
AVALIAÇÃO DO PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS PARA INCENTIVAR A CONSERVAÇÃO DA MATA NATIVA NO BIOMA CERRADO: UMA ANÁLISE DE EQUILÍBRIO GERAL COMPUTÁVEL

Evaluation of Payment for Environmental Services to encourage the conservation of native forest in Cerrado biome: a computable general equilibrium analysis

Attawan Guerino Locatel Suela

Economista. Doutor em Economia Aplicada. Pós-Doutorando do PPGDMA da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC). Campus Soane Nazaré de Andrade, Km 16 da Rodovia Jorge Amado (BR 415), Bairro Salobrinho, Ilhéus - Bahia, CEP 45662-900. attawan_zull@hotmail.com

Cicero Zanetti de Lima

Economista. Doutor em Economia Aplicada. Pesquisador da Fundação Getúlio Vargas (FGV) – Bioeconomia. Avenida Paulista, 542, 3º andar, Bela Vista, São Paulo/SP, CEP: 01310-000. cicero.lima@fgv.br

Rayan Wolf

Economista. Doutor em Economia Aplicada. Pesquisador Associado de Pós-Doutorado (GTAP). Departamento de Economia Agrícola, Universidade Purdue 403 Mitch Daniels Blvd. KRAN #608 West Lafayette, IN Estados Unidos. rayanwolf@gmail.com

Ian Michael Trotter

Graduação em Informática. Doutor em Economia Aplicada. Professor da Universidade Federal de Viçosa (UFV-DER). Avenida Peter Henry Rolfs, s/n. Campus Universitário – Viçosa/MG, CEP: 36570-900. ian.trotter@gmail.com

Resumo: A provisão de alimentos, fibras, bioenergia e água é vital para a crescente demanda global, mas enfrenta desafios ambientais como desmatamento e perda de habitats. O Brasil, destacado produtor agrícola, deve equilibrar a expansão produtiva com a proteção florestal. O Código Florestal brasileiro, embora protetivo, é parcialmente eficaz em abordar a diversidade dos biomas. A conversão florestal no Cerrado, especialmente no MATOPIBA, demanda soluções imediatas. Esta pesquisa calcula o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) necessário para que produtores aceitem medidas de proteção que impeçam a conversão de Excedente de Reserva Legal em culturas agrícolas. Utilizando o modelo de Equilíbrio Geral Computável *Brazilian Economic Analysis*, foram simulados dois cenários: Base e PSA (BT). No cenário Base, seriam convertidos 400 mil hectares de ERL, enquanto no PSA (BT) a área convertida seria de 191 mil hectares, uma redução de 52%. Financeiramente, a produção de soja no cenário PSA (BT) geraria R\$ 541,2 milhões, e pastagens, R\$ 2,4 bilhões. Esses valores destacam a importância da produção de gado e soja no contexto econômico brasileiro. Os resultados fornecem parâmetros para políticas públicas, enfatizando a necessidade de equilibrar a produção agropecuária com a conservação ambiental, atendendo às necessidades dos produtores e protegendo os ecossistemas.

Palavras-chave: PSA, ERL, MATOPIBA, Centro-Oeste brasileiro.

Abstract: The provision of food, fiber, bioenergy and water is vital for the growing global demand, but it faces environmental challenges such as deforestation and habitat loss. Brazil, a prominent agricultural producer, must balance productive expansion with forest protection. The Brazilian Forest Code, although protective, is partially effective in addressing the diversity of biomes. The forest conversion in the *Cerrado*, especially in *MATOPIBA*, demands immediate solutions. This research calculates the Payment for Environmental Services (PES) necessary for producers to accept protective measures that prevent the conversion of Legal Reserve Surplus into agricultural crops. Using the model of Computable General Equilibrium *Brazilian Economic Analysis*, two scenarios were simulated: Base and PES (BT). In the Base scenario, 400,000 hectares of ERL would be converted, while in the PES (BT) the converted area would be 191,000 hectares, a reduction of 52%. Financially, the soybean production in the PES (BT) scenario would generate R \$ 541.2 million and pastures, R \$ 2.4 billion. These values highlight the importance of livestock and soybean production in the Brazilian economic context. The results provide parameters for public policies, emphasizing the need to balance agricultural production with environmental conservation, meeting the needs of producers and protecting ecosystems.

Keywords: PES, LRS, MATOPIBA, Brazilian Midwest.

1 INTRODUÇÃO

A provisão de alimentos, fibras, bioenergia e água é crucial para atender à crescente demanda global. No entanto, esses processos enfrentam desafios ambientais significativos, como desmatamento, perda de habitats, impactos na biodiversidade e emissões de gases de efeito estufa (GEE) (Sparovek *et al.*, 2018; Xu *et al.*, 2021). No Brasil, um dos maiores produtores e exportadores de commodities, a expansão agrícola pode intensificar a supressão florestal, especialmente se não houver medidas adequadas de proteção (Kalamandeen *et al.*, 2018; Suela, 2024). A preservação da vegetação nativa depende de legislações eficazes, como o Código Florestal brasileiro (CF), que estabelece normas de proteção, mas enfrenta limitações devido à diversidade dos biomas brasileiros (Soterroni *et al.*, 2019; Suela *et al.*, 2023).

No Cerrado, apenas 13% da área é protegida, em contraste com a Amazônia, onde 80% da vegetação em terras privadas deve ser conservada (Brasil, 2012). Medidas como a Moratória da Soja na Amazônia, que proíbe a comercialização de soja cultivada em áreas desmatadas, não têm equivalente no Cerrado, devido à falta de vontade política (Soterroni *et al.*, 2019). A pesquisa foca na região do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (MATOPIBA), onde a supressão florestal aumentou nas últimas duas décadas (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Mapa, 2020; Magalhães *et al.*, 2021). Sem medidas de proteção rigorosas, o Cerrado corre o risco de se tornar uma "zona de amortecimento" para a Amazônia, agravando a degradação ambiental (Fian, 2018; Mapa, 2020; Cabral *et al.*, 2023).

Apesar das metas de redução do desmatamento estabelecidas no Código Florestal e apresentadas nas Conferências das Partes (COP 15, 21 e 23), o MATOPIBA foi responsável por 76% do desmatamento total do Cerrado entre 2015 e 2022 (Solidaridad, 2021; Cabral *et al.*, 2023; Mapbiomas, 2024). A expansão agropecuária na região gera externalidades negativas que afetam a saúde humana, a qualidade dos recursos naturais e o equilíbrio dos ecossistemas (Tietenberg, 2018; Suela *et al.*, 2020). No Brasil, existem 101 milhões de hectares de Excedente de Reserva Legal (ERL), dos quais 37 milhões estão no Cerrado. A não obrigatoriedade de preservação dessas áreas as torna vulneráveis ao desmatamento legal, especialmente em contextos econômicos favoráveis, pois sua supressão é relativamente permitida (Brasil, 2012; Solidaridad, 2021). No MATOPIBA, a ERL é de 16,9 Mha, sendo 4,6 milhões de hectares aptos para a agricultura (Agrosatélite, 2020). A implementação do Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) pode promover a intensificação da produção agrícola ao mesmo tempo que preserva o ERL e, consequentemente, o ecossistema do Cerrado (Solidaridad, 2021).

Em 2017, a sociedade civil e atores privados lançaram o Manifesto do Bioma Cerrado, comprometendo-se a cultivar soja apenas em áreas já desmatadas (Manifesto, 2017). Em 2019, foi proposto o Projeto de Lei nº 4203, que estabeleceria uma moratória de dez anos para o desmatamento no Cerrado (MC). No entanto, grandes empresas do setor de soja resistem a essa moratória, deixando o Cerrado vulnerável (Brasil, 2019). Diante desse cenário, esta pesquisa objetivou calcular o total de PSA necessário para que os produtores do bioma Cerrado, especialmente na região do MATOPIBA, aceitem medidas de proteção que impeçam a conversão de ERL em cultivos como soja, milho e pastagens. Para isso, utilizou-se o modelo de Equilíbrio Geral Computável *Brazilian Economic Analysis* (BREA) (Lima, 2017).

