões de GEE

Fonte de Emissão	Descrição	Produto MIP	Combustíveis SEEG (2019)
CarvMiner	Carvão mineral	5801	Carvão Mineral, Carvão vapor 3100, Carvão vapor 3300, Carvão vapor 3700, Carvão vapor 4200, Carvão vapor 4500, Carvão vapor 4700, Carvão vapor 5200, Carvão vapor 5900, Carvão vapor 6000, Carvão vapor sem especificação, Carvão vegetal, Coque de carvão mineral e Coque de petróleo
PetroGasNat	Petróleo, gás natural e serviços de apoio	6801	GLP, Gás canalizado RJ, Gás canalizado SP, Gás de coqueria, Gás de refinaria, Gás Natural, Gás natural seco, Gás natural úmido, Petróleo e Petróleo e Gás Natural
CombAviacao	Combustíveis para aviação	19911	Gasolina de aviação e Querosene de aviação
Gasoolcool	Gasoálcool	19912	Gasolina automotiva e Gasolina C
Nafta	Naftas para petroquímica	19913	Nafta
OleoComb	Óleo combustível	19914	Óleo Combustível
DieselBiodis	Diesel - biodiesel	19915	Diesel mineral e Óleo diesel
OutProRefPet	Outros produtos do refino do petróleo	19916	Alcatrão, Outras não renováveis, Outros energéticos de petróleo, Querosene iluminante e Outros não energéticos de petróleo
EtanolCombust	Etanol e outros biocombustíveis	19921	Álcool hidratado, Bagaço de cana, Biogás, Biomassa, Lenha e Lenha Carvoejamento
Atividade	Nível de atividade econômica		

Fonte: elaboração própria.

Tabela A 5. Legenda dos setores e subsetores de atividade econômica

Produto	Descrição
Agropecuária	Agricultura, Pecuária e ProdFlorPes
Agricultura	Agricultura, inclusive apoio à agricultura e a pós-colheita
Pecuária	Pecuária, inclusive apoio à Pecuária
ProdFlorPes	Produção florestal, pesca e aquicultura
Indústria	IndExtrat, IndTransf, Eletricidade e Construção
IndExtrat	Indústrias extrativas
IndTransf	Indústrias de transformação
ElGasAg	Eletricidade e gás, água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação
Construção	Construção
Serviços	CompRepVe, TranspArmz, AlojAlim, InforComun, AtivFinSeg, AtivImob, AtivProfiss, AdmSauEdPub, EducSauPriv, ArCultEsport e ServDomest
ComRepVe	Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas
TranspArmz	Transporte, armazenagem e correio
AlojAlim	Alojamento e alimentação
InforComun	Informação e comunicação
AtivFinSeg	Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados
AtivImob	Atividades imobiliárias
AtivProf	Atividades profissionais, científicas e técnicas, administrativas e serviços complementares
AdmSauEdPub	Administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social
EducSauPriv	Educação e saúde privadas
ArCultEsport	Artes, cultura, esporte e recreação e outras atividades de serviços
ServDomest	Serviços domésticos

Fonte: elaboração própria.

Tabela A 6. Distribuição regional da produção por setor de atividade econômica (agropecuária e indústria) e UF

