

Custo de oportunidade e eficiência técnica-ambiental das áreas de reserva legal no bioma Amazônia

Opportunity cost and technical-environmental efficiency of legal reserve areas in the Amazon biome

Daniela Tatiane de Souza^{1*} , Samuel Alex Coelho Campos² , Paulo Roberto Rodrigues Martinho¹ , Fernando Antônio de Pádua Paim¹ , Carlos Cesar Ronquim¹ 

¹Embrapa Territorial, Campinas (SP), Brasil. E-mails: daniela.souza@embrapa.br; paulo.martinho@embrapa.br; fernando.paim@embrapa.br; carlos.ronquim@embrapa.br

²Universidade Federal Fluminense (UFF), Campos dos Goytacazes (RJ), Brasil. E-mail: samuelcampos@id.uff.br

Como citar: Souza, D. T., Campos, S. A. C., Martinho, P. R. R., Paim, F. A. P., Ronquim, C. C. (2025). Custo de oportunidade e eficiência técnica-ambiental das áreas de reserva legal no bioma Amazônia. Revista de Economia e Sociologia Rural, 63, e296905. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2025.296905>

Resumo: Este estudo estima os custos de oportunidade associados à manutenção da reserva legal no bioma Amazônia, conforme exigido pelo Código Florestal Brasileiro. A reserva legal contribui para a manutenção dos serviços ecossistêmicos, ao mesmo tempo em que coloca limitações à expansão da fronteira agropecuária. Utilizando dados do Censo Agropecuário 2017 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019) e do Cadastro Ambiental Rural (Serviço Florestal Brasileiro, 2024), foi empregada uma análise envoltória de dados, para mensurar o nível de eficiência e os custos de oportunidade de manter a reserva legal em nível municipal. Os resultados revelaram custos de oportunidade médios em torno de R\$ 521 por hectare ou R\$ 19.795 por estabelecimento, valor relativamente superior aos reportados em estudos precedentes em outras regiões. Ao comparar os níveis de eficiência, foi possível diagnosticar que a manutenção da vegetação nativa apresenta baixa relação entre eficiência técnica e eficiência ambiental, potencialmente influenciando as decisões de uso da terra e a adesão às diretrizes ambientais em vigor.

Palavras-chave: custo de oportunidade, bioma Amazônia, tomada de decisão.

Abstract: This study estimates the opportunity costs associated with maintaining the legal reserve in the Amazon biome, as required by the Brazilian Forest Code. The legal reserve contributes to the provision of ecosystem services while imposing constraints on the expansion of the agricultural frontier. Using data from the 2017 Agricultural Census (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019) and the Brazilian Rural Environmental Registry (Serviço Florestal Brasileiro, 2024), data envelopment analysis was employed to assess efficiency and opportunity costs of maintaining municipal-level legal reserve. The results indicated average opportunity costs of approximately R\$ 521 per hectare or R\$ 19,795 per establishment, which are relatively higher than values reported in previous studies of other regions. By comparing efficiency levels, we verified that the conservation of native vegetation exhibits weak correlation between technical and environmental efficiency, potentially influencing land-use decisions and compliance with current environmental policies.

Keywords: opportunity cost, Amazon biome, decision making.

1 Introdução

A preservação ambiental acarreta restrições ao uso da terra e gera custos de oportunidade que influenciam diretamente a alocação de recursos e as escolhas de produção. Trata-se de uma renúncia a potenciais ganhos, como aqueles advindos da agropecuária ou da exploração madeireira, em decorrência da alocação de terras para a preservação da vegetação nativa, que não gera necessariamente retorno econômico direto. Relaciona-se, assim, não apenas ao tipo de uso agropecuário da terra, mas também à capacidade produtiva e gerencial dos produtores, à sua eficiência e ao nível tecnológico empregado (Campos, 2024; Campos & Bacha, 2013).



A reserva legal gera benefícios amplos à sociedade, ao permitir o manejo florestal sustentável e melhorar a qualidade de vida na Amazônia. Entretanto, os seus custos são arcados, em larga medida, pelos produtores rurais, o que os torna um custo notadamente privado (Campos, 2015). A preservação dessas áreas dentro das propriedades agrícolas não ocorre de forma espontânea, e é condicionada por incentivos regulatórios e mecanismos de governança ambiental, como aqueles previstos no Código Florestal Brasileiro.

Este artigo tem como objetivo estimar os custos de oportunidade associados à preservação da reserva legal nos municípios do bioma Amazônia, entendidos como a perda de produção resultante da realocação de insumos necessária à mitigação dos impactos ambientais (Zhou et al., 2006). O problema central que motivou este artigo foi a atribuição, a essas terras, de valores que não refletem os respectivos custos econômicos e ambientais. Diante disso, propõe-se uma mensuração objetiva desses custos para o bioma, a partir de distintos níveis de eficiência (técnica, ambiental e técnica-ambiental), à luz de Zhou et al. (2006), Tone (2001) e Campos (2015). A escala de análise adotada foi o município, com agregação posterior dos resultados em nível estadual, para proporcionar uma visão ampliada das disparidades entre eles. Os custos de oportunidade foram obtidos a partir dos dados do Censo Agropecuário 2017 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019) e do Cadastro Ambiental Rural (CAR) do Serviço Florestal Brasileiro (Serviço Florestal Brasileiro, 2024), por meio de uma análise envoltória de dados (*data envelopment analysis* – DEA –).

Campos (2015) e Zhou et al. (2006) associaram a eficiência técnica às quantidades de insumos empregadas e à receita gerada no município, considerando-o tecnicamente eficiente quando, para uma dada tecnologia, alcançava o nível máximo de produção utilizando a menor quantidade possível de insumos. Na análise da eficiência técnica-ambiental, o diferencial de preservação é incorporado como variável restritiva, seguindo os parâmetros estabelecidos pelo Código Florestal. Assim, um município pode ser classificado como eficiente ambientalmente ao maximizar sua receita, empregando a menor quantidade de insumos e destinando a menor área possível à reserva legal dentro dos limites normativos. Essa forma de calcular o custo de oportunidade, denominada por Zhou et al. (2006) como índice de eficiência baseado nas folgas, permite considerar que os produtores de um município diferem na maneira como utilizam os insumos no processo produtivo, resultando em custos de oportunidade distintos entre eles.

No Brasil, algumas pesquisas têm se dedicado à análise da eficiência das áreas de preservação ambiental na Amazônia (Azevedo Junior et al., 2022; Pellenz et al., 2021; Silva et al., 2022). Outros estudos abordaram os custos de oportunidade da preservação ambiental, seja em termos de taxa de desconto (Chagas & Andrade, 2017), seja em contextos regionais diferenciados, como demonstrado por Campos (2015, 2024) em São Paulo, Mato Grosso e Rio de Janeiro. Entretanto, ainda existe na literatura uma lacuna relacionada à obtenção de estimativas otimizadas desses custos para a totalidade do bioma Amazônia. Embora tais custos possam ser abordados sob distintas perspectivas, sua análise demanda um esforço sistemático, particularmente quando fundamentada no nível de eficiência dos estabelecimentos agropecuários. Este artigo busca contribuir para essa frente de pesquisa, assumindo que os formuladores de políticas públicas nem sempre têm pleno conhecimento dos custos de oportunidade de manter a reserva legal nas propriedades rurais (Sipiläinen & Huhtala, 2013).