2 CONTEXTUALIZAÇÃO

2.1 Excedente de Reserva Legal (ERL)

O instrumento de compensação de Reserva Legal (RL)¹ previsto no Novo Código Florestal (NCF) permite a transferência de áreas excedentes de RL para compensar déficits em outros imóveis. Proprietários com áreas de RL além do mínimo exigido podem utilizá-las para compensar

¹ Trata-se de uma área de vegetação nativa que deve ser mantida dentro de propriedades rurais no Brasil conforme estabelecido pela Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Lei nº 12.651/2012). Essa área é destinada à conservação dos recursos naturais, à proteção da biodiversidade e à manutenção de processos ecológicos (Brasil, 2012).

RL de imóveis deficitários, desde que esses possuam ocupação antrópica anterior a 22/07/2008 e que as condições do NCF sejam respeitadas (Silveira e Múniz, 2015). A área excedente deve ser registrada no Cadastro Ambiental Rural (CAR)² e aprovada pelo órgão ambiental competente. Essa área pode ser utilizada para compensação de RL através de um contrato que estabelece os direitos e deveres das partes envolvidas, seguindo as regras do NCF (Rajão e Soares-Filho, 2015).

A importância da mata nativa vai além do aspecto econômico. Esta pesquisa através do cálculo do PSA, visa contribuir para estudos sobre externalidades ambientais e fornecer uma melhor compreensão do uso econômico das florestas nativas, ajudando a resolver problemas relacionados a supressão florestal e corroborando com os possíveis desdobramentos da MC.

2.2 Pagamentos por Serviços Ambientais

Desde o final dos anos 1990, os PSAs ganharam destaque como instrumentos de mercado para viabilizar a proteção ambiental, sendo incorporados às políticas públicas de vários países, especialmente na América Latina (Wunder, 2005; Engel *et al.*, 2008). O PSA surgiu como resposta às críticas aos instrumentos de regulação tradicionais e aos projetos integrados de conservação e desenvolvimento dos anos 1970 a 1990 (Pagiola *et al.*, 2002; Pesche *et al.*, 2012).

O PSA visa promover transferências de recursos entre atores sociais para criar incentivos econômicos e alinhar decisões de uso da terra com interesses de promoção do capital natural (Mura-dian *et al.*, 2010). Wunder (2005) define o PSA como uma transação voluntária na qual um serviço ambiental específico é comprado por um comprador de um provedor de serviços, condicionado à prestação do serviço. Pagiola e Platais (2007) acrescentam que os serviços visados são aqueles que fornecem benefícios indiretos, representando externalidades para os fornecedores.

O problema central é que os benefícios econômicos da conservação florestal são frequentemente inferiores aos da conversão para outros usos, como a agricultura. Proprietários de terras muitas vezes não recebem pagamento por serviços ambientais, como regulação hidrológica e sequestro de carbono, beneficiando usuários a jusante e a sociedade global, respectivamente. O PSA transfere parte desses benefícios aos proprietários, tornando a conservação mais atraente, desde que os pagamentos superem os benefícios da conversão e sejam menores que o valor dos serviços para os usuários (Pagiola e Platais, 2007; Engel *et al.*, 2008).

Existem dois tipos principais de programas de PSA: pagos por usuários dos serviços ou por terceiros, geralmente o governo. Programas financiados por usuários tendem a ser mais eficientes devido ao alinhamento de interesses e melhor monitoramento. Em contrapartida, programas governamentais cobrem áreas maiores, mas enfrentam desafios de eficiência devido à falta de informações diretas e múltiplas pressões políticas (Pagiola e Platais, 2007; Engel *et al.*, 2008).

Os serviços ambientais são as contribuições da natureza ao bem-estar humano, com benefícios monetários, culturais ou paisagísticos (Millennium Ecosystem Assessment - MEA, 2005). No Brasil, programas de PSA começaram empiricamente em 2006 em Extrema/MG e se expandiram por várias regiões. Em 2016, o Brasil ratificou o Acordo de Paris, incluindo o PSA em suas auto-determinações (NDC - Contribuição Nacionalmente Determinada) para apoiar na redução de 37% das emissões de GEE até 2025 e 43% até 2030, restaurar 12 Mha de vegetação nativa e fortalecer o cumprimento do NCF e em 2021 o Brasil instituiu a Lei 14.119 de 2021, que regulamenta o PSA (Winkel *et al.*, 2022). Até 2019, o Brasil reduziu 17% das emissões de GEE em relação a 2005 (Sistema de Estimativas de Emissão de Gases do Efeito Estufa -SEEG, 2023). No ritmo atual, a redução será de 30%, abaixo da meta de 37% até 2030 (SEEG, 2023).

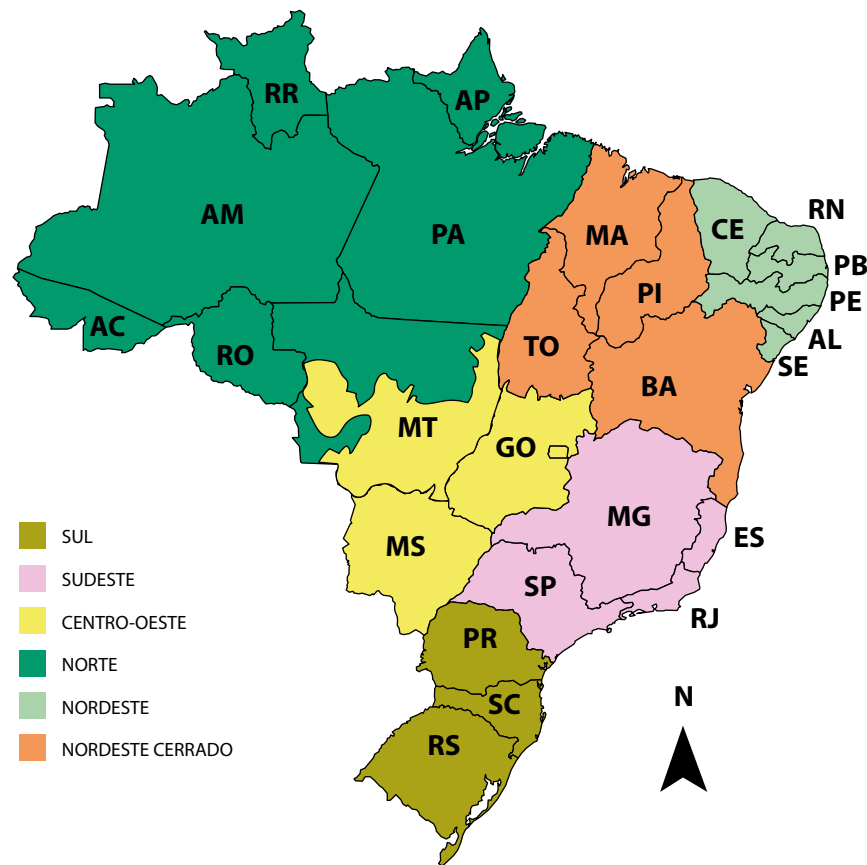
² Refere-se um registro público obrigatório para todos os imóveis rurais no Brasil. O CAR consiste no levantamento de informações georreferenciadas do imóvel, como a delimitação das Áreas de Preservação Permanente (APP), Reserva Legal, remanescentes de vegetação nativa, área rural consolidada e áreas de interesse social e de utilidade pública (Rajão e Soares-Filho, 2015).

3 METODOLOGIA

Os modelos de Equilíbrio Geral Computáveis de (EGC) são representações da economia, em nível global, nacional e/ou regional, estruturados com base em equações que descrevem o comportamento e as interações entre agentes econômicos, como famílias, governo e setor produtivo. Esses modelos permitem simular os impactos de políticas em toda a economia (Rutherford e Paltsev, 2000; Rutherford, 2005).

