



**Complexidade econômica
e desmatamento na
Amazônia brasileira**

**Fabricio Silveira, João P.
Romero, Elton Freitas,
Arthur Queiroz & Alexandre
Stein**

O presente artigo busca avaliar se o incremento da complexidade econômica pode fomentar um processo de crescimento sustentável da Amazônia brasileira. Para tanto, o estudo avalia os determinantes da variação no desmatamento na Amazônia Legal em nível municipal no período entre 2006 e 2021.

Em particular, o artigo investiga o efeito de mudanças qualitativas na estrutura produtiva dos municípios sobre o desmatamento, controlando para fatores tipicamente associados ao desmatamento, como os preços de commodities (carne, soja e madeira), políticas governamentais relativas à áreas de assentamento e proteção, ação da polícia ambiental (IBAMA), além de variáveis do ciclo político-econômico que podem afetar as decisões dos agentes sobre as escolhas de uso da terra.

Os testes empíricos reportados no artigo sugerem que o aumento do índice de complexidade econômica não necessariamente reflete uma reorganização da atividade produtiva local em direção a setores verdes, o que torna necessário estudos para identificação de atividades que possam contribuir para a preservação ambiental associada ao aumento da complexidade.

Os testes indicam que um aumento de 0,1 na complexidade tende a elevar em 9,5% o desmatamento no período presente e a reduzi-lo em 3,5% no período futuro. Os preços da soja, da carne bovina e dos produtos do extrativismo, por sua vez, têm efeito positivo sobre o desmatamento em alguns dos testes. Além disso, os testes indicam ainda que a complexificação produtiva tende a se associar ao crescimento do desmatamento em municípios de baixa complexidade e à redução do desmatamento em municípios de alta complexidade.

Em termos gerais, portanto, o aumento da complexidade não necessariamente reflete uma reorganização da atividade produtiva local em direção a setores verdes, o que torna necessários estudos para identificação de atividades que possam aliar preservação ambiental com aumento da complexidade. Além disso, os resultados apresentados no artigo indicam que os determinantes do desmatamento no período avaliado coincidem com aqueles reportados na literatura, como o preço (ou lucratividade) da pecuária, da agricultura e da atividade extrativista.

É importante notar que a variável de maior impacto no desmatamento anual e única significativa em todos os modelos e especificações é a fiscalização ambiental, confirmando o papel das políticas públicas para preservação da área verde na região. Os testes indicam ainda que um aumento de 1% nas autuações do IBAMA reduz em 0,5% o desmatamento no mesmo ano. Mais do que isso, as autuações parecem gerar um viés protetivo futuro, o que pode ser tanto resultado da redução do potencial de desmatamento desvelado pela autuação, como também por colocar a região em evidência, inibindo a derrubada da floresta.

Silveira, Fabricio; Romero, João P; Freitas, Elton; Queiroz, Arthur & Stein, Alexandre.

Complexidade econômica e desmatamento na Amazônia Brasileira (Working Paper nº 15). MADE/USP.

Fabrício Silveira, João P. Romero, Arthur Queiroz e Alexandre Stein são pesquisadores do Cedeplar - UFMG. Elton Freitas é pesquisador da UFS.

Os autores agradecem ao apoio das Open Society Foundations. Agradecemos, ainda, pela leitura atenta e preciosos comentários e sugestões dos colegas do Made/USP, Gilberto Tadeu Lima e Pedro Romero Marques, e da UFPA, Harley Silva e Francisco de Assis Costa. Por fim, agradecemos à edição de Maria Fernanda Sikorski.

1. Introdução

O avanço da literatura empírica sobre complexidade econômica trouxe sólidas evidências e em diversos níveis analíticos acerca da relação entre o aumento da complexidade e o crescimento da renda presente e futura (Hausmann *et al.*, 2014). A aquisição de novas competências produtivas, explicitada na diversificação e produção de bens mais complexos, também está associada ao aumento das patentes verdes (Mealy e Teytelboym, 2022), redução das emissões de gases de efeito estufa (Romero e Gramkow, 2021) e redução das desigualdades econômicas (Hartmann *et al.*, 2017). Em âmbito regional, estudos semelhantes indicam que a complexidade também impacta o crescimento do emprego formal a longo prazo (Romero *et al.*, 2022).

Estes resultados sugerem que a complexificação da estrutura produtiva pode ser um importante *driver* do desenvolvimento sustentável, oferecendo-se assim como uma solução para um dos principais problemas dos países em desenvolvimento no contexto em que as grandes transformações climáticas ameaçam o futuro da humanidade (Stern, 2007).¹ Como corolário dessa hipótese, a requalificação da estrutura produtiva dos municípios da Amazônia brasileira, com o aumento da sua complexidade econômica, poderia induzir um processo de crescimento econômico mais equitativo e de menor impacto ambiental. Este tema é central para esta região de biodiversidade única e responsável pela absorção de grandes quantidades de CO₂ da atmosfera, mas que sofre continuamente com a perda da cobertura vegetal desde meados da década de 1960.² Estudos recentes sugerem que algumas partes da Amazônia estão emitindo mais CO₂ do que absorvem, o que pode acelerar o aquecimento global e alterar os padrões climáticos regionais e globais (Gatti *et al.*, 2021).