2 Fundamentação Teórica

A valoração econômica de áreas de preservação ambiental tem sido amplamente discutida na literatura, com ênfase na análise do custo de oportunidade, na implementação de pagamentos

por serviços ecossistêmicos e na eficiência, com diferenças metodológicas significativas (Campos, 2024; Rosano Peña et al., 2021; Zhou et al., 2006). A abordagem do custo de oportunidade destaca que a manutenção da reserva legal impõe restrições ao uso produtivo da terra, resultando em perdas potenciais de receita para os proprietários rurais ao limitar a conversão dessas áreas em atividades agropecuárias (Chagas & Andrade, 2017). Nesse sentido, a DEA tem se consolidado na literatura internacional como uma metodologia utilizada para estimar esses custos. A aplicação da função distância dentro desse modelo permite quantificar a perda de produção decorrente da necessidade de ajustes na combinação de insumos para minimizar impactos ambientais, proporcionando uma abordagem mais precisa para avaliar os *trade-offs* entre preservação e produtividade.

Nessa perspectiva, Zhou et al. (2006) propuseram uma abordagem integrada para estimar o custo de oportunidade da preservação ambiental, considerando simultaneamente fatores econômicos e ambientais. O modelo relaciona esse custo à fronteira de possibilidade de produção, incorporando os usos alternativos da terra, o nível tecnológico empregado, as características do sistema produtivo e a eficiência no uso de insumos. Seguindo essa metodologia, Campos (2015, 2024) e Campos & Bacha (2016) avaliaram o custo de oportunidade da manutenção da reserva legal nos estados Rio de Janeiro, Mato Grosso e São Paulo. Campos (2015) investigou esse custo dentro dos estabelecimentos agropecuários, analisando seus determinantes e comparando produtores representativos de São Paulo e Mato Grosso nos anos de 1995 a 2006. Os resultados corroboraram baixos níveis de eficiência técnica e técnica-ambiental nos dois estados ao longo do período analisado. Mato Grosso apresentou o maior custo de oportunidade por estabelecimento (R\$ 48.353 mil em 2006), enquanto São Paulo registrou o maior custo por hectare (R\$ 412,62). Já Campos & Bacha (2016) aplicaram modelos de econometria espacial para identificar os principais determinantes desses custos e as possíveis relações espaciais entre eles. Os resultados indicaram que existem relações espaciais significativas entre os custos de oportunidade, e sugerem que o custo em um município é influenciado pelos custos dos municípios vizinhos. Variáveis de segunda natureza, como infraestrutura e características socioeconômicas, teriam maior influência nesses custos que variáveis de primeira natureza, como características geográficas. Observou-se também uma relação inversa entre o custo de oportunidade e o tamanho da propriedade rural, ou seja, propriedades menores tendem a enfrentar custos de oportunidade proporcionalmente maiores para manter áreas de reserva legal. Com base em indicadores financeiros, a pesquisa de Kanashiro & Igari (2019) quantificou o custo de oportunidade da recomposição de vegetação nativa em áreas agrícolas, demonstrando que os elos de maior rentabilidade apresentam custos significativamente mais elevados.

Por sua vez, a abordagem dos pagamentos por serviços ecossistêmicos estabelece pagamentos com base na valoração dos serviços ambientais, na disponibilidade de financiamento público ou privado e na capacidade de pagamento dos beneficiários desses serviços. Estudos como o de Strand et al. (2018) indicam que, na Floresta Amazônica brasileira, os serviços ecossistêmicos fornecidos podem alcançar um valor de R\$ 3.000 por hectare/ano, considerando benefícios como produção de alimentos, extração de matérias-primas, mitigação de gases de efeito estufa e regulação climática. Essa abordagem frequentemente resulta em valores superiores aos obtidos pelo cálculo do custo de oportunidade, pois busca captar as externalidades positivas geradas para a sociedade.

Já na literatura de ecoeficiência e eficiência destacam-se os trabalhos de Saiki et al. (2024), Rosano-Peña et al. (2021), Mattei et al. (2022), Hampf & Rødseth (2019). Canan & Ceyhan (2020) analisaram a relação entre eficiência produtiva e o custo de oportunidade da proteção ambiental na região na Turquia. Utilizando dados de 361 propriedades agrícolas – 334 vinculadas

a programas de proteção ambiental e 27 operando de forma convencional –, os autores aplicaram um modelo de minimização da soma dos desvios absolutos para comparar as práticas de cultivo sob ambas as abordagens. Foram auferidas a eficiência técnica, alocativa e econômica, e o custo de oportunidade da proteção ambiental foi calculado com base na diferença de receita líquida entre os tipos de cultivo. Os resultados mostraram que o custo de oportunidade médio da proteção ambiental foi de 3.060 libras turcas por hectare, equivalente a aproximadamente R\$ 489,6/ha, a preços de 2020. Mattei et al. (2022) avaliaram a eficiência produtiva dos municípios paranaenses utilizando a DEA a partir de dados do Censo Agropecuário 2017 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019). As propriedades foram agrupadas em nove categorias, e os resultados indicaram que, embora fazendas eficientes estejam presentes em todas as classes, há predominância de estabelecimentos com níveis médios ou médio-baixos de eficiência no estado (Mattei et al., 2022). Os índices médios estimados apontam expressivo potencial de otimização no uso de insumos, que possibilita reduções de 23,6% para propriedades entre 5 ha e menos de 10 ha e de até 43,6% para aquelas entre 500 ha e menos de 1.000 ha, sem comprometer os níveis de produção.

Para o bioma Amazônia, alguns estudos (Azevedo Junior et al., 2022; Pellenz et al., 2021; Silva et al., 2022) têm se dedicado à avaliação da ecoeficiência das áreas de preservação ambiental. Destaca-se, entretanto, a pesquisa de Silva et al. (2022), que investigou não apenas os efeitos econômicos, mas também os impactos sociais que condicionam a ecoeficiência agropecuária na região amazônica. O estudo adotou uma abordagem ampliada, incorporando um conjunto de externalidades negativas – como emissões de gases de efeito estufa, balanço de nutrientes, degradação do solo e diversidade de cultivos – como *outputs* indesejáveis na modelagem da ecoeficiência. Além disso, para os *inputs* tradicionais (receitas e insumos), os autores utilizaram valores totais em vez de medidas relativas, o que influencia a interpretação dos resultados. Uma abordagem semelhante foi empregada por Rosano-Peña et al. (2021), que desenvolveram um índice específico para avaliar a ecoeficiência da agricultura na Amazônia Brasileira.