Modelos EGC são amplamente utilizados em pesquisas sobre políticas climáticas, produção agropecuária, redução do desmatamento e sistemas integrados de produção (Lima e Gurgel, 2018; Stocco *et al.*, 2020). Uma vantagem importante desses modelos é a capacidade de representar a economia inteira, considerando feedbacks micro e macroeconômicos através de ajustes nos preços e quantidades de bens e serviços, bem como nos custos de produção, em resposta a mudanças no equilíbrio, como inovações tecnológicas ou alterações nas preferências de consumo.

Figura 1 – Agregação regional do Brasil no modelo BREA



Fonte: Adaptado de Lima (2017).

O modelo utilizado neste trabalho, o BREA, é estático, multirregional e multissetorial, representando a economia brasileira por meio de seis regiões: Sul, Sudeste, Norte, Nordeste, Centro-Oeste e Nordeste do Cerrado (MATOPIBA) (Lima, 2017). A Figura 1 ilustra como o Brasil é representado na base de dados do modelo. É importante salientar que no modelo BREA, a soma das regiões do Centro-Oeste e MATOPIBA equivale ao bioma Cerrado.

A estrutura de demanda final em cada região inclui gastos públicos e privados, consumo e investimento em bens e serviços. O modelo se baseia na premissa de otimização do consumo e da produção, onde os consumidores, sujeitos a restrições orçamentárias e com preferências contínuas e convexas, buscam maximizar suas funções de utilidade. As funções de demanda resultantes são contínuas e homogêneas de grau zero em relação ao preço, o que significa que apenas preços re-

lativos podem ser determinados. O modelo BREA foi desenvolvido na linguagem de programação *Mathematical Programming System for General Equilibrium* (MPSGE) sob a nomenclatura *GTA-PinGAMS* (Rutherford e Paltsev, 2000; Rutherford, 2005; Lima, 2017).

O modelo foi calibrado para o ano de 2009, projetando informações para 2019, incluindo dados sobre área produtiva, produção e Produto Interno Bruto (PIB), e incorporando um choque entre 2019 e 2030. Assim como outros modelos EGC estáticos, o BREA utiliza informações econômicas e ambientais para análises preditivas. Para alcançar o objetivo deste trabalho dados econômicos e ambientais foram incorporados ao modelo. Esse processo incluiu a atualização dos valores da base de dados referentes ao PIB nacional e sua desagregação por estado, utilizando informações de 2009 a 2019 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística -IBGE, 2020b). Também foram incluídas informações sobre a área plantada, área colhida e valor da produção das principais culturas agrícolas brasileiras, obtidas em nível municipal para o período de 2018 a 2020 (IBGE, 2020d).

O banco de dados sobre mudanças no uso da terra foi construído com dados de qualidade das pastagens, classificadas em três níveis: severamente degradada, degradação intermediária e sem degradação. Essas informações foram coletadas em nível municipal para os anos de 2009, 2010, 2019 e 2020 (Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento – LAPIG, 2024). Uma composição detalhada da ocupação da terra é fundamental para uma análise precisa dos resultados, incluindo informações sobre pastagens, culturas temporárias e permanentes, reserva legal, unidades de conservação, florestas plantadas, terras indígenas, áreas militares, áreas quilombolas, áreas públicas não destinadas, infraestrutura, rios e ERL.

O modelo então, é composto por diferentes bancos de dados, divididos em dois módulos: uso da terra e econômico. No módulo econômico, são utilizadas as Contas Nacionais de 2009 a 2018 fornecidas pelo IBGE (2020b). A tabela de insumo-produto para o Brasil é estimada conforme Guilhoto *et al.* (2010) e desagregada entre todos os municípios brasileiros pelo Núcleo de Economia Regional e Urbana da USP (NEREUS-USP). Os dados resultantes são agregados em 36 setores e três fatores de produção: capital, trabalho e terra como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 – Regiões, setores, categorias primárias e de uso do solo

Regiões	setores		Fatores primários
Sul (STH)	Arroz (RICE)	Óleo de Soja (OSD)	Capital (CAP)
Sudeste (SST)	Milho (CORN)	Alimentos (FOOD)	Trabalho (LAB)
Centro-Oeste (CST)	Cana-de-açúcar (CANE)	Têxtil e Madeira (TEX)	Terra (LND)
Norte (NTH)	Soja (SOY)	Óleo refinado (ROIL)	Terra para cultivo (CROP)
Nordeste (NST)	Fruticultura (FRIT)	Etanol (ETH)	Pasto (PAST)
Nordeste do Cerrado Matopiba (NSTC)	Outras culturas (OCUL)	Química (CHM)	Pasto degradado (DPAS)
	Silvicultura (FRST)	Fertilizante (FERT)	Floresta plantada (PFOR)
	Bovinos (CTTL)	Defensivos (DFN)	Excedente de Reserva Legal (ERL)
	Outros animais vivos (OLA)	Metalurgia (MMI)	Terra não utilizada (UNU*)
	Suínos (SWIN)	Maquinário (MAC)	
	Aves (PTRY)	Outras indústrias (OIND)	
	Leite (MILK)	Eletricidade (ELEC)	
	Óleo (OIL)	Gás canalizado (PGAS)	
	Gás (GAS)	Água (WTR)	
	Ferro Mineral (MIN)	Serviços públicos (PSRV)	
	Carvão (COAL)	Construção (CONS)	
	Extração Mineral (NMM)	Serviços (SERV)	
	Carnes (MEAT)	Transporte (TRNS)	

Fonte: Elaboração própria.

Nota: (*) (Unidades protegidas legalmente) *UNU*: Reserva Legal; Unidades de Conservação; Florestas Plantadas; Terras Indígenas; Áreas Militares; Áreas Quilombolas; Áreas Públicas Não Destinadas; Infraestrutura e Rios.

Para garantir a precisão dos resultados, foram combinados e revisados diversos conjuntos de dados de fontes confiáveis, como IBGE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA), Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) e SOS Mata Atlântica. A integração desses dados, que incluem informações sobre diversos usos da terra e o valor monetário das terras com vegetação nativa, abordou questões importantes como a degradação de pastagens e o ERL. O modelo BREA adota uma abordagem de mercado com preços flexíveis, e não considera o desemprego. Os investimentos e os fluxos de capitais são mantidos fixos, assim como o saldo do balanço de pagamentos, implicando que mudanças nos preços dos bens, nível de atividade e consumo podem influenciar o consumo do governo e a receita proveniente dos impostos.

Com sua estrutura abrangente e capacidade de capturar as relações entre fatores econômicos e mudanças no uso da terra, o modelo BREA é uma ferramenta valiosa para projetar os impactos de diferentes políticas e cenários na economia brasileira e no ambiente. Isso inclui decisões sobre a aplicação do PSA e seus respectivos valores econômicos, permitindo uma tomada de decisão mais informada e fundamentada.

3.1 Aprimoramento e validação histórica no modelo BREA

A inclusão do mapeamento das pastagens degradadas no Brasil para os anos de 2009-2010 e 2019-2020 aprimora a análise do modelo BREA sobre os impactos econômicos e ambientais da degradação das pastagens. Esses dados permitem identificar as regiões mais afetadas pela degradação, fornecendo informações importantes para entender as disparidades regionais na produtividade agrícola e nas práticas de uso da terra. No entanto, a conversão ou recuperação de pastagens degradadas em áreas produtivas não foi abordada, pois não é o foco principal deste estudo. Essas informações possibilitam avaliar o impacto de políticas agrícolas, incentivos financeiros como os PSAs e estratégias de manejo sustentável, visando combater os impactos ambientais negativos e estimular o desenvolvimento econômico equilibrado.

O BREA foi desenvolvido com o mapeamento do uso da terra, abrangendo categorias como áreas de reserva legal (ERL), unidades protegidas legalmente (UNUs), terras para cultivo (temporário e permanente), pastagens (boas e degradadas) e florestas plantadas. A inclusão de áreas UNUs e o mapeamento de áreas ERL permitem uma análise detalhada dos impactos econômicos e ambientais do uso da terra, considerando os custos de conversão e produtividade.

