

CUSTOS E BENEFÍCIOS DE EMISSÕES EVITADAS DE CARBONO NOS MUNICÍPIOS PRIORITÁRIOS PARA REDUÇÃO DE DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA

COSTS AND BENEFITS OF AVOIDED CARBON EMISSIONS IN MUNICIPALITIES PRIORITIZED FOR DEFORESTATION REDUCTION IN THE AMAZON

COSTOS Y BENEFICIOS DE LAS EMISIONES DE CARBONO EVITADAS EN LOS MUNICIPIOS PRIORITARIOS PARA LA REDUCCIÓN DE LA DEFORESTACIÓN EN LA AMAZONÍA

Filipe Xavier Ferreira De Sá

Universidade Federal do Rio de Janeiro,
Graduação em Ciências Econômicas, Rio de Janeiro, Brasil
filipexfdesa@gmail.com
<http://orcid.org/0009-0001-8754-6932>

Carlos Eduardo Frickmann Young

Universidade Federal do Rio de Janeiro,
Professor Doutor em Economia, Rio de Janeiro, Brasil
tiago.barcelos@ppge.ie.ufrj.br
<http://orcid.org/0000-0002-4225-4936>

Biancca Scarpeline de Castro

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro,
Professora Doutora em Economia, Seropédica, Brasil
bianccastro2@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0003-4878-1419>

Tiago Rodrigo Ferreira Barcelos

Universidade Federal do Rio de Janeiro,
Doutorando em Economia, Rio de Janeiro, Brasil
tiago.barcelos@ppge.ie.ufrj.br
<http://orcid.org/0009-0005-6916-0824>

RESUMO

A conservação da Floresta Amazônica é fundamental no combate às mudanças climáticas por ser um dos maiores reservatórios de carbono do planeta. Contudo, persistem fortes pressões de desmatamento para converter florestas em pastagens e áreas de cultivo. Para atuar com mais foco, o Governo Federal criou a Lista de Municípios Prioritários para Ações de Prevenção, Controle e Redução do Desmatamento. Este estudo avalia a viabilidade econômica da conservação da vegetação nativa nesses municípios, através de um modelo que estima os custos e benefícios da conservação em diferentes cenários. Embora cenários sejam bastante distintos entre si, os resultados em todos eles são consistentes em mostrar que os custos estimados da conservação, entre R\$ 2,5/tCO₂e (US\$ 0,5/tCO₂e) e R\$ 7,8/tCO₂e (US\$ 1,5/tCO₂e), são significativamente inferiores aos benefícios da conservação do carbono, considerando os preços praticados nos mercados de créditos de carbono. Isso comprova que a

conservação da Floresta Amazônica é economicamente viável, mas sua implementação requer superar barreiras políticas e institucionais, como ausência de financiamento, incentivos e de regulamentação adequada.

Palavras-chave: Desmatamento; Amazônia; Mudanças climáticas; Carbono; Florestas tropicais.

ABSTRACT

The conservation of the Amazon Rainforest is fundamental in combating climate change, as it is one of the largest carbon reservoirs on the planet. However, strong pressures from deforestation persist to convert forests into pastures and croplands. To act in a more focused manner, the Federal Government created the List of Priority Municipalities for Actions to Prevent, Control, and Reduce Deforestation. This study assesses the economic feasibility of conserving native vegetation in these municipalities using a model that estimates the costs and benefits of conservation in different scenarios. Although the scenarios are quite different from each other, the results in all of them are consistent in showing that the estimated costs of conservation, between R\$ 2.5/tCO₂e (US\$ 0.5/tCO₂e) and R\$ 7.8/tCO₂e (US\$ 1.5/tCO₂e), are significantly lower than the benefits of carbon conservation, considering the prices practiced in the carbon credit markets. This proves that conservation of the Amazon Forest is economically viable, but its implementation requires overcoming political and institutional barriers, such as lack of financing, incentives, and adequate regulation.

Keywords: Deforestation; Amazon; Climate change; Carbon; Tropical forests.

RESUMEN

La conservación de la selva amazónica es fundamental para combatir el cambio climático, ya que es uno de los mayores sumideros de carbono del planeta. Sin embargo, persisten fuertes presiones de deforestación para convertir los bosques en pastizales y áreas de cultivo. Para actuar con mayor precisión, el Gobierno Federal creó la Lista de Municipios Prioritarios para Acciones de Prevención, Control y Reducción de la Deforestación. Este estudio evalúa la viabilidad económica de la conservación de la vegetación nativa en estos municipios, mediante un modelo que estima los costos y beneficios de la conservación en diferentes escenarios. Aunque los escenarios son muy distintos entre sí, los resultados en todos ellos son consistentes en mostrar que los costos estimados de la conservación, entre R\$ 2,5/tCO₂e (US\$ 0,5/tCO₂e) y R\$ 7,8/tCO₂e (US\$ 1,5/tCO₂e), son significativamente inferiores a los beneficios de la conservación del carbono, considerando los precios practicados en los mercados de créditos de carbono. Esto demuestra que la conservación de la selva amazónica es económicamente viable, pero su implementación requiere superar barreras políticas e institucionales, como la falta de financiación, incentivos y una regulación adecuada.

Palabrasclave: Deforestación; Amazonia; Cambio climático; Carbono; Bosques tropicales.

INTRODUÇÃO

O desmatamento na Amazônia brasileira é fortemente impulsionado por políticas públicas e atividades privadas voltadas à maximização de lucros no curto prazo. Esse processo de mudança no uso da terra substitui a vegetação nativa por pastagens ou áreas de cultivo através da queima da vegetação nativa (YOUNG, 2018), configurando-se como a

principal fonte de emissões de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil. Secundariamente, como a maior parte da área desmatada é destinada à expansão da pecuária, as emissões de metano oriundo da fermentação entérica do rebanho bovino também representa uma contribuição significativa para o total de emissões nacionais (SEEG, 2021).

Tsai et al. (2024) estimam que, em 2023, as emissões de mudanças no uso da terra para fins agropecuários, combinadas com as emissões diretas desse setor, representaram cerca de 74% das emissões brasileiras de GEE. Isso mostra a persistência da tendência histórica de desmatamento e emissão de GEE, especialmente nos biomas Amazônia e Cerrado (OMETTO *et al.*, 2021).