No que diz respeito aos impactos sobre a agropecuária, estudos como o de Soares-Filho et al. (2016) apontam que os custos associados à manutenção de áreas de conservação podem ser mitigados por meio de mecanismos de compensação, como pagamentos por serviços ambientais (PSA) e mercados de créditos de carbono. Igari (2013) analisou os efeitos do agronegócio e seus vetores econômicos e legais sobre a preservação da vegetação nativa no Brasil e concluiu que, no estado de São Paulo, os valores dos pagamentos por serviços ambientais (PSA) são pouco competitivos em relação aos custos de oportunidade do setor agropecuário, o que compromete a eficácia desse instrumento econômico na promoção da conservação. Por sua vez, Castro & Young (2024) propuseram uma reavaliação das bases de cálculo dos PSA, sugerindo a incorporação do custo de oportunidade do trabalho como alternativa ao custo de oportunidade da terra. Essa abordagem buscaria beneficiar agentes que não são proprietários de terras ou cujas atividades não estão diretamente vinculadas ao uso da terra, compensando o tempo e o esforço dedicados a práticas sustentáveis.

3 Metodologia

A teoria proposta por Tone (2001) refere-se ao modelo *slacks-based measure* (SBM) dentro da análise envoltória de dados (DEA), que aprimora a avaliação da eficiência ao considerar diretamente as folgas (*slacks*) nos insumos e produtos. Considerando uma determinada unidade tomadora de decisão (DMU) – que, neste artigo corresponde aos municípios de cada estado – com nível de produção x_0 e vetor de insumos y_0 , a formulação com base no modelo SBM é dada pela Equação 1:

$$\min \tau_2 = t - (1/m) * \sum (s_i^- / x_{i0})$$

Sujeito a:

$$1 = t + (1/s) * \sum (s_r^+ / y_{r0})$$

$$tx_0 = X\Delta + S^-$$

$$ty_0^g = Y^g\Delta - S^+$$

X indica a matriz de insumos; Y é a matriz de produtos desejáveis; S^- representa o excesso no uso de insumos; S^+ é o déficit na produção; Δ define o vetor de intensidade das combinações das unidades produtivas analisadas; t é um escalar positivo utilizado para normalizar a eficiência; e τ_1 expressa os escores de eficiência técnica de cada unidade produtiva (DMU). Já o modelo proposto por Zhou et al. (2006) expande a abordagem da DEA para incluir *outputs* indesejáveis, como externalidades ambientais. Essa adaptação permite avaliar o *trade-off* entre produção e impactos ambientais, tratando os *outputs* indesejáveis como restrições adicionais ao modelo. A formulação é dada pela Equação II:

$$\min \tau_2 = t - (1/m) * \sum (s_i^- / x_{i0})$$

Sujeito a:

$$1 = t + (1/s) * \sum (s_r^+ / y_{r0})$$

$$tx_0 = X\Delta + S^-$$

$$ty_0^g = Y^g\Delta - S^+$$

$$ty_0^b = Y^b\Delta$$

O termo Y^b representa a matriz de produtos indesejáveis; τ_2 é o vetor de eficiência técnica ambiental, calculado para cada DMU; Δ , S^- , S^+ , t, Y e X são parâmetros mencionados anteriormente.

Enquanto o modelo de Tone (2001) aprimora a DEA tradicional ao capturar ineficiências de forma detalhada, a abordagem de Zhou et al. (2006) permite modelar o impacto ambiental, por meio do índice de eficiência baseada nas folgas (*slacks-based efficiency index* – SBEI –) (Campos, 2015). Esse índice denota a relação entre eficiência técnica (τ_1) e eficiência técnica-ambiental (τ_2) a saber:

$$SBEI = \tau_1 / \tau_2$$

O Censo Agropecuário 2017 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019) foi a referência central utilizada no estudo, por abranger fatores de produção em nível municipal. As variáveis utilizadas foram número de trabalhadores, tratores e despesas com defensivos agrícolas, como fertilizantes, pesticidas, herbicidas, combustíveis, sementes e alimentação animal, além das receitas geradas, que proporcionaram uma análise da estrutura produtiva nesses municípios. A segunda fonte de informações foi o Cadastro Ambiental Rural – CAR – (Serviço Florestal Brasileiro, 2024), um registro eletrônico obrigatório para os imóveis rurais brasileiros. A equipe da Embrapa Territorial (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2021) processa as informações do CAR usando ferramentas e técnicas de geoprocessamento, de modo a obter dados quantitativos para todo o território brasileiro. A escolha dessas bases de dados se justifica pela abrangência do Censo Agropecuário 2017 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019), que oferece um panorama detalhado sobre receitas e insumos agropecuários em nível municipal. Complementarmente, o CAR fornece dados georreferenciados e atualizados sobre o uso e a cobertura da terra, incluindo informações detalhadas sobre áreas de preservação, áreas de preservação permanente (APPs) e reservas legais.

Esquemáticamente, as variáveis coletadas para o cálculo do custo de oportunidade foram:

- Receita agropecuária: valor das receitas obtidas pelos estabelecimentos agropecuários (R\$ mil) com produção de lavouras temporárias, horticultura e floricultura, produção de lavouras permanentes, produção de sementes e mudas certificadas, pecuária e criação de outros animais, e produção florestal, divididas pelo número de estabelecimentos em 2017.
- Área produtiva: área total dos estabelecimentos (hectare), excluídas as matas e florestas naturais destinadas a preservação permanente ou reserva legal, porém incluindo lavouras permanentes, lavouras temporárias, lavouras (área para cultivo de flores), pastagens naturais, pastagens plantadas em boas condições, pastagens plantadas em más condições, florestas plantadas, sistemas agroflorestais (área cultivada com espécies florestais e também usada para lavouras e pastoreio por animais), lâmina d'água, tanques, lagos, e açudes, dividida pelo número de estabelecimentos agropecuários do município em 2017.
- Bovinos: número de cabeças de bovinos nos estabelecimentos agropecuários (cabeças), *proxy* para o estoque de capital na produção animal, dividido pelo número de estabelecimentos agropecuários do município em 2017.
- Defensivos: valor das despesas realizadas pelos estabelecimentos agropecuários (mil reais), como adubos e corretivos, sementes e mudas, agrotóxicos, medicamentos para animais, sal, ração e outros suplementos, combustíveis e lubrificantes, dividido pelo número de estabelecimentos agropecuários do município em 2017.
- Pessoal ocupado: quantidade de pessoal ocupado em estabelecimentos agropecuários dividida pelo número de estabelecimentos agropecuários do município em 2017.
- Tratores: quantidade de tratores existentes nos estabelecimentos agropecuários dividida pelo número de estabelecimentos agropecuários do município em 2017.

Além das variáveis previamente mencionadas, foi incorporado um indicador relativo ao diferencial de preservação destinada à conservação ambiental. A porcentagem de área dedicada à preservação em cada município foi estimada com base nos dados declarados no CAR (Serviço Florestal Brasileiro, 2024), considerando a soma das áreas de reserva legal (RL) e das áreas de preservação permanente (APPs) em relação à área total dos imóveis rurais registrados. Essa metodologia está alinhada às diretrizes estabelecidas pelo Código Florestal, uma vez que permite a inclusão das APPs no cômputo do percentual mínimo exigido para a RL

dentro de cada propriedade. Os limites percentuais determinados pela Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, para a manutenção da vegetação nativa são: 80% em propriedades situadas em áreas florestais da Amazônia Legal, 35% em imóveis localizados no Cerrado da Amazônia Legal e 20% no restante do país.