A validação histórica de um modelo de equilíbrio geral envolve comparar as previsões do modelo com dados reais do passado (Guilhoto *et al.*, 2010). Modelos estáticos são utilizados para analisar economias em dois momentos específicos no tempo, semelhantes às análises estático-comparativas dos modelos de equilíbrio parcial, mas em um contexto de equilíbrio geral. Em uma análise de curto prazo, assume-se que o estoque de capital não se ajusta completamente e pode ser fixado exogenamente na simulação, ajustando as taxas de retorno ao capital ao estoque fixo (Rutherford; Paltsev, 2000; Rutherford, 2005; Guilhoto *et al.*, 2010).

Em um prazo intermediário, o estoque total de capital é fixo, mas pode ser realocado entre diferentes atividades industriais conforme as rentabilidades relativas. No longo prazo, quando os efeitos transitórios são eliminados, a taxa de retorno ao capital nas diferentes indústrias é estabelecida sob a suposição de convergência, e tanto o estoque de capital por indústria quanto o agregado são determinados pelo modelo. Os valores dos parâmetros, como elasticidades de substituição, dependem do horizonte temporal considerado. O modelo analisa apenas um período futuro, sem fornecer informações sobre a evolução temporal da economia, o que ajuda a avaliar o desempenho do modelo em replicar o comportamento do sistema econômico em períodos anteriores (Rutherford; Paltsev, 2000; Rutherford, 2005; Guilhoto *et al.*, 2010).

A validação histórica do modelo BREA foi essencial para avaliar a precisão e confiabilidade do modelo em análises de políticas relacionadas ao uso da terra, ao Produto Interno Bruto (PIB), à

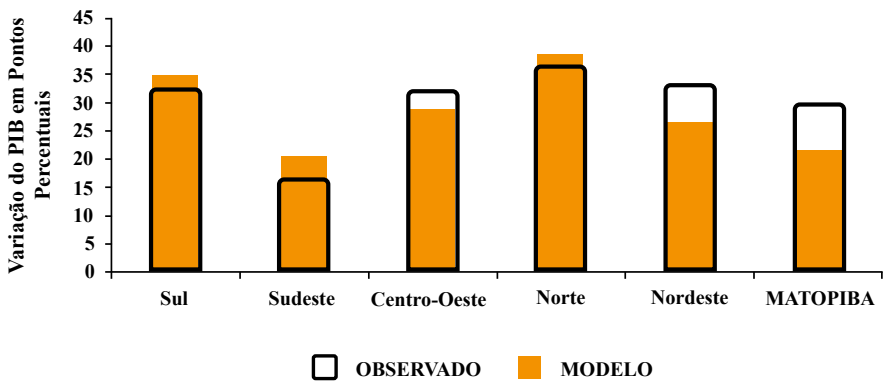
produção agropecuária e outros setores produtivos no Brasil. Esse processo possibilitou verificar o grau de fidelidade do modelo em replicar padrões de comportamento do sistema econômico. Dados históricos de 2009 a 2020, abrangendo usos da terra, tendências do PIB, produção agropecuária e outras variáveis econômicas, foram utilizados como referência para comparação com as previsões do modelo.

Com esses dados, assegurou-se que as hipóteses do modelo estivessem corretamente especificadas, abrangendo equações, parâmetros e variáveis essenciais para a representação precisa do sistema econômico brasileiro. A calibração inicial do modelo BREA, baseada nos dados históricos, permitiu ajustar parâmetros e equações para garantir que as previsões refletissem de forma precisa as condições reais de 2009 a 2020. Nessa etapa, o modelo demonstrou habilidade em prever quase precisamente as tendências observadas nos diversos setores e regiões específicas.

A Figura 3 mostra que o modelo foi calibrado de forma eficaz para o ano de 2019, que serviu como ano base para a pesquisa e como referência para as simulações de 2030. Os dados apresentados na figura referem-se PIB e estão expressos em pontos percentuais, conforme modelados pelo BREA.

Conforme observado na Figura 2, o modelo apresentou resultados mais precisos em regiões mais agregadas, como Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Norte, com uma variação de erro entre -2 e 4 pontos percentuais em relação aos dados observados. No entanto, os impactos foram mais significativos em regiões menos desagregadas, como Nordeste e MATOPIBA, destacando um problema recorrente em pesquisas com bases de dados semelhantes às deste estudo. Quando os dados precisam ser mais detalhados, podem ocorrer erros em sua determinação, como evidenciado na Figura 3, onde as regiões Norte e MATOPIBA apresentam variações de até 7 pontos percentuais, sendo as mais detalhadas do modelo.

Figura 2 – Calibração do Modelo BREA referente ao ano de 2019



Fonte: Elaboração própria.

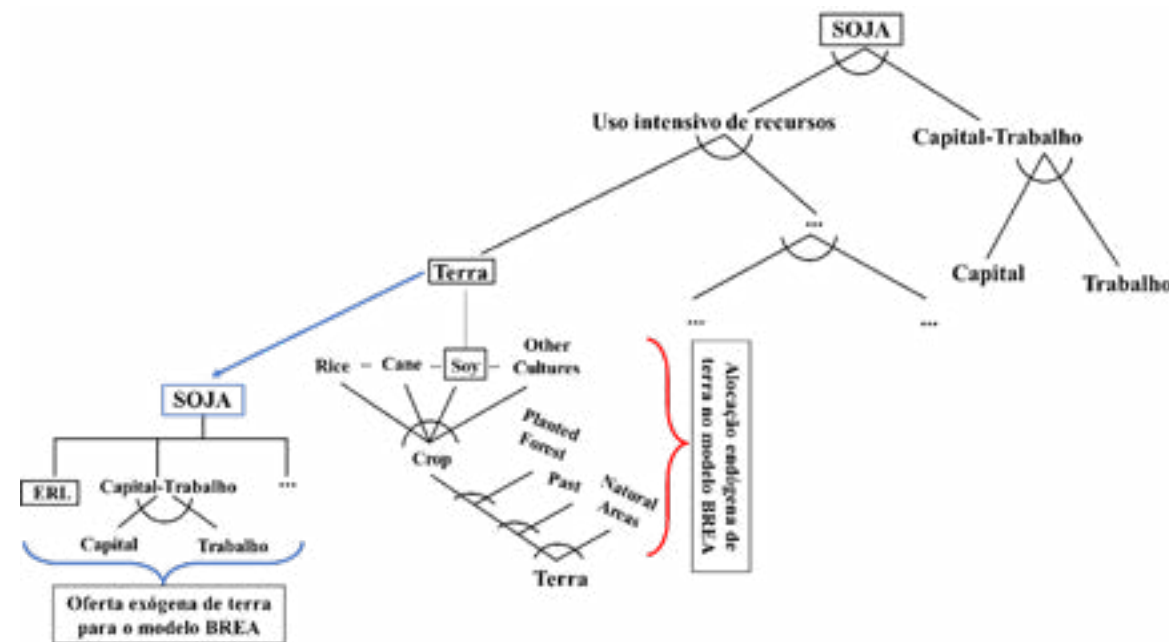
É importante ressaltar que, ao expandir as projeções para além de 2030, as respostas geradas pelo modelo começaram a revelar uma confiabilidade reduzida. Isso indica que, apesar do bom desempenho na validação histórica até 2020, o modelo encontra limitações em sua capacidade de prever cenários econômicos à medida que se distancia do conjunto de dados históricos.

3.2 Instrumento econômico para incentivar a conservação florestal (PSA)

Ao analisar o uso do ERL no modelo, como exemplificado na Figura 3, observa-se que a produção de soja, por exemplo, requer capital, trabalho e, notavelmente, recursos naturais, especialmente terra. O modelo BREA divide a oferta endógena de terra adequada para produção em áreas cultiváveis, pastagens e florestas plantadas. Portanto, a produção de soja depende dessas áreas cultiváveis. Se houver necessidade de expandir a produção de soja, será necessário converter áreas

produtivas de outros cultivos, como arroz ou cana-de-açúcar, para soja. No entanto, é importante salientar que esta pesquisa não permite a conversão das áreas UNUs.

Figura 3 – Composição para o PSA



Fonte: Elaboração própria.