A existência de uma relação positiva entre complexidade econômica e preservação ambiental na região Amazônica, contudo, ainda carece de testes. De fato, as únicas evidências sobre o efeito do incremento da complexidade sobre o meio ambiente vêm de estudos que investigaram a relação entre complexidade e emissões de gases de efeito estufa ou patentes verdes. Porém, é possível que o aumento da complexidade econômica dos municípios da Amazônia tenha um efeito contrário e possa até mesmo acelerar o processo de desmatamento na região, uma vez que em baixos níveis de desenvolvimento a entrada em atividades de maior impacto ambiental pode configurar aumento da complexidade produtiva. Neste sentido, é fundamental avaliar a relação entre complexidade e desmatamento.

O presente artigo busca suprir essa lacuna e avalia se o incremento da complexidade econômica pode fomentar um processo de crescimento sustentável da Amazônia brasileira. Para tanto, o estudo avalia os determinantes da variação no desmatamento (remoção total da cobertura vegetal) da Amazônia Legal em nível municipal no período entre 2006 e 2021, com foco nos elementos que afetam a demanda e tipo de uso da terra na região. Em particular, explora-se o efeito de mudanças qualitativas na estrutura produtiva dos municípios sobre o

¹ Segundo o autor, os benefícios da ação para redução das emissões de gases de efeito estufa superam em muito os seus custos, e que o custo da inação pode ser equivalente a uma perda permanente de pelo menos 5% do PIB global por ano, podendo chegar a 20% ou mais.

² O desmatamento da Amazônia se iniciou na década de 1960 como um processo induzido pelo estado através de projetos de infraestrutura de grande escala, incentivos fiscais e uma política de assentamento rural na região que levaram a um desmatamento anual em uma escala de cerca de 10.000 quilômetros quadrados por ano. Desde a década de 1980, contudo, a dinâmica do desmatamento tornou-se mais intimamente ligada à forças de mercado, com a pecuária e o cultivo de soja entre seus determinantes centrais (Andersen *et al.*, 2002).

desmatamento anual, controlando para fatores tipicamente associados à supressão da cobertura vegetal no período recente, como os preços de commodities (carne, soja e madeira), políticas governamentais relativas à áreas de assentamento e proteção, ação da polícia ambiental (IBAMA), além de variáveis do ciclo político-econômico que podem afetar as decisões dos agentes sobre as escolhas de uso da terra.

O presente artigo está dividido em cinco seções além da presente introdução. Na seção 2 é discutida a relação entre complexidade, emprego e desmatamento na Amazônia brasileira. Na seção 3 são discutidos os demais determinantes do desmatamento na Amazônia. Na seção 4 é discutida a metodologia dos testes utilizados no artigo e a base de dados. Na seção 5 são discutidos os resultados das regressões, e na seção 6 são apresentadas as considerações finais do artigo.

2. Complexidade, emprego e desmatamento na Amazônia brasileira

Os dados apresentados na Figura 1A mostram o persistente crescimento da área total desmatada (em km²) na região durante o período avaliado, ainda que com períodos de aceleração e outros de redução do ritmo de derrubada da floresta. Os dois primeiros anos da amostra, 2006-2007, são marcados pelo crescimento do desmatamento. Entre 2008-2013 há relativo controle na área total desmatada. A partir de 2014 verifica-se uma aceleração do desmatamento na região, que se estabiliza em um patamar de cerca de 12% mais elevado em 2018-2019, em comparação com 2006, para novamente crescer e atingir um pico em 2020-2021, momento que registrou também o maior crescimento anual em todo o período avaliado.

O emprego formal per capita seguiu uma trajetória de maior estabilidade. Entre 2006 e 2014, a média aumentou em 39% e atingiu o ponto mais alto, representando cerca de 159 postos formais a cada 1.000 habitantes na região. Após uma queda em 2014-2015, a trajetória é estável até 2020. Em 2021, há uma relativa melhora, um aumento de 6% em relação a 2020.

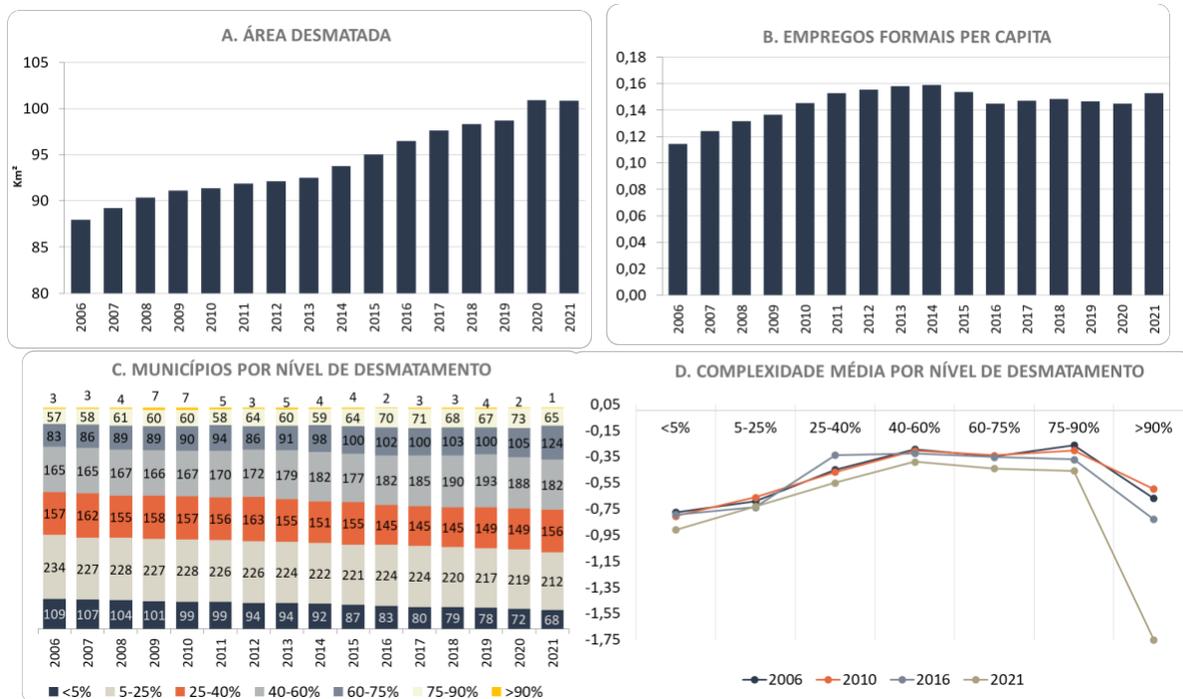
A divisão dos municípios segundo o nível de desmatamento, conforme proposto por Rodrigues *et al.* (2009), qualifica o entendimento da ampliação da área desmatada mencionada anteriormente. No período, há um movimento constante: o número de municípios correspondentes às três faixas de maior desmatamento total aumenta anualmente. Em 2006, 18% dos municípios apresentavam um nível de desmatamento superior a 60%, enquanto em 2021 tal patamar sobe para 23,5%.