UF e Setor	Agropec	Agricultura	Pecuária	ProdFlorPes	Indústria	IndExtrat	IndTransf	ElGasAg	Construção
Norte	8,5	6,3	12,8	12,2	4,6	6,9	3,4	10,2	6,3
RO	1,5	0,8	3,5	0,9	0,6	0,2	0,4	2,6	1
AC	0,4	0,2	0,8	0,3	0,1	0	0,1	0,2	0,2
AM	0,7	0,6	0,4	3,1	1,4	1	1,5	1,7	1,1
RR	0,2	0,2	0,2	0,3	0,1	0,1	0	0,1	0,2
PA	4,1	3,3	5,5	6,1	2	5,4	1,1	5,1	3,2
AP	0,2	0,1	0,1	1	0,1	0,2	0	0,2	0,3
TO	1,4	1,2	2,3	0,5	0,3	0	0,3	0,4	0,4
Nordeste	14,5	12	17,1	27,6	11,4	9,1	10,1	20,3	13,6
MA	1,9	1,5	2,5	3,8	1	0,5	0,6	3,1	1,6
PI	1,1	1	1,3	1,1	0,5	0	0,4	1,4	0,9
CE	1,2	0,6	2,3	1,9	1,6	0	1,6	2,6	1,9
RN	0,7	0,4	0,8	3,3	0,7	1,8	0,6	0,9	0,5
PB	0,5	0,4	0,8	0,5	0,7	0	0,6	1,3	0,8
PE	1,4	1	2,7	0,8	1,9	0,3	1,8	2,9	2,2
AL	0,7	0,7	0,7	1	0,5	0,1	0,4	1,8	0,6
SE	1,1	0,4	0,7	8,3	0,7	2,2	0,5	1,6	0,4
BA	5,9	6,1	5,2	6,9	3,9	4,1	3,6	4,7	4,6
Sudeste	25,8	27,4	22,2	24,5	57,8	77,4	57,9	37,6	60,3
MG	11,7	10,9	13,3	12,8	10,3	17,5	9,4	9,7	11,8
ES	1,9	1,9	1,3	3,5	1,7	6	1,5	0,4	1,6
RJ	0,8	0,5	1,1	2,3	14,4	50,6	11,2	6,6	18,6
SP	11,4	14,1	6,6	6	31,4	3,3	35,7	20,9	28,3
Sul	27,4	28	25,9	28,2	20	4,7	22,8	21,4	12,8
PR	12	12,7	10,6	11,2	7,8	1,6	9,2	5,2	5,1
SC	4,5	3,2	5,8	10,9	5,4	1,1	5,7	10	3,6
RS	10,9	12,1	9,4	6,1	6,8	1,9	7,9	6,3	4,1
MS	5	4,8	5,7	3,4	1,4	0,5	1,4	2,2	1,3
MT	11,6	14	8,2	2,8	1,3	0,4	1,3	1,9	1,6
GO	7	7,2	8	1	2,6	0,4	2,7	3,3	3,1
DF	0,2	0,2	0,2	0,2	0,8	0,5	0,5	3,1	1
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Fonte: elaboração própria.

Tabela A 7. Distribuição regional da produção por setor de atividade econômica (serviços e total Brasil) e UF

UF e Setor	Serviços	ComRepVe	TranspArmz	AtivImob	AtivProf	AdmSauEdPub	Total Brasil
Norte	4,4	6,7	6	3,2	3,2	5,2	4,7
RO	0,5	0,9	0,6	0,3	0,4	0,7	0,6
AC	0,2	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2
AM	0,9	1,3	1,4	0,9	0,6	1,1	1,1
RR	0,1	0,2	0,1	0,4	0,2	0,1	0,1
PA	2	3,2	3,1	1	1,3	2,4	2,1
AP	0,2	0,3	0,2	0	0,1	0,3	0,2
TO	0,4	0,6	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4
Nordeste	14,5	19,9	15	9,9	11,9	17	13,3
MA	1,3	2,5	1,4	0,4	0,7	1,6	1,2
PI	0,8	1,1	0,7	0,5	0,4	1	0,7
CE	2,2	3,3	1,7	2,1	2,6	2,3	2
RN	1,1	1,3	0,9	1,5	0,9	1	0,9
PB	1,1	1,8	0,9	0,8	0,9	1,3	0,9
PE	2,9	4,1	3,4	1,4	2,3	3,1	2,4
AL	0,6	0,8	0,9	0,3	0,5	0,7	0,6
SE	0,6	0,7	0,6	0,2	0,4	0,7	0,6
BA	4	4,5	4,4	2,5	3,2	5,3	4
Sudeste	56,4	46,4	54,6	59,6	61,3	52,9	55,5
MG	9,3	10,2	9,5	8,8	9,7	10,2	9,8
ES	1,7	1,7	2,1	1,9	2,5	1,7	1,7
RJ	11,9	8,6	12,1	10,4	13,7	11,3	12,4
SP	33,5	25,9	30,9	38,6	35,4	29,7	31,7
Sul	16,5	18,2	15,5	19	15,4	17,4	18,4
PR	6,4	7,6	7	7,7	5,8	6	7,2
SC	4	4,9	2,8	5,1	3	4,3	4,6
RS	6,1	5,8	5,7	6,2	6,6	7	6,6
MS	1,3	1,6	1,2	1	2,3	1,2	1,5
MT	1,3	1,7	1,8	0,8	1	1,2	1,8
GO	2,9	3,7	3,4	3,4	2,1	3	3
DF	2,7	1,8	2,6	3	2,8	2,1	1,9
Total	100	100	100	100	100	100	100