A Figura 3 mostra como as áreas de ERL são convertidas em áreas de uso agrícola, como soja, milho ou pastagem. O ERL é considerado exógeno no modelo e, por não ser protegido legalmente, pode ser convertido para produção agropecuária, ampliando assim a área produtiva brasileira. Os custos de conversão do ERL em produção de pastagens, milho e soja estão detalhados na Tabela A.1 (Apêndice A).

3.3 Cenários simulados

Os exercícios de simulação envolvem dois cenários: o cenário Base (referencial) e o cenário que inclui a análise relacionada ao PSA. O modelo BREA, conforme descrito anteriormente, passou por um processo de calibração em 2009, seguido por projeções até 2019 e um choque no período de 2019 a 2030. Nesse processo, foi conduzida uma avaliação dos impactos econômicos relacionados ao uso parcial do ERL.

- **Cenário Base** (referência ou baseline): reflete uma trajetória do tipo business-as-usual dado o comportamento esperado de diversas variáveis econômicas (PIB, investimento, consumo, exportações). Neste cenário não há restrição sobre as áreas de vegetação nativa (ERL e UNU), assim, no cenário base é permitido a conversão dessas áreas para outros usos.
- **Cenário PSA (BT) para Produção de Soja, Milho e Pastagens em Áreas de ERL:** Neste cenário, apenas a quantidade de novas áreas produtivas para a produção de soja, milho e pastagens em áreas de ERL foi simulada. O objetivo é avaliar a quantidade de áreas florestais convertidas para essas três culturas até 2030.

O "Cenário Base" serviu como ponto de referência, considerando o comportamento esperado das variáveis econômicas e permitindo o uso total das áreas de ERL e áreas UNU para alcançar os resultados previstos em 2030. O cenário PSA (BT) explorou estratégias de implementação do PSA voltadas para culturas específicas, soja, milho e pastagens. Nesse contexto, o modelo BREA em-

prega a análise de choques, impondo restrições ao uso das florestas. Isso inclui a implementação de políticas para limitar o desmatamento, restringir a conversão de áreas florestais para outros fins ou aplicar regulamentações diretas às florestas. A aplicação desses choques permite a avaliação de como essas políticas influenciam variáveis essenciais, como a produção agrícola, o uso da terra, as taxas de desmatamento e os indicadores econômicos.

O fechamento macroeconômico é uma etapa crucial na modelagem de EGC. As principais premissas incluem a fixação da oferta dos fatores de produção, sem mobilidade de capital e trabalho entre regiões; a terra é um fator específico dos setores agropecuários e também não tem mobilidade; não há desemprego e os preços dos fatores são flexíveis; o nível de investimento e o saldo do balanço de pagamentos são fixos, com ajustes na taxa de câmbio real para acomodar as mudanças de exportação e importação. As despesas do governo se ajustam conforme mudanças nos preços e na receita tributária relacionada à produção e consumo. As mudanças no uso da terra são projetadas com base nos custos de demanda e produção, mas o modelo pode não refletir exatamente a tendência observada de uso da terra no Brasil e suas regiões.

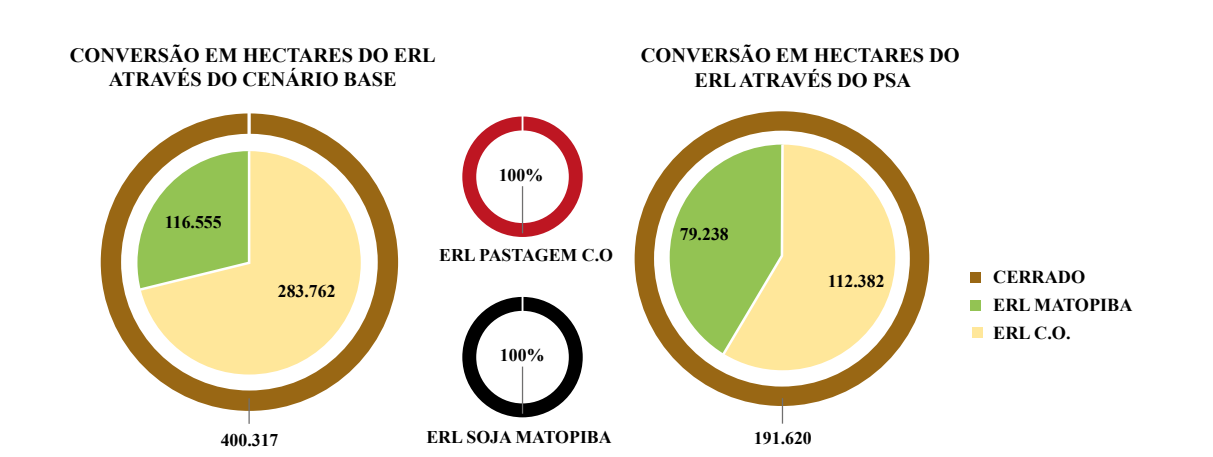
4 RESULTADOS

Uma representação mais precisa da terra nas estruturas de Equilíbrio Geral Computável (EGC) permite investigar seu uso como insumo para atividades econômicas e as consequências ambientais resultantes. Isso é possível porque áreas naturais, incluindo florestas e terras não florestais, estão incluídas na base de dados. As mudanças no uso da terra são impulsionadas pela demanda por alimentos, combustíveis e fibras, pela necessidade de conservação ambiental e pela aptidão agrícola das áreas. Diante disso, analisou-se o valor do PSA necessário para tornar os produtores indiferentes à conversão do seu ERL. Estabelecer um valor econômico que leve em consideração os custos de produção pode apoiar a Lei 14.119 de 2021, que regulamenta o PSA no Brasil (Winkel *et al.*, 2022).

Para simular o valor do Pagamento de Serviços Ambientais (PSA) para todo o país, elaborou-se um cenário focado na perda florestal do ERL destinada à produção agropecuária, denominado PSA (BT), visando evitar a conversão das áreas UNUs e permitindo a conversão apenas do ERL. Foram considerados os custos de aquisição de terras florestais e sua transformação em culturas agropecuárias, detalhados no Apêndice A. A pesquisa focou na conversão do ERL para a produção de soja, milho e pastagens, devido aos altos níveis de desmatamento no bioma Cerrado (Nepstad *et al.*, 2019; Magalhães *et al.*, 2020) e às ações da MC, que visam acabar com a produção de soja em áreas desmatadas a partir de 2020 (Brasil, 2019). A produção de milho foi incluída pelo sistema de safra e safrinha, mas não houve conversão de ERL para o milho. As pastagens foram escolhidas pela possível extensão das barreiras impeditivas para a produção de carne bovina que já ocorreram também na região norte do país devido a Moratória da soja na Amazônia.

A Figura 4 apresenta o total de ERL convertidos para a produção de soja e pastagens no bioma Cerrado (Centro-Oeste e MATOPIBA), nos cenários Base e PSA (BT). Os dados somam as áreas de soja e pastagens no Cerrado, permitindo observar a diferença percentual entre as culturas. No cenário Base, que não possui medidas de proteção, seriam convertidos aproximadamente 400 mil hectares de ERL, o que resulta em menos atitudes pró-ambientais e maior conversão de ERL para a produção de soja e pastagens em 2030. No cenário PSA (BT), que permite a conversão apenas do ERL para soja, milho e pastagens, a área convertida seria de aproximadamente 191 mil hectares de ERL em 2030, uma redução de 52% devido às restrições ao desmatamento.