O Código Florestal estabelece os limites dos biomas como critério para definir as exigências ambientais aplicáveis às propriedades rurais. Nesse contexto, as divisas municipais foram ajustadas conforme os contornos do bioma Amazônia, seguindo a metodologia de Garagorry & Penteado Filho (2008), com adaptações de Carvalho & Castro (2020). Com base nesse ajuste, foi calculada a diferença entre o percentual de RL declarado no CAR e os valores mínimos exigidos pelo Código Florestal para cada município. Valores negativos indicaram diferencial de áreas destinadas à preservação ambiental, enquanto valores positivos representaram excedentes em relação ao percentual exigido. A porcentagem do diferencial de preservação ambiental foi utilizada como *input* no modelo com restrição ambiental. Desse modo, o custo de oportunidade pode ser medido como (Campos, 2015):

$$\text{Custo de oportunidade de manter a RL} = (1 - \text{SBEI}) * \text{receita agropecuária}$$

Quando $\text{SBEI} \geq 0,95$, as restrições ambientais não impõem custos produtivos significativos, pois a capacidade produtiva é suficiente para acomodá-las sem comprometer a rentabilidade. Nessas condições, a manutenção da RL não representa um fator limitante à produção. Por sua vez, quando $\text{SBEI} < 0,95$, o custo de oportunidade torna-se mais expressivo, uma vez que as exigências ambientais reduzem a margem de expansão produtiva, intensificando o *trade-off* entre preservação e produtividade. Nesse cenário, a redução do produto indesejado (desmatamento da RL) estaria associada a uma possível diminuição do produto desejável (receita agropecuária) (Campos, 2015).

A escolha do limiar de eficiência em 0,95, em vez de 1, fundamenta-se na necessidade de reconhecer municípios (DMUs) que operam com alto desempenho, mas que podem apresentar pequenas ineficiências devido a fatores externos ou limitações operacionais. Este critério viabiliza uma análise mais realista e prática, e alinha-se a abordagens metodológicas que consideram a sensibilidade dos modelos DEA a ruídos e *outliers*.

4 Resultados e Discussão

4.1 Análise descritiva das variáveis

A Tabela 1 apresenta as estatísticas descritivas das variáveis agropecuárias no bioma Amazônia em relação ao Brasil em 2017 e permite comparar os dois contextos produtivos. A receita média das lavouras no bioma Amazônia (R\$ 110 milhões) superou a média nacional (R\$ 73 milhões), mas com maior dispersão dos valores, dada a heterogeneidade regional. Por um lado, a área média dos estabelecimentos na Amazônia (88.817 ha) é significativamente maior que no Brasil como um todo (46.171 ha) e aponta a predominância de grandes propriedades. O número médio de bovinos no bioma Amazônia (67.755 cabeças) também superou a média nacional (31.261 cabeças). Por outro lado, tendo em vista as limitações tecnológicas ou a menor dependência de maquinário agrícola, a mecanização no bioma Amazônia é menos expressiva, como indicado pelo reduzido número de tratores por estabelecimento (191 contra 234 na média nacional).

Tabela 1 - Estatísticas descritivas das variáveis coletadas no Censo Agropecuário 2017.

Variável	Brasil				Bioma Amazônia			
	Obs.	Média	Desvio-padrão	CV	Obs.	Média	Desvio-padrão	CV
Receita da produção das lavouras em 2017 (R\$ milhões)	5.562	73	156	2,1	502	110	259	2,3
Área total dos estabelecimentos (ha)	5.562	46.171	97.806	2,1	502	88.817	137.064	1,5
Número de cabeças de bovinos em 2017	5.562	31.261	72.950	2,3	502	67.755	117.061	1,7
Despesas com defensivos em 2017 (R\$ mil)	5.562	27	70	2,5	502	38	111	2,9
Número de pessoas	5.562	2.718	2.945	1,1	502	3.409	3.747	1,1
Quantidade de tratores	5.562	234	343	1,5	502	191	260	1,4
Número de estabelecimentos	5.562	912	975	1,1	502	1.105	1.132	1,0

Obs.: Observações. CV: Coeficiente de variação.

Fonte: Serviço Florestal Brasileiro (2024) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019).

A Tabela 2 aponta diferenças na estrutura produtiva dos estabelecimentos agropecuários do bioma Amazônia em 2017. A receita média por estabelecimento variou amplamente, e foi mais elevada nos estados Tocantins (R\$ 175.862) e Maranhão (R\$ 140.263) e mais baixa em Amazonas (R\$ 17.768) e Amapá (R\$ 61.704). Ademais, estados com áreas produtivas menores, como Amazonas (41,9 ha) e Acre (58,8 ha), registraram receitas inferiores, provavelmente um impacto da extensão territorial na geração de renda dos municípios locais. Segundo Pellenz et al. (2021), a distribuição espacial da produção agropecuária na Amazônia Legal revela que áreas com maior disponibilidade de terras cultiváveis podem apresentar vantagens produtivas, embora essa relação não seja linear, pois fatores como acesso a insumos, tecnologia e infraestrutura também influenciam sobremaneira a receita gerada.

A distribuição do número médio de cabeças de bovinos por estabelecimento revelou diferenças notáveis entre os estados da região. Por um lado, Tocantins (189,0) e Rondônia (147,6) destacaram-se com os maiores contingentes, um indicativo da predominância da pecuária em grande escala. Por outro lado, com especificidades socioeconômicas que moldam a organização da atividade agropecuária, Amazonas (55,7) e Amapá (64,0) registraram rebanhos menores por estabelecimento.

O gasto médio com defensivos agrícolas e a disponibilidade de tratores por estabelecimento apresentam dinâmicas semelhantes, sobretudo com diferenças na adoção de insumos e na mecanização. Maranhão e Tocantins apresentam investimentos mais elevados e maior número de máquinas, ao passo que os estados Amazonas e Roraima exibem valores inferiores, possivelmente devido a menor dependência desses recursos ou a restrições no acesso à tecnologia. Essas diferenças evidenciam desigualdades na modernização agropecuária da Amazônia, conforme destacado por Saiki et al. (2024), que atribuem barreiras logísticas e institucionais como fatores limitantes à produtividade e ao acesso aos mercados.

Tabela 2 - Média das variáveis por estabelecimento.