Em um exercício semelhante ao de Rodrigues *et al.* (2009), ao relacionar a complexidade média dos municípios por nível de desmatamento conforme apresentado na Figura 1D, observa-se uma associação em formato de u-invertido entre as variáveis. Isto é, os municípios de menor e maior proporção de área desmatada são menos complexos, enquanto aqueles em posições intermediárias de desmatamento são mais complexos. Além disso, entre os intermediários, é notável o platô, a média de complexidade entre os anos mantém uma estabilidade.

Observando conjuntamente as figuras 1 e 2, percebe-se que emprego, desmatamento e complexidade exibem trajetórias muito distintas de variação anual no período. O emprego formal per capita assegura taxas positivas somente até 2014, com reduções nos dois anos subsequentes e estabilidade de 2017 a 2020. A área desmatada,

por sua vez, cresce anualmente em cerca de 0,9%. Por fim, a complexidade média dos municípios na região apresenta uma trajetória volátil em torno de uma média anual de -0,514 e um desvio padrão de apenas 0,03. Esse descolamento da trajetória de variação anual destas variáveis esconde a potencial associação entre a complexidade, renda e desmatamento a longo prazo.

Figura 1. Panorama do emprego, da complexidade e do desmatamento na Amazônia Legal



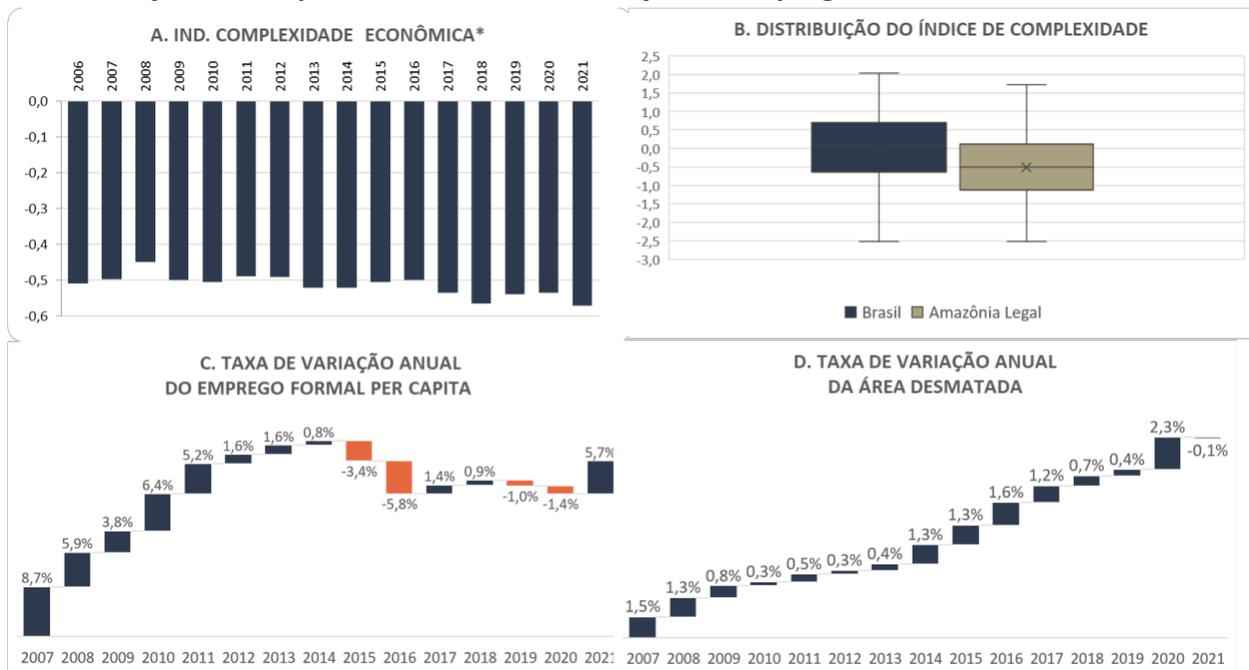
Fonte: Elaboração própria.