Figura 4 – Conversão do ERL referente ao PSA (BT) e Base

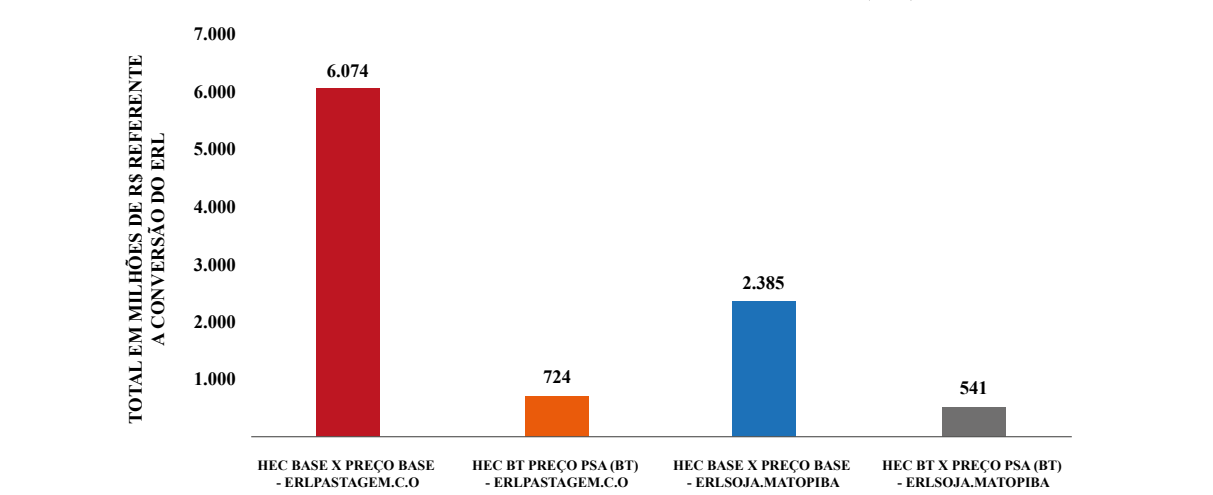


Fonte: Elaboração própria.

A Figura 4 também apresenta que a maior conversão florestal no Cerrado ocorre para a produção de pastagens em ambos os cenários. Isso indica que o Centro-Oeste se especializaria na produção de proteína animal em 2030, com maior foco na conversão de ERL para novas áreas de pastagens. Por outro lado, o MATOPIBA continuaria convertendo ERL para a produção de soja, mantendo seu crescimento e especialização nessa cultura. Esse resultado confirma o que foi discutido em outras seções, indicando que com o desenvolvimento da área agrícola do Cerrado, o MATOPIBA se especializaria na produção de soja, corroborando com a aplicação da MC para evitar novas conversões florestais para esse cultivo (Brasil, 2019; Soterroni *et al.*, 2019).

Para a análise financeira do PSA, esta pesquisa considerou os cenários PSA (BT) e Base, que envolvem a conversão do ERL apenas para a produção de soja, milho e pastagens. Ressalta-se que o modelo não identificou a conversão de novas áreas para a produção de milho. A Figura 5 apresenta os valores que os produtores obteriam em 2030 ao comercializar soja ou gado no país, considerando ambos os cenários. Os valores referem-se à produção de gado, uma vez que a pastagem é utilizada diretamente como alimento para os animais. No cenário PSA (BT), os produtores gerariam aproximadamente R\$ 541,2 milhões com a produção de soja em uma área total de 79 mil hectares no Cerrado, sendo a produção predominantemente na região do MATOPIBA. Isso destaca a importância dessa região para a produção de soja e seu impacto no PIB brasileiro. Para a produção de pastagens, o modelo simulou um montante de aproximadamente R\$ 2,4 bilhões em uma área total de 112 mil hectares.

Figura 5 – Valores do PSA total que poderiam tornar os produtores indiferentes em relação a converter ou não suas áreas de ERL nos cenários Base e PSA (BT)

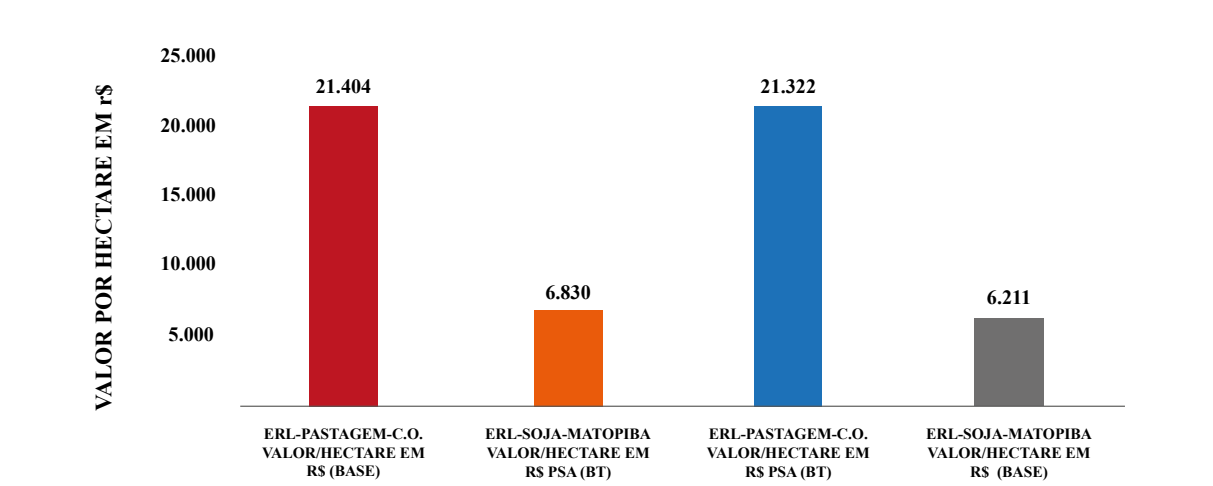


Fonte: Elaboração própria.

No cenário Base, a produção de soja no Cerrado resultaria em cerca de R\$ 724 milhões, abrangendo uma área de aproximadamente 116,5 mil hectares, enquanto a produção de pastagens geraria cerca de R\$ 6 bilhões em uma área próxima a 283 Mha, ver Figura 5. Esses valores evidenciam a relevância da produção de gado no contexto agrícola e econômico brasileiro, demonstrando o potencial da produção de pastagens como uma fonte significativa de receita para os produtores, tanto no cenário PSA (BT) quanto no cenário Base.

A Figura 6 apresenta os valores em reais por hectare por ano (ha/ano) que os produtores obteriam em 2030 nas regiões do Centro-Oeste e MATOPIBA, considerando as culturas de soja e pastagens isoladamente, nos cenários PSA (BT) e Base. Observa-se que a produção de soja na região Centro-Oeste é incipiente em ambos os cenários, enquanto no MATOPIBA a conversão de ERL para a produção de pastagens é inexistente em ambos os casos.

Figura 6 – Valor ganho por hectare de soja e pastagens em 2030 para os cenários Base e PSA (BT)



Fonte: Elaboração própria.

Na Figura 6, nota-se que os valores diferem entre as culturas e os cenários. No MATOPIBA, caso o cenário PSA (BT) fosse consolidado, os produtores receberiam aproximadamente 10% a mais em relação ao cenário Base. Isso sugere que, com alternativas mais rentáveis e ações pró-ambientais mais proeminentes, os produtores poderiam ter maior propensão à conservação ambiental. Em relação à produção de pastagens, que ocorreu apenas no Centro-Oeste, os valores que os produtores receberiam em ambos os cenários ficaram muito próximos: o cenário Base apresentou R\$ 21.404,00/ha/ano, e o cenário PSA (BT) apresentou R\$ 21.322,00/ha/ano, apenas 0,4% menor.

Diferente da produção de soja no MATOPIBA, onde os produtores receberiam mais no cenário PSA, incentivando ações pró-ambientais, a produção de pastagens no Centro-Oeste não apresentou a mesma tendência. Contudo, ao adotar o cenário PSA (BT), os produtores optariam por ações pró-ambientais, e o impacto financeiro seria mínimo, o que poderia incentivá-los a conservar as florestas. Além disso, as ações do PSA precisam do apoio governamental não apenas financeiro, mas também de outras políticas públicas atreladas ao extensionismo rural, ressaltando a importância da preservação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa abordou, por meio de argumentos teóricos, a problemática da conversão florestal no Cerrado e mais especificamente na região de fronteira agrícola, o MATOPIBA. Utilizando o modelo EGC, BREA, o qual possui uma representação detalhada dos setores agropecuários e diversas categorias de usos da terra, o estudo buscou fundamentos tanto na teoria quanto em contribuições qualitativas sobre preferências e possibilidades de políticas.