Estado	DMUs	Receita (R\$)/estab	Área produtiva (ha)/estab	Número cabeças/estab	Defensivo (R\$)/estab	Número pessoas/estab	Quantidade tratores/estab
AC	22	29.719	58,8	89,2	6,2	3,4	1,4
AM	62	17.768	41,9	55,7	3,9	4,2	1,0
AP	16	61.704	121,3	64,0	14,2	3,8	1,8
MA	93	140.263	269,3	125,8	41,6	3,4	2,3
MT	76	68.411	144,1	70,3	20,9	3,5	2,0
PA	144	78.481	178,2	130,7	13,7	3,5	1,7
RO	52	104.005	105,1	147,6	27,1	3,0	1,6
RR	14	57.857	83,1	104,2	13,2	3,9	1,7
TO	23	175.862	275,3	189,0	39,0	3,2	2,2
Total	502	84.762	160,2	111,1	21,0	3,5	1,8

Estab: Estabelecimento; DMUs: unidade tomadora de decisão, ou seja, municípios em cada estado.
Fonte: Serviço Florestal Brasileiro (2024) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019).

4.2 Eficiência técnica, eficiência técnica-ambiental e o custo de oportunidade

A relação entre eficiência técnica e eficiência técnica-ambiental (SBEI) é um fator determinante para compreender os padrões produtivos e de preservação ambiental nos estados do bioma Amazônia. A Tabela 3 revela que, em comparação aos municípios classificados como ineficientes, aqueles considerados eficientes apresentam, em média, receitas mais elevadas por estabelecimento, operam em áreas produtivas mais extensas, realizam gastos superiores com defensivos por unidade produtiva e detêm maior número de bovinos, pessoas ocupadas e tratores por estabelecimento, indicativo de um modelo produtivo intensivo. No entanto, como as variações no número de pessoas são pouco expressivas, depreende-se que esses fatores não explicariam isoladamente as diferenças de eficiência. Igualmente, a discreta variação no número médio de tratores entre municípios não seria suficiente para justificar, unicamente, as ineficiências observadas. Essa análise corrobora as conclusões de Rosano-Peña et al. (2021) e Silva et al. (2022), ao evidenciarem que a eficiência agropecuária está mais associada ao uso intensivo de insumos que à ampliação da área cultivada ou ao volume de ativos físicos. No entanto, contrapõe-se à perspectiva de Mattei et al. (2022), que vinculam a eficiência ao porte das propriedades e ao grau de mecanização.

Com o objetivo de comparar os municípios eficientes e ineficientes em termos de eficiência técnica-ambiental, utilizou-se o teste *t*, um método estatístico que avalia se a diferença entre as médias de dois grupos é estatisticamente significativa. Os resultados para a Tabela 3 revelaram que os municípios eficientes apresentam maior receita por estabelecimento agropecuário (*p* = 0,0005) e despesas com defensivos agropecuários (*p* = 0,0084) no nível de significância de 1%. No entanto, as demais variáveis analisadas, como tamanho médio das propriedades, número de bovinos, número de trabalhadores e quantidade de tratores, não apresentaram diferenças estatisticamente significativas (*p* > 0,1), o que indicando que esses fatores, por si só, não explicam a variação na eficiência.

A Tabela 4 revela que 90% dos municípios apresentam baixos níveis de eficiência técnica-ambiental, e caracterizam-se como ineficientes quando comparados aos demais municípios. A elevada eficiência ambiental observada no Pará (PA) sugere a preservação das RLs, embora os custos de produção mantenham-se elevados. Por sua vez, possivelmente em decorrência dos custos associados à incorporação de novas áreas ao processo produtivo, os municípios em Rondônia (3,8%), Tocantins (4,3%) e Maranhão (6,5%) registraram baixos índices de eficiência técnica-ambiental.

Tabela 3 - Comparação entre os municípios eficientes e ineficientes em termos de eficiência técnica-ambiental (média).

Média	Eficientes	Ineficientes	Total (média)
Receita da produção das lavouras em 2017 (R\$/número de estabelecimentos agropecuários do município)	251,5	66,3	84,8
Área total dos estabelecimentos (ha/número de estabelecimentos agropecuários do município)	182,9	157,7	160,2
Número de cabeças de bovinos em 2017/número de estabelecimentos agropecuários do município	124,0	109,7	111,1
Despesas com defensivos em 2017 (mil R\$/número de estabelecimentos agropecuários do município)	61,5	16,5	21,0
Número de pessoas em 2017/número de estabelecimentos agropecuários do município	3,8	3,5	3,5
Quantidade de tratores em 2017/número de estabelecimentos agropecuários do município	2,1	1,7	1,8
Total de municípios	50	452	502

Fonte: Serviço Florestal Brasileiro (2024) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019).

Tabela 4 - Distribuição dos municípios em termos de eficiência técnica-ambiental.

Estado	DMUs	Municípios eficientes (número)	Municípios eficientes (%)	Municípios ineficientes (número)	Municípios ineficientes (%)
AC	22	0	0,0%	22	100,0%
AM	62	6	9,7%	56	90,3%
AP	16	2	12,5%	14	87,5%
MA	93	6	6,5%	87	93,5%
MT	76	9	11,8%	67	88,2%
PA	144	24	16,7%	120	83,3%
RO	52	2	3,8%	50	96,2%
RR	14	0	0,0%	14	100,0%
TO	23	1	4,3%	22	95,7%
Total	502	50	10,0%	452	90,0%

Fonte: Serviço Florestal Brasileiro (2024) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019).

* DMUs: unidade tomadora de decisão, ou seja, a média dos municípios em cada estado.

A manutenção da RL pode representar custos adicionais para os estabelecimentos agropecuários. No entanto, essa preservação não apenas fortalece a sustentabilidade ambiental, mas também pode gerar benefícios econômicos no longo prazo. A Figura 1 ilustra essa relação, ao comparar os índices de eficiência técnica e técnica-ambiental nos estados analisados, todos com valores superiores a 0,5 para a SBEI. Esses resultados convergem com a literatura sobre o assunto, como demonstrado por Campos (2015), que, a partir do Censo Agropecuário de 2006, obteve médias de SBEI superiores a 0,5 em Mato Grosso (0,70).

Os estados com maior eficiência técnica não são necessariamente os mais eficientes em termos ambientais. Há, certamente, um descompasso entre essas dimensões, mesmo que alguns estados demonstrem maior equilíbrio entre produção e preservação, como Mato Grosso, que registrou eficiência técnica de 0,30 e ambiental de 0,55. Essa diferença é visível no Maranhão, que apresentou eficiência técnica de 0,25 e eficiência ambiental de 0,42, bem como no Acre, com índices de 0,20 e 0,38, respectivamente. Valores abaixo de 0,95 para a SBEI podem indicar tanto uso excessivo de insumos quanto produção agropecuária inferior ao potencial esperado, aspectos identificáveis por meio das folgas de insumos e produtos.