Por outro lado, o número de propriedades rurais que efetua o desmatamento é relativamente reduzido e espacialmente concentrado. Diante desse cenário, o governo federal adotou medidas específicas para conter o avanço do desmatamento nas principais áreas afetadas. Em 2008, o Ministério do Meio Ambiente (MMA) instituiu a Lista de Municípios Prioritários para Ações de Prevenção, Controle e Redução do Desmatamento (LMP), após constatar que, entre os 547 municípios do Bioma Amazônia, apenas 36 concentravam 45% do desmatamento. Essa lista, atualizada anualmente, orienta a implementação de ações integradas que vão do monitoramento ambiental à restrição de crédito rural para municípios com elevados índices de supressão florestal. Estudos mostram que a lista ajudou a reduzir o desmatamento sem afetar negativamente a produtividade agropecuária (ASSUNÇÃO; ROCHA, 2019; MOFFETTE *et al.*, 2021).

No entanto, a pecuária segue como principal causa da perda florestal nas áreas de fronteira agrícola (COSTA, 2022) e, apesar desses esforços, o desmatamento permanece em patamar elevado. Por isso, em 2023, a LMP foi ampliada, incluindo 70 municípios responsáveis por 75% do desmatamento da Amazônia brasileira (MMA, 2023b).

Este trabalho visa estimar os custos da conservação dos remanescentes florestais nos Municípios Prioritários para Ações de Prevenção, Controle e Redução do Desmatamento da Amazônia, além dos benefícios de emissões evitadas de carbono pela conservação. Seu propósito é avaliar se a preservação de vegetação nativa na LMP seria economicamente viável através de políticas de redução de emissões de GEE. A metodologia e resultados são baseados na monografia de De Sá (2025), no âmbito do projeto de pesquisa “Subsídios e Direcionamento para as Ações da Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais” elaborada para o MMA (YOUNG *et al.*, 2024).

Para tal, são discutidos três cenários nos municípios: (i) cenário de conservação integral dos remanescentes de vegetação nativa localizados dentro das propriedades privadas, (ii) cenário em que a meta de conservação seria todo excedente de Reserva Legal (RL) dentro desses municípios; e (iii) um cenário que considera uma restrição orçamentária de recursos públicos. A comparação entre custos da conservação e benefícios das emissões evitadas permite estabelecer se a redução de emissões de GEE na LMP é economicamente viável. Assim, busca contribuir para orientar políticas públicas mais eficazes e sustentáveis em regiões críticas do bioma amazônico.

Além desta introdução, o artigo possui mais quatro seções. Na segunda é discutida a base teórica e a lógica econômica que fundamentam a análise. A terceira apresenta a metodologia e a base de dados para estimar os custos e benefícios da conservação nos MPs. Os resultados encontrados são apresentados e discutidos na quarta seção, analisando as implicações de cada cenário. Em seguida são apresentadas as considerações finais com recomendações de possíveis expansões do estudo.

Externalidades e curva de oferta de conservação ambiental

A natureza provê gratuitamente serviços ecossistêmicos que beneficiam as sociedades humanas. Contudo, a busca pela maximização de lucros em atividades privadas pode prejudicar a provisão desses serviços ecossistêmicos, resultando em perdas coletivas de bem-estar que podem, inclusive, ser maiores do que os ganhos privados obtidos. Essas perdas difusas são conhecidas na literatura econômica como externalidades negativas, e representam falhas de mercado porque as decisões privadas de produção ou o consumo desconsideram sua existência. Por essa razão, na presença de externalidades, o nível de produção e consumo definido pelo mercado não corresponde ao ótimo social, demandando a intervenção de políticas públicas corretivas (PERMAN *et al.*, 2003).

Em outras palavras, o sistema de preços de mercado falha em não atribuir valor aos serviços ecossistêmicos, embora esses sejam importantes para a produção e o bem-estar social. Essa é a explicação econômica da racionalidade do desmatamento: proprietários rurais tomam decisões de uso da terra que visam maximizar seu lucro privado. Porém, ao decidir pelo desmatamento, ignoram as consequências para a sociedade como um todo dos custos da degradação ambiental (externalidades). Isso gera um modelo de ocupação do território no qual alguns se beneficiam da degradação, sem compensar os custos que causam, que acabam

sendo transferidos para a maioria, especialmente as gerações futuras. Dessa forma, a conservação do meio ambiente é uma questão de justiça social, inclusive de equidade entre gerações (SEROA-DA-MOTTA, 1997).

Os métodos de valoração ambiental contribuem nesse processo através de procedimentos que visam compreender as diferentes parcelas de importância (valor) dos recursos ambientais e serviços ecossistêmicos associados, expressos em unidades monetárias, que comparam as perdas e ganhos que a sociedade experimenta com a variação desses recursos (YOUNG *et al.*, 2024). Não se trata de “mercantilizar a natureza”, mas estabelecer métricas que facilitem a calibragem das políticas ambientais para alcançar soluções que maximizem o bem comum (e não o lucro privado). Os resultados de estudos de valoração ambiental devem sempre ser observados com cautela, pois cada método apresenta limitações relacionadas ao grau de sofisticação necessária, às hipóteses sobre o comportamento dos consumidores, e aos impactos causados na sociedade do consumo ambiental em outros setores da economia. Além disso, a disponibilidade de dados e o conhecimento sobre a dinâmica ecológica do recurso analisado também influenciam a qualidade dos valores estimados.

Uma técnica bastante empregada é a análise custo-efetividade, que busca encontrar a forma de alcançar um objetivo de política ambiental, expresso em unidades físicas, com o menor custo econômico possível. Young *et al.* (2024) criaram um modelo de custo-efetividade de conservação florestal para os municípios brasileiros pautado pela comparação dos custos mínimos de proteger ou recuperar a vegetação nativa em terras privadas e o benefício obtido em termos de emissões evitadas de carbono, proteção do solo e conservação da biodiversidade.

O modelo é baseado no conceito de curva de oferta de serviços ambientais, que busca estimar o valor mínimo de um (hipotético) pagamento para que, voluntariamente, um proprietário rural decida conservar ou recuperar vegetação nativa na área sob seu controle. A ideia é que esse valor reflete uma compensação pelos custos que o proprietário enfrenta quando decide conservar a floresta em pé, abrindo mão do que ganharia caso desmatasse. No contexto rural, o custo de oportunidade da terra (COT) é a principal referência para definir esse sacrifício de valor, pois corresponde ao que se deixa de ganhar ao não utilizar a terra para fins agropecuários com finalidades conservacionistas (RUIJS *et al.*, 2017; YOUNG; BAKKER, 2015).

Quando associada a um serviço ecossistêmico específico, como por exemplo as emissões de GEE evitadas pela conservação, a curva de oferta de serviço ambiental depende de duas variáveis fundamentais: (i) o COT, expresso em R\$/hectare, de cada região estudada, e (ii) a variação na provisão do serviço ecossistêmico, quando a conservação deixa de existir. No caso de emissões evitadas de carbono florestal, a provisão do serviço ecossistêmico depende da densidade de carbono presente na biomassa da vegetação nativa (que se pretende conservar ou que está se recuperando): quanto maior essa densidade, maior o benefício por hectare conservado. Logo, para otimizar a relação custo-efetividade, as áreas prioritárias para conservação ou restauração florestal são as de menor custo de oportunidade e com vegetação nativa com maior densidade retida de carbono (YOUNG *et al.*, 2024).