A complexidade média dos municípios da Amazônia Legal divergiu das demais variáveis, apresentando um aumento entre 2006-2008, seguida de uma piora em 2009 e relativa estabilidade na sequência, com alguma flutuação anual até 2016. Em 2017 e 2018 foram registradas novas reduções no índice e, embora apresente uma pequena melhora em 2019-2020, a média atingiu o menor patamar da série em 2021.

A comparação da evolução dos indicadores parece mostrar pouca influência da mudança qualitativa na estrutura produtiva sobre os padrões de desmatamento e emprego da região no período. Contudo, em um nível mais agregado, surge um claro padrão na associação entre o nível de desmatamento e o de complexidade econômica, um indicativo de que a diversificação produtiva pode exigir a aceleração do desmatamento em fases iniciais e sua redução em fases avançadas. Esse padrão seria condizente com as evidências em Rodrigues *et al.* (2009), que encontram uma relação positiva entre desmatamento e indicadores de desenvolvimento socioeconômico em estágios iniciais do desmatamento, e negativa em estágios avançados. De forma similar, o padrão se assemelha à curva de Kuznets ambiental encontrada por Tritsch e Arvor (2016), que evidencia uma relação na forma de u-invertido entre renda e desmatamento para a região no ano de 2010, de modo que o aumento da renda, em um primeiro momento do processo de desenvolvimento, se associa ao aumento do desmatamento, e posteriormente, à sua redução.

Em função da relação entre a complexidade econômica, que mensura a qualidade da estrutura produtiva, e indicadores de desenvolvimento socioeconômico e ambiental, entende-se que um fenômeno semelhante deveria ocorrer com a relação entre desmatamento e complexidade. Essa hipótese, no entanto, ainda carece de evidências empíricas. Não há estudos nesse nível analítico que enfoquem a Amazônia, região marcada por um baixo nível de sofisticação da estrutura produtiva, o que restringe as possibilidades de diversificação rumo a setores de maior complexidade (Balland *et al.*, 2019; Pinheiro *et al.*, 2022). A Figura 2B exibe a distribuição das médias do índice de complexidade das estruturas produtivas no período analisado. De 2006 a 2021, enquanto a mediana dos municípios brasileiros foi de 0,095, entre os municípios da Amazônia Legal foi de -0,504.

Figura 2. Distribuição da complexidade e taxas de variação do emprego e do desmatamento



Fonte: Elaboração própria. Nota: *Média dos municípios

3. Determinantes do desmatamento na Amazônia Legal

O modelo teórico de Angelsen (1999), adaptado em uma série de estudos recentes, como Hargrave e Kis-Katos (2013), estabelece que o desmatamento é função da diferença do lucro esperado do uso insustentável da terra preservada (por exemplo, extração de madeira seguida de agricultura ou pecuária) e seu uso sustentável (por exemplo, via manejo florestal sustentável). Quanto maior esse diferencial, maior o desmatamento esperado.

As receitas esperadas de usos insustentáveis e sustentáveis da terra são diretamente determinadas pelos preços de mercado dos produtos agrícolas e florestais, acesso ao mercado dos agentes e outras condições específicas do município. Os custos do desmatamento são determinados pelos custos diretos do desmatamento, os custos agrícolas e pecuários esperados, a disponibilidade de crédito e o risco de multa pela polícia ambiental. Os agentes maximizam os lucros esperados do uso da terra escolhendo um nível de atividade de desmatamento

que será implementado, levando em consideração os preços e essas outras restrições. Os impulsionadores dos lucros esperados podem, assim, ser divididos em três grupos: condições de mercado, influência política e condições naturais ou iniciais.

As condições de mercado na Amazônia devem ser bem captadas pelos preços dos produtos locais. Se os preços dos produtos agrícolas produzidos em áreas desmatadas (principalmente carne de gado e soja) aumentarem, deve haver uma pressão ascendente sobre o desmatamento. Por outro lado, preços mais altos para os produtos florestais (principalmente madeira) aumentam o valor do investimento na floresta e podem levar a usos florestais ou madeireiros mais sustentáveis. Por outro lado, podem também levar à derrubada da floresta para comercialização da madeira, o que deverá ser mediado pela atuação da polícia ambiental e outras políticas de proteção.

As políticas públicas também afetam diretamente os benefícios esperados do desmatamento. As multas ambientais, aplicadas pelo órgão de fiscalização ambiental, o IBAMA, constituem fator de risco para os desmatadores.³ A chance de que um agente seja multado por desmatamento ilegal tem um efeito negativo na lucratividade esperada do desmatamento. Como resultado, a intensidade de multas mais altas deve levar a taxas de desmatamento mais baixas. O sucesso de tais esquemas de monitoramento organizados centralmente também podem interagir com instituições locais, o que pode afetar o funcionamento dos mercados locais, bem como a capacidade de monitoramento.

A proteção ambiental oficial também deve funcionar como uma barreira ao desmatamento. A proteção legal no Brasil assume a forma de proteção integral, uso limitado (sustentável) ou uso indígena. A proteção integral oferece proteção às áreas não habitadas de forma a preservar a totalidade dos ecossistemas; o regulamento de uso sustentável concede aos habitantes o direito de usar a floresta de forma tradicional; e as áreas indígenas podem ser usadas exclusivamente por populações indígenas.