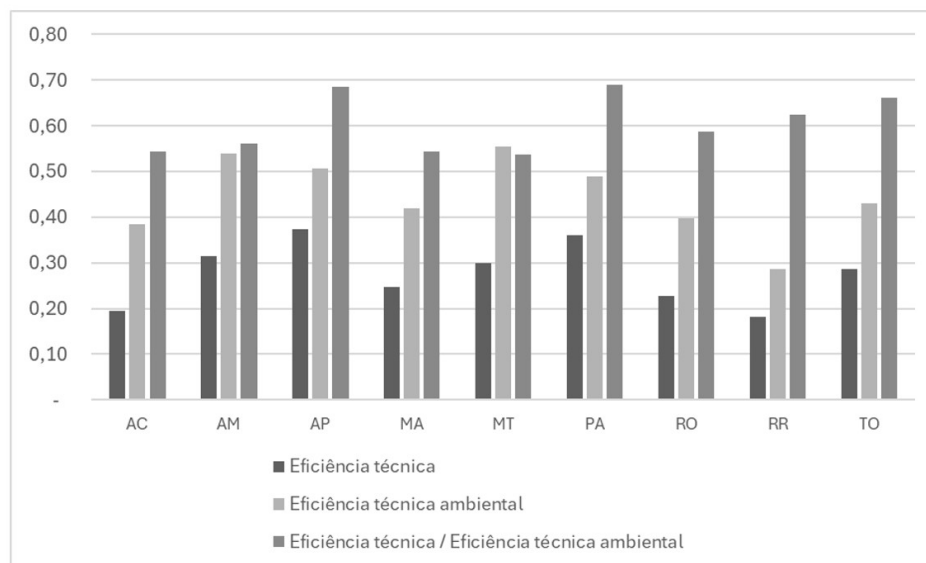


Figura 1 - Comparação entre eficiência técnica e eficiência técnica-ambiental nos estados em 2017.

Fonte: Resultados da pesquisa obtidos a partir de Serviço Florestal Brasileiro (2024) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019).

A Figura 2 apresenta a distribuição espacial da eficiência técnica-ambiental do bioma Amazônia em nível municipal, assinalando a diversidade dos modelos produtivos na região. Municípios com eficiência máxima (índice 0,95, representados em azul) somaram 50, enquanto aqueles com índices entre 0,75 e 0,94 (verde-escuro) totalizaram 82.

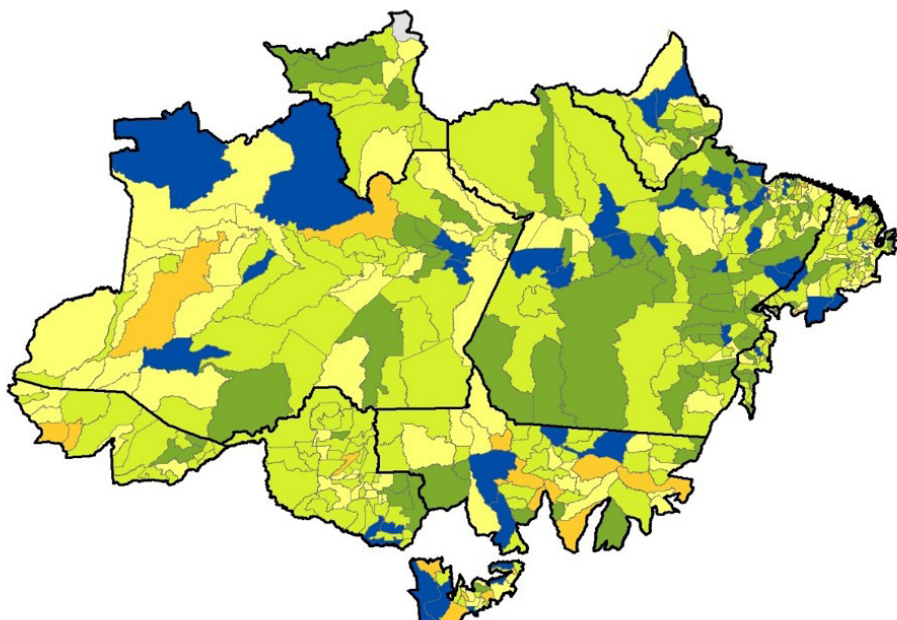


Figura 2 - Distribuição territorial do índice de eficiência técnica / eficiência técnica-ambiental.

Fonte: Resultados da pesquisa obtidos a partir de Serviço Florestal Brasileiro (2024) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019).

A maioria dos municípios registrou índices entre 0,50 e 0,74 (verde-claro), abrangendo 206 localidades (Figura 2). As áreas com menor eficiência estão localizadas nos intervalos de 0,25 a 0,49 (representadas pela cor amarela) e abaixo de 0,25 (laranja), em zonas de expansão agropecuária e regiões que enfrentam desafios ambientais e tecnológicos, abrangendo 137 e 27 municípios, respectivamente. Essa distribuição espacial sinaliza a diversidade produtiva do território e a coexistência de áreas altamente eficientes com outras sujeitas a restrições estruturais e produtivas.

A Tabela 5 retrata que o valor médio nos estados do bioma Amazônia esteve em torno de R\$ 521 por hectare ou R\$ 19.795 por estabelecimento. O custo médio por estabelecimento variou amplamente: Tocantins (R\$ 37.689) e Maranhão (R\$ 35.559) apresentaram os valores mais elevados, enquanto Amazonas (R\$ 6.632) registrou o menor custo. Em termos de custo por hectare, Amazonas evidenciou o maior valor (R\$ 812), contrastando com Tocantins, que apresentou o menor custo por hectare (R\$ 282). Mato Grosso, por sua vez, exibiu uma posição intermediária, com custos de oportunidade moderados (R\$ 16.882 por estabelecimento e R\$ 649 por hectare), sugerindo um equilíbrio entre produção e preservação ambiental. No Acre e em Rondônia, os custos por estabelecimento foram relativamente baixos (R\$ 10.789 e R\$ 32.663, respectivamente), mas os custos por hectare permaneceram elevados (R\$ 609 e R\$ 469). Essa análise revela que o custo da RL não se distribui de maneira uniforme entre as regiões.

Tabela 5 - Custos da reserva legal.

Estado	Custo de oportunidade médio (R\$/estab)	Custo de oportunidade médio (R\$/ha)
AM	6.632	812
MT	16.882	649
AC	10.789	609
PA	11.465	469
RO	32.663	469
AP	14.011	419
MA	35.559	412
RR	18.438	342
TO	37.689	282
Total	19.795	521

Fonte: Resultados da pesquisa obtidos a partir de Serviço Florestal Brasileiro (2024) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019).

Além disso, o fato de o custo de oportunidade no bioma Amazônia superar os valores estimados em estudos para outras regiões do país (Campos, 2015) denota que a conversão de terras para a agropecuária tende a ser economicamente menos atrativa na região em comparação a áreas agrícolas já consolidadas. Esse cenário corrobora a complexidade da conversão de terras nesse bioma, onde os altos custos de oportunidade tornam a expansão agropecuária menos competitiva em relação a regiões consolidadas (Sparovek et al., 2010). A dinâmica produtiva no bioma Amazônia requer, portanto, o reconhecimento das diferenças nas eficiências técnico-ambientais e nos custos de oportunidade, dentro de estratégias que promovam o desenvolvimento sustentável sem comprometer a integridade ambiental.

