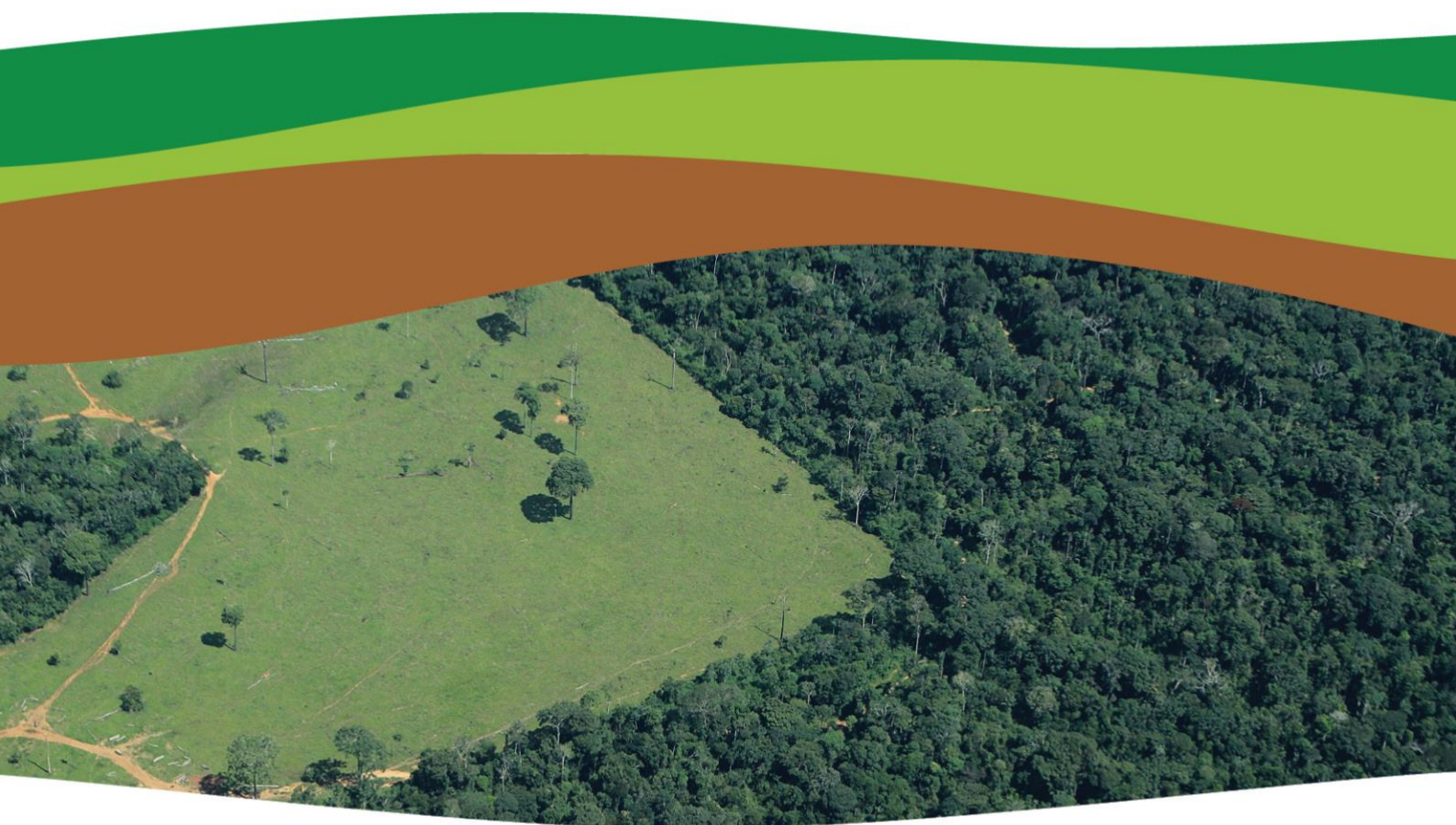


17



PlanaFlor

Análise de impacto da implementação do Código Florestal sobre o PIB e o uso da Terra



Projeto PlanaFlor



Financiamento



Norway's
International Climate
and Forest Initiative



PlanaFlor

Análise de impacto da implementação do Código Florestal sobre o PIB e o uso da Terra

AUTORES

Angelo Costa Gurgel, Baiena Feijolo Souto, Eduardo Santiago Rosseti,
Gerônimo Roveda e Guilherme Vinhas

COMO CITAR

GURGEL, A. C., SOUTO, B. F., ROSSETI, E. S., ROVEDA, G., VINHAS, G., 2022. Análise de impacto da implementação do Código Florestal sobre o PIB e o uso da terra. Projeto Planaflor – Rio de Janeiro, RJ, número 17, 34 páginas. Disponível em: www.planaflor.org

REALIZAÇÃO

Este relatório foi elaborado no âmbito do projeto PlanaFlor: Green New Deal for Nature-Based Economic Recovery, executado em parceria entre a BVRio, a Conservation Strategy Fund Brasil a Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS) e a Fundação Getulio Vargas (FGV), com apoio financeiro da Iniciativa Internacional da Noruega para o Clima e Florestas (NICFI). Os conteúdos aqui apresentados poderão ser reproduzidos, desde que a fonte e os autores sejam citados.

Projeto PlanaFlor



Financiamento



Sumário

Introdução	4
Código Florestal, Desmatamento e Produtividade da Agropecuária	4
Método	9
<i>Uso da Terra</i>	12
<i>Produção Agropecuária</i>	13
<i>Equilíbrio Macroeconômico do Modelo</i>	15
<i>Processo Dinâmico</i>	16
Cenários Simulados	18
Resultados	20
<i>Projeções do cenário base</i>	20
<i>Resultados dos cenários</i>	21
<i>Sensibilidade dos resultados: o papel dos serviços ecossistêmicos</i>	26
Considerações Finais	29
Referências bibliográficas	32

Introdução

Este relatório tem o objetivo de investigar as consequências econômicas e ambientais da implementação do Código Florestal e de políticas de combate ao desmatamento. Como parte desses objetivos, o estudo traz projeções econômicas de impacto das atividades de uso da terra sobre o PIB brasileiro e da agropecuária para o período até 2030. As projeções aqui realizadas consideram cenários alternativos quanto à aplicação do Código Florestal e do controle do desmatamento no país.

As projeções foram realizadas a partir do aprimoramento e implementação do modelo *Economic Projections and Policy Analysis* – EPPA (Chen et al., 2015; Gurgel et al., 2021). O modelo EPPA permite simular a evolução das economias de diferentes países, levando em conta o uso dos recursos naturais, como a terra, bem como as relações comerciais e produtivas entre diferentes setores da economia e nações.

Código Florestal, Desmatamento e Produtividade da Agropecuária

O Novo Código Florestal (NCF), estabelecido em 2012 pela lei 12.651 - Lei de Proteção à Vegetação Nativa (LPVN) – regulamenta a exploração, conservação e recuperação da vegetação nativa no território brasileiro. Brancalion et al. (2016) destacam a criação do CAR, dos Programas de Regularização Ambiental (PRA), do Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas e Alteradas e dos Certificados de Reserva Ambiental (CRA) como os principais avanços da LPVN. Como tal, o Novo Código Florestal (a partir daqui denominado apenas como “Código Florestal”) se tornou o marco regulatório da política florestal brasileira e estabeleceu as diretrizes para a ocupação e uso do solo nos imóveis rurais. O Código Florestal também definiu regras transparentes para a regularização ambiental dos produtores rurais. Essas regras definem o processo de regularização das áreas desmatadas de APP e RL por meio da utilização do CAR, de Programas de Regularização Ambiental (PRAs) e dos Termos de Compromisso (TC). Para que o Código Florestal atinja seus objetivos de forma satisfatória, será preciso alcançar a restauração e/ou reflorestamento da vegetação deficitária de APP e RL. A implementação do Código Florestal deve ter importante papel no cumprimento das metas climáticas assumidas pelo Brasil no Acordo de Paris (Climate Policy Initiative & Agroicone, 2018).

Soares-Filho et al. (2014) avalia que, embora o NCF tenha flexibilizado as exigências em relação ao total de área protegida, foram introduzidos novos mecanismos de atuação que podem reduzir o desmatamento, como o CRA, que permite que produtores cuja área de RL ultrapasse aquela

exigida possam negociar títulos dessas áreas com aqueles estejam em áreas de mesma identidade ecológica e que não tem RL suficientes. Os autores avaliam que o impacto das políticas de proteção e reflorestamento sobre a produção agrícola é baixo. No que diz respeito à disponibilidade de terra, por exemplo, estimam que a área total determinada como APP e ocupada por lavouras equivale a menos de 1% da área total de lavouras do país. Além disso, a quantidade de terras com aptidão agrícola necessária para cobrir o déficit total de RL seria de menos de 555 mil hectares caso seja feita a compensação por meio de CRAs e a utilização de pastagens não aptas para a agricultura. A intensificação da pecuária, a criação do programa de Agricultura de Baixo Carbono e a implementação do Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR) também são citados como medidas determinantes para o sucesso da política ambiental brasileira (Soares Filho, et al., 2014; Climate Policy Initiative & Agroicone, 2018).

Já Sparovek, Guidotti e Pinto (2017), utilizando um modelo que integra malha fundiária e modelagem de políticas públicas, concluíram que 18% da área de vegetação nativa que pode ser legalmente desmatada encontra-se em terras de elevada aptidão agrícola. Avaliando por bioma, a Amazônia tem um percentual de 27% da área total de vegetação nativa em terras aptas para a agricultura e esses estoques tendem a acabar, em média, em 2032 caso as taxas anuais de desmatamento mantenham seu ritmo atual. Já no Cerrado o percentual mencionado é de 13% e o fim do estoque seria em 2034. Os autores também avaliam que, entre 2005 e 2016, 73% e 98% das áreas desmatadas na Amazônia e no Cerrado, respectivamente, eram de propriedade privada. Segundo os autores a diferença no percentual de participação desses agentes entre os dois biomas decorre da estrutura fundiária dos biomas: na Amazônia cerca de 46% do território encontra-se em áreas protegidas contra 7% do território do Cerrado (Sparovek, Guidotti, Pinto, 2017).

De acordo com análises mais recentes da Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS), o Brasil perdeu 21,06 milhões de hectares (ha) de vegetação nativa entre 2008 e 2019. No mesmo período, também ocorreu expansão da vegetação nativa em 3.21 milhões de ha (Mha). O déficit atual de vegetação nativa no Brasil pelos critérios do Código Florestal atinge aproximadamente 18,8 Mha, sendo 8,1 Mha em Áreas de Preservação Permanente - APPs e 10,7 Mha de RL que devem ser restaurados ou compensados. Já em relação à vegetação nativa em áreas privadas que excede as exigências de APP e RL do Código Florestal, o Brasil conta com cerca de 110,4 Mha que poderiam ser utilizados para compensação de RL a partir de instrumentos como o CRA. No que diz respeito aos estados da federação, os excedentes de vegetação nativa em áreas de RL é maior do que o déficit em todos os estados, com exceção do estado do Paraná.

A conservação ambiental oferece um benefício para toda a sociedade e é considerada um exemplo de bem público. Entretanto, esse fato nem sempre é levado em consideração quando os agentes privados fazem sua avaliação de custo benefício da preservação e escolhem o quanto de sua vegetação será preservada. Dessa forma, a preservação de florestas fica aquém da socialmente desejada e políticas públicas podem contribuir para corrigir essa falha de mercado.

Seguindo essa linha, Assunção et al. (2016) fazem sugestões de políticas que ampliem a integração entre o Crédito Rural e o Código Florestal no ano de 2017, num contexto em que o interesse em aumentar a produção agropecuária para suprir a demanda por alimentos e a preservação ambiental são assuntos igualmente importantes. Os autores sugerem que produtores que estejam adequados ao Código Florestal ou em processo formal de adequação tenham seus limites de crédito ampliados, dessa forma os produtores não apenas têm incentivo para efetuar o cadastro no CAR (primeira medida de adequação ao código) como também a ir além no processo de adequação. Ao mesmo tempo, o aumento no volume de linhas possibilita que os produtores tenham mais recursos disponíveis para implementar as adaptações necessárias. Por fim, os autores avaliam que outros países têm adotado políticas semelhantes, no sentido de exigir a prestação de serviços ambientais em troca de recursos públicos (Assunção et al., 2016).