Na literatura dos determinantes recentes do desmatamento amazônico é possível ainda encontrar estudos que destacam a disponibilidade de crédito agrícola subsidiado, que segundo Fearnside (2005) tornam possíveis os planos de desmatamento resultantes de um aumento nos lucros esperados, além de fatores geoclimáticos, especialmente a precipitação, no desmatamento da região, e agroecológicos, como a qualidade do solo. Kirby *et al.* (2006) e Aguiar *et al.* (2007) defendem que o excesso de chuvas torna mais complexo construir e conservar estradas, o que aumenta os custos de transporte, comprometendo o escoamento da produção local, assim como uma menor produtividade da pecuária quanto da cultura da soja (Arima *et al.*, 2007; Chomitz e Thomas, 2003).

A tese defendida neste estudo é que a requalificação da estrutura produtiva dos municípios da Amazônia pode ser também um *driver* de preservação da cobertura vegetal da região. A maior parte dos estudos recentes no tema da transformação produtiva da região amazônica têm focado na valorização dos ativos florestais e

³ O Código Florestal Brasileiro determina que propriedades na Amazônia mantenham 80% de sua área em florestas originais e que todos os casos de desmatamento devem ser comunicados ao órgão ambiental e por ele autorizados. A violação dessas regras pode resultar em multas ambientais e proibição de qualquer produção agrícola na área desmatada.

salvaguarda da diversidade biológica, cultural e social presente na região, seja através do planejamento territorial, com a garantia de terra aos povos indígenas e comunidades tradicionais e locais (Azevedo-Ramos *et al.* 2020; Moutinho *et al.* 2022), o combate a atividades ilegais que destroem ecossistemas e aumentam a violência, como a grilagem de terras e a exploração ilegal de madeira e ouro (Soares *et al.* 2021; Waisbich *et al.* 2022), ou a promoção da chamada bioeconomia, que enfatiza a exploração sustentável de produtos florestais (principalmente não-madeireiros) em arranjos produtivos de base familiar, em contraposição aos grandes estabelecimentos de produção de carne e grãos, em franca expansão nas últimas décadas (Costa, 2012; Costa *et al.*, 2022; Fernandes *et al.*, 2022).

O potencial efeito da complexificação produtiva sobre o desmatamento, entretanto, ainda carece de evidências para ser colocado como uma alternativa para a região. O presente trabalho contribui com a literatura ao preencher essa lacuna. Mais do que corroborar a literatura mais ampla no tema da complexidade econômica, a confirmação desta hipótese permitiria a utilização do seu ferramental para a proposição de caminhos concretos para o desenvolvimento sustentável da região Amazônica, apontando as atividades compatíveis com as competências e recursos já existentes localmente.

4. Metodologia

4.1. Estratégia empírica

O presente artigo busca identificar o efeito das variáveis econômicas e políticas – com foco na complexidade da estrutura produtiva – sobre o desmatamento, usando dados dos municípios da região amazônica brasileira para o período entre 2006 e 2021. A principal especificação do painel municipal assume a seguinte forma:

$$\ln D_{it} = \beta_0 + \beta_1 ICE_{it} + \beta_n \ln X_{it} + \lambda_t + \alpha_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

onde a variável dependente, $\ln D_{it}$, denota o logaritmo natural do nível anual de desmatamento no final do ano t no município i , ICE_{it} indica o nível de complexidade econômica do município i no ano t , e X_{it} é o vetor de variáveis de controle. α_i representam os efeitos fixos municipais, i.e., características específicas locais que levam a diferenças nos padrões de desmatamento. A inclusão de efeitos fixos de tempo (λ_t) controla as tendências temporais agregadas na dinâmica do desmatamento e, assim, captura choques macroeconômicos, bem como os efeitos médios de mudanças nas políticas no nível de preços.

O vetor de controles X_{it} inclui os preços da carne bovina, os preços regionais da soja e leite para as regiões produtoras, os preços da madeira, a intensidade de multas (número de multas ambientais emitidas por área desmatada), o tamanho das áreas protegidas e indígenas (em quilômetros quadrados), a existência de atividade mineradora local, e uma variável indicadora para a atividade econômica geral (PIB municipal real per capita). Todos os controles em logaritmos.

Ainda que teoricamente correta, a especificação (1) pode gerar parâmetros viesados se a potencial endogeneidade de algumas variáveis explicativas não forem tratadas. Esse problema é particularmente

preocupante se as diferenças específicas dos municípios na dinâmica do desmatamento também afetarem alguns dos fatores explicativos ou forem conjuntamente impulsionadas por fatores não-observáveis. É particularmente preocupante o fato de que algumas variáveis econômicas e políticas podem responder endogenamente ao desmatamento, o que poderia influenciar os coeficientes estimados.

Por hipótese, a diversificação produtiva em atividades que ensejam menor desmatamento aumenta a complexidade local e o crescimento da renda. Contudo, esse processo poderia pressionar o entorno verde de regiões em franca expansão, induzindo o processo de desmatamento para produção agrícola e pecuária para o abastecimento local. Em tese, este segundo efeito pode ser ainda maior que o primeiro, levando a uma correlação positiva entre o aumento da complexidade e o desmatamento. Espera-se que esse fenômeno seja menos expressivo em municípios com menor área total preservada e também com menor população. Além disso, é possível também que, para municípios com níveis muito baixos de complexidade, a diversificação e o aumento da complexidade estejam associados a maior desmatamento, para só em níveis mais elevados ingressar em atividades mais complexas e menos associadas ao desmatamento. Inversamente, o maior desmatamento pode acabar gerando um aumento de renda que levaria, ao menos em princípio, a um crescimento da demanda local que também poderia estimular a diversificação produtiva e a complexidade. A inclusão dos logaritmos do PIB per capita corrente e inicial, proporção da área total preservada e da sua taxa de crescimento entre as variáveis explicativas tem por objetivo controlar para o efeito dessas potenciais fontes de endogeneidade.