Municípios prioritários para redução do desmatamento

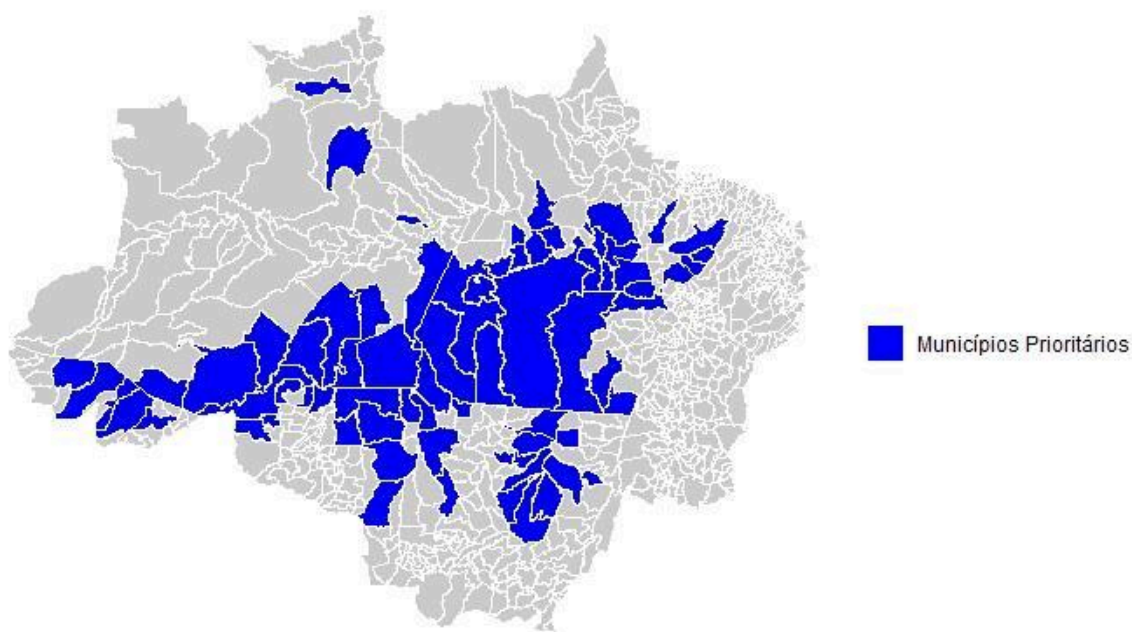
O desmatamento na Amazônia brasileira é resultado de uma combinação de fatores estruturais e institucionais. De um lado, políticas de desenvolvimento regional e a expansão de atividades econômicas privadas, orientadas pela lógica da maximização de lucros de curto prazo, intensificam a pressão sobre a vegetação nativa nessa área. De outro, a especulação fundiária sobre o valor da terra, orientada por fatores como infraestrutura, políticas de desenvolvimento e expansão da fronteira agrícola, tem como resultado incentivar a conversão de áreas de floresta em pastagens ou lavouras (YOUNG *et al.*, 2018; OMETTO *et al.*, 2011). Esse processo é agravado pela fragilidade dos mecanismos de fiscalização ambiental e das instituições e pela recorrente impunidade dos agentes envolvidos, o que reduz os custos de descumprir a legislação e reforça os incentivos ao avanço do desmatamento (ASSUNÇÃO *et al.*, 2023).

Deve-se ressaltar que o Código Florestal (BRASIL, 2012) impõe requisitos mínimos para a conservação em propriedades rurais (Reserva Legal), que são mais rigorosos nos municípios da Amazônia Legal: uma área mínima de 80% das propriedades rurais deve ser mantida com vegetação nativa (35% se estiver no bioma Cerrado) devem ser preservados. Contudo, essa legislação é pouco respeitada devido à baixa governança ambiental na região. Além disso, há sérios problemas de falta de clareza de direitos de propriedade, e o desmatamento está associado a disputas violentas pela terra (SANT'ANNA; YOUNG, 2010). A concentração do desmatamento em um número relativamente pequeno de municípios levou o MMA a elaborar a LMP (Figura 1). Os critérios de inclusão são: (i) área total de floresta

desmatada superior a 80 km²; (ii) desmatamento acumulado nos três anos anteriores igual ou superior a 160 km²; e (iii) aumento da taxa de desmatamento em pelo menos três dos últimos cinco anos. Caso o município comprove reduções expressivas e contínuas no desmatamento, pode ter seu nome retirado da lista (MMA, 2023a).

Além da LMP, o MMA criou também a lista de municípios com desmatamento monitorado e sob controle, para reconhecer municípios que saíram da LMP e avançaram no cumprimento de requisitos ambientais. Para serem incluídos nessa segunda lista, os municípios devem: (i) ter pelo menos 80% do território com imóveis rurais inscritos e monitorados pelo CAR/SICAR; (ii) apresentar ao menos 20% da área cadastrada em situação de análise, regularização ambiental ou passível de emissão de Cota de Reserva Ambiental; (iii) registrar desmatamento inferior a 40 km² nos últimos quatro períodos do PRODES/INPE; (iv) possuir menos de 40 km² de floresta degradada no último período do DETER/INPE; (v) manter, no mínimo, 30% da área desmatada embargada. Caso o município monitorado e sob controle volte a registrar desmatamento superior a 40 km² em um único período de monitoramento, tem seu nome reingresso na LMP (MMA, 2023a).

Figura 1: Mapa dos Municípios Prioritários para Ações de Prevenção, Controle e Redução do Desmatamento na Amazônia brasileira



Fonte: Elaboração própria, baseado em MMA (2023b)

A elaboração inicial da LMP, em 2008, fez parte de uma estratégia mais ampla de enfrentamento ao desmatamento, iniciada em 2004, com o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm). A LMP foi decisiva para reduzir o desmatamento e seus impactos (ASSUNÇÃO; ROCHA, 2019), inclusive na saúde humana (MELO, 2020). Embora esvaziada no período 2019-2022, em 2023, o Governo Federal retomou a prioridade para essa política, lançando o Programa União com Municípios pela Redução do Desmatamento e Incêndios Florestais na Amazônia (UCM), visando alcançar o desmatamento zero na Amazônia Legal até 2030.