O foco principal da pesquisa foi quantificar um mecanismo de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) no Excedente de Reserva Legal (ERL) no Cerrado, com especial atenção para a região do MATOPIBA até o ano de 2030. Essa abordagem integrada, que combina teoria econômica, representação detalhada dos setores e considerações sobre políticas ambientais, visa compreender e enfrentar os desafios associados à preservação ambiental e ao desenvolvimento econômico nas áreas de fronteira agrícola. Vale ressaltar que o problema de pesquisa que orientou este estudo questiona a respeito da MC, que pode vir a ocorrer em um futuro próximo.

Dessa forma, iniciativas como o Plano de Agricultura de Baixo Carbono (Plano ABC), o programa REDD, e a Lei 14.119 de 2021, que estabelece as diretrizes do PSA, têm o potencial de apoiar os produtores que ainda detêm áreas florestais em suas propriedades. Esta pesquisa simulou os valores capazes de tornar os produtores/detentores de terra indiferentes em converter ou não suas áreas de florestas nativas compostas pelo ERL no bioma Cerrado.

Os valores de PSA no Cerrado, para o cenário PSA (BT), variariam entre 6.830,00 ha/ano e 21.404,00 ha/ano para a produção de soja e pastagem. Os agentes representativos não converteriam florestas nativas da região Centro-Oeste para a produção de soja; no entanto, ocorreria conversão na região do MATOPIBA, logo, no bioma Cerrado. Para o MATOPIBA, o modelo simulou o valor de 6.830,00 ha/ano, que deveria ser pago aos produtores para que se tornassem indiferentes entre converter ou não o seu ERL em novas áreas produtivas. Em relação à produção de pastagens, o MATOPIBA não apresentou conversão florestal para esse fim, porém, o Centro-Oeste sim, e o valor do PSA simulado para que o produtor/detentor de terra se tornasse indiferente foi de 21.322,00 ha/ano.

Cabe ressaltar que os valores calculados representam uma alternativa, na qual os tomadores de decisão poderão utilizar como parâmetros para futuras políticas públicas. É inegável que *o trade-off* entre aumentar a produção agropecuária e não converter novas áreas de floresta nativa precisa levar em consideração as necessidades do produtor rural. Esta pesquisa abordou superficialmente essa questão complexa, com a perspectiva de que essas contribuições possam ter um impacto positivo. No entanto, ainda existem inúmeras questões em aberto a serem exploradas, muitas delas não resolvidas, exigindo assim muito trabalho a ser feito nos temas relacionados à proteção florestal.

REFERÊNCIAS

AGROSATÉLITE GEOTECNOLOGIA APLICADA LTDA. **Análise Geoespacial da Soja no Bioma Cerrado: Dinâmica da Expansão** | Aptidão Agrícola da Soja | Sistema De Avaliação Para Compensação Financeira: 2001 a 2019. - Florianópolis, 60 p.: il. 2020.

BRASIL. **Projeto de Lei nº 4203, de 2019**. Acesso em 05 de junho de 2024. Disponível em <<https://legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento?dm=7982420&ts=1630421338863&disposition=inline>> 2019.

_____. **Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Disponível em: L12651 (planalto.gov.br). Acesso em 01 de maio de 2024.

CABRAL, L.; SAUER, S.; SHANKLAND, A. **Introduction: Reclaiming the Cerrado—A Territorial Account of a Disputed Frontier**. v. 54. n. 1. p. 18. 2023.

CAETANO BACHA, C. J.; STEGE, A. L.; HARBS, R. Ciclos de preços de terras agrícolas no Brasil. **Revista de Política Agrícola**, v. 25, n. 4, p. 18-37, 2016.

COELHO, N. R. et al. Panorama das iniciativas de pagamento por serviços ambientais hídricos no Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, p. 409-415, 2021.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de grãos**, v. 8 – Safra 2020/21, n. 1 - Primeiro levantamento, Brasília, p. 1-77, outubro. 2020.

DA SILVA, G. et al. Assessing the Impact of the ABC Cerrado Project. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 51, p. e66399-e66399, 2021.

DOS SANTOS PEREIRA, H.et al. Potential Economic Effectiveness of Payment for Environmental Services in a Protected Area in the State of Amazonas (Brazil). **Revista de Estudios Brasileños**, v. 8, n. 16, p. 69, 2021.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira**. Brasília, DF. p. 212. 2018.

ENGEL, S.; PAGIOLA, S.; WUNDER, S. Designing payments for environmental services in theory and practice: An overview of the issues. **Ecological Economics**, v. 65, p. 663-674. 2008.

FIAN INTERNACIONAL. **The Human and Environmental Cost of Land Business The case of MATOPIBA**, Brazil. 2018.

GUERRA, B. R. et al. Panorama das publicações científicas sobre Pagamentos por Serviços Ambientais no Brasil. **Ambiente & Sociedade**, v. 27, p. e01012, 2024.

GUILHOTO, J. et al. **Estimação da Matriz Insumo-Produto Utilizando Dados Preliminares das Contas Nacionais: Aplicação e Análise de Indicadores Econômicos para o Brasil em 2005**. Available at SSRN 1836495, 2010.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema de Contas Regionais**. Rio de Janeiro, 2020b. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9054-contas-regionais-do-brasil.html?edicao=32020&t=resultados>>. Acesso em 12 de maio de 2024.

_____. **Produção Agrícola Municipal**. Rio de Janeiro, 2020d. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?edicao=25369&t=destaques>>. Acesso em 12 de maio de 2024.

KALAMANDEEN, M. et al. Pervasive rise of small-scale deforestation in Amazonia. **Scientific reports**, v. 8, n. 1, p. 1-10, 2018.

LAPIG - LABORATÓRIO DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS E GEOPROCESSAMENTO. **Atlas Digital das Pastagens Brasileiras**. 2020. Disponível em: <<http://atlasdaspastagens.ufg.br/>>. Acessado em 19 Maio 2024.

LIMA C. Z. Impacts of Low Carbon Agriculture in Brazil: a CGE application. 2017. 113f. **Tese** (Doutorado em Economia Aplicada) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. 2017.

LIMA C. Z., GURGEL A. C. **The role of double cropping modeling for policy assessment in Brazil**. *In*: 21th GTAP CONFERENCE. p. 19, 2018.

MACA-MILLÁN, S.; ARIAS-ARÉVALO, P.; RESTREPO-PLAZA, L. Payment for ecosystem services and motivational crowding: Experimental insights regarding the integration of plural values via non-monetary incentives. **Ecosystem Services**, v. 52, p. 101375, 2021.

MAGALHÃES, I. B. et al. Brazilian Cerrado and Soy moratorium: Effects on biome preservation and consequences on grain production. **Land use policy**, v. 99, p. 105030, 2020.

MANIFESTO, **Cerrado The Future of the Cerrado in the Hands of the Market: Deforestation and Native Vegetation Conversion must be Stopped**. 2017. http://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/cerradoconversionzero_sept2017_2.pdf.

MAPA MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Brasil **Projeções do Agronegócio 2019/2020 a 2029/2030**. 2020.

MAPBIOMAS. **Desmatamento**. Acesso em <<https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>>. Acessado em 30 de abril de 2024.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. Ecosystems and human well-being: wetlands and water. **World resources institute**, 2005.

MURADIAN, R.; CORBERA, E.; PASCUAL, U.; KOSOY, N.; MAY, P. H. Reconciling theory and practice: An alternative conceptual framework for understanding payments for environmental services. **Ecological Economics**, v. 69, p. 1202-1208. 2010.

NEPSTAD, L. S. et al. Pathways for recent Cerrado soybean expansion: extending the soy moratorium and implementing integrated crop livestock systems with soybeans. **Environmental Research Letters**, v. 14, n. 4, p. 044029, 2019.

PAGIOLA, S.; BISHOP, J.; LANDELL-MILLS, N. **Selling forest environmental services: market-based mechanisms for conservation and development**, London, UK: Earthscan. 2002.