A identificação do efeito do ganho de complexidade sobre o desmatamento na região também é complicada pela mediação da estrutura produtiva local, já que é esperado que o efeito do ganho de complexidade sobre a economia e o desmatamento seja não-linear em relação ao nível de complexidade. Há maior escopo para crescimento verde nos municípios com uma estrutura produtiva mais complexa relativamente àqueles com baixa complexidade. Isso faz com que seja necessário distinguir os municípios por nível de complexidade para que o parâmetro estimado não seja subestimado pela maciça presença de municípios com baixo estoque de competências na região.

Espera-se ainda que a pressão do desmatamento aumente com o aumento dos preços dos alimentos (soja e carne) e se reduza com o preço da madeira, devido ao aumento dos lucros líquidos esperados do uso não sustentável da terra. Mas o desmatamento em grande escala também pode deprimir os preços dos produtos agrícolas e florestais locais devido ao aumento na oferta de produtos, resultando em um viés de endogeneidade. Para os preços da carne e da soja, o escopo desse viés é relativamente limitado, já que adotamos os preços nacionais nas estimações, o que tende a subestimar os coeficientes positivos destas variáveis, gerando estimativas mais conservadoras.⁴ Em contraste, no caso dos preços locais da madeira, as preocupações de endogeneidade são consideravelmente maiores, pois tenderiam a aumentar os coeficientes negativos. Para

⁴ Entre os controles que mensuram preços, o da arroba do boi gordo é a mais exógena do modelo, já que tal preço não foi estimado localmente. Contudo, como não reflete diretamente os preços locais do gado – que poderiam ser mais importantes para a decisão ou não de ampliar a criação de gado – optou-se por também utilizar em algumas especificações o preço médio anual do leite municipal, devido a correlação do subproduto leite com o custo da cabeça de gado local. Em algumas estimações, uma ou outra também foi utilizada como instrumento para a outra.

mitigar um pouco essa preocupação, medimos os preços da madeira não em nível local, mas como médias estaduais em algumas especificações, como proposto por Hargrave e Kis-Katos (2013).

Da mesma forma, uma vez que as atividades do IBAMA estão concentradas nos municípios onde o desmatamento é maior, essa resposta política leva a uma correlação positiva entre intensidade de multas ambientais e desmatamento, enviesando os coeficientes das autuações ambientais por área de território (produzindo valores menos negativos). O estabelecimento de áreas de proteção ou assentamento também poderia responder à dinâmica esperada do desmatamento, resultando em um viés positivo dos coeficientes negativos esperados.

A fim de abordar as preocupações sobre a endogeneidade de vários resultados de políticas, reestimamos a equação (1) usando o GMM em diferenças de Arellano e Bond (1991) e o GMM sistêmico de Blundell and Bond (1998), com correção de Windmeijer (2005) em um e dois estágios. Estes estimadores são projetados para painéis dinâmicos com "T pequeno e N grande" que podem conter efeitos fixos e, separados desses efeitos fixos, erros idiossincráticos que são heterocedásticos e correlacionados no tempo, mas não entre indivíduos.

Estes modelos se utilizam de um procedimento de variável instrumental, onde as *lags* das variáveis explicativas (ou das suas diferenças) são utilizadas como instrumentos em um estilo GMM. O modelo em diferenças (GMM-Dif), livra a equação (1) dos efeitos fixos do município (α_i) que representam as diferenças regionais na extensão do desmatamento devido a variáveis inobserváveis específicas do município constantes no tempo, eliminando assim uma fonte potencial de viés de variável omitida na estimativa, como é o caso de fatores geoclimáticos, agroecológicos ou políticos, entre outros. A vantagem do modelo em relação ao uso da primeira diferença em uma estimação tradicional está no fato de que os instrumentos utilizados fazem com que variáveis que são predeterminadas, mas não estritamente exógenas, também possam ser tratadas. A utilização de diferenças nesse caso poderia torná-las endógenas.

Um problema com o estimador GMM-Dif é que os níveis são instrumentos ruins para primeiras diferenças se as variáveis estiverem próximas de um passeio aleatório. O modelo sistêmico (GMM-Sys) adiciona a equação original em níveis ao sistema, criando instrumentos adicionais que aumentam a eficiência do modelo. Nesta equação, variáveis em níveis são instrumentadas com defasagens adequadas de suas próprias primeiras diferenças (o GMM-Dif instrumenta diferenças, ou desvios ortogonais, com níveis). A suposição necessária é que essas diferenças não estão correlacionadas com os efeitos idiossincráticos não observados.

O modelo dinâmico para o desmatamento a ser estimado por GMM é ilustrado na equação abaixo:

$$\ln D_{it} = \beta_0 + \beta_1 ICE_{it} + \beta_2 \ln D_{it-1} + \beta_n X_{it} + \lambda_t + \alpha_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

onde o desmatamento passado, o ICE, a intensidade das autuações ambientais e, em algumas especificações, os preços da madeira, o PIB real per capita e as áreas protegidas são tratadas como variáveis endógenas. Os efeitos do ano ou período, preços da soja e da carne e atividade mineradora são sempre tratados como exógenos e, portanto, usados como instrumentos.