O principal impacto da LMP foi a fiscalização do desmatamento nesses municípios, o que em sinergia com as operações do Ibama, que ampliou a fiscalização, aplicou multas e embargou áreas associadas a práticas ilegais, tiveram um impacto positivo na redução do desmatamento nesses municípios. Além disso, medidas complementares, como restrições ao crédito rural subsidiado, embargos comerciais de grandes frigoríficos à carne proveniente de áreas irregulares e incentivos a sistemas produtivos mais sustentáveis, também contribuíram para os resultados positivos, embora de maneira limitada (ASSUNÇÃO; ROCHA, 2019).

METODOLOGIA

A metodologia segue o modelo estabelecido em Young *et al.* (2024) para estimar a curva de oferta de conservação da vegetação nativa e comparar com os benefícios gerados. O custo de oportunidade da terra (COT) é adotado como *proxy* do custo de privado de conservação, partindo da premissa de que a razão econômica para o desmatamento é o rendimento esperado, líquido de custos, do uso agropecuário da terra. Young *et al.* (2024) projetam benefícios da conservação em termos de emissões de carbono, erosão do solo e biodiversidade. O presente trabalho considera apenas os benefícios esperados pelas emissões evitadas de carbono através da conservação de áreas de vegetação nativa. Portanto, os benefícios apresentados subestimam os ganhos de bem-estar com a LMP. As informações são apresentadas como médias municipais, o que resulta em imprecisões devido a possíveis diferenças das variáveis estudadas entre as propriedades dentro do mesmo município.

Embora a conservação da vegetação nativa acarrete custos administrativos, de monitoramento e proteção das áreas de remanescentes, o COT é utilizado na literatura como principal referência para estimar os custos mínimos associados à conservação (WUNDER *et al.*, 2008) por causa da dificuldade em especificar e calcular os demais custos, que

usualmente têm menor dimensão. Por expressar o sacrifício de ganho pelo uso agropecuário da terra, o COT contribui para identificar as áreas de maior pressão do desmatamento.

O COT foi estimado pela média aritmética simples de valores do custo de oportunidade da terra obtidos por dois métodos diferentes. O primeiro método calcula o retorno líquido médio, por hectare, ponderado pelo peso de cada atividade agropecuária (lavoura, pecuária e silvicultura) no território municipal, com base nos dados do Censo Agropecuário de 2017 (IBGE, 2022). O segundo considera que o retorno médio anual da agropecuária equivale a 4,5% do valor médio da terra nua, com base em preços observados por INCRA (2023). Os resultados são apresentados em forma de valor presente, considerando um horizonte temporal de 15 anos e taxa de desconto de 4,5% a.a.

A área a ser conservada considera duas situações: (i) o total de remanescentes florestais em propriedades privadas no município, e (ii) o total de excedentes de Reserva Legal no município, de acordo com a legislação florestal. Os dados sobre excedentes de Reserva Legal e remanescentes florestais em propriedades privadas foram obtidos a partir do Atlas Agropecuário (Imaflora, 2021), que utiliza informações do Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SiCAR) e outros registros fundiários, combinados com dados de cobertura florestal disponibilizados pela plataforma MapBiomas (2024).

O benefício analisado concentra-se nas emissões de carbono florestal evitadas pela conservação dos remanescentes florestais em propriedades privadas (total e de excedente de Reserva Legal). As emissões são calculadas pela multiplicação da área de vegetação vezes a densidade de carbono florestal média no município, conforme SEEG (2021) com dados em formato raster do Carbono de Vegetação Pretérita¹ para cada município, expressas em tCO₂e/ha². Como os valores de densidade média de carbono no bioma Amazônia são os mais elevados entre os biomas brasileiros e a conservação de remanescentes florestais é maior na Amazônia do que nos demais biomas do país, impedir o desmatamento nos municípios prioritários tem um papel crucial no alcance das metas de mitigação das emissões de GEE no Brasil.

¹ Carbono de Vegetação Pretérita refere-se à quantidade de carbono estocado pela vegetação nativa em uma determinada área. Engloba o carbono presente ou potencialmente presente na biomassa aérea, subterrânea e no solo, servindo como referência para estimar tanto o estoque existente nas áreas preservadas quanto as perdas associadas ao desmatamento ou à conversão do uso da terra.

² A quantidade de carbono na biomassa é expressa em toneladas de carbono por hectare (tC/ha) e convertida para toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO₂e/ha) multiplicando-se por um fator de 3,67.

A viabilidade econômica da conservação é identificada quando os benefícios superam os custos previstos. No caso das emissões de carbono evitadas pela conservação, esse benefício pode ser associado aos custos sociais globais que seriam causados pelo aumento induzido na concentração de GEE (PEARCE, 2003). Há distintos modelos que associam emissões, concentração atmosférica, aumento de temperatura e danos resultantes, com amplo gradiente de resultados, que variam conforme metodologia, taxa de desconto e outros pressupostos. Algumas estimativas recentes apontam de US\$ 80/tCO₂e (TOL, 2023) a US\$ 185/tCO₂e (RENNERT *et al.*, 2022).

Uma forma alternativa, mais conservadora, de estimar o benefício social das emissões evitadas de GEE é verificar o preço atualmente pago em mercados de créditos de carbono. A racionalidade dessa abordagem é identificar o quanto a sociedade atual atribui de importância ao problema climático através de valores observados de disposição a pagar para evitar o aumento das emissões. Esses valores também variam conforme o local e a metodologia adotada, devido a mudanças políticas, eventos econômicos e flutuações de oferta e demanda, agravadas pela ausência de regulamentação global uniforme, e tendem a subestimar o custo social global do problema climático (WORLD BANK, 2024). Porém, seu resultado é mais próximo aos valores praticados em implementações de políticas públicas e acordos internacionais que, na prática, estabelecem ações de mitigação.

Optou-se neste trabalho a selecionar dois valores de referência entre os valores mais baixos de cada categoria, expressos em reais por uma taxa de câmbio de R\$ 5,4/US\$³: o custo social global de R\$452/tCO₂e, correspondente a US\$ 80/tCO₂e (TOL, 2023), e R\$ 67,5/tCO₂e, equivalente ao preço do crédito de carbono de US\$ 12,5/tCO₂e praticado no mercado chinês (WORLD BANK, 2024).

Foram propostos três cenários distintos de meta de conservação nos municípios da LMP, baseados em De Sá (2025): (i) conservação integral dos remanescentes de vegetação nativa localizados dentro das propriedades privadas, (ii) conservação apenas dos remanescentes presentes nos excedentes de Reserva Legal; e (iii) máxima conservação possível em excedentes de Reserva Legal em um contexto de restrição orçamentária de recursos públicos. Nesse caso, toma-se como referência o investimento de R\$ 730 milhões proposto pelo UCM para fomentar o desenvolvimento sustentável e combater o

³ Taxa de câmbio média mensal no ano de 2024.