5 Conclusões

Este artigo buscou quantificar os custos de oportunidade decorrentes da manutenção da reserva legal, concebidos como as perdas potenciais de produção agrícola associadas à

realocação de insumos diante da necessidade de reduzir impactos ambientais, nos municípios do bioma Amazônia. A análise da eficiência técnica-ambiental no bioma Amazônia revelou que a manutenção da reserva legal impõe custos de oportunidade expressivos para muitos municípios. Os dados indicaram que 50 municípios classificados como eficientes obtiveram receitas substancialmente superiores com a produção agrícola (R\$ 251,5 por estabelecimento) em comparação aos 452 municípios ineficientes (R\$ 66,3 por estabelecimento), destacando que os níveis de eficiência influenciam a diferenciação dos resultados econômicos. Entretanto, os resultados do teste *t* mostraram que, com exceção das receitas por estabelecimento e despesas com defensivos por estabelecimento, as diferenças entre municípios eficientes e ineficientes não foram estatisticamente significativas no nível de significância de 10%. Isso indica que esses fatores, isoladamente, não explicam a eficiência técnica-ambiental, e sugere que a diferenciação entre os grupos pode estar associada a outros elementos não capturados no presente trabalho.

Em contextos nos quais a eficiência técnica é baixa em relação à eficiência técnico-ambiental, observa-se um custo de oportunidade elevado, pois a diferença entre essas duas medidas reduz o valor do indicador SBEI. Quanto maior for essa distância, menor será o SBEI, o que implica perdas potenciais mais significativas associadas à manutenção da reserva legal e, consequentemente, maior pressão econômica pela conversão agropecuária. Assim, é justamente a assimetria entre a eficiência técnica e a técnico-ambiental que explica os custos de oportunidade elevados: quando a eficiência produtiva se mantém distante dos parâmetros técnico-ambientais, a preservação se torna menos competitiva em termos econômicos, reforçando os incentivos à conversão. No Brasil, essa relação é sobretudo norteadas pelas diretrizes estabelecidas pelo Código Florestal Brasileiro, que busca promover um equilíbrio entre as práticas agropecuárias e a conservação dos ecossistemas.

A principal contribuição desta pesquisa reside na demonstração de que os custos de oportunidade associados à preservação impõem impactos diferenciados entre os estados, e são particularmente elevados em regiões onde a relação entre eficiência técnica e eficiência técnica-ambiental é baixa. Observou-se também que os custos de oportunidade médios por hectare foram relativamente mais elevados em estados com maior eficiência ambiental, sobressaindo-se o Amazonas (R\$ 812/ha), enquanto aqueles que apresentaram maior eficiência técnica, como Mato Grosso, registraram valores mais moderados (R\$ 649/ha). Essa dinâmica revela que a sustentabilidade econômica da preservação depende não apenas do cumprimento das exigências legais, mas também da estrutura produtiva e da capacidade de adaptação dos produtores às restrições ambientais vigentes.

A literatura especializada concomitantemente reforça esse diagnóstico. Campos & Bacha (2016) indicaram que a distribuição dos custos de oportunidade varia conforme a eficiência ambiental dos estados, explicando, por exemplo, os valores mais altos por hectare observados em áreas de maior preservação. Já Campos (2015) demonstrou que os produtores tendem a ser levados a utilizar a área da reserva legal no processo produtivo até que a receita agropecuária se iguale aos benefícios privados, embora esse ponto seja inferior ao nível socialmente desejado.

Uma das limitações deste estudo reside na influência de fatores alheios ao controle do produtor sobre a eficiência, como condições climáticas, assimetrias tecnológicas e qualidade da mão de obra, entre outros. As disparidades no acesso a recursos e tecnologia influenciam diretamente o custo de oportunidade da reserva legal. Produtores com maior acesso a crédito, inovação e infraestrutura conseguem mitigar os impactos da restrição de uso da terra por meio de ganhos de eficiência, ao passo que aqueles com menor capacidade de investimento podem enfrentar perdas produtivas mais acentuadas (Fasiaben et al., 2011). Essas diferenças se refletiriam na adoção de práticas agrícolas mais intensivas, tornando o impacto econômico da preservação ambiental desigual entre os produtores rurais.

Ademais, o artigo 68 da Lei nº 12.651/2012 estabelece que a área preservada deve ser aferida com base na legislação vigente à época do cumprimento da obrigação, evitando, assim, a aplicação retroativa de responsabilidades. Considerando essa diretriz, eventuais diferenças entre os percentuais de vegetação nativa observados e os parâmetros estabelecidos pelo Código Florestal podem refletir a conformidade com a legislação anterior. Para o cálculo do diferencial de preservação, foi comparada a área preservada declarada pelos produtores com os percentuais mínimos exigidos pela Lei nº 12.651/2012, desconsideradas variações normativas temporais e históricas. Apesar dessa limitação, os resultados permitem inferir e analisar o custo de oportunidade, sob a premissa de que tais flutuações estejam distribuídas aleatoriamente.

Por fim, os resultados deste estudo indicam que a redução dos custos de oportunidade pode fortalecer a sustentabilidade da conservação ambiental no meio rural. A criação de mecanismos financeiros, como fundos específicos para a compensação de áreas protegidas –apoiados por incentivos fiscais, créditos de carbono e investimentos privados –, mostra-se uma estratégia promissora para mitigar os impactos econômicos da preservação, especialmente em regiões que enfrentam custos de oportunidade mais elevados. Ressalta-se, contudo, que tais custos variam significativamente entre os estados e regiões, o que exige o reconhecimento dessa heterogeneidade espacial no desenho de políticas públicas voltadas à redução do desmatamento e à manutenção das reservas legais. Ignorar essas disparidades pode resultar em alocação ineficiente de recursos, uma vez que determinados contextos requerem incentivos financeiros substancialmente menores que outros. Essa diferenciação, portanto, merece atenção em estudos futuros e pode constituir um ponto relevante para aprofundamentos em pesquisas subsequentes. A adoção de políticas públicas que integrem instrumentos econômicos calibrados à realidade produtiva local poderá, assim, promover maior adesão às práticas de conservação e contribuir para a conciliação entre produção e preservação ambiental.

Contribuições dos autores:

DTS: Concepção e desenho do estudo, Coleta de dados, Análise e interpretação, Redação do manuscrito, e Análise e interpretação. SACC: Concepção e desenho do estudo, Coleta de dados, Análise e interpretação, Redação do manuscrito, e Análise e interpretação. PRRM: Sistema de Informação Geográfica, Redação do manuscrito, e Revisão crítica. FAPP: Análise e interpretação, e Redação do manuscrito. CSR: Redação do manuscrito, e Revisão crítica

Suporte financeiro:

Nada a declarar.

Conflitos de interesses:

Nada a declarar.

Aprovação do conselho de ética:

Não se aplica.

Disponibilidade de dados:

Os dados da pesquisa estão disponíveis através do DOI.