PAGIOLA, S.; PLATAIS, G. **Payments for Environmental Services: From Theory to Practice**. Washington: World Bank. 2007.

PAGIOLA, S.; HONEY-ROSÉS, J.; FREIRE-GONZÁLEZ, J. **Evaluation of the permanence of land use change induced by payments for environmental services in Quindío, Colombia**. PloS one, v. 11, n. 3, p. e0147829, 2016.

PESCHE, D.; MÉRAL, P.; HRABANSKI, M.; BONNIN, M. Ecosystem services: emergence of new paradigms within the economics of ecosystem. In: MURADIAN, R.; RIVAL, L. (eds.) **Governing the provision of environmental services**. Springer. 2012.

POLIZEL, S. P. et al. Analysing the dynamics of land use in the context of current conservation policies and land tenure in the Cerrado–MATOPIBA region (Brazil). **Land Use Policy**, v. 109, p. 105713, 2021.

POMPEU, N.; VILPOUX, O. F. Who wants to pay for Pantanal? Experiences of payment for environmental services in the preservation of a single biome. **Environmental Development**, v. 47, p. 100903, 2023.

RAJÃO, R.; SOARES-FILHO, B. **Cotas de reserva ambiental (CRA): potencial e viabilidade econômica do mercado no Brasil**. Belo Horizonte, 2015.

RICHETTI, A. Viabilidade econômica da cultura da soja para a safra 2021/2022, em Mato Grosso do Sul. **Embrapa Agropecuária Oeste-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2021.

RUTHERFORD T. F.; PATSEV S. V. **GTAPinGAMS and GTAP-EG: global datasets for economic reserach and illustrative models**. 2000.

RUTHERFORD T. F. **GTAP6inGAMS: The dataset and static model**. Disponível em: <http://www.mpsge.org/gtap6/gtap6gams.pdf>. 2005.

SEEG - SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA. **Análise das emissões de 2023 1970-2022 gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil**. Período 1970 – 2022. Brasília. 2023.

SOLIDARIDAD. **Potencial regional de expansão da soja no MATOPIBA**; São Paulo. 2021.

SOTERRONI, A. C. et al. Expanding the soy moratorium to Brazil’s Cerrado. **Science advances**, v. 5, n. 7, p. eaav7336, 2019.

SPAROVEK, G. et al. Asymmetries of cattle and crop productivity and efficiency during Brazil’s agricultural expansion from 1975 to 2006. **Elementa: Science of the Anthropocene**, v. 6, 2018.

SPAROVEK, G. et al. Who owns Brazilian lands? **Land Use Policy**, v. 87, p. 104062, 2019.

STOCCO, L.; SOUZA FERREIRA FILHO, J. B.; HORRIDGE, M. **Closing the Yield Gap in Livestock Production in Brazil: New Results and Emissions Insights. In: Environmental Economics and Computable General Equilibrium Analysis**. Springer, Singapore. p. 153-170. 2020.

SUELA, A. G. L. et al. Conhecimento, percepção climática e comportamento pró-ambiental na agricultura. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 51, n. 3, p. 193-206, 2020.

SUELA, A. G. L. et al. Análise de impacto econômico e relações setoriais entre MATOPIBA e o restante do brasil: uma abordagem por insumo-produto. **Informe GEPEC**, v. 26, n. 1, p. 62-86, 2021.

SUELA, A. G. L. et al. Impact of gross domestic product growth on Brazilian native forests: a computable general balance analysis. **Informe Gepec**, v. 27, n. 1, p. 228-245, 2023.

SUELA, A. G. L. Análise econômica da conversão de florestas nativas e seu impacto no PIB do Brasil até 2030. **Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 3, p. e3054-e3054, 2024a.

SUELA, A. G. L. et al. Análise comparativa das emissões de gases de efeito estufa nas regiões do SEALBA e MATOPIBA. **Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 9, p. e7410-e7410, 2024b.

SUELA, A. G. L. et al. SEALBA: uma análise a partir da aplicação da matriz de insumo-produto. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 16, n. 1, p. e4556-e4556, 2025.

TIETENBERG, T.; LEWIS, L. **Environmental and natural resource economics**. Routledge, 2018.

WINKEL, G. et al. Governing Europe's forests for multiple ecosystem services: Opportunities, challenges, and policy options. **Forest Policy and Economics**, v. 145, p. 102849, 2022.

WUNDER, S. Payments for environmental services: some nuts and bolts., Bogor, Indonesia: CIFOR Occasional Paper No. 42. **Center for International Forestry research**. 2005.

XU, J. et al. Double cropping and cropland expansion boost grain production in Brazil. **Nature Food**, v. 2, n. 4, p. 264-273, 2021.

APÊNDICE A – TABELA A.1 - VALORES DA TERRA COM VEGETAÇÃO NATIVA POR HECTARE E OS CUSTOS PARA CONVERSÃO EM PASTAGEM, MILHO OU SOJA (ERL)

Custos de Conversão dos ERLs	REGIÕES BRASILEIRAS											
	SUL				CENTRO-OESTE				NORDESTE			
	SOJA	PASTO	MILHO		SOJA	PASTO	MILHO		SOJA	PASTO	MILHO	
	FERTILIZANTES	7,1%	8,3%	4,3%	FERTILIZANTES	10,6%	13,5%	6,9%	FERTILIZANTES	16,2%	24,0%	11,7%
FERTILIZANTES	DEFENSIVOS	4,9%	0,0%	2,4%	DEFENSIVOS	7,3%	0,0%	3,7%	DEFENSIVOS	11,1%	0,0%	6,3%
DEFENSIVOS	QUIMICOS	1,1%	1,2%	1,4%	QUÍMICOS	1,6%	2,0%	2,2%	QUIMICOS	2,4%	3,6%	3,7%
QUÍMICOS	CAPITAL	14,8%	7,3%	12,1%	CAPITAL	22,2%	11,9%	19,2%	CAPITAL	33,9%	21,1%	32,5%
CAPITAL	TRABALHO	2,6%	2,1%	2,0%	TRABALHO	3,8%	3,4%	3,2%	TRABALHO	5,8%	6,0%	5,4%
Sementes	TERRA	67,4%	78,6%	75,4%	TERRA	51,3%	65,1%	60,9%	TERRA	25,6%	37,9%	33,8%
Custos administrativos	SERVIÇOS	2,2%	2,5%	2,4%	SERVIÇOS	3,2%	4,1%	3,8%	SERVIÇOS	4,9%	7,3%	6,5%
Manutenção	SUDESTE				NORTE				MATOPIBA			
Depreciação	SOJA	PASTO	MILHO		SOJA	PASTO	MILHO		SOJA	PASTO	MILHO	
Custo de oportunidade	FERTILIZANTES	10,7%	13,7%	7,0%	FERTILIZANTES	17,4%	26,7%	12,9%	FERTILIZANTES	12,3%	16,4%	8,3%
Tratores hora/máquina	DEFENSIVOS	7,4%	0,0%	3,8%	DEFENSIVOS	12,0%	0,0%	7,0%	DEFENSIVOS	8,5%	0,0%	4,5%
TRABALHO	QUIMICOS	1,6%	2,0%	2,2%	QUIMICOS	2,6%	4,0%	4,0%	QUIMICOS	1,8%	2,4%	2,6%
SERVIÇOS	CAPITAL	22,4%	12,0%	19,4%	CAPITAL	36,4%	23,5%	35,8%	CAPITAL	25,7%	14,4%	22,9%
Autorização de	TRABALHO	3,9%	3,4%	3,2%	TRABALHO	6,3%	6,7%	6,0%	TRABALHO	4,4%	4,1%	3,8%
Supressão Vegetal (ASV)	TERRA	50,8%	64,7%	60,5%	TERRA	20,1%	30,9%	27,2%	TERRA	43,5%	57,7%	53,3%
	SERVIÇOS	3,3%	4,1%	3,9%	SERVIÇOS	5,3%	8,1%	7,1%	SERVIÇOS	3,7%	5,0%	4,6%

Fonte: Elaboração Própria a partir, Caetano Bacha *et al.* (2016) e Richetti (2021).