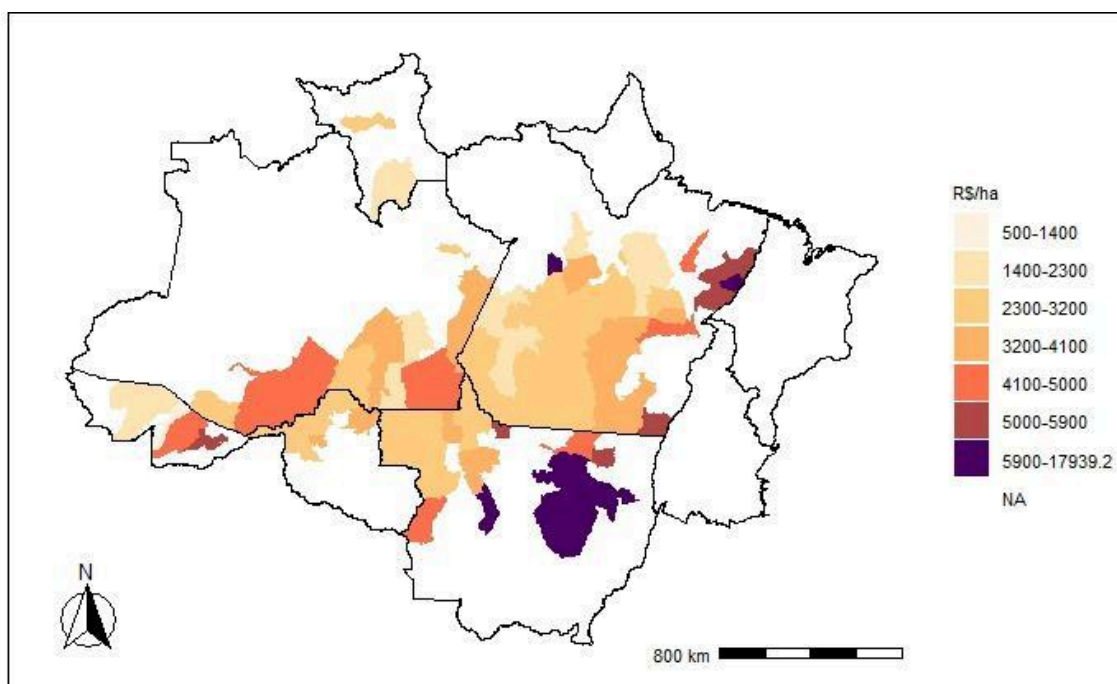
desmatamento e os incêndios florestais nos 70 municípios prioritários para o combate ao desmatamento da Amazônia.

Os dois primeiros cenários consideram estimar qual seria o preço, com base em um hipotético sistema de pagamentos por serviços ambientais (PSA), suficiente para induzir a conservação dos remanescentes de vegetação nativa, de forma voluntária, nos municípios da LMP. O terceiro cenário simula qual seria a distribuição de ações voluntárias de conservação de remanescentes de vegetação nativa caso o Governo Federal assumisse alocar os recursos em ações de conservação e combate ao desmatamento também através de um sistema de PSA. Desse modo, é possível identificar os municípios prioritários onde a alocação de recursos seria mais custo-efetiva, ou seja, onde se alcançaria a maior redução de emissões com quantia pré-determinada de recursos financeiros.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 2 apresenta o valor médio do COT nos municípios da LMP. O rendimento médio anual estimado é de R\$ 348,50/hectare, equivalente a R\$ 3.742,76 em valor presente para um período de 15 anos. Esses valores estão significativamente abaixo da média nacional do COT, estimada em Young *et al.* (2024), que é de R\$ 1209/hectare (R\$ 12.986/ha em valor presente). Os municípios com COT mais elevados estão situados nas áreas mais meridionais da fronteira agrícola, especialmente em Mato Grosso.

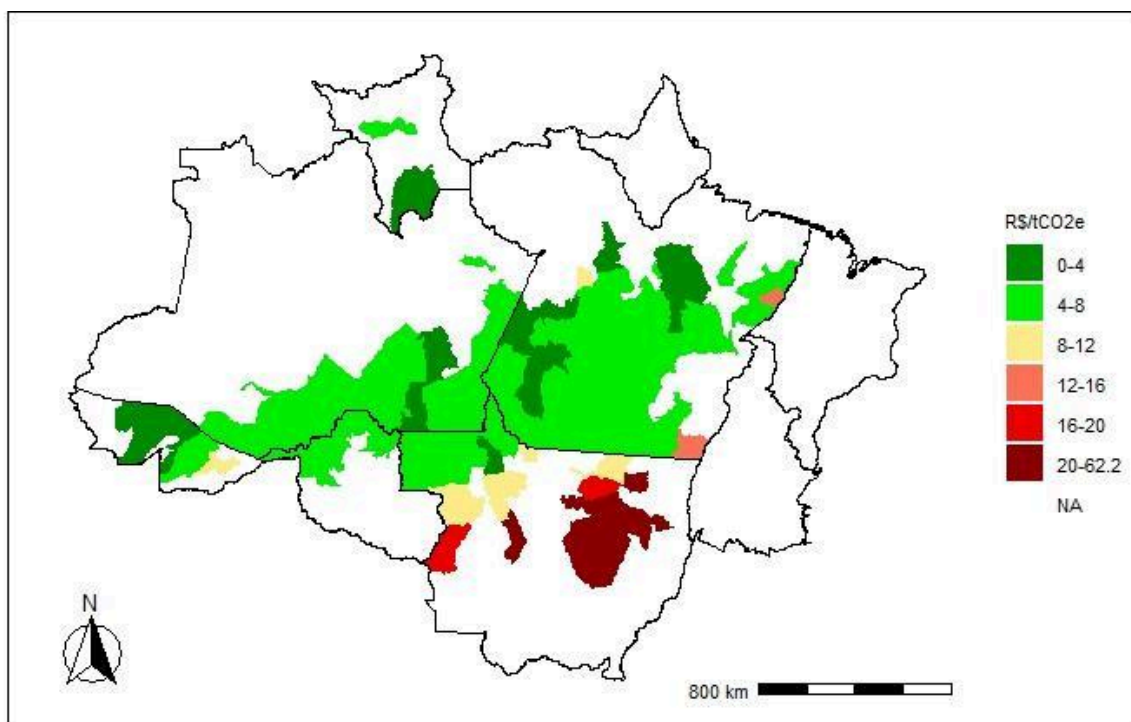
Figura 2: Mapa do custo de oportunidade da terra (COT) nos municípios da LMP, em R\$/ha



Fonte: Elaboração própria.