Fonte: elaboração própria.

Tabela A 8. Financiamento e investimento médio por ha do Programa ABC para RPD de 2015 a 2021

Região	Financiamento médio por ha	Investimento médio por ha
Rondonia	2.283,38	360,97
AmazACRR	2.910,47	436,52
ParaAP	2.792,17	169,65
Bahia	2.520,24	327,73
MaToPi	2.666,42	332,45
RNordeste	2.236,16	620,85
MinasG	2.885,65	152,50
SaoPaulo	3.838,85	230,75
RSudeste	4.396,26	678,76
Parana	3.284,26	408,72
RSul	1.733,74	293,85
MtGrSul	2.047,40	50,92
MtGrosso	2.036,85	108,56
GoiasDF	772,08	72,77

Fonte: elaboração própria.

Tabela A 9. Efeito marginal (Valor Bruto de Produção por ha) da RPD

Região	Efeito marginal
Rondonia	1.579,77
AmazACRR	1.028,26
ParaAP	1.011,84
Bahia	889,03
MaToPi	975,54
RNordeste	1.419,96
MinasG	1.349,37
SaoPaulo	2.760,91
RSudeste	1.560,06
Parana	3.192,84
RSul	2.407,06
MtGrSul	1.245,62
MtGrosso	1.215,46
GoiasDF	1.643,75

Fonte: elaboração própria.

Tabela A 10. Variação média anual de emissões de GEE (%) da RPD

Região	Corte	Leite
Rondonia	-0,37	-0,91
AmazACRR	-0,58	-4,02
ParaAP	-0,67	-3,23
Bahia	-8,21	-14,25
MaToPi	-10,95	-23,73
RNordeste	-7,88	-5,77
MinasG	-10,39	-2,97
SaoPaulo	-1,90	-1,47
RSudeste	-15,32	-4,23
Parana	-3,61	-1,46
RSul	-15,52	-10,79
MtGrSul	-5,51	-39,63
MtGrosso	-4,49	-24,12
GoiásDF	-2,98	-2,63

Fonte: elaboração própria.

Tabela A 11. Variação de preço da pecuária bovina no CEN 1. Variação % em relação à linha de base, acumulada em 2035

Regiões	Pecuária de Corte	Pecuária de Leite
Rondonia	-27,95	-32,39
AmazACRR	-28,31	-31,31
ParaAP	-22,44	-27,62
Bahia	-25,89	-27,69
MaToPi	-28,62	-33,91
RNordeste	-24,77	-27,07
MinasG	-23,99	-22,96
SaoPaulo	-26,06	-28,40
RSudeste	-25,42	-27,10
Parana	-22,84	-22,95
RSul	-28,98	-35,71
MtGrSul	-25,29	-27,45
MtGrosso	-29,73	-34,51
GoiásDF	-28,17	-31,46
Brasil	-20,10	-24,18

Fonte: elaboração própria.