A robustez dos resultados do estudo é avaliada de duas formas adicionais: (i) de forma mais direta, analisando a sensibilidade dos parâmetros do ICE a mudanças nos tamanhos das amostras, além da inclusão de variáveis multiplicativas para controlar para eventuais interações e/ou não-linearidades do efeito do ICE no desmatamento; e (ii) a partir da estimação de um modelo alternativo que avalia a capacidade do ICE de prever os municípios que se destacam positiva ou negativamente no controle do desmatamento e promoção de empregos formais.

Para tanto, a partir da distribuição dos municípios da amostra amazônica nas variáveis área total desmatada e ganho total de empregos formais em três subperíodos entre 2006 e 2021 (i.e., 2006-2011, 2012-2016 e 2017-2021), foram tipificados quatro grupos de municípios. O grupo 1 (preservação-emprego) inclui os municípios que tiveram menor perda de cobertura vegetal total no período e maior ganho de empregos. O grupo 2 (preservação-desemprego) é formado por municípios que se destacaram positivamente (entre os 50% melhores) no quesito preservação, mas negativamente (entre os 50% piores) na geração de empregos. O grupo 3 (desmatamento-emprego) formado por municípios que se destacaram positivamente na geração de empregos, mas negativamente na preservação da cobertura vegetal do seu território. Por fim, o grupo 4 (desmatamento-desemprego) é formado pelos municípios que se destacaram negativamente tanto na preservação quanto na geração de novos postos formais de trabalho no período. As figuras A1a a A1c no anexo ilustram a distribuição dos municípios classificados em cada grupo e em cada período na região.

Estimamos um modelo Probit para pertencimento a cada um destes quatro grupos de municípios em cada período (ver Cameron and Trivedi, 2022). O modelo probit assume que a probabilidade de resultado positivo em uma variável binária é determinada pela função de distribuição normal cumulativa, ilustrado abaixo:

$$\Pr(\text{Grupo}1_i = 1) = \Omega(\beta_0 + \beta_1 ICE_{it} + \beta_n X_{it}) \quad (3)$$

onde Ω é a função normal cumulativa. O modelo foi ajustado para permitir a correlação intragrupo, uma vez que foram utilizadas as informações anuais e não dados transversais. Além do ICE, foram destacados entre os fatores explicativos: o nível de desmatamento total (%) do município, a produção de soja, madeira, carne e extrativista, o número de autuações pelo IBAMA, e participação no Valor Adicionado Bruto dos macro setores da economia (agricultura, indústria, administração pública e serviços).

O modelo Probit permite avaliar a probabilidade marginal média de pertencimento a cada grupo trazida por cada variável incluída. Isto é, no caso do ICE, o modelo mostra qual a probabilidade de um município que apresentou crescimento do ICE no período pertencer a cada um dos grupos acima descritos.

4.2. Base de dados

Os indicadores de complexidade econômica foram construídos a partir dos dados de emprego das atividades locais provenientes da RAIS (Relatório Anual de Informações Sociais) do Ministério do Trabalho (Freitas, 2019;

Rezende et al., 2022; Queiroz et al., 2023). O PIB per capita e o Valor Adicionado Bruto dos setores econômicos foram obtidos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Os dados de desmatamento foram obtidos do PRODES, sistema de monitoramento que realiza a análise anual do desmatamento na Amazônia Legal brasileira, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Esse sistema é considerado uma das principais fontes de informação sobre o desmatamento da região, utilizado por pesquisadores e autoridades governamentais para planejar e implementar políticas de conservação da floresta. O PRODES utiliza imagens de satélite para monitorar as áreas de floresta e identificar as mudanças na cobertura vegetal ao longo do tempo.

As bases de dados do IBAMA sobre a emissão de multas e autos de infração são registros eletrônicos das infrações ambientais identificadas pelo órgão em todo o território brasileiro. Essas bases contêm informações detalhadas sobre as infrações, como data, localização, tipo de infração, nome do infrator, valor da multa e outras informações relevantes. A base de dados de emissão de multas é atualizada regularmente pelo IBAMA, com informações sobre as multas aplicadas em todo o país. A periodicidade de atualização pode variar, mas geralmente as informações são atualizadas mensalmente ou trimestralmente, dependendo do volume de infrações identificadas. A base de dados é bastante detalhada, com informações agregadas por estado e município, permitindo uma análise mais precisa das tendências e padrões de infrações ambientais em cada região.

As informações geográficas das Unidades de Conservação (UCs) e das Áreas Indígenas (AIs) na Amazônia Legal foram obtidas por meio do Terrabrasilis, que é um sistema desenvolvido também pelo INPE, disponibilizando informações precisas sobre a localização, tamanho e categoria das UCs, bem como informações sobre as AIs, como o nome da etnia, população, localização e demarcação da terra. Pelo fato de ser uma variável sem variabilidade temporal e cujo único ponto disponível é inclusive posterior ao período em estudo, esta foi omitida na maior parte das especificações.

A precipitação é um fator climático importante que pode influenciar diretamente a dinâmica do desmatamento (Fearnside, 2005). No entanto, faltam dados precisos sobre precipitação, principalmente a nível municipal e para o período de análise deste trabalho (2006-2021). A ausência de informações precisas sobre precipitação pode dificultar a identificação das causas e padrões do desmatamento, além de prejudicar o planejamento e implementação de medidas de conservação e gestão de recursos naturais nessas áreas.

A Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM) é um instrumento de compensação financeira que as empresas de mineração devem pagar aos municípios onde estão localizadas suas atividades mineradoras. O valor da CFEM é calculado com base na quantidade e valor da produção mineral, sendo destinado aos municípios como forma de compensação pelos impactos sociais, econômicos e ambientais decorrentes da atividade mineradora. Devido à falta de dados precisos sobre a produção mineral por município, algumas pesquisas têm utilizado a CFEM como proxy para estimar a produção mineral em nível municipal. No entanto, essa abordagem tem limitações, uma vez que a CFEM não reflete todas as nuances da produção mineral e pode ser influenciada por outros fatores, como mineral extraído e a legislação vigente.

Quadro1. Variáveis e bases de dados utilizadas

Nome	Fonte	Periodicidade	Agregação
Área Desmatada Total (km ²)	PRODES - INPE	2006 - 2021	Município
Área de Floresta (km ²)	PRODES - INPE	2006 - 2021	Município
Incremento em Área Desmatada (km ²)	PRODES - INPE	2006 - 2021	Município
Quantidade produzida de Madeira em tora (m ³)	Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura - IBGE	2006 - 2021	Município
Valor da produção de Madeira em tora (R\$)	Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura - IBGE	2006 - 2021	Município
Quantidade produzida da Silvicultura	Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura - IBGE	2006 - 2021	Município
Valor da produção da Silvicultura (R\$)	Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura - IBGE	2006 - 2021	Município
Quantidade produzida de Soja (toneladas)	Produção Agrícola Municipal - IBGE	2006 - 2021	Município
Valor da produção de Soja (R\$)	Produção Agrícola Municipal - IBGE	2006 - 2021	Município
Efetivo dos rebanhos (Cabeças)	Pesquisa da Pecuária Municipal - IBGE	2006 - 2021	Município
Preço da arroba do boi	B3	2006 - 2021	Brasil
Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM)	Agência Nacional de Mineração (ANM)	2006 - 2021	Município
Áreas indígenas na Amazônia Legal	TerraBrasilis/INPE	Shapefile - 2022	Município
Unidades de Conservação na Amazônia Legal	TerraBrasilis/INPE	Shapefile - 2022	Município
Quantidade produzida de Leite (mil litros)	Pesquisa da Pecuária Municipal - IBGE	2006 - 2021	Município
Valor da produção de Leite (R\$)	Pesquisa da Pecuária Municipal - IBGE	2006 - 2021	Município
PIB per capita (R\$)	IBGE	2006 - 2021	Município
Valor Adicionado Bruto (R\$)	IBGE	2006 - 2021	Município
Autos de infração	IBAMA	2006 - 2021	Município
Emissão de multas	IBAMA	2006 - 2021	Município

Fonte: Elaboração própria

A ausência de dados municipais referentes ao preço da carne constitui uma limitação que pode dificultar a análise do mercado. Neste sentido, a presente pesquisa empregou como alternativa para inferir o preço da carne em nível municipal, o valor da arroba de boi obtido na Bolsa de Valores brasileira (B3). Entretanto, cumpre ressaltar que esta abordagem possui limitações e pode não refletir plenamente as variações regionais nos preços da carne, uma vez que fatores adicionais, tais como transporte, logística e demanda local, podem exercer influência sobre o valor da carne.

Por fim, os dados de preços referentes à produção local de soja, madeira e silvicultura em geral, foram estimados por meio da razão entre o valor da produção e a quantidade produzida de cada um desses produtos. Para a deflação dessas variáveis, foi utilizado o Índice Nacional de Preços ao Consumidor (INPC), com base no ano de 2006.

5. Resultados e discussão

5.1. Regressões em painel

A Tabela 1 apresenta os resultados da estimação do modelo basal em diferentes especificações e diferentes amostras. A coluna (i) ilustra os resultados para a população de municípios brasileiros, enquanto a coluna (ii) repete a especificação considerando apenas os municípios da Amazônia Legal (807). Em ambos os casos, foi considerada a existência de efeitos aleatórios (EA) para os municípios, i.e., o intercepto da equação basal assume um valor médio comum entre os municípios e os coeficientes angulares variam.

Tabela 1. Determinantes do desmatamento municipal: painel (2006-2021)

Ln (Desmatamento)	(i)	(ii)	(iii)	(iv)	(v)	(vi)
ICE	0.022*	0.208***	-0.049	-0.063	-0.061***	-0.075
Lag1 do ICE				-0.080		
Lag2 do ICE				-0.146*		
Int. (ICE Baixo)-ICE						
Int. (ICE Méd.-Baixo)-ICE						0.170
Int. (ICE Méd.-Alto)-ICE						-0.040
Int. (ICE Alto)-ICE						-0.388*
Ln (Preço da Soja)	-0.001	0.002	-0.000	0.000	-0.002	-0.000
Ln (Preço da Madeira)	0.055***	0.091*	0.087*	0.155***	0.049**	0.084*
Ln (Preço do Gado)	-0.000	-0.000	-0.000	-0.0004*	0.000	-0.000
Ln (Preço de Extrat.)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ln (Mineiraçã)	-0.000	0.003	-0.002	0.002	-0.001**	-0.002
Ln (Autuações)	-0.415***	-0.425***	-0.415***	-0.406***	-0.4080***	-0.414***
Ln (Área de proteção)	0.108***	0.007	1.780	3.155	0.755	1.709
Ln (PIB