A figura 3 apresenta o preço hipotético (em R\$/tCO₂e) a ser pago pelas emissões evitadas de carbono pela conservação de toda área de remanescentes de vegetação nativa dentro das propriedades privadas nos municípios da LMP (cenário 1). Esses valores foram obtidos contrastando o COT (em valor presente, 15 anos) com a quantidade estimada de carbono retido pelos remanescentes de vegetação nativa em cada município.

Figura 3: Mapa do Preço do Carbono Implícito para a Conservação da Vegetação durante 15 anos nos Municípios Prioritários



Fonte: Elaboração própria.

Os valores variam desde menos de R\$ 1/tCO₂e até um pouco mais de R\$ 62/tCO₂e, com valor médio de R\$ 7,8/tCO₂e (US\$ 1,5/tCO₂e). A tabela 1 mostra que a conservação de 34,5 milhões de hectares em propriedades privadas na LMP, com cerca de 7% de remanescentes da vegetação nativa do país, exigiria investimento de R\$ 148 bilhões (em valor presente ao longo de 15 anos) para evitar a emissão de mais de 19 bilhões de tCO₂e. Embora seja difícil supor que haja disponibilidade desse grande volume de recursos no curto

prazo, verifica-se que os custos por tonelada de CO₂e encontram-se dentro da faixa conservadora de valores considerados para medir o benefício global de evitar essas emissões.

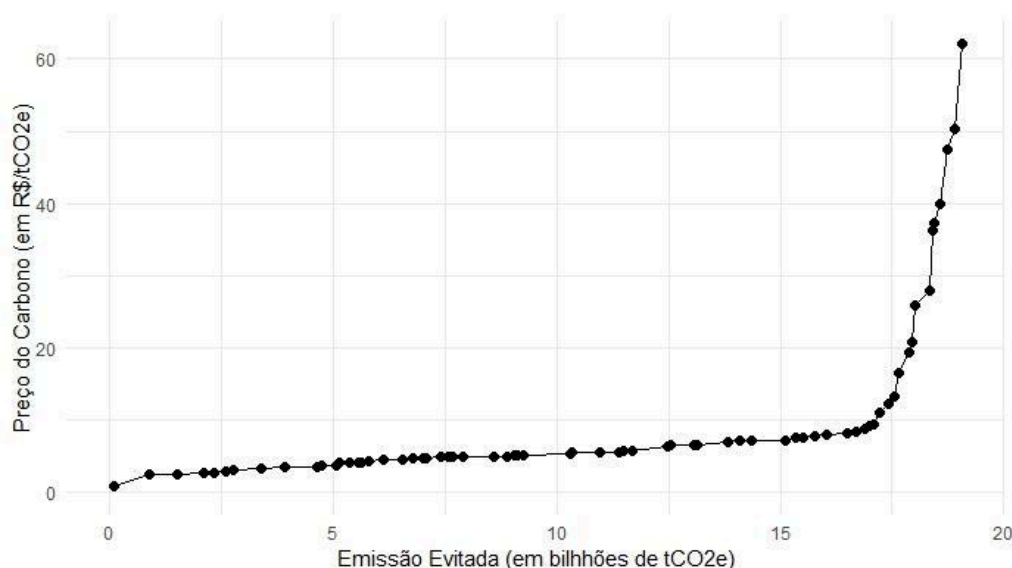
Tabela 1: Custos e benefícios da conservação de todos os remanescentes de vegetação nativa em propriedades privadas nos municípios da LMP

Área	Remanescente de Vegetação Total (ha)
	34.568.766,90
Custos	Custos Totais (em milhões de R\$)
	148.138,31
Benefícios	Emissão Evitada (em milhões de tCO ₂ e)
	19.071,73

Fonte: Elaboração própria.

A figura 4 ilustra a curva de oferta de conservação de carbono florestal do cenário 1, mostrando a quantidade de carbono que se conseguiria conservar em função do preço (R\$/t CO₂e) em um hipotético sistema de PSA, considerando todos os remanescentes de vegetação nativa em propriedades privadas na LMP. A simulação estima que, ao preço de R\$ 20/tCO₂e, seria possível conservar cerca de 17,8 bilhões de toneladas de CO₂e, e ao preço de R\$ 62/t CO₂e todo o remanescente seria conservado (19,1 bilhões de tCO₂e). Como esses valores estão abaixo do custo social global do carbono, mesmo considerando os valores praticados atualmente no mercado de créditos de carbono, os resultados mostram que a conservação florestal é economicamente viável (ou, alternativamente, que o benefício privado obtido com o desmatamento é inferior às externalidades climáticas negativas geradas).

Figura 4: Curva de oferta de conservação de todos os remanescentes de vegetação nativa em propriedades privadas nos municípios da LMP, em R\$/tCO₂e



Fonte: Elaboração própria.

O segundo cenário analisa o incentivo econômico restrito à conservação da vegetação nativa restrita aos excedentes de Reserva Legal. Nesse cenário, a conservação seria de 4,1 milhões de hectares, cerca de 5% do excedente nacional, exigindo R\$ 17,4 bilhões em 15 anos para evitar 2,3 bilhões de tCO₂e (tabela 2).

Tabela 2: Custos e benefícios da conservação dos remanescentes de vegetação nativa em excedentes de Reserva Legal em propriedades privadas nos municípios da LMP

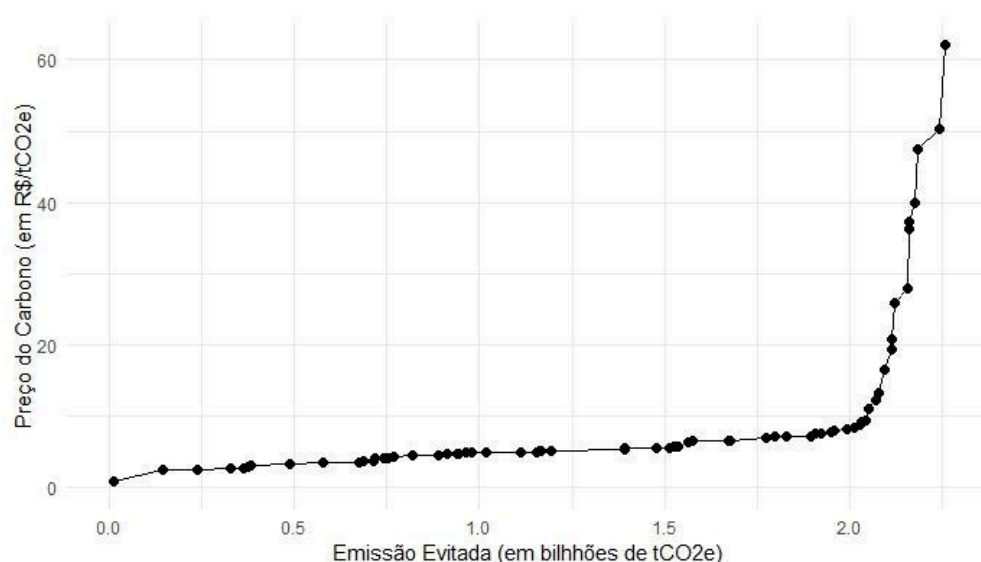
Área	Excedente de RL Total (ha)
	4.136.050,26
Custos	Custos Totais (em milhões de R\$)
	17.396,80
Benefícios	Emissão Evitada (em milhões de tCO ₂ e)
	2.258,65

Fonte: Elaboração própria.