Tabela A 12. Produção regional da agropecuária e indústria de carnes no CEN 1. Variação % em relação à linha de base, acumulada em 2035

Produção	Brasil	Rondonia	AmazACRR	ParaAP	Bahia	MaToPi	RNordeste
ArrozTrigOut	0,23	0,31	-4,22	0,12	0,53	-0,50	0,20
MilhoGrao	0,16	-0,32	-4,61	0,00	-0,11	-0,72	-0,33
AlgodHerb	-0,50	-1,04	-4,81	-0,44	-0,11	-1,22	-0,44
CanaDeAcucar	0,36	0,58	-3,64	0,03	0,45	-0,65	0,13
SojaGrao	0,47	-0,11	-4,64	0,34	0,65	-0,37	0,18
OutPrLavTemp	-0,43	-0,74	-3,91	-0,12	0,16	-0,51	-0,06
Laranja	-0,22	0,20	-3,81	-0,18	0,17	-0,93	-0,15
CafeGrao	1,71	-0,22	-4,77	0,21	0,74	-0,54	0,10
OutPrLavPerm	0,08	0,04	-3,76	-0,01	0,46	-0,81	0,02
BovOutrAnim	27,88	35,43	49,13	23,67	19,11	43,47	13,53
LeitVacOuAni	9,61	15,18	20,62	6,73	9,62	21,99	1,82
Suinos	9,44	10,41	-2,87	2,57	-6,27	0,88	-4,80
AvesOvos	6,34	2,37	-1,09	1,92	-3,01	0,66	-3,43
ExplFlorSilv	0,21	-0,05	-0,82	-0,42	1,04	-0,62	0,01
PescaAcq	0,30	-0,17	-1,53	-0,04	0,01	-0,52	0,51
Carnes	15,44	17,67	-0,89	5,61	-5,48	3,57	-3,66

Produção	MinasG	SaoPaulo	RSudeste	Parana	RSul	MtGrSul	MtGrosso	GoiasDF
ArrozTrigOut	2,39	0,28	0,06	-0,15	0,36	2,16	-0,44	0,52
MilhoGrao	1,53	0,05	-0,23	-0,16	0,18	1,74	-0,52	0,18
AlgodHerb	1,96	-0,73	-0,36	-0,59	-0,75	1,50	-0,78	0,00
CanaDeAcucar	1,87	0,04	-0,26	-0,03	0,32	1,79	-0,48	0,54
SojaGrao	2,28	0,38	0,09	0,39	0,62	2,25	-0,03	0,59
OutPrLavTemp	1,09	-0,31	-0,65	-0,58	-0,96	1,38	-0,66	-0,08
Laranja	1,92	-0,33	-0,41	-0,59	-0,17	1,59	-0,80	0,09
CafeGrao	2,66	0,46	0,23	0,20	0,67	2,35	-0,28	0,65
OutPrLavPerm	1,98	-0,03	-0,25	-0,24	0,04	1,85	-0,65	0,28
BovOutrAnim	6,26	23,08	17,31	1,58	49,53	15,24	40,92	33,55
LeitVacOuAni	3,82	12,44	6,32	-5,67	23,57	4,37	22,07	20,84
Suinos	2,91	10,40	7,03	13,41	15,65	7,86	14,82	-5,44
AvesOvos	2,25	5,31	4,68	9,46	11,59	4,86	9,93	-3,68
ExplFlorSilv	1,66	-0,28	-0,32	-0,28	-0,23	2,26	-0,33	0,05
PescaAcq	0,30	0,06	-0,25	-2,01	2,60	0,88	-2,30	0,06
Carnes	6,06	17,84	13,61	18,27	20,62	11,43	21,35	-4,88

Fonte: elaboração própria.

Tabela A 13. Área utilizada pela agropecuária e de vegetação nativa no CEN 1. Variação % em relação à linha de base, acumulada em 2035

Uso da Terra	Brasil	Rondonia	AmazACRR	ParaAP	Bahia	MaToPi	RNordeste	
ArrozTrigOut	0,13	0,24	-4,05	0,07	0,61	-0,47	0,28	
MilhoGrao	0,13	-0,38	-4,44	-0,04	-0,03	-0,68	-0,25	
AlgodHerb	-0,39	-1,10	-4,64	-0,48	-0,04	-1,19	-0,37	
CanaDeAcucar	0,39	0,52	-3,47	-0,01	0,52	-0,62	0,21	
SojaGrao	0,46	-0,17	-4,47	0,29	0,72	-0,34	0,25	
OutPrLavTemp	-0,17	-0,81	-3,74	-0,17	0,24	-0,47	0,02	
Laranja	-0,07	0,14	-3,64	-0,22	0,24	-0,90	-0,08	
CafeGrao	1,81	-0,28	-4,60	0,16	0,81	-0,50	0,18	
OutPrLavPerm	0,20	-0,02	-3,59	-0,05	0,53	-0,78	0,10	
BovOutrAnim	0,05	1,18	5,80	0,33	-2,56	1,93	0,85	
LeitVacOuAni	-11,19	-13,95	-14,43	-13,42	-10,33	-13,33	-9,55	
ExplFlorSilv	0,48	-0,05	-0,82	-0,42	1,04	-0,62	0,01	
VegNativa	0,17	0,06	-0,10	0,10	0,97	-0,21	0,00	
Uso da Terra	MinasG	SaoPaulo	RSudeste	Parana	RSul	MtGrSul	MtGrosso	GoiasDF
ArrozTrigOut	2,69	0,26	0,10	-0,19	0,03	2,19	-0,44	0,50
MilhoGrao	1,83	0,03	-0,19	-0,20	-0,15	1,77	-0,51	0,16
AlgodHerb	2,26	-0,74	-0,32	-0,63	-1,08	1,53	-0,77	-0,02
CanaDeAcucar	2,17	0,02	-0,22	-0,07	-0,01	1,82	-0,48	0,51
SojaGrao	2,58	0,36	0,13	0,35	0,28	2,28	-0,02	0,56
OutPrLavTemp	1,39	-0,33	-0,61	-0,62	-1,29	1,41	-0,66	-0,10
Laranja	2,22	-0,35	-0,37	-0,63	-0,50	1,62	-0,79	0,06
CafeGrao	2,97	0,44	0,27	0,16	0,33	2,38	-0,27	0,63
OutPrLavPerm	2,28	-0,04	-0,21	-0,28	-0,29	1,88	-0,64	0,26
BovOutrAnim	-4,27	0,76	0,60	0,87	1,92	-1,19	1,06	0,17
LeitVacOuAni	-6,47	-7,95	-8,82	-6,33	-15,78	-10,51	-12,46	-9,37
ExplFlorSilv	1,66	-0,28	-0,32	-0,28	-0,23	2,26	-0,33	0,05
VegNativa	1,85	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	0,09	0,56

Fonte: elaboração própria.

Tabela A 14. Área utilizada pela agropecuária e de vegetação nativa no CEN 1. Variação em mil hectares em relação à linha de base, acumulada em 2035

Uso da Terra	Brasil	Rondonia	AmazACRR	ParaAP	Bahia	MaToPi	RNordeste	
ArrozTrigOut	7,93	0,14	-0,24	0,06	1,08	-3,23	0,08	
MilhoGrao	27,34	-0,96	-0,94	-0,11	-0,38	-12,11	-3,52	
AlgodHerb	-5,49	0,00	-0,09	-0,01	-0,19	-0,75	-0,01	
CanaDeAcucar	45,33	0,02	-0,12	0,00	0,67	-0,84	2,12	
SojaGrao	188,18	-0,57	-0,38	1,20	16,45	-13,24	0,00	
OutPrLavTemp	-12,77	-0,49	-2,27	-0,68	2,93	-3,47	0,27	
Laranja	-0,52	0,00	-0,09	-0,03	0,24	-0,02	-0,06	
CafeGrao	75,30	-0,38	-0,05	0,00	3,04	0,00	0,02	
OutPrLavPerm	8,72	0,00	-0,67	-0,27	8,78	-1,40	1,09	
BovOutrAnim	67,28	73,28	267,02	45,08	-287,65	326,70	62,10	
LeitVacOuAni	-1439,08	-79,92	-66,40	-166,91	-99,51	-163,58	-62,10	
ExplFlorSilv	65,25	-0,01	-0,67	-1,43	5,16	-4,08	0,00	
VegNativa	972,60	8,89	-195,10	123,10	349,38	-123,98	0,01	
Uso da Terra	MinasG	SaoPaulo	RSudeste	Parana	RSul	MtGrSul	MtGrosso	GoiasDF
ArrozTrigOut	9,57	0,41	0,00	-2,53	0,72	1,71	-1,55	1,71
MilhoGrao	34,80	0,26	-0,05	-5,17	-2,27	39,65	-25,02	3,17
AlgodHerb	0,59	-0,04	0,00	0,00	-0,18	0,58	-5,38	-0,01
CanaDeAcucar	26,95	1,38	-0,40	-0,42	0,00	11,63	-1,59	5,92
SojaGrao	50,77	3,37	0,00	18,67	19,37	70,04	-2,45	24,94
OutPrLavTemp	9,06	-1,20	-0,36	-4,62	-10,17	1,13	-2,68	-0,22
Laranja	1,34	-1,57	-0,03	-0,16	-0,16	0,01	-0,01	0,01
CafeGrao	68,69	1,53	2,31	0,10	0,00	0,05	-0,10	0,08
OutPrLavPerm	2,63	-0,09	-0,28	-0,16	-0,77	0,08	-0,30	0,08
BovOutrAnim	-701,34	24,75	14,45	26,15	158,02	-182,74	220,03	21,42
LeitVacOuAni	-92,64	-24,75	-14,45	-26,15	-158,02	-138,44	-222,15	-124,07
ExplFlorSilv	47,89	-4,06	-1,19	-5,72	-6,54	37,18	-1,40	0,10
VegNativa	541,69	0,01	0,00	0,01	0,00	159,12	42,60	66,87

Fonte: elaboração própria.

Tabela A 15. Exportação regional da agropecuária e indústria de carnes no CEN 1. Variação % em relação à linha de base, acumulada em 2035

Exportação	Brasil	Rondonia	AmazACRR	ParaAP	Bahia	MaToPi	RNordeste	
ArrozTrigOut	0,17	-3,18	-6,96	-0,62	-0,14	-1,71	-0,54	
MilhoGrao	0,6	-1,46	-5,3	0,18	1,4	-0,64	0,79	
AlgodHerb	1,86	1,35	-4,32	1,96	2,17	1,24	1,98	
SojaGrao	0,66	-0,28	-4,63	0,46	0,84	-0,24	0,42	
OutPrLavTemp	0,39	-0,7	-8,12	-0,06	0,88	-1,21	0,05	
Laranja	0,02	-3,49	-9,26	0,02	0,71	-0,95	0,04	
CafeGrao	2	-0,06	-5,12	0,9	1,18	0,14	1,01	
OutPrLavPerm	-0,01	-3,68	-9,01	-0,03	0,63	-1,12	0,02	
BovOutrAnim	324,9	414,22	427,46	261,86	352,81	437,94	320,42	
Suinos	-11,25	-11,15	-9,33	-6,82	-4,03	-7,26	-4,12	
AvesOvos	-8,27	-10,92	-9	-6,46	-3,85	-6,86	-4,12	
ExplFlorSilv	3,87	3,56	-0,21	3,2	5,17	2,22	2,13	
PescaAcq	-6,91	-12,33	-8,83	-7,29	-3,55	-7,73	-4,84	
Carnes	32,28	52,8	29,4	23,31	15,72	26,42	16,94	
Exportação	MinasG	SaoPaulo	RSudeste	Parana	RSul	MtGrSul	MtGrosso	GoiasDF
ArrozTrigOut	1,63	-0,11	-0,51	0,44	0,14	1,65	-0,89	0,01
MilhoGrao	3,68	0,46	0,24	0,27	0,05	2,57	-0,25	0,86
AlgodHerb	3,83	2,91	1,23	2,68	3,64	4,03	1,62	2,1
SojaGrao	3,26	0,64	0,37	0,58	0,66	2,63	0,24	0,97
OutPrLavTemp	3,81	0,38	0,49	0,72	2,53	2,61	-0,02	0,83
Laranja	0,97	-0,05	-1,02	-1,01	-1,39	1,13	-1,25	-0,07
CafeGrao	2,92	0,71	0,45	0,94	0,98	2,93	0,45	1,23
OutPrLavPerm	1,77	-0,27	-0,47	-0,63	-0,82	1,39	-1,47	-0,09
BovOutrAnim	301,71	359,51	339,85	276,36	451,38	336,95	474,65	425,84
Suinos	-6,32	-7,27	-6,7	-11,44	-11,64	-5,69	-10,14	-5,99
AvesOvos	-5,78	-6,56	-6,02	-11,02	-11,14	-5,77	-9,72	-5,67
ExplFlorSilv	9,08	4,73	5,4	4,67	4,31	8,83	4,27	5,24
PescaAcq	-6,04	-6,9	-6,07	-9,84	-14,64	-6,88	-9,25	-6,35
Carnes	33,19	37,97	39,74	31,47	31,52	37,48	50,77	10,92

Fonte: elaboração própria.

Tabela A 16. Preços ao consumidor regional. Variação % em relação à linha de base, acumulada em 2035

Preços	POF1	POF2	POF3	POF4	POF5	POF6	POF7	POF8	POF9	POF10
Rondonia	-0,04	-0,21	-0,28	-0,10	-0,22	0,15	0,08	0,08	0,15	0,27
AmazACRR	-0,48	-0,51	-0,31	-0,28	-0,25	-0,13	-0,26	-0,02	-0,04	-0,17
ParaAP	-0,99	-0,64	-0,56	-0,52	-0,42	-0,32	-0,41	-0,33	-0,33	-0,04
Bahia	-0,85	-0,77	-0,77	-0,76	-0,65	-0,60	-0,60	-0,47	-0,57	-0,32
MaToPi	-0,65	-0,50	-0,41	-0,30	-0,35	-0,23	-0,32	-0,12	-0,11	0,05
RNordeste	-0,82	-0,74	-0,72	-0,66	-0,51	-0,52	-0,52	-0,40	-0,45	-0,36
MinasG	-0,47	-0,63	-0,49	-0,45	-1,06	-0,37	-0,34	-0,40	-0,25	-0,15
SaoPaulo	-0,17	-0,36	-0,44	-0,54	-0,31	-0,21	-0,14	-0,23	-0,08	-0,06
RSudeste	-0,34	-0,50	-0,63	-0,47	-0,40	-0,36	-0,30	-0,45	-0,23	-0,11
Parana	0,11	0,23	0,32	0,24	0,34	0,51	0,50	0,43	0,56	0,59
RSul	0,09	0,28	0,30	0,30	0,32	0,46	0,29	0,35	0,61	0,72
MtGrSul	-0,96	-0,37	-0,59	-0,50	-0,38	-0,35	-0,38	-0,90	-0,13	-0,12
MtGrosso	-0,14	-0,40	-0,06	0,02	0,03	0,21	0,17	0,10	0,11	0,24
GoiasDF	-0,37	-0,38	-0,28	-0,22	-0,15	-0,15	-0,35	-0,08	-0,14	-0,06
Brasil	-0,55	-0,47	-0,40	-0,34	-0,31	-0,12	-0,12	-0,16	0,00	0,05

Fonte: elaboração própria.

Tabela A 17. Emissões absolutas e intensidade de emissões de GEE, conforme os métodos sobre acúmulo de SOC – CEN 1. Variação % em relação à linha de base, acumulada em 2035

Regiões	Variação (%) de emissões				Variação (%) da intensidade de emissões (CO ₂ eq/produção)			
	Original		Alternativo		Original		Alternativo	
	Corte	Leite	Corte	Leite	Corte	Leite	Corte	Leite
Rondonia	35,06	14,49	0,01	-0,74	-0,27	-0,59	-26,16	-13,82
AmazACRR	48,85	19,97	0,55	-0,56	-0,18	-0,54	-32,57	-17,56
ParaAP	23,39	6,20	-0,06	-0,83	-0,22	-0,50	-19,18	-7,08
Bahia	18,80	9,09	-0,70	-1,44	-0,26	-0,48	-16,63	-10,09
MaToPi	43,02	21,27	-1,94	-4,56	-0,31	-0,59	-31,65	-21,77
RNordeste	13,29	1,44	-0,55	-0,88	-0,21	-0,37	-12,40	-2,66
MinasG	6,02	3,41	-0,89	-0,63	-0,23	-0,39	-6,73	-4,28
SaoPaulo	22,75	11,91	-0,29	-0,53	-0,27	-0,47	-18,99	-11,54
RSudeste	17,03	5,82	-1,01	-0,83	-0,24	-0,47	-15,62	-6,73
Parana	1,38	-5,99	-0,24	-0,60	-0,20	-0,34	-1,79	5,38
RSul	49,03	22,87	-2,61	-2,17	-0,34	-0,57	-34,87	-20,83
MtGrSul	14,96	3,84	-0,47	-2,87	-0,25	-0,51	-13,64	-6,94
MtGrosso	40,47	21,29	-0,60	-3,79	-0,32	-0,64	-29,47	-21,18
GoiasDF	33,14	20,17	-0,40	-0,78	-0,31	-0,55	-25,42	-17,89
Brasil	27,77	9,53	-0,77	-1,18	-0,09	-0,07	-22,41	-9,84

Fonte: elaboração própria. Somente contabilizadas emissões da queima de combustíveis e do nível de atividade. Original: método sem inclusão do acúmulo de carbono no solo; Alternativo: método considerando o acúmulo de carbono no solo.

Tabela A 18. Resultados de mitigação de emissões de GEE e macroeconômicos do CEN3 em relação às metas de mitigação da NDC. Variação % em relação à linha de base, acumulada em 2025 e 2030

CEN 3	2025			2030		
	GEE	C.FAM	PIB	GEE	C.FAM	PIB
Meta NDC	37,00			50,00		
Linha de Base	38,94			32,91		
Método Original	37,84	0,29	0,23	29,79	0,53	0,41
Método Alternativa	42,86	0,29	0,23	38,89	0,53	0,41

Fonte: elaboração própria. GEE: emissões de GEE; C.FAM: Consumo real das famílias; PIB: PIB real.

Tabela A 19. Nível de emissões de GEE e variação em relação à 2005 (referência da NDC). Cenários 1, 2 e 3, para os anos de 2025, 2030 e 2035

Emissões	Tg CO ₂ eq			Δ% em relação à 2005			
	2025	2030	2035	2025	2030	2035	
Meta NDC	1.614	1.281	-	-37%	-50%	-	
Linha de Base	1.564	1.719	1.855	-38,9%	-32,9%	-27,6%	
CEN 1	Método Original	1.593	1.799	1.993	-37,8%	-29,8%	-22,2%
	Método Alternativo	1.464	1.566	1.672	-42,9%	-38,9%	-34,7%
CEN 2	Método Original	1.591	1.793	1.982	-37,9%	-30,0%	-22,7%
	Método Alternativo	1.465	1.567	1.673	-42,8%	-38,9%	-34,7%
CEN 3	Método Original	1.588	1.786	1.971	-38,0%	-30,3%	-23,1%
	Método Alternativo	1.466	1.568	1.674	-42,8%	-38,8%	-34,7%

Fonte: elaboração própria.