***Autora correspondente:**

Daniela Tatiane de Souza. danitatie@gmail.com

6 Referências

- Azevedo Junior, A. A., Rodrigues, M., & Correia-Silva, D. (2022). Does agricultural efficiency contribute to slowdown of deforestation in the Brazilian Legal Amazon. *Journal for Nature Conservation*, 65, 126092. <http://doi.org/10.1016/j.jnc.2021.126092>
- Campos, S. A. C. (2024). Custo da reserva legal para os produtores agropecuários fluminenses entre 2006 e 2017. *Economia & Região*, 12(3), 428-444. <http://doi.org/10.5433/2317-627X.2024.v12.n3.49097>
- Campos, S. A. C., & Bacha, C. J. C. (2016). O custo privado da reserva legal para os produtores agropecuários de São Paulo e Mato Grosso nos anos de 1995 e 2006. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 54(1), 71. <http://doi.org/10.1590/1234-56781806-9479005401004>
- Campos, S. K. (2015). *Custo de oportunidade em áreas de reserva legal nos estados de Mato Grosso e São Paulo* (Dissertação de mestrado). Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Campos, S. K., & Bacha, C. J. C. (2013). O custo privado da reserva legal. *Revista de Política Agrícola*, 2, 86-104.
- Canan, S., & Ceyhan, V. (2020). The link between production efficiency and opportunity cost of protecting environment in TR83 region, Turkey. *Environmental Science and Pollution Research International*, 27(28), 35112-35125. <http://doi.org/10.1007/s11356-020-09726-9>
- Carvalho, C. A., & Castro, G. S. A. (2020). *Proposta de delimitação político-administrativa do bioma Cerrado como base para um Sistema de Inteligência Territorial Estratégica* (Série Documentos, no. 132). Campinas: Embrapa Territorial. Retrieved in 2025, May 16, from <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/218584/1/5369.pdf>
- Castro, B. S., & Young, C. E. F. (2024). Taxonomia para pagamentos por serviços ambientais: custo de oportunidade do trabalho como alternativa ao custo de oportunidade da terra. *Juris*, 34(2), 209-228. <http://doi.org/10.14295/juris.v34i2.17659>
- Chagas, A. L. S., & Andrade, M. V. A. (2017). Custo de oportunidade da preservação ambiental: o caso da Amazônia Legal Brasileira. *Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos*, 11(3), 384-405.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. (2021). *Agricultura e preservação ambiental: uma análise do cadastro ambiental rural*. Campinas: Embrapa Territorial. Retrieved in 2025, May 16, from <https://www.embrapa.br/car>
- Fasiaben, M. C. R., Souza, M. P., & Silva, C. A. B. (2011). Impactos econômicos da reserva legal sobre diferentes tipos de unidades de produção agropecuária: um estudo na microbacia do Rio Oriçanga, SP. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 49(1), 69-96.
- Garagorry, F. L., & Penteado Filho, R. C. (2008). *Agricultura nos biomas: aproximação estatística mediante microrregiões*. Brasília: Embrapa.
- Hampf, B., & Rødseth, K. (2019). Environmental efficiency measurement with heterogeneous input quality: a nonparametric analysis of U.S. power plants. *Energy Economics*, 81, 610. <http://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.04.031>
- Igari, A. T. (2013). *Agronegócio e conservação da vegetação nativa no Brasil: uma análise dos vetores econômicos e legais* (Tese de doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2019). *Censo agropecuário 2017: resultados definitivos*. Retrieved in 2025, May 16, from <https://www.ibge.gov.br>

- Kanashiro, A. S., & Igari, A. T. (2019). Avaliação dos custos de oportunidade para restituição de áreas de vegetação nativa na indústria canavieira paulista. In W. Duleba, S. L. F. Gonçalves-Dias, & S. R. Paulino (Orgs.), *Sustentabilidade e interdisciplinaridade* (pp. 177-201). São Paulo: Blucher. <https://doi.org/10.5151/9788521218722-08>.
- Mattei, T. S., Cattelan, R., & Staduto, J. A. R. (2022). Eficiência da agropecuária dos municípios paranaenses: uma análise por classe de área. *Revista de Política Agrícola*, 31(4), 8-23. Retrieved in 2025, May 16, from <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1150920/1/Eficiencia-da-agropecuaria.pdf>
- Pellenz, M. S., Almeida, E. S., & Lirio, V. S. (2021). Análise espacial para a Amazônia Legal brasileira. *Estudos Econômicos*, 38(77), 119-146.
- Rosano-Peña, C., Teixeira, J. R., & Kimura, H. (2021). Eco-efficiency in Brazilian Amazonian agriculture: Opportunity costs of degradation and protection of the environment. *Environmental Science and Pollution Research International*, 28(44), 62378-62389. <http://doi.org/10.1007/s11356-021-14867-6>
- Saiki, G. M., Serrano, A. L. M., Rodrigues, G. A. P., Rosano-Peña, C., Pompermayer, F. M., & Albuquerque, P. H. M. (2024). An analysis of the eco-efficiency of the agricultural industry in the Brazilian Amazon biome. *Sustainability (Basel)*, 16(13), 5731. <http://doi.org/10.3390/su16135731>
- Serviço Florestal Brasileiro – SFB. (2024). *Cadastro Ambiental Rural*. Retrieved in 2025, May 16, from <http://www.car.gov.br/publico/imoveis/index>
- Silva, J. V. B., Rosano-Peña, C., Martins, M. M. V., Tavares, R. C., & Silva, P. H. B. (2022). Ecoeficiência da produção agropecuária na Amazônia Brasileira: fatores determinantes e dependência espacial. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 60(spe), e250907. <http://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.250907>.
- Sipiläinen, T., & Huhtala, A. (2013). Opportunity costs of providing crop diversity in organic and conventional farming: Would targeted environmental policies make economic sense? *European Review of Agriculture Economics*, 40(3), 441-462. <http://doi.org/10.1093/erae/jbs029>
- Soares-Filho, B., Rajão, R., Merry, F., Rodrigues, H., Davis, J., Lima, L., Macedo, M., Coe, M., Carneiro, A., & Santiago, L. (2016). Brazil's market for trading forest certificates. *PLoS One*, 11(4), e0152311. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0152311>
- Sparovek, G., Berndes, G., Klug, I. L. F., & Barretto, A. G. O. P. (2010). Brazilian agriculture and environmental legislation: Status and future challenges. *Environmental Science & Technology*, 44(16), 6046-6053. <http://doi.org/10.1021/es1007824>
- Strand, J., Soares-Filho, B., Costa, M. H., Oliveira, U., Ribeiro, S. C., Pires, G. F., Oliveira, A., Rajão, R., May, P., van der Hoff, R., Siikamäki, J., da Motta, R. S., & Toman, M. (2018). Spatially explicit valuation of the Brazilian Amazon Forest's ecosystem services. *Nature Sustainability*, 1(11), 657-664. <http://doi.org/10.1038/s41893-018-0175-0>
- Tone, K. (2001). A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 130(3), 498-509. [http://doi.org/10.1016/S0377-2217\(99\)00407-5](http://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00407-5)
- Zhou, P., Ang, B. W., & Poh, K. L. (2006). Slacks-based efficiency measures for modeling environmental performance. *Ecological Economics*, 60(1), 111-118. <http://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.12.001>

Data de submissão: Maio 16, 2025

Data de aceite: Julho 07, 2025

JEL Classification: Q51, Q57, R52

Editor associado: Daniel Arruda Coronel