A figura 5 apresenta o custo estimado por tonelada de CO₂e pela conservação do excedente de RL. Ao valor de R\$ 10/tCO₂e, seria viável evitar a emissão de mais de 2 bilhões de toneladas de CO₂e, enquanto com um preço de aproximadamente R\$ 62/tCO₂e, seria possível conservar todo o excedente de RL nos Municípios Prioritários. Como no

cenário anterior, os resultados mostram que o benefício gerado pela conservação do carbono, medido pelos preços atuais dos créditos de carbono, superam o custo de oportunidade da terra (ou seja, o retorno esperado pela conversão da terra para uso agropecuário). Mas, mesmo assim, o volume de recursos necessário é bastante superior aos recursos atualmente disponíveis para conservação florestal.

Figura 5: Curva de oferta de conservação dos remanescentes de vegetação nativa em excedentes de Reserva Legal em propriedades privadas nos municípios da LMP, em R\$/tCO₂e



Fonte: Elaboração própria.

O terceiro cenário adota uma abordagem mais modesta, considerando o limite de R\$ 730 milhões para aplicação em um hipotético sistema de PSA voltado para a conservação de excedentes de Reserva Legal, conforme estabelecido no UCM (R\$ 600 milhões serão provenientes do Fundo Amazônia e R\$ 130 milhões do programa Floresta+). Dessa forma, são priorizados os locais onde a conservação implica em menor sacrifício de valor de produção.

A tabela 3 apresenta os resultados do cenário 3. Poderiam ser conservados cerca de 468 mil hectares de remanescentes florestais em excedente de Reserva Legal, evitando a emissão de 293 milhões de tCO₂e. A área e volume de emissões evitadas são consideravelmente menores do que nos cenários anteriores porque supõe-se utilizar um

montante bastante inferior de recursos financeiros. Porém, nesse cenário, o valor médio de R\$ 2,5/tCO₂e (US\$ 0,5/tCO₂e) indica que o custo de oportunidade sacrificado, por unidade de carbono evitada, seria o mais baixo.

Tabela 3: Custos e benefícios da conservação dos remanescentes de vegetação nativa em excedentes de Reserva Legal em propriedades privadas nos municípios da LMP com restrição financeira

Área	Excedente de RL Total (ha)
	468.129,60
Custos	Restrição Financeira (em milhões de R\$)
	730
Benefícios	Emissão Evitada (em milhões de tCO ₂ e)
	292,63

Fonte: Elaboração própria.

Nesse cenário, a conservação se concentraria nos quatro municípios da LMP, todos localizados no Acre: Manoel Urbano, Portel, Feijó e Tarauacá. Essa concentração decorre do nível de agregação das informações por município, desconsiderando as diferenças intramunicipais. Por isso, são priorizados os municípios com menor relação entre COT e densidade de carbono florestal.

Os resultados dos três cenários mostram consistentemente que o custo econômico de implementar programas de conservação na LMP é bastante baixo em relação ao benefício de reduzir a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera. Mais uma vez, deve-se lembrar que o uso de preços em mercados de créditos de carbono busca estabelecer uma medida de bem-estar baseada na disposição a pagar revelada para reduzir emissões de GEE, e não uma proposição de estabelecer efetivamente esses mercados no Brasil.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados indicam que conservar a vegetação nativa nos municípios da LMP é viável porque os benefícios de reduzir o aumento na concentração de GEE na atmosfera superam largamente os custos dessa conservação, medidos pelo custo de oportunidade da

terra. No entanto, deve-se recordar que há outros custos envolvidos que não foram considerados neste exercício, como os custos de gestão, monitoramento e fiscalização.

Também persistem desafios ligados a escassez de fontes de financiamento e falta de estratégias eficazes. A ausência de incentivos no setor privado e de regulamentações ou políticas públicas estruturadas limita a expansão de instrumentos baseados em serviços ambientais, gerando escassez de recursos (YOUNG; CASTRO, 2021).

No cenário atual, marcado por um subfinanciamento da pauta ambiental e pela falta de mecanismos, como um mercado nacional de créditos de carbono, alcançar conservação em larga escala ainda parece distante. Mas a busca por recursos internacionais para financiar a conservação florestal na Amazônia deve persistir, especialmente no âmbito das negociações internacionais sobre mudanças climáticas, por ser um instrumento bastante custo-efetivo.

Por fim, deve-se destacar as inúmeras limitações metodológicas e simplificações adotadas neste estudo. Em particular, cabe ressaltar que os benefícios da conservação estimados neste artigo são bastante conservadores por considerar apenas emissões evitadas de carbono. A inclusão de ganhos como redução da erosão e preservação da biodiversidade tornaria a conservação ainda mais atrativa. Reconhecer as sinergias entre os serviços ambientais é fundamental, abrindo espaço para futuras análises que incorporem esses benefícios e explorem modelos de financiamento viáveis.

REFERÊNCIAS

ASSUNÇÃO, Juliano; ROCHA, Rocha. Getting greener by going black: the effect of blacklisting municipalities on Amazon deforestation. **Environment and Development Economics**, v. 24, n. 2, p. 115-137, 2019.

ASSUNÇÃO, Juliano; GANDOUR, Clarissa; ROCHA, Romero. DETER-ing deforestation in the Amazon: environmental monitoring and law enforcement. **American Economic Journal: Applied Economics**, v. 15, n. 2, p. 125-156, 2023.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre o Novo Código Florestal Brasileiro. Brasília, DF, 2012

COSTA, Lucas de Almeida Nogueira. **Não basta ser "tech": o choque de produtividade da soja transgênica no desmatamento e usos do solo no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Ciências Econômicas), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.

DAVID, Hassan; MACFARLANE, David. Controls on deforestation in the Brazilian Amazon: Explaining past success actions, new challenges and recommendations. **Acta Amazonica**, v. 55, p. e55es24213, 2025.