Os benefícios e serviços ecossistêmicos proporcionados pela preservação ou recuperação de áreas de vegetação nativa vêm sendo investigados e mensurados na literatura científica e alguns já se encontram bem documentados. Metzger et al. (2019) destacam que, entre os impactos negativos da remoção da vegetação nativa, encontram-se: extinção de espécies endêmicas, redução da biodiversidade e de serviços de polinização e controle natural de pragas, emissões de gases de efeito estufa, comprometimento da capacidade de recarga de recursos hídricos, erosão e perda de solo, assoreamento de cursos d'água, alteração dos padrões climáticos de temperatura e precipitação, dentre outros.

Vários desses efeitos podem comprometer a produtividade da agricultura. Aspectos como regulação climática, serviços de polinização e de controle natural de pragas são alguns dos vetores pelos quais a presença de vegetação nativa afeta a produtividade de culturas agrícolas e pastagens plantadas. Em escala local, Prevedello et al. (2019) demonstram como a vegetação natural impacta o clima através da evapotranspiração e do albedo.

No que diz respeito aos serviços de polinização, de acordo com (Giannini et al., 2015), cerca de 60% das plantas cultivadas no Brasil e 30% da renda agrícola do país dependem da ação de polinizadores. Garibaldi et al. (2016) calcula que uma maior densidade de polinizadores pode implicar em uma melhoria média de 24% no diferencial de produtividade de pequenos agricultores. A Figura 1, retirada do estudo de Garibaldi et al., ilustra a análise realizada por esses autores. Os serviços de polinização estão intrinsecamente associados à proximidade física (300 m) com a vegetação natural, e a sua ausência ou redução podem comprometer a produtividade de culturas (Saturni et al., 2016). Os autores estimam que, no caso do café, a produtividade pode aumentar de 12% a 28% quando em boas condições de polinização. Já Campbell et al. (2018) estima que os serviços de polinização garantem uma contribuição de aproximadamente US\$149 milhões ao ano no caso da produção de açaí. Novais et al. (2016), por sua vez, projetam perdas entre 5 a 15 bilhões de dólares ao ano para 29 culturas alimentícias em um cenário de perda dos serviços de polinização, o que impactaria o Produto Interno Bruto do país em 6,5% a 19,4%, sendo os Produtores familiares os mais impactados.

Figura 1. Representação da mensuração do “yield gap” associado à densidade de polinizadores, do estudo de Garibaldi et al. (2016).

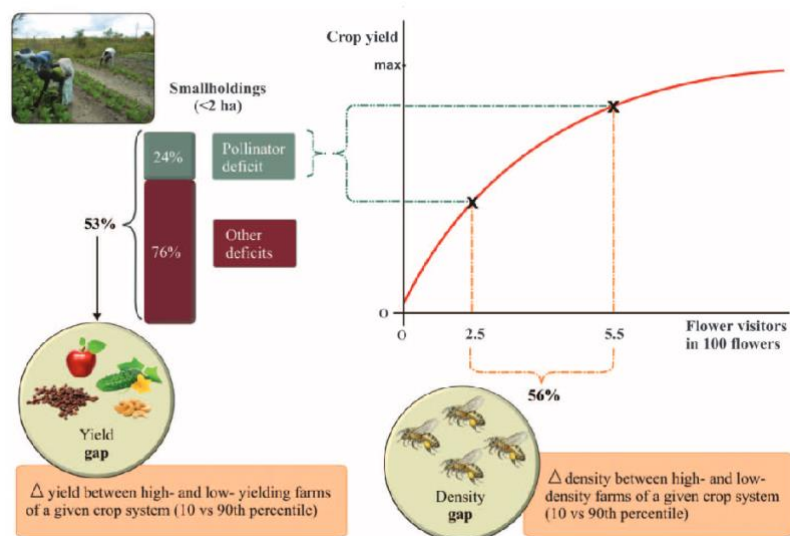


Fig. 1. Pollinator deficit is defined here as the amount of yield gap that can be accounted by closing flower-visitor density gap. Worldwide, for <2-ha fields, our study shows that yield gaps could be closed by a median of 24% (mean = 31%) through higher flower-visitor density (table S2). For larger fields, such a level of yield benefits only occurred if they sustained high flower-visitor richness (Fig. 2). Although the relation between crop yield and flower-visitor density is expected to be positive but asymptotic (11), our study supports a linear relation, demonstrating that the highest levels of flower-visitor density observed around the world are still at nonsaturating values.

Fonte: Garibaldi et al. (2016).

Metzger et al. (2019) discute brevemente diversos estudos que associam a produtividade das culturas agrícolas ao controle natural de pragas associado à presença de vegetação natural. De acordo com Oliveira et al. (2014), a perda causada por pragas no Brasil é de cerca de US\$ 17,7 bilhões por ano. A presença de inimigos naturais de pragas proporciona aumento de produção e rendimento de culturas como café, milho e cacau, enquanto a existência de vegetação natural nas proximidades da produção agrícola está diretamente relacionada à maior ocorrência dos inimigos naturais. No caso do Brasil, tal relação foi investigada para as culturas de soja e milho (Cividanes et al., 2018), café (Aristizábal e Metzger, 2019) e cacau (Novais et al., 2017).

A quantificação de impactos da remoção de vegetação nativa sobre a produtividade da agropecuária é ainda um tanto escassa, uma vez que diversos vetores de impacto, como os de regulação climática, impactos em polinizadores e em inimigos naturais, são complexos e de difícil mensuração. Alguns estudos, contudo, buscaram quantificar tais impactos e podem ser tomados como ponto de partida.

Oliveira et al. (2013) estimam os impactos de cenários futuros de desmatamento na Amazônia Legal sobre a produtividade de pastagens e de soja na região. Os autores encontraram perdas que podem variar entre 1,8% a 33,3% de produtividade para estas atividades, dependendo do cenário de desmatamento e dos efeitos de clima e fisiológicos considerados.

Spera et al. (2020) investiga os impactos de conversão da vegetação nativa do cerrado sobre a produtividade de milho e soja por conta dos efeitos sobre o clima da região. A produtividade do milho é impactada negativamente, em média, entre 6% e 8% por conta de mudanças nos padrões

de precipitação e de temperatura. Porém, sob cenários mais extremos de desmatamento, algumas microrregiões do estado do Mato Grosso podem sofrer quedas em produtividade superiores a 20%.

Leite-Filho et al. (2021) estima os impactos do desmatamento na parte sudeste da Amazônia, considerando diferentes escalas espaciais na análise. Considerando apenas a produção pecuária e a produção de soja, os autores concluem que o desmatamento na região impõe uma perda de cerca de US\$ 1 bilhão por ano na renda dessas atividades por conta dos impactos climáticos locais na produtividade.

Rattis et al. (2021) investiga os impactos da expansão e intensificação da agricultura na região de fronteira agrícola do cerrado e da amazônia sobre a produção de milho e soja sem irrigação. Os autores estimam que cerca de 28% das áreas agrícolas da região já não se encontram mais no espaço climático ótimo de uso agrícola por conta de mudanças nos padrões regionais de clima. Sob tendências atuais de expansão, em 2030 cerca 51% da área agrícola poderá estar fora do espaço climático ideal. A produtividade da soja pode ser reduzida entre 12 kg/ha e 34 kg/ha, e entre 87 kg/ha e 80 kg/ha no caso do milho, devido a mudanças no padrão de clima com maior incidência de calor e menor incidência de chuvas em fases importantes para o crescimento das culturas.

Os estudos mencionados evidenciam a relação entre a preservação (ou recuperação) da vegetação nativa e a produtividade de culturas e pastagens. Ainda que a mensuração dos impactos econômicos da preservação sobre a produtividade seja um tema recente e relativamente escasso na literatura científica, não há dúvidas sobre a sua relevância. A aplicação do Código Florestal, portanto, deve contribuir para que os serviços ecossistêmicos essenciais à manutenção da produtividade agropecuária sejam restaurados, mantidos e até aprimorados. Em particular, a recuperação dos déficits de Áreas de Preservação Permanente (APP) e o fim do desmatamento devem impactar positivamente na produtividade dos empreendimentos rurais. Desta forma, o presente estudo irá considerar efeitos positivos da recuperação da vegetação natural sobre a produtividade agropecuária em cenários de recuperação das áreas de preservação permanente diante do cumprimento do Código Florestal.

Método

O presente estudo utiliza a 6ª versão do *Economic Projection and Policy Analysis (EPPA) model* desenvolvido pelo *MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change* e descrito em Chen *et al.* (2015) e (Gurgel *et al.*, 2021). Trata-se de um modelo de equilíbrio geral computável dinâmico-recursivo, multi-regional e multi-setorial da economia global. A estrutura do modelo é baseada na teoria econômica de equilíbrio geral e nas informações sobre detalhes físicos dos recursos naturais e as consequências ambientais da utilização desses recursos. O modelo é utilizado para analisar os vínculos da economia com o sistema terrestre, os impactos das mudanças nesse sistema para o crescimento econômico global e regional e as implicações de políticas diversas destinadas a alterar a relação dos agentes econômicos com o uso dos recursos naturais. Esse tipo de modelagem permite realizar projeções de longo prazo de avaliação de cenários alternativos de políticas. Aplicações do modelo EPPA para estudo de políticas associadas ao contexto brasileiro incluem: Cabral (2013), Gurgel e Paltsev (2014), Gurgel, *et al.* (2016), Calvin *et al.* (2016), Lucena *et al.*, (2016), Octaviano *et al.*, (2016), Gurgel *et al.* (2019) e Francisco e Gurgel (2020).

A versão do modelo EPPA aqui utilizada está calibrada para reproduzir o comportamento da economia mundial de 2007 a 2020 e para simulações de cenários alternativos após 2020 e é resolvida de forma endógena em intervalos de cinco anos. O modelo representa 18 países e regiões do mundo, 28 setores e diversos fatores primários de produção, incluindo o fator terra dividido por tipo de uso do solo (Tabela 1).

Tabela 1. Regiões, setores econômicos e fatores primários de produção no modelo EPPA

Regions		Sectors		Primary Factor Inputs	
United States (USA)	Africa (AFR)	Rice	Coal	Depletable Natural Capital	Conventional Oil Resources
Canada (CAN)	Middle East (MES)	Maize	Crude Oil		Shale Oil
Mexico (MEX)	Latin America (LAM)	Soybean	Refined Oil		Conventional Gas Resources
JAPAN (JPN)		Wheat	Gas		Unconventional Gas Resources
Australia and New Zealand (ANZ)		Sugar Crops	Electricity	Renewable Natural Capital	Coal Resources
Europe (EUR)		Vegetables & Fruits	Non-Metallic Minerals		Natural Forest
Eastern Europe (ROE)		Fiber plants	Iron & Steel		Natural Grasslands
Russia (RUS)		Other crops	Non-Ferrous Metals		Solar and Wind Resources
East Asia (ASI)		Bovine Cattle	Other Energy-intensive Industries	Produced Capital	Hydro Resources
South Korea (KOR)		Poultry and Pork	Other Industries		Conventional Capital (Bldgs & Mach.)
Indonesia (IDZ)		Other Livestock	Construction		Cropland
China (CHN)		Forestry	Other Services		Pasture and Grazing Land
India (IND)		Wood Products	Transport		Managed Forest Land*
Brazil (BRA)		Food Products	Ownership of dwellings		Labor

Fonte: Gurgel *et al.* (2021).

Representa-se no modelo o comportamento dos agentes como previsto pela teoria microeconômica de otimização de lucro e de utilidade. Cada setor econômico busca minimizar os custos se utilizar trabalho, capital, terra, energia e insumos intermediários para geração de bens e serviços. Já os consumidores buscam maximizar seu nível de utilidade pela escolha de

diferentes quantidades de bens e serviços, dadas suas restrições orçamentárias. As escolhas dos agentes econômicos são governadas por parâmetros de elasticidade de substituição especificadas em funções de produção e de utilidade.

A construção do modelo EPPA parte de matrizes de insumo produto e matrizes de contabilidade social (*Social Accounting Matrix – SAM*, em inglês) que representam as estruturas das economias das regiões. Os dados são provenientes do *Global Trade Analysis Project – GTAP*, um banco de dados sobre consumo macroeconômico regional, produção, fluxos de comércio bilateral e representação de mercados de energia em unidades físicas (Hertel, 1997; Narayanam, Aguiar, & McDougall, 2012).

O crescimento econômico até 2020 é calibrado com dados reais de evolução do PIB, enquanto as projeções do FMI são utilizadas para o período pós-2020 em um cenário base. Quando da simulação de cenários alternativos à base, o PIB se torna uma variável endógena no modelo, enquanto a produtividade dos fatores primários de produção é igualada ao do cenário base.

O modelo EPPA representa as emissões de gases de efeito estufa estufa (dióxido de carbono, CO₂; metano, CH₄; óxido nitroso, N₂O; hidrofluorcarbonos; HFCs; perfluorcarbonos, PFCs; e hexafluoreto de enxofre; SF₆) e informações de outros poluentes urbanos (dióxido sulfúrico – SO₂; óxidos de nitrogênio – NO_x, carbono negro – BC, carbono orgânico – OC; amônia – NH₃; monóxido de carbono – CO, e compostos orgânicos voláteis não-metano – VOC), com base no Banco de Dados de Emissões para Pesquisa Atmosférica Global (*Emissions Database for Global Atmospheric Research – EDGAR*, em inglês).

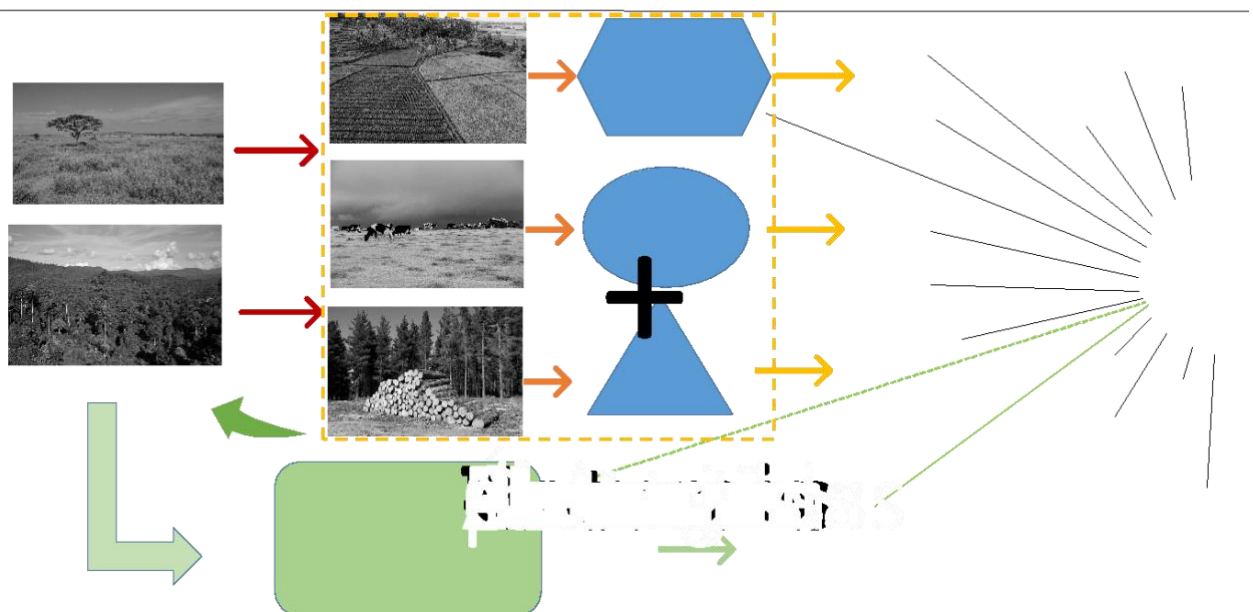
O uso da terra é representado por cinco diferentes categorias: lavouras, pastagens, floresta, floresta natural e pastagens naturais. Os dados referentes a lavouras e pastagens são provenientes da base de dados de uso e cobertura da terra do GTAP8; as demais categorias tem como base de dados o *Terrestrial and Ecosystem Model (TEM)* (Feilzer et al. 2004) e Hurtt, Frohking, and Fearon (2006). Para representar as categorias de terras naturais e sua conversão para outros usos é preciso determinar um valor de não uso, para o qual são utilizados dados do Global Timber Market and Forestry Data Project no Ohio State, conforme (Sohngen, 2007). Para o presente estudo, a representação de diferentes categorias de uso da terra no Brasil foi desagregada por biomas, com base nos dados do MAPBIOMAS – Coleção 6 (Souza et al., 2020).

O modelo EPPA é formulado como uma série de problemas de complementaridade mista (MCP) que são resolvidos e agregados considerando-se o fluxo circular da renda por região avaliada. Nessa abordagem, três condições devem ser satisfeitas: lucro econômico zero para a produção (1), equilíbrio entre oferta e demanda nos mercados de bens e fatores de produção (2) e balanço entre renda e despesa (3). A essas desigualdades, por sua vez, estão associadas três variáveis não negativas: preços, quantidades e níveis de renda.

No fluxo circular de renda de cada região as famílias, as empresas dos setores representados, e o governo interagem entre si da seguinte maneira (Figura 2):

- **Famílias:** detêm os fatores primários (capital, trabalho e recursos naturais) que são ofertados aos Produtores em troca de rendimentos (salários, rendimento de capital, rendas de recursos, impostos pagos e transferências recebidas do governo) que são alocados entre consumo e poupança;
- **Produtores:** transformam os fatores primários e os insumos intermediários em bens e serviços que são vendidos a outros produtores (domésticos ou estrangeiros), às famílias ou ao governo em troca de pagamento.
- **Governo:** tem papel passivo, cobrando impostos das famílias e produtores para financiar o consumo e as transferências do governo.

Figura 2. Esquema representativo de fluxos de transações econômicas no modelo EPPA



A condição de lucro zero requer que o valor dos insumos seja igual ou maior do que o valor da produção e a variável associada é o nível de atividade para os setores que possuem retorno constante de escala. A condição de lucro zero é uma consequência da análise de custo benefício da atividade econômica dos agentes. A condição de equilíbrio nos mercados determina a existência de um preço que equalize os níveis de oferta e demanda. Essa condição deve ser obedecida para cada bem e fator primário de produção. A condição de renda igual à despesa especifica o nível de renda que viabilize os gastos das famílias e do governo.

O EPPA considera tanto as funções de produção quanto as de consumo como funções de elasticidade de substituição constante (*Constant Elasticity of Substitution – CES*) e com retornos constantes de escala (*Constant Return to Scale – CRTS*).

As árvores tecnológicas que representam o comportamento de substituição entre insumos e bens, bem como as elasticidades de substituição dos setores produtivos, podem ser encontradas em Chen et al. (2015).

Uso da Terra

O uso da terra no modelo EPPA está dividido em cinco categorias: pastagens, lavouras, florestas, florestas naturais e pastagens naturais. Cada categoria da terra é considerada um recurso renovável e o modelo permite a conversão direta de um tipo de uso do solo para outro, mantendo a consistência entre a contabilidade da terra física e a contabilidade econômica. O custo marginal de conversão entre um tipo e outro de uso da terra, no equilíbrio, deve ser igual à diferença entre o valor econômico dos dois tipos de terra, o que reflete a representação de lucro econômico zero nas atividades econômicas do modelo.

A renda da terra é obtida por meio da base de dados do GTAP. O valor de uso da terra é representado pelas transações monetárias inferidas de forma empírica em cada região estudada; exceto no caso das categorias de terras naturais, em que é determinado um valor de reserva (ou “não uso”) por meio de dados do *Global Timber Market e Forestry Data Project* (Sohgen, 2007). Esta base de dados assume que o custo marginal de acesso às novas áreas de extração madeireira devem ser iguais ao valor do estoque atual de madeira mais o valor dos futuros cortes de árvores que cresceram novamente nas áreas já destinadas a essa finalidade. Com essa suposição, o valor presente líquido da terra e da floresta é calculado usando um modelo ótimo de extração de madeira para cada região do mundo e para diferentes tipos de madeira. A definição do custo de acesso estabelece a condição de equilíbrio em que o fluxo de renda atual de terrenos não desmatados para fins madeireiros é zero porque a madeira disponível agora e no futuro nessas regiões só pode ser obtida ao se arcar com custos para acessá-las que sejam iguais ao valor presente das mesmas.

Em relação às pastagens, assume-se que a renda ou valor de reserva das áreas de pastagens naturais em relação à das pastagens cultivadas seja a mesma que a da floresta natural em relação à floresta manejada. Após se estabelecer o preço das áreas de floresta natural e de pastagem natural, essa informação é incorporada no modelo como parte das dotações iniciais das famílias em cada região. As áreas podem ser convertidas para outros usos ou conservadas em seu estado natural. O valor de reserva de terras naturais entra em cada função de bem-estar

do agente representativo regional com uma elasticidade de substituição com outros bens e serviços de consumo. Portanto, o valor de reserva da própria terra sob vegetação natural é um desincentivo à conversão e a introdução do valor da floresta natural na função de bem-estar dos agentes representativos possibilita a avaliação desse comportamento.

No que tange ao aspecto de conversão de terras naturais em categorias de uso agropecuário, o EPPA utiliza dois critérios específicos além daqueles já utilizados nos demais casos: (a) a conversão de florestas naturais permite a produção de produtos de madeira que substituem a colheita florestal em terras florestais manejadas; (b) é considerado um fator fixo com possibilidades limitadas de substituição nos custos de conversão de áreas naturais, o que permite representar o comportamento de uma função de oferta de terras, com base nas taxas de conversão observadas nas duas últimas décadas. Este último recurso captura uma variedade de fatores que reduzem a conversão de terras, incluindo o aumento dos custos associados a um maior desmatamento em um único período e restrições institucionais.

Nos demais casos considera-se os dados de renda das categorias de uso do solo ligadas à produção agropecuária e as áreas ocupadas por cada uma das categorias e obtém-se as rendas da terra por hectare e por região no ano base. Maiores detalhes sobre a representação de mudanças no uso da terra no modelo EPPA podem ser encontradas em Gurgel et al. (2016, 2021).

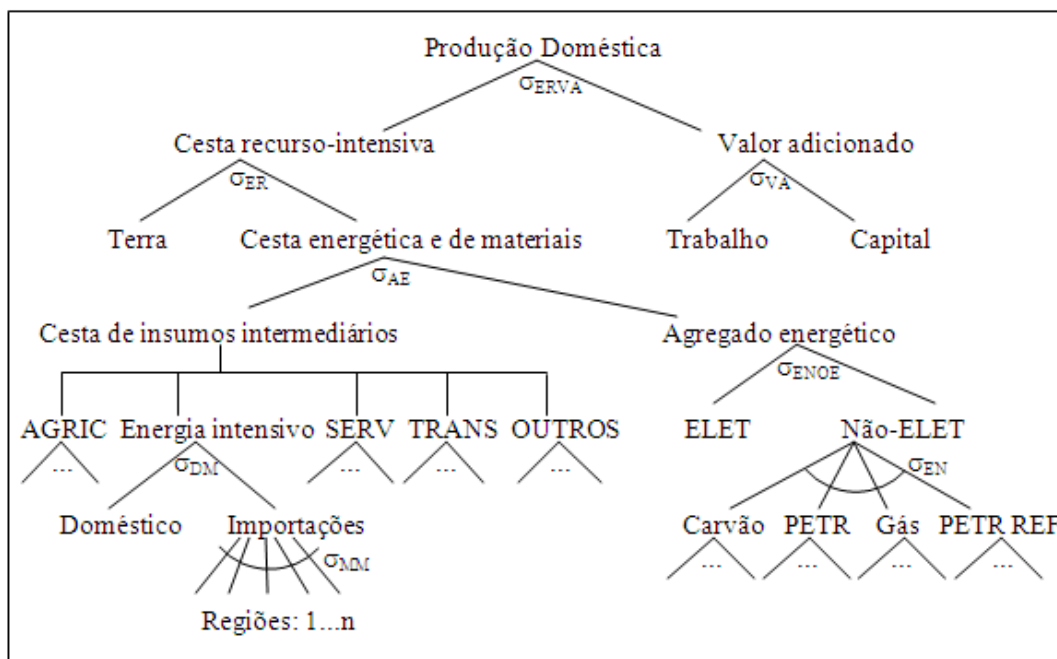
Produção Agropecuária

O funcionamento dos setores agropecuários no modelo EPPA está intimamente relacionado à representação das mudanças no uso da terra. Cada setor agropecuário utiliza a sua categoria específica de terra, ou seja, os setores de produção vegetal utilizam as terras de culturas, os setores da pecuária usam terras de pastagens, enquanto o setor de produção florestal utiliza terras de florestas plantadas e manejadas. Os setores agrícolas competem entre si pelo uso das terras de culturas, sendo utilizada uma função de elasticidade de transformação constante para representar a alocação da terra total de culturas em parcelas específicas para cada setor agrícola, como forma de capturar a heterogeneidade entre essas áreas e a possibilidade de substituição imperfeita entre elas, similar ao adotado em outros modelos de equilíbrio geral computável, como o GTAP (Hertel et al., 1997).

Cada setor agropecuário combina insumos intermediários e fatores primários de produção como representado na Figura 3. Cada segmento da figura representa o conjunto de insumos e fatores que podem ser substituídos entre si, sendo o comportamento de substituição capturado pelas elasticidades representadas por σ . Essas elasticidades definem a capacidade do agente econômico (empresas ou agropecuaristas) de substituir o uso de um insumo ou fator por outro a

partir da mudança nos preços relativos desses fatores ou insumos. Se, por exemplo, a elasticidade entre dois insumos for igual a 2, isso significa que um aumento de 1% no preço do insumo A em relação ao insumo B levaria a uma redução de 2% na quantidade utilizada do insumo A em relação à quantidade utilizada do insumo B. A Tabela 2 apresenta os valores das elasticidades de substituição nos setores agropecuários do modelo EPPA.

Figura 3. Estrutura de produção dos setores agropecuários. Linhas verticais representam elasticidade de substituição igual a zero (insumos usados em proporções fixas). Elipses nos segmentos e cestas na parte inferior da figura representam a mesma estrutura de agregação detalhada na cesta “Importação”. AGRIC simplifica na Figura 3 a representação de cada insumo agropecuário listado na Tabela 1, evitando a repetição da estrutura para cada um desses insumos. O mesmo se aplica aos termos Energia Intensivo, que substitui os setores “Non-Metallic Minerals”, “Iron & Steel”, “Non-Ferrous Metals” e “Other Energy-intensive Industries”, e SERV, que se aplica aos setores de serviços, excluindo transportes. TRANS representa o setor “Transport” da Tabela 1, enquanto OUTROS representa o setor “Other Industries”, ELET representa o setor “Electricity”, PETR representa o setor “Crude Oil” e PETR REF representa o setor “Refined Oil”.



Fonte: Gurgel et al. (2021).

Como representado na Figura 3, a função de produção de cada setor agropecuário é capaz de capturar vários canais de adaptação, intensificação e substituição de insumos e fatores produtivos. Enquanto as funções de transformação do uso da terra permitem a conversão de áreas de vegetação nativa para uso agropecuário ou o movimento inverso, o abandono de áreas produtivas para recomposição de vegetação nativa, a função de produção permite a intensificação da produção através da substituição do fator terra por maiores quantidades de capital, trabalho, energia e insumos intermediários (como fertilizantes, defensivos e outros materiais).

Tabela 2. Valores das elasticidades de substituição nos setores agropecuário

σ_j	Description	Value
σ_{ERVA}	Energy/Materials/Land-Value Added	0,7
σ_{VA}	Labor-Capital	1,0
σ_{ER}	Energy/Materials-Land	0,3
σ_{AE}	Energy-Materials	0,6
σ_{ENOE}	Electricity-Fuels aggregate	0,5
σ_{EN}	Among fuels	1,0
σ_{DM}	Domestic-Imports	2,0–3,0
σ_{MM}	Among Imports from different regions	5,0

Outro elemento importante na representação da agropecuária e do uso da terra no modelo EPPA diz respeito à consideração da mudança tecnológica afetando a produtividade. O fator terra está sujeito a um incremento em produtividade de 1% ao ano, refletindo o padrão histórico de aumento na eficiência da agropecuária, como documentado em Reilly e Fuglie (1998), Gitiaux et al. (2011) e Ray e t a. (2013). Além desses incrementos exógenos em produtividade, o fator terra pode ser parcialmente substituído na função de produção por insumos e outros fatores primários, como discutido no parágrafo anterior, a partir de mudanças nos preços relativos, o que permite capturar diferentes mecanismos de intensificação da agropecuária ao longo do tempo.

Equilíbrio Macroeconômico do Modelo

Do lado da oferta o EPPA assume a cada período que o total ofertado de cada fator produtivo é constante, exceto para as diferentes categorias de uso da terra, que podem ser transformadas de um uso para outro, enquanto o estoque total do fator terra permanece constante. Os fatores são móveis entre setores dentro de cada região (exceto pela parcela não maleável do capital), mas não há movimento de fatores entre as diferentes regiões do modelo. O fator terra é exclusivo dos setores agropecuários, enquanto os recursos naturais são específicos dos setores que os extraem para produção de energia.

Do lado da demanda a propensão marginal a poupar é específica por região e se mantém constante. O consumo do governo sofre alterações conforme os preços dos bens mudam e a arrecadação do governo se altera diante de mudanças nos padrões de atividade e de consumo.

Além disso, os fluxos internacionais que tem efeito compensatório sobre os desequilíbrios no comércio de bens e serviços no ano base do modelo são tomados como exógenos e declinam ao longo do tempo, de forma que déficits e superávits nas transações correntes ao longo do tempo são impedidos de crescer infinitamente, sendo que mudanças na taxa real de câmbio acomodam as alterações em fluxos de importações e exportações.

Processo Dinâmico

A dinâmica do modelo EPPA é determinada de forma endógena e exógena. Os fatores exógenos incluem projeções para crescimento do PIB, da mão de obra e da produtividade, além de dados sobre a melhoria da eficiência energética e sobre recursos naturais. Os fatores endógenos incluem a poupança e investimentos e a depleção dos estoques de combustíveis fósseis. Poupança e consumo são agregados na função de utilidade das famílias; toda poupança se transforma em investimento, atendendo à demanda por bens de capital. O conjunto dos dados endógenos e exógenos e das políticas simuladas, permite que o EPPA projete as decisões econômicas de otimização para cada período considerando apenas os valores de preços e quantidades vigentes naquele período em questão e os resultados de equilíbrio gerados são utilizados como referência para o processo de otimização do período seguinte. O modelo possui um processo estático de solução periódica uma vez que os agentes não se preocupam com valores ou tendências futuras esperadas para as demais variáveis.

O capital no modelo EPPA é dividido entre maleável e não maleável com o objetivo de captar a dificuldade de conversão no curto prazo do capital de uma atividade em fator produtivo de uso alternativo em outro setor da economia. A falta de maleabilidade do capital permite representar o longo tempo de maturação de investimentos em alguns setores (elétrico por exemplo) e a dificuldade de converter plantas e tecnologias que estão em funcionamento.

Essa formulação permite que o modelo apresente respostas de curto e de longo prazo a partir de mudanças nos preços relativos. Dessa forma, a possibilidade de substituição de insumos em um único período como resposta a mudanças em preços é uma combinação das possibilidades de substituição de longo prazo (dadas pela produção advinda do emprego do capital maleável) e da ausência de substituição no curto prazo (dada pelo produto gerado a partir do uso do capital não maleável). Com o desenrolar dos anos no modelo, o capital não maleável gerado em um determinado período anterior sofrerá depreciação e será substituído por novas parcelas de capital não maleável, que refletem as tecnologias em uso nos períodos mais recentes, oriundas das mudanças em preços relativos no tempo.

O modelo EPPA também representa diversas tecnologias alternativas na produção de energia que são adotadas hoje em pequena escala ou esperadas como promissoras no futuro. A adoção e expansão dessas tecnologias depende dos custos relativos delas em relação aos custos das fontes convencionais de energia e, assim como na representação das tecnologias convencionais, a habilidade de substituição entre os insumos em resposta a mudanças nos preços relativos é controlada pelas elasticidades de substituição. Cada nova tecnologia também possui fatores fixos específicos definidos de acordo com as taxas de penetração observada em cada uma, conforme (Morris, Reilly, & Chen, 2014).

A dinâmica do modelo EPPA também é afetada de forma relevante pelos seguintes fatores:

- Crescimento da força de trabalho: considerada de forma exógena com base em dados de crescimento populacional e produtividade do trabalho;
- Mudança tecnológica exógena: aumentos na produtividade da terra com base no padrão histórico de longo prazo, redução no uso de insumos de energia por unidade produzida ao longo do tempo;
- Alteração nos padrões de consumo: mudanças nas parcelas de participação de bens e serviços no consumo em função da mudança da renda entre períodos;
- Esgotamento dos recursos naturais: redução no estoque total de recursos naturais não renováveis com base na quantidade utilizada em cada período por região.

Cenários Simulados

Com o objetivo de se investigar os potenciais impactos do cumprimento do Código Florestal sobre o PIB da economia brasileira e da agropecuária, foram simulados os seguintes cenários no modelo EPPA:

- a. Cenário base: crescimento da economia brasileira em 2,6% ao ano de 2021 a 2025 e 2,5% ao ano de 2026 a 2030, baixo nível de esforço e governança no combate ao desmatamento levam a taxas anuais de desmatamento similares ao observado nos últimos cinco anos (taxas anuais de desmatamento entre 1,06 milhão e 1,15 milhão de hectares ao ano em áreas de florestas e de 0,7 milhão e 0,8 milhão de hectares ao ano em áreas de cerrado e pastagens naturais) e não cumprimento do Código Florestal. Este cenário serve de linha de base para permitir o cálculo do quanto o cumprimento do Código Florestal permite mudanças em PIB em relação a este cenário base.
- b. Cenário “stop_illegal”: redução das taxas de desmatamento em 2025 e 2030 considerando os excedentes de reserva legal disponíveis nos diferentes biomas. Em relação ao cenário base, em 2025 as taxas de desmatamento em áreas de florestas reduzem em 41% e em áreas de cerrado e campos naturais em 30%, e em 2030 as taxas de desmatamento reduzem em 88% em áreas de florestas e 75% em áreas de cerrado. O esforço de controle do desmatamento é implementado no modelo através de aplicação de penalidades (multas e taxas) sobre a área desmatada, de forma a atingir as metas definidas no cenário.
- c. Cenário “stop_all”: redução das taxas de desmatamento em 2025 e fim do desmatamento em 2030. Em relação ao cenário base, em 2025 as taxas de desmatamento em áreas de florestas reduzem em 41% e em áreas de cerrado e campos naturais em 30%, e em 2030 as taxas de desmatamento são nulas em áreas de florestas e de 1% em áreas de cerrado. O esforço de controle do desmatamento é implementado no modelo através de aplicação de penalidades (multas e taxas) sobre a área desmatada, de forma a atingir as metas definidas no cenário.
- d. Cenário “fors_code”: redução das taxas de desmatamento em 2025, fim do desmatamento em 2030, e recomposição do déficit de áreas de preservação permanente previstos pelo Código Florestal até 2030. Em relação ao cenário base, em 2025 as taxas de desmatamento em áreas de florestas reduzem em 41% e em áreas de cerrado e campos naturais em 30%, e entre 2026 e 2030 as áreas de florestas expandem em cerca de 945 Mha ao ano, enquanto as áreas de cerrado e campos naturais expandem

anualmente em cerca de 689 Mha.¹ O esforço de controle do desmatamento é implementado no modelo através de aplicação de penalidades (multas e taxas) sobre a área desmatada, enquanto a recomposição das áreas de vegetação nativa é implementada através de uma política de incentivos (subsídios) à recuperação das áreas de forma a atingir as metas do cenário.

No cenário “fors_code” considera-se que a recuperação das áreas de vegetação natural para recomposição de APP evitam perdas de produtividade na agropecuária por conta de aumentos na provisão de serviços ecossistêmicos, como discutido na seção anterior de revisão de literatura. Para tal, considera-se níveis de produtividade estimados por Oliveira et al. (2013).² Como forma de melhor entender os resultados gerados pela consideração dos serviços ecossistêmicos, são simulados dois cenários adicionais no caso do cenário “fors_code”, um em que esses serviços são ignorados, e outro em que a mudança em produtividade na agropecuária é endogenamente calculada pelo modelo de forma a evitar potenciais reduções no PIB dos setores agropecuários.

¹ A recuperação das áreas de preservação permanente projetadas pelo modelo alcançam o total de 4.72 Mha em áreas de florestas e 3.45 Mha em áreas de cerrado e campos naturais, o que se aproxima das estimativas da FBDS de déficits de APP de 4.69 Mha e 3.43 Mha, respectivamente.

² Consideram-se os níveis de produtividade dos cenários BAU_PAS e BAU_SOY do estudo de Oliveira et al. (2013), ponderados pela mudança em área de vegetação natural observada no modelo EPPA até 2030, uma vez que o estudo daqueles autores considera o ano de 2050 como horizonte temporal. Essas mudanças em produtividade são aplicadas no modelo considerando a relação entre o volume de área de vegetação nativa a ser restaurada e o nível de impacto sobre a produtividade estimado por Oliveira et al. (2013). Esse coeficiente de mudança na produtividade é aplicado à taxa anual de crescimento da produtividade do modelo EPPA, como discutido na seção de metodologia. Isso significa que, no cenário fors_code, de 2026 a 2030 a taxa de crescimento da produtividade em pastagens é de 1,1284% ao ano e em áreas agrícolas é de 1,1036% ao ano, ao invés de 1% ao ano como nos demais cenários.

Resultados

Projeções do cenário base

A Tabela 3 apresenta os resultados de projeções do cenário base. Este cenário foi gerado a partir de um esforço de adaptação e recalibragem do modelo EPPA de forma a capturar da forma mais próxima possível as taxas de crescimento históricas do PIB brasileiro e da agropecuária do país, bem como os padrões de mudanças no uso da terra observados. Ainda, buscou-se projetar para os anos futuros (2025 e 2030) padrões de crescimento e de mudanças na agropecuária e de uso da terra em consonância com os padrões históricos e com projeções de instituições que investigam esses temas. Para tal, foram usados dados e informações do FMI, CEPEA, MAPBIOMAS e SEEG. As notas da Tabela 3 resumem algumas comparações com essas fontes.

Tabela 3. Premissas e projeções do cenário base

Variável	Unidade	2020	2025	2030
PIB ¹	2020 US\$ bilhões	1.444,72	1.641,72	1.857,47
Tx cresc. PIB ²	%	-	2,59	2,50
PIB agricultura ³	2020 US\$ bilhões	73,68	78,83	84,64
PIB pecuária ⁴	2020 US\$ bilhões	27,86	30,33	32,72
Área agrícola (colhida) ⁵	Milhões de ha	87,03	96,85	107,79
Área de florestas plantadas ⁶	Milhões de ha	5,43	5,46	5,47
Área de pastagens ⁷	Milhões de ha	174,45	173,95	172,28
Área de florestas naturais ⁸	Milhões de ha	387,21	381,91	376,13
Área de cerrados e campos naturais ⁹	Milhões de ha	159,81	155,76	152,26
Emissões de uso da terra ¹⁰	Milhões de ton CO2	854,98	1.014,52	1.086,15
Emissões da agropecuária ¹¹	Milhões de ton CO2e	594,51	628,02	657,53

¹ PIB FMI em 2020: US\$ 1.444,72 bilhões. ² Projeções do FMI: 2,59% em 2025, 2,15% em 2030. ³ PIB agricultura CEPEA em 2020: US\$ 67,61 bilhões, considerando taxa de câmbio média em 2020. ⁴ PIB pecuária CEPEA em 2020: US\$ 32,96 bilhões, considerando taxa de câmbio média em 2020. ⁵ Inclui 15,2 milhões de hectares de 2a safra em 2020, área agrícola Mapbiomas em 2020: 78 Mha. ⁶ Área de florestas plantadas Mapbiomas em 2020: 7 Mha. ⁷ Área de pastagens Mapbiomas em 2020: 177 Mha. ⁸ Área de pastagens Mapbiomas em 2020: 396 Mha. ⁹ Área de cerrado e campos naturais Mapbiomas em 2020: 157 Mha. ¹⁰ Emissões de alterações no uso do solo SEEG em 2020: 932 Mt CO2. ¹¹ Emissões oriundas da atividade agropecuária SEEG em 2020: 577 Mt CO2e.

Resultados dos cenários

A Tabela 4 apresenta os principais resultados dos cenários simulados para o ano de 2030. Os resultados indicam que o esforço de reduzir o desmatamento gera reduções irrisórias no crescimento do PIB e no consumo das famílias brasileiras. A taxa de crescimento do PIB reduz de 2,5% no cenário base para 2,48% no cenário de fim do desmatamento, o que significa que o valor real do PIB em 2030 seria apenas 0,08% menor do que no cenário base. O fim do desmatamento levaria ainda a quedas inferiores a 1% no PIB agrícola e de até 3,2% no PIB da agropecuária, em relação ao cenário base. Caso esses esforços sejam acompanhados da recuperação do déficit de áreas de preservação permanente, e, portanto, levem a aumentos na provisão de serviços ecossistêmicos capazes de melhorar a produtividade da agropecuária, a taxa de crescimento da economia aumenta para 2,51%, levando a um aumento de 0,07% no valor real do PIB em relação ao cenário base. O consumo das famílias crescerá em 0,06%, enquanto o PIB agrícola se elevará em 0,7%. O PIB da pecuária sofrerá uma queda de apenas 0,8% em relação ao cenário base. Esses resultados indicam que o cumprimento do Código Florestal até 2030 gera impactos positivos para a macroeconomia do país e para a agricultura, enquanto diminui potenciais resultados negativos do fim do desmatamento sobre a pecuária.

Tabela 4. Impactos dos cenários simulados sobre o crescimento econômico, consumo das famílias, e PIB da agropecuária, em relação ao cenário base, para o ano de 2030 - Brasil.

Variável	Cenário			
	base	stop_illegal	stop_all	fors_code
Taxa de crescimento PIB (%)	2,50	2,49	2,48	2,51
Varição no PIB (%)		-0,04	-0,08	0,07
Varição no consumo (%)		-0,02	-0,05	0,06
Varição no PIB agrícola (%)		-0,30	-0,40	0,70
Varição no PIB pecuária (%)		-2,75	-3,19	-0,82

Fonte: resultados do estudo.

A Tabela 5 detalha os resultados sobre o setor agropecuário para o ano de 2030. Os resultados indicam que os cenários de controle do desmatamento provocam ligeiras reduções na produção dos diversos setores agropecuários, o que induz a ligeiros aumentos em preços desses bens. Os aumentos em preço induzem a intensificação da produção via incrementos em produtividade, o que ajuda a mitigar tanto as quedas em produção quanto os aumentos em preço. Esses ganhos de produtividade contribuem para evitar que os resultados de produção e preço tragam desafios do ponto de vista da segurança alimentar e nutricional, corroborando as quedas irrisórias no consumo total das famílias já apresentadas na Tabela 4. Já no cenário de aplicação do Código Florestal, a produção de todos os bens agrícolas cresce, enquanto o preço destes bens sofre ligeira queda. A produção pecuária sofre uma redução menor do que nos cenários de combate

ao desmatamento, devido aos ganhos de produtividade proporcionados pela maior provisão de serviços ecossistêmicos.

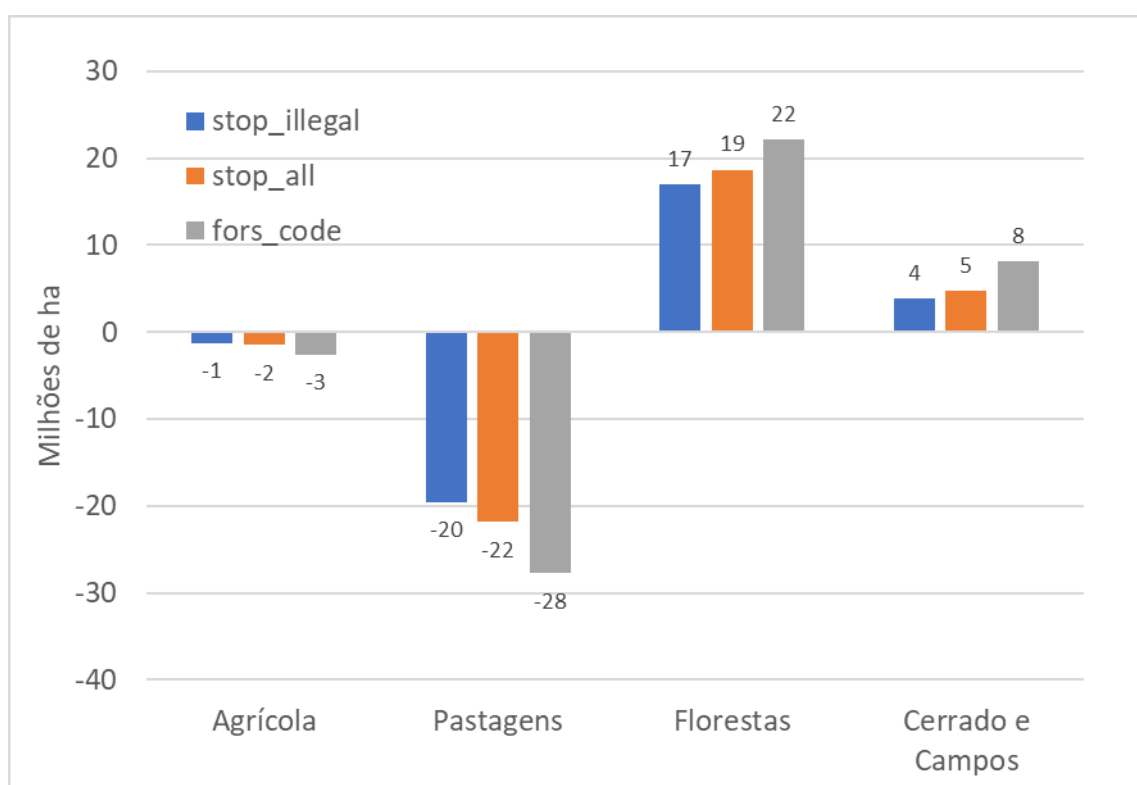
Tabela 5. Mudanças (%) em indicadores de produção, preço e produtividade (produção por área) da agropecuária brasileira, em relação ao cenário base, para o ano de 2030 – Brasil.

Variável	Cenários		
	stop_illegal	stop_all	fors_code
Produção agropecuária	-1.5	-1.8	0.0
Produção agrícola	-0.7	-0.8	0.5
Produção pecuária	-3.5	-4.1	-1.2
Produção de alimentos	-0.7	-0.9	0.1
Produção de arroz	-0.8	-0.9	0.1
Produção de outros cereais	-1.4	-1.7	0.1
Produção de trigo	-0.9	-1.2	0.6
Produção de oleaginosas	-0.9	-1.2	0.6
Produção de cana de açúcar	-0.3	-0.3	0.8
Produção de algodão e outras fibras	0.5	0.4	1.1
Produção de vegetais e frutas	-0.6	-0.8	0.5
Produção de outras culturas	-0.6	-0.7	0.4
Produção de pecuária bovina	-3.4	-3.9	-1.0
Produção de suínos e aves	-2.1	-2.4	-0.5
Produção de outros animais	-5.4	-6.2	-2.1
Preço de alimentos	0.7	0.8	0.0
Preço de arroz	0.3	0.4	-0.4
Preço de outros cereais	0.3	0.4	-0.4
Preço de trigo	0.1	0.1	-0.2
Preço de oleaginosas	0.3	0.5	-0.3
Preço de cana de açúcar	0.9	1.1	-0.2
Preço de algodão e outras fibras	0.4	0.6	-0.2
Preço de vegetais e frutas	0.2	0.2	-0.3
Preço de outras culturas	0.2	0.3	-0.4
Preço de pecuária bovina	4.9	5.9	1.8
Preço de suínos e aves	4.9	5.9	1.8
Preço de outros animais	5.2	6.2	2.0
Produtividade de arroz	0.3	0.4	7.9
Produtividade de outros cereais	0.4	0.4	7.9
Produtividade de trigo	0.4	0.4	8.0
Produtividade de oleaginosas	0.5	0.6	8.0
Produtividade de cana de açúcar	0.5	0.5	8.0
Produtividade de algodão e outras fibras	0.7	0.8	8.1
Produtividade de vegetais e frutas	0.4	0.4	7.9
Produtividade de outras culturas	0.4	0.4	7.9
Produtividade da pecuária	4.9	5.5	2.6

Fonte: resultados do estudo.

As mudanças no uso da terra nos cenários de combate ao desmatamento e recuperação de APP em relação ao cenário base para o ano de 2030 são apresentadas na Figura 4. As áreas de pastagens são as mais impactadas pelos esforços de combate ao desmatamento e de recuperação de APP, uma vez que sofrem reduções entre 20 milhões e 28 milhões de ha em relação ao cenário base. Esse resultado reflete o elevado potencial de intensificação das pastagens brasileiras e a existência de extensas áreas subaproveitadas e de baixa produtividade. Limitações à abertura de novas áreas no Brasil incentivaria o melhor aproveitamento dessas áreas e a conversão daquelas parcelas de menor potencial produtivo para outros usos. Já as áreas de produção agrícola sofreram reduções bem menos pronunciadas, entre 1 Mha e 3 Mha, uma vez que são áreas que geram maior renda por ha do que as áreas de pastagens. O fim do desmatamento ilegal até 2030 evitaria que 17 Mha de florestas fossem convertidas para pastagens ou culturas, enquanto 4 Mha de cerrados e campos seriam preservados, em relação ao cenário base. Já o fim do desmatamento ilegal levaria à preservação de 19 Mha de florestas e 5 Mha de cerrados. O cumprimento do Código Florestal pela recuperação das áreas de APP permitirá não apenas evitar o desmatamento, mas aumentar o total de área preservada para 22 Mha de florestas e 8 Mha de cerrados e campos.

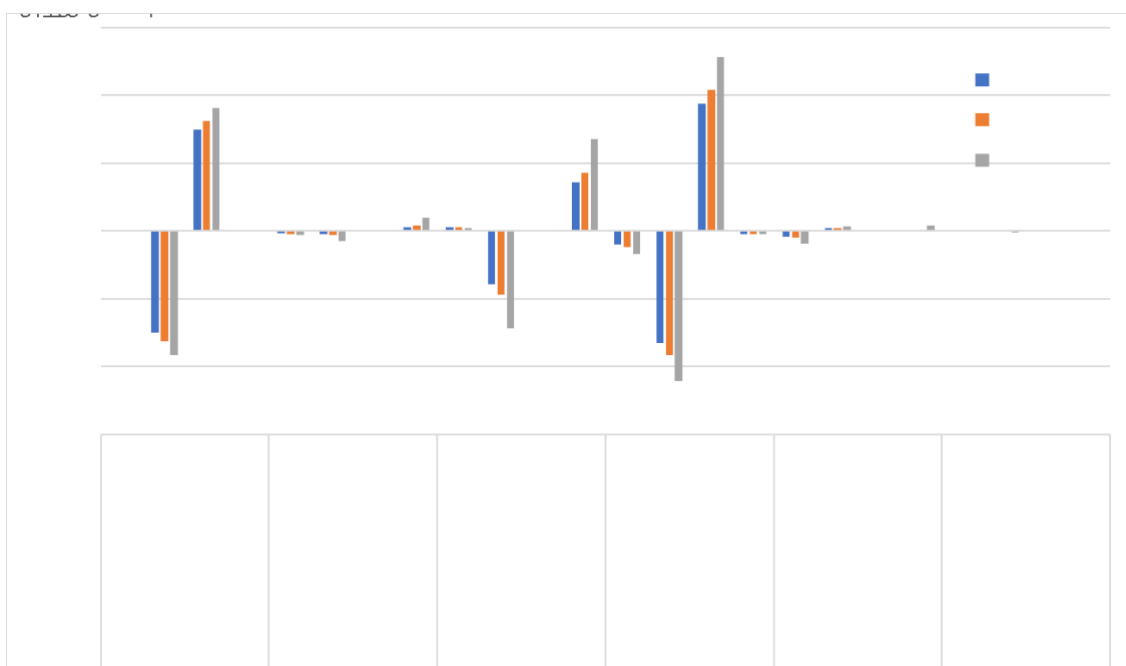
Figura 4. Mudanças no uso da terra em comparação com o cenário base em 2030.



Fonte: resultados do estudo.

As mudanças no uso da terra nos cenários simulados não se distribuem de maneira uniforme entre os biomas brasileiros, mas concentram-se principalmente nos biomas Mata Atlântica, Amazônia e Cerrado (Figura 5). Esses resultados refletem tanto as ocorrências de maiores taxas de desmatamento nos biomas Cerrado e Amazônia, bem como os maiores déficits de APP no bioma Mata Atlântica. No caso da Mata Atlântica, o resultado também reflete que as restrições ao desmatamento nas fronteiras agrícolas do Cerrado e da Amazônia incentivam a intensificação da pecuária e da agricultura nas regiões de maior preço do fator terra.

Figura 5. Mudanças no uso da terra por bioma em comparação com o cenário base em 2030.

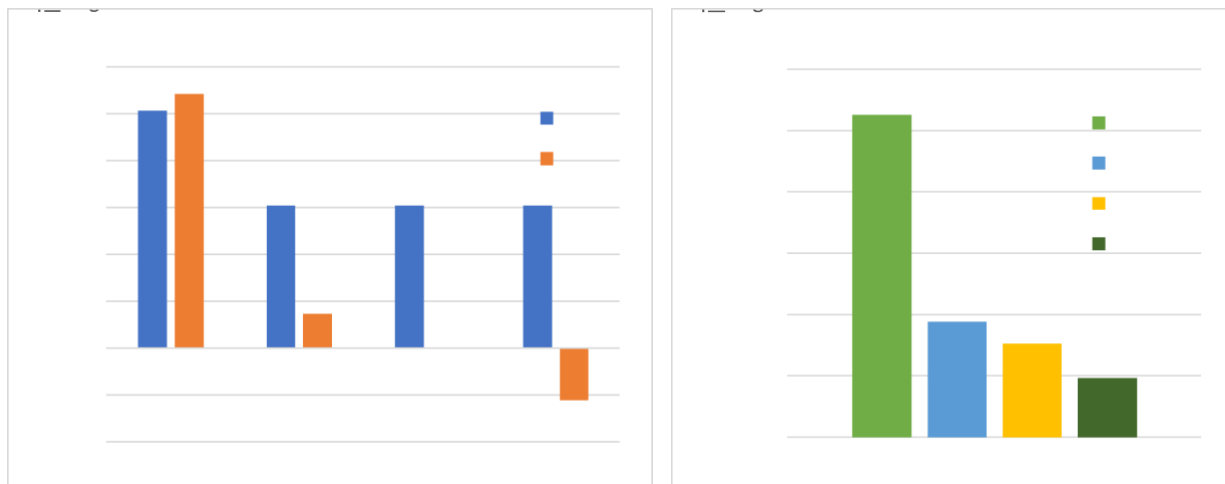


Fonte: resultados do estudo.

Os diferentes padrões de mudanças no uso da terra implicam em emissões de CO₂ distintas entre os cenários (Figura 6). Todos os cenários de políticas assumem as mesmas metas de combate ao desmatamento em 2025, o que gera o mesmo nível de redução em emissões de mudanças no uso da terra naquele ano, de cerca de 40% em relação ao cenário base. Já em 2030, o cenário stop_illegal apresenta emissões de mudanças no uso da terra que são 87% menores que as emissões observadas no cenário base. O cenário stop_all reduz as emissões em 99,9%, enquanto no cenário fors_code a recuperação de áreas de APP permite o sequestro de aproximadamente 223 milhões de toneladas de CO₂. Considerando as emissões acumuladas de 2021 a 2030, o fim do desmatamento legal proporciona uma redução de 64% nas emissões de mudanças no uso da terra em relação ao cenário BAU, enquanto o cenário stop_all levaria a uma redução de 71% e o cenário fors_code, 82%. Isso significa que, ao invés de emitir pouco

mais de 10 bilhões de toneladas de CO₂ entre 2021 e 2030 por conta de desmatamento de vegetação nativa, o país poderia emitir apenas 2 bilhões de toneladas nesse período caso implementasse o Código Florestal em conjunto com o fim do desmatamento.

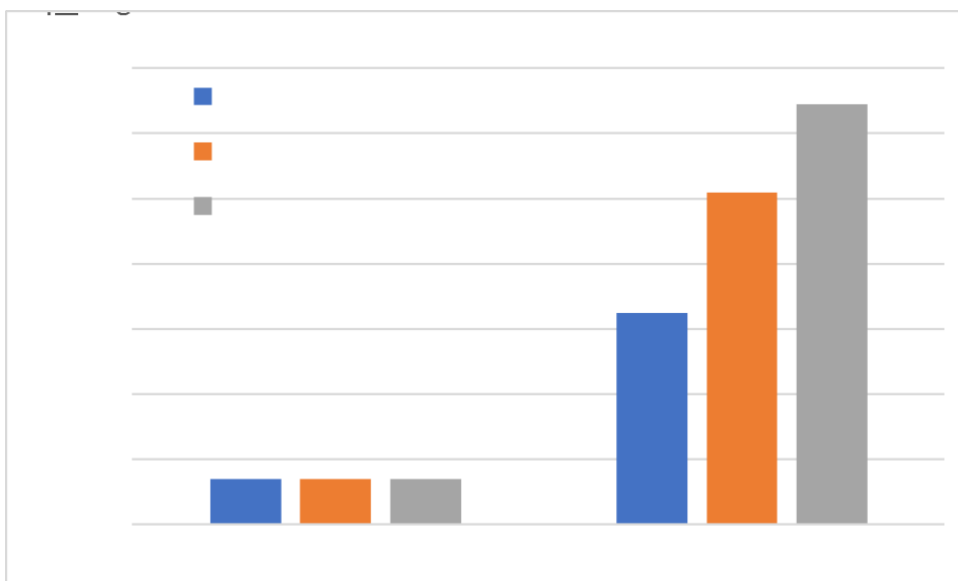
Figura 6. Emissões de CO₂ anuais e acumuladas (de 2021 a 2030) provenientes de mudanças no uso da terra nos cenários simulados, Brasil.



Fonte: resultados do estudo.

No que diz respeito às emissões de gases de efeito estufa oriundas da atividade agropecuária, majoritariamente compostas de metano da fermentação entérica do rebanho bovino e óxido nitroso da fertilização nitrogenada agrícola, os cenários de combate ao desmatamento e implementação do Código Florestal levam a ligeiros aumentos em relação ao cenário base (Figura 7). Os aumentos em emissões estão associados à intensificação da atividade agropecuária via maior uso de fertilizantes, sendo mais pronunciados no cenário *fors_code*, em que as emissões aumentam em 32 milhões de ton. de CO₂e, ou 4,9% em relação ao cenário base. Esse aumento em emissões é mais do que compensado pelo sequestro de emissões de mudanças no uso da terra.

Figura 7. Mudanças em emissões de gases de efeito estufa da agropecuária em relação ao cenário base, Brasil.



Fonte: resultados do estudo.

Sensibilidade dos resultados: o papel dos serviços ecossistêmicos

De forma a testar como os resultados do modelo são influenciados pela consideração de impactos positivos em produtividade da agropecuária quando da recuperação de áreas de vegetação nativa, o cenário de implementação do Código Florestal (cenários fors_code) foi simulado sob duas hipóteses alternativas. Na primeira hipótese, ignora-se que a maior provisão de serviços ecossistêmicos influencie a produtividade da agropecuária, enquanto na segunda hipótese, permite-se que o modelo calcule endogenamente o nível de aumento na produtividade da agropecuária que levaria a resultados positivos, ou ao menos neutros, no PIB da agricultura, em relação ao cenário base. Esta última hipótese permite identificar qual seria o nível mínimo de ganho de produtividade necessário via maior provisão de serviços ecossistêmicos para que o cumprimento do Código Florestal gera retornos positivos para pecuaristas e agricultores em relação ao cenário de não cumprimento do Código, considerando as incertezas existentes na quantificação dos benefícios gerados pelos serviços ecossistêmicos. Ainda, esse cenário permite sinalizar qual é a necessidade de incremento da produtividade agropecuária para neutralizar potenciais efeitos negativos do cumprimento do Código Florestal, em uma situação em que agropecuaristas não tenham conhecimento das externalidades positivas associadas aos serviços ecossistêmicos.

A Tabela 6 apresenta os resultados desse exercício de sensibilidade. Sem a provisão de serviços ecossistêmicos, a implementação do Código Florestal geraria pequenos impactos negativos sobre PIB, consumo e atividades agrícolas em relação ao cenário base em 2030, uma vez que a taxa de crescimento do PIB seria de 2,47%, gerando um PIB 0,13% menor do que no cenário base, enquanto o PIB da agricultura seria 1,08% menor e o PIB da pecuária 4,46% menor. Isso significa que, sem a provisão de serviços ecossistêmicos que contribuam para a produtividade da agropecuária, o custo econômico de se implementar o Código Florestal para a sociedade brasileira seria quase nulo e não implicaria em maiores sacrifícios de crescimento ou renda para o país, enquanto o setor da pecuária seria 5% menor e o de produção vegetal apenas 1% menor. Os benefícios, por outro lado, estariam associados ao aumento da eficiência no uso da terra pelo melhor aproveitamento das áreas de pastagens, a preservação e recuperação de 30 milhões de hectares de vegetação natural, e a redução em cerca de 80% das emissões acumuladas de gases de efeito estufa advindas de mudanças no uso da terra. É relevante frisar que, considerando as dificuldades de informação e conhecimento por parte dos agricultores sobre a importância dos serviços ecossistêmicos prestados pelas áreas de vegetação natural preservadas, o que na literatura econômica é geralmente denominado de “assimetria de informação” e “externalidades”, os resultados do cenários `fors_code` sem serviços ecossistêmicos refletem os potenciais “prejuízos” que o setor agropecuario temeria enfrentar pela aplicação do Código Florestal e o fim do desmatamento. Ainda que no caso da pecuária o percentual de perda (5%) possa trazer ansiedade ao setor, em termos absolutos ele significa cerca de US\$1,51 bilhões (ou R\$7,76 bilhões pela taxa de câmbio média de 2020). Esses volumes são bem inferiores ao total de recursos provisionados pelo Plano Agrícola e Pecuário (Plano Safra) anualmente, e compatíveis com o volume de recursos utilizados para equalização da taxa de juros daquela política.

Já no cenário de implementação do Código Florestal sob a hipótese de ganhos endógenos de produtividade via maior provisão de serviços ecossistêmicos, capazes de evitar reduções no PIB da agropecuária, os resultados econômicos são positivos e similares aos do cenário de Código Florestal inicialmente simulado neste estudo e discutido na seção anterior. A única diferença relevante está no resultado de PIB da pecuária, que deixa de ser negativo em 0,82% e passa a ser positivo em 0,08%. Esse resultado levanta a questão sobre qual é o nível de ganho de produtividade na agricultura e na pecuária nesses cenários que é capaz de reverter o sinal da mudança no PIB da pecuária. No cenário de serviços ecossistêmicos endógenos, a produtividade da terra agrícola é 5% maior do que no cenário base, por conta da provisão de serviços ecossistêmicos, enquanto a produtividade das pastagens é 19,7% maior. Já no cenário de Código Florestal inicialmente simulado, em que os serviços ecossistêmicos foram calibrados para reproduzir os padrões de produtividade do trabalho de Oliveira et al. (2013), a produtividade agrícola é 10,36% maior que no cenário base e a produtividade das pastagens é 12,84% maior. Esses resultados sugerem uma situação “ganha-ganha” para a economia e o meio ambiente se a maior provisão de serviços ecossistêmicos proporcionada pela implementação do Código Florestal e fim do desmatamento for capaz de gerar ao menos 5% de aumento na produtividade

das culturas agrícolas e de ao menos 19,7% na produtividade das pastagens (ou evitar perdas de produtividade de ao menos 5% para culturas e 19,7% para pastagens que seriam causadas pela ausência da vegetação nativa). Ganhos de 19,7% na produtividade de pastagens não são incompatíveis com os resultados de Oliveira et al. (2013), ainda que existam incertezas e escassez de mensurações precisas para tais ganhos.

Tabela 6. Impactos de diferentes hipóteses de mudanças na produtividade da agropecuária no cenário fors_code sobre o crescimento econômico, consumo das famílias, e PIB da agropecuária, em relação ao cenário base, para o ano de 2030 - Brasil.

	fors_code com serviços ecossistêmicos	fors_code sem serviços ecossistêmicos	fors_code com serviços ecossistêmicos endógenos
Taxa de crescimento PIB (%)	2,51	2,47	2,51
Variação no PIB (%)	0,07	-0,13	0,06
Variação no consumo (%)	0,06	-0,06	0,02
Variação no PIB agrícola (%)	0,70	-1,08	0,67
Variação no PIB pecuária (%)	-0,82	-4,46	0,08

Fonte: resultados do estudo.

Considerações Finais

O presente estudo teve o objetivo de investigar potenciais impactos econômicos e ambientais de ações e políticas para uma melhor ordenação do uso da terra no Brasil, que coloquem o país em direção ao desenvolvimento sustentável em uma economia de baixo carbono. Para tal, empregou-se um modelo de equilíbrio geral computável dinâmico, multirregional e multisetorial da economia mundial, capaz de representar os fluxos econômicos entre os principais países e regiões do mundo, as atividades e transações econômicas entre setores e consumidores, em particular as agropecuárias, e a competição pelo uso da terra entre diferentes usos incluindo áreas de vegetação natural. O modelo ainda captura as mudanças físicas em área e em emissões de gases de efeito estufa oriundos dessas mudanças e das atividades agropecuárias propriamente ditas.

O modelo foi aprimorado para considerar as diferentes tendências de mudanças no uso da terra para os biomas brasileiros, bem como nos volumes de carbono associados à vegetação natural desses biomas. Foram implementados no modelo diversos cenários que refletem a implementação do Código Florestal e políticas de combate ao desmatamento. Em particular, o cenário Código Florestal considerou, além do fim do desmatamento até o ano de 2030, a recuperação das áreas de APP deficitárias. Em relação a estudos anteriores sobre o tema, o presente estudo introduziu uma resposta positiva de aumento de produtividade da agropecuária quando da expansão de áreas de vegetação natural, consequente da maior provisão de serviços ecossistêmicos, fenômeno já bastante documentado na literatura científica, porém, de escassa avaliação e mensuração quantitativa e econômica.

Os resultados do estudo indicam que a implementação do Código Florestal aliada ao combate do desmatamento até o ano de 2030 trazem ganhos ambientais para o país e resultados econômicos favoráveis, uma vez que incentivaram uma alocação mais eficiente e racional dos recursos naturais, em particular, da terra agropecuária. A taxa de crescimento do PIB em 2030 seria ligeiramente maior caso o Código Florestal fosse implementado, bem como o PIB absoluto e o consumo das famílias, que seriam cerca de 0,06% maiores. O PIB das atividades agrícolas também seria mais favorável, em 0,7%, enquanto o PIB das atividades pecuárias seria 0,8% menor. Esses resultados seriam consequência de uma forte intensificação das atividades agropecuárias, com ganhos de produtividade variando entre 2,6% e 8%, redução da área de pastagens em 28 Mhas e da área colhida em 3 Mha. Ainda, a maior provisão de serviços ecossistêmicos proporcionada pela recuperação das áreas de APP contribuiria para esses ganhos de produtividade. Os impactos ambientais se traduziriam em um saldo positivo de 22 Mha de florestas e 8 Mha de cerrados e pastagens naturais a mais do que em um cenário alternativo sem aplicação do Código Florestal e de medidas de combate ao desmatamento. Ainda, as mudanças no uso da terra em 2030 deixariam de emitir 1 bilhão de toneladas de CO₂ e passariam a sequestrar 200 milhões de toneladas de CO₂. Em termos de emissões acumuladas entre 2021 e 2030, a implementação do Código Florestal permitiria uma redução em 80% nas emissões de mudanças no uso da terra.

A maior provisão de serviços ecossistêmicos proporcionada pela recuperação das áreas de vegetação nativa, bem como pela maior quantidade de vegetação natural quando do fim do desmatamento, é um importante fator a ser considerado nas análises de impacto da implementação do Código Florestal e de políticas anti-desmatamento. A literatura científica na área das ciências naturais já tem bastante consolidado o conhecimento sobre a provisão desses serviços, que para a agropecuária são de suma importância na manutenção e aumento da produtividade. Serviços como a regulação do regime de chuvas e do clima local, a manutenção das propriedades físicas e químicas do solo e a prevenção à erosão, a provisão de agentes polinizadores em quantidade e diversidade, a provisão de inimigos naturais para controle de pragas e doenças, entre outros, são todos serviços já bem investigados e documentados na literatura, tanto em escala geográfica nacional quanto internacional. Contudo, mensurações quantitativas dos efeitos dessa provisão sobre o nível de produtividade de culturas e pastagens ainda são escassas e restritas a espaços geográficos específicos, a poucas culturas e atividades agropecuárias, e contextos variados de clima e volume de vegetação nativa. Dessa forma, a incorporação desse conhecimento nos modelos econômicos-ambientais ainda é um desafio.

No presente estudo fez-se um esforço para incorporar os efeitos que a recuperação de áreas de vegetação nativa deve gerar sobre a produtividade da agropecuária, pela maior provisão de serviços ecossistêmicos. Partiu-se do estudo de Oliveira et al. (2013) para se estabelecer essa relação, sendo que, no cenário de implementação do Código Florestal pela recuperação de áreas de preservação permanente e fim do desmatamento, o volume de áreas recuperadas e de vegetação preservada permitiu atribuir produtividades maiores às atividades agropecuárias do que no cenário base, em que o desmatamento continua elevado e o Código Florestal não é implementado. Reconhecendo as incertezas por trás dos impactos dos serviços ecossistêmicos sobre a produtividade, o cenário de Código Florestal foi simulado sem esses impactos. Os resultados dessa simulação revelaram que, mesmo sem impactos positivos dos serviços ecossistêmicos sobre a produtividade, os impactos ambientais da implementação do Código Florestal e o fim do desmatamento continuam existindo, enquanto os impactos econômicos se tornam ligeiramente inferiores. O PIB brasileiro seria apenas 0.1% menor enquanto o PIB da agropecuária seria 1% menor. O impacto maior seria sentido pelo setor da pecuária, que teria o seu PIB reduzido em 5% se os serviços ecossistêmicos não contribuíssem para a produtividade das pastagens e do rebanho. Contudo, caso esses serviços permitissem mitigar em, ao menos 19% dos efeitos negativos da remoção da vegetação nativa sobre a produtividade, a implementação do Código Florestal e o fim do desmatamento impactam positivamente o PIB da pecuária brasileira.

Os resultados do estudo permitem concluir que a implementação do Código Florestal é essencial para que o Brasil garanta o crescimento da agropecuária brasileira em bases sustentáveis e alinhada com os desafios de uma transição para uma economia de baixa emissão de carbono. Não foram observados resultados econômicos que justifiquem a não implementação do Código, uma vez que predominam impactos econômicos positivos ou neutros sobre a atividade

econômica em geral e sobre o setor agropecuário em particular, enquanto os impactos ambientais mostram-se bastante favoráveis. Ainda, os resultados indicam um aumento da produtividade e maior racionalização dos recursos naturais, em particular, a terra agropecuária, como consequência das políticas simuladas. Ainda, instrumentos de política agrícola estão disponíveis para mitigar potenciais chances de perda por grupos específicos do setor agropecuário, em particular, pecuaristas com elevados déficits de áreas de preservação permanente. Nesse sentido, os atuais volumes de crédito disponibilizados pelo Plano Agrícola e Pecuário, bem como os recursos utilizados para equalização da taxa de juros do crédito rural, se mostram mais do que suficientes para incentivar mudanças na direção de uma agricultura sustentável no país e compensar eventuais reduções em produção naquelas regiões e locais em que os serviços ecossistêmicos não sejam providos em quantidade suficiente.

Referências bibliográficas

- Aristizábal, N., Metzger, J.P. Landscape structure regulates pest control provided by ants in sun coffee farms. *Journal of Applied Ecology*, v. 56, p. 21–30, 2019.
- Assunção, J., Souza, P., Pietracchi, B., Szerman, C. Resumo para política pública Código Florestal e Crédito Rural: como aperfeiçoar a integração de duas importantes políticas públicas no Brasil. Climate Policy Initiative – CPI, 2016. Disponível em: <http://www.inputbrasil.org/publicacoes/codigo-florestal-e-credito-rural-como-aperfeicoar-a-integracao-de-duas-importantes-politicas-publicas-no-brasil/>. Acesso em 14 de julho de 2018.
- Brancalion, P.H.S., Garcia, L.C., Loyola, R., Rodrigues, R.R., Pillar, V.D., Lewinsohn, T.M. Análise crítica da Lei de Proteção da Vegetação Nativa (2012), que substituiu o antigo Código Florestal: atualizações e ações em curso. *Natureza e Conservação*, v. 14, e1–e16, 2016.
- Cabral, C. S. R. *Impactos Econômicos da limitação do desmatamento no Brasil*. São Paulo, 2013. 132p. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto – USP. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/96/96131/tde-01072013-111458/pt-br.php>. Acesso em 02 de junho de 2018.
- Calvin, K., Beach, R., Gurgel, A., Labriet, M., Rodriguez, A. L. Agriculture, forestry, and other land-use emissions in Latin America. *Energy Economics*, p. 615-624, 2016.
- Campbell, A. J., Carvalheiro, L. G., Maués, M. M., Jaffé, R., Giannini, T. C., Freitas, M. A. B., Coelho, B. W. T., & Menezes, C. Anthropogenic disturbance of tropical forests threatens pollination services to açai palm in the Amazon river delta. *Journal of Applied Ecology*, v. 55, n. 4, p. 1725–1736, 2018.
- Chen, Y. H., Paltsev, S., Reilly, J. M., Morris, J. F., Babiker, M. H. The MIT EPPA6 Model: Economic Growth, Energy Use, and Food Consumption. Report 278, Massachusetts Institute of Technology, MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Cambridge, 2015. Disponível em: <https://globalchange.mit.edu/publication/16262https://globalchange.mit.edu/publication/16262https://globalchange.mit.edu/publication/16262https://globalchange.mit.edu/publication/16262>. Acesso em 21 de agosto de 2021.
- Cividanes, F.J., dos Santos-Cividanes, T.M., Ferraudo, A.S., da Matta, D.H. Edge effects on carabid beetles (Coleoptera: Carabidae) between forest fragments and agricultural fields in south-east Brazil. *Australian Entomology*, v. 57, p. 9–16, 2018.
- Climate Policy Initiative & Agroicone. O código florestal pode ser finalmente implementado. E agora? Rio de Janeiro: INPUT, 2018. Disponível em: <https://www.inputbrasil.org/publicacoes/o-codigo-florestal-pode-ser-finalmente-implementado-e-agora/>. Acesso em 2 de dezembro de 2021.
- Felzer, B., Kicklighter, D., Melillo, J., Wang, C. Effects of Ozone on Net Primary Production and Carbon Sequestration in the Conterminous United States Using a Biogeochemistry Model. *Tellus B*, v.56, n.3, p. 230–248, 2004.
- Francisco, A. X., Gurgel, A. Costs of Reducing Deforestation in Brazil: A General Equilibrium Approach In: 23rd Annual Conference on Global Economic Analysis, 2020, Purdue. 23rd Annual Conference on Global Economic Analysis. Purdue: GTAP, 2020. v.1. p.1 – 20.
- Garibaldi, L. A. et al. Mutually beneficial pollinator diversity and crop yield outcomes in small and large farms. *Science*, v. 351, n. 6271, p. 388-391, 2016.
- Giannini, T. C., Cordeiro, G. D., Freitas, B. M., Saraiva, A. M. The Dependence of Crops for Pollinators and the Economic Value of Pollination in Brazil. *Journal of Economic Entomology*, v. 108, n. 3, p. 849-857, 2015.
- Gitiaux, X., Reilly, J.M., Paltsev, S. Future Yield Growth: What Evidence from Historical Data? MIT JPSPGC Report 199, May 2011, 26 p. Disponível em: https://globalchange.mit.edu/sites/default/files/MITJPSPGC_Report199.pdf. Acesso em 21 de Agosto de 2021.
- Gurgel, A., Chen, Y. H., Paltsev, S., Reilly, J. CGE Models: Linking Natural Resources to the CGE Framework In: *The WSPC Reference on Natural Resources and Environmental Policy in the Era of Global Change: V.3* Computable General Equilibrium Models. 1 ed. New Jersey: World Scientific Publishing, 2016, v.3, p. 57-98.
- Gurgel, A. C., Paltsev, S. Costs of reducing GHG emissions in Brazil. *Climate Policy*. v.14, p.209 - 223, 2014.
- Gurgel, A. C., Paltsev, S., Breviglieri, G. V. The impacts of the Brazilian NDC and their contribution to the Paris agreement on climate change. *Environment and Development Economics*, v.24, p. 395 - 412, 2019.
- Gurgel, A. C., Reilly, J., Blanc, E. Challenges in simulating economic effects of climate change on global agricultural markets. *Climatic Change*, v. 166, n.3–4, 29, 2021.
- Hertel, T. W. *Global Trade Analysis: Modeling and Applications*. Cambridge University Press, 1997. Disponível em: <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/7684.pdf>. Acesso em 10 de março de 2021.
- Hurt, G.C., Frohling, S., Fearon, M.G. The Underpinnings of Land-use History: Three Centuries of Global Gridded Land-use Transitions, Wood-harvest Activity, and Resulting Secondary Lands. *Global Change Biology*, v. 12, n. 7, p. 1208–1229, 2006.
- Leite-Filho, A. T., Soares-Filho, B. S., Davis, J. L., Abrahão, G. M., & Bömer, J. Deforestation reduces rainfall and agricultural revenues in the Brazilian Amazon. *Nature Communications*, v. 12, n. 1, 2591, 2021.
- Lucena, A.F.P., Clarke, L., Schaeffer, R., Szklo, A., Rochedo, P.R.R., Nogueira, L.P.P., Daenzer, K., Gurgel, A., Kitous, A., Kober, T. Climate Policy Scenarios in Brazil: a multi-model comparison for energy. *Energy Economics*, v. 56, p. 564-574, 2016.
- Metzger, P. J., Bustamante, M. M. C., Ferreira, J., Wilson, G., Librán-embid, F., Pillar, V. D., Prist, P. R., Ribeiro, R., Célla, I., Vieira, G., & Overbeck, G. E. Por que o Brasil precisa de suas Reservas Legais. *Perspectives in Ecology and Conservation*, v. 17, n. 3, p. 104–116, 2019.
- Morris, J., Reilly, J., Chen, Y.-H. Advanced Technologies in Energy-Economy Models for Climate Change Assessment. MIT Joint Program Report Series, Report 272, 24 p., Cambridge, 2014. Disponível em: <https://globalchange.mit.edu/publication/15600>. Acesso em 23 de novembro de 2021.
- Narayanam, B., Aguiar, A., Mcdougall, R. Global Trade, Assistance, and Production: The GTAP 8 Data Base. Purdue University, Center for Global Trade Analysis, 2012. Disponível em: https://www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/v8/v8_doco.asp. Acesso em 15 de agosto de 2021.
- Novais, S. M. A., Nunes, C. A., Santos, N. B., D'Amico, A. R., Fernandes, G. W., Quesada, M., Braga, R. F., & Neves, A. C. O. Effects of a possible pollinator crisis on food crop production in Brazil. *PLoS One*, v. 11, n. 11, 2016.
- Octaviano, C., Paltsev, S., Gurgel, A. C. Climate Change Policy in Brazil and Mexico: Results from the MIT EPPA Model. *Energy Economics*, v.56, p. 600-614.
- Oliveira, L. J. C., Costa, M. H., Soares-Filho, B. S., Coe, M. T. Large-scale expansion of agriculture in Amazonia may be a no-win scenario. *Environmental Research Letters*, v. 8, 024201, 2013.

Prevedello, J.A., Winck, G.R., Weber, M.M., Nichols, E., Sinervo, B. Impacts of forestation and deforestation on local temperature across the globe. *PLoS One*, v. 14, n. 3, e0213368.

Rattis, L., Brando, P. M., Macedo, M. N., Spera, S. A., Castanho, A. D. A., Marques, E. Q., Costa, N. Q., Silverio, D. V., Coe, M. T. Climatic limit for agriculture in Brazil. *Nature Climate Change*, v. 11, n. 12, p. 1098–1104, 2021.

Ray, D.K., Mueller, N.D., West, P.C., Foley, J.A. Yield Trends Are Insufficient to Double Global Crop Production by 2050. *PLoS One*, v. 8, n. 6, e66428, 2013.

Reilly, J.M., Fuglie, K.O. Future Yield Growth in Field Crops: What Evidence Exists? *Soil and Tillage Research*, v. 47, p. 275–290, 1998.

Satumi, F.T., Jaffé, R., Metzger, J. P. Landscape structure influences bee community and coffee pollination at different spatial scales. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 235, p. 1-12, 2016.

Soares-Filho, B., Rajão, R., Macedo, M., Carneiro, A., Costa, W., Coe, M., Rodrigues, H., Alencar, A. Cracking Brazil's Forest Code. *Science*, v. 344, n. 6182, p. 363-364, 2014.

Sohngen, B. Global Timber Market and Forestry data Project. 2007. Disponível em: <http://aede.osu.edu/research/forests-and-land-use/global-timber-market-and-forestry-data-project>. Acesso em 10 de junho de 2017.

Souza et. al. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. *Remote Sensing*, V. 12, n. 17, 10.3390/rs12172735, 2020.

Sparovek, G., Guidotti, V., & Pinto, L. G. Avaliação de condicionantes biofísicas e de uso da terra em cenários de desmatamento zero para o Brasil. In: Qual o impacto do desmatamento zero no Brasil? Instituto Escolhas, pp. 15-36, 2017. Disponível em: https://escolhas.org/wp-content/uploads/2017/10/171027_Relat%C3%B3rio-vFinalsite.pdf. Acesso em 21 de outubro de 2021.

Spera, S.A., Winter, J.M. & Partridge, T.F. Brazilian maize yields negatively affected by climate after land clearing. *Nature Sustainability*, v. 3, p. 845–852, 2020.



PlanaFlor

Análise de impacto da implementação do Código Florestal sobre o PIB e o uso da Terra

Projeto PlanaFlor



Financiamento



Norway's
International Climate
and Forest Initiative