DE SÁ, Filipe Xavier Ferreira. **Custos e benefícios da conservação de remanescentes florestais nos municípios prioritários para ações de prevenção, controle e redução de desmatamento**. Monografia (Graduação em Ciências Econômicas), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2025

DUARTE, Beatriz Bergamim; TUPIASSU, Lise; NOBRE, Simone. O mercado de carbono na política de mitigação das mudanças climáticas. **Revista de Direito Ambiental e Socioambientalismo**, v. 6, n. 2, p. 93-108, 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo agropecuário 2017**: características gerais das produções agropecuária e extrativista, segundo a cor ou raça do produtor e recortes territoriais específicos. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

INSTITUTO DE MANEJO E CERTIFICAÇÃO FLORESTAL E AGRÍCOLA (IMAFLOA). **Shapefile Fundiário - Limites da Malha Fundiária**. Disponível em: https://imaflora-s3-atlas.s3.sa-east-1.amazonaws.com/pa_br_landtenure_imaflora_2021.gpkg
Acesso em 01/08/2024

INCRA - INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA (INCRA). **Atlas do Mercado de Terras: Dados, Valores e Tendências do Mercado de Terras Rurais**. Brasília: Incra, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/incra/pt-br/centrais-de-conteudos/publicacoes/ATLAS_MERCADO_TERRAS_2023.pdf

MAPBIOMA. Projeto MapBiomas – **Coleção [versão] da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil**. Disponível em: https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/initiatives/brasil/collection_8/lcl/coverage/brasil_coverage_2022.tif Acesso em: 01/08/2024.

MELO, Ana Karolina Acris et al. **Avaliação do impacto da lista de municípios prioritários no bioma Amazônia sobre indicadores de saúde e produtividade pecuária**. Dissertação (Mestrado em Economia), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. 2020.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA (MMA). **Portaria**

GM/MMA nº 833, de 09 de novembro de 2023. Dispõe sobre os requisitos para a edição da lista de municípios situados no bioma Amazônia prioritários para ações de prevenção, controle e redução dos desmatamentos e degradação florestal, e da lista de municípios com desmatamento monitorado e sob controle. Brasília, DF, 2023a. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-gm/mma-n-833-de-9-de-novembro-de-2023-522161577> Acesso em: 14/11/2024.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA (MMA). **Portaria GM/MMA nº 834, de 09 de novembro de 2023.** Dispõe sobre a edição da lista de municípios situados no Bioma Amazônia considerados prioritários para ações de prevenção, controle e redução dos desmatamentos e degradação florestal, e da lista de municípios com desmatamento monitorado e sob controle. Brasília, DF, 2023b. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-gm/mma-n-834-de-9-de-novembro-de-2023-522161549> Acesso em: 14/11/2024.

MOFFETTE, Fanny; SKIDMORE, Marin; GIBBS, Holly. Environmental policies that shape productivity: Evidence from cattle ranching in the Amazon. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 109, p. 102490, 2021.

OMETTO, Jean Pierre; AGUIAR, Ana Paula Dutra; MARTINELLI, Luiz Antonio. Amazon deforestation in Brazil: effects, drivers and challenges. **Carbon Management**, v. 2, n. 5, p. 575-585, 2011.

PEARCE, David. The social cost of carbon and its policy implications. **Oxford review of economic policy**, v. 19, n. 3, p. 362-384, 2003.

PERMAN, Roger et al. **Natural resource and environmental economics**. 3rd ed. Harlow: Pearson Education, 2003.

RENNERT, Kevin et al. Comprehensive evidence implies a higher social cost of CO₂. **Nature** **610**, 687–692, 2022.

RUIJS, Arjan et al. Opportunity cost estimation of ecosystem services. **Environmental and Resource Economics**, v. 66, n. 4, p. 717-747, 2017.

SANT'ANNA, André Albuquerque; YOUNG, Carlos Eduardo Frickmann. Direitos de propriedade, desmatamento e conflitos rurais na Amazônia. **Economia aplicada**, v. 14, p. 381-393, 2010.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (SEEG) - **4 Inventário - CN/ Carbono da Vegetação Pretérta**, 2021. Disponível em: <https://ftp.cptec.inpe.br/pesquisa/p4cn/4%20Inventario-CN/Carbono%20da%20Vegeta%c3%a7%c3%a3o%20Pret%c3%a9rita/>. Acesso em: 13/11/2024.

SEROA DA MOTTA, Ronaldo. **Manual para valoração econômica de recursos ambientais**. Rio de Janeiro: IPEA/MMA/PNUD/CNPq, 1997.

TOL, Richard. The social cost of carbon. **Annu. Rev. Resour. Econ.**, v. 3, n. 1, p. 419-443, 2023.

TSAI, David et al. **Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil: 1970 – 2023**. Observatório do Clima, 2024. Disponível em: <https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2024/11/SEEG-RELATORIO-ANALITICO-12.pdf>. Acesso em: 17/12/2024.

WORLD BANK. **State and Trends of Carbon Pricing**, Washington, DC, 2024. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/253e6cdd-9631-4db2-8cc5-1d013956de15/content>. Acesso em: 25/11/2024.

WUNDER, Sven; ENGEL, Stefanie; PAGIOLA, Stefano. Taking stock: A comparative analysis of payments for environmental services programs in developed and developing countries. **Ecological Economics**, 65(4), 834–852. 2008

YOUNG, Carlos Eduardo Frickmann. O Sr. Keynes e o meio ambiente: desmatamento tropical e o custo de uso. **Revista de Economia Contemporânea**, v. 22, p. e182226, 2018.

YOUNG, Carlos Eduardo Frickmann; BAKKER, Leonardo Barcellos de. Instrumentos econômicos e pagamentos por serviços ambientais no Brasil. In: **FOREST TRENDS** (ed.). **Incentivos econômicos para serviços ecossistêmicos no Brasil**. Rio de Janeiro: Forest Trends, p. 33-56, 2015.

YOUNG, Carlos Eduardo Frickmann et al. **Roteiro para a valoração de benefícios econômicos e sociais de unidades de conservação**. Livro eletrônico, 1ed. Curitiba – PR: Fundação Grupo Boticário de Proteção à Natureza, 2015

YOUNG, Carlos Eduardo Frickmann et al. **Subsídios e Direcionamento para as Ações da Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais**. Relatório Final. Instituto de Economia, UFRJ, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2024.

YOUNG, Carlos Eduardo Frickmann; CASTRO, Biancca Scarpeline. Financing mechanisms to bridge the resource gap to conserve biodiversity and ecosystem services in Brazil. **Ecosystem Services**, v. 50, p. 101321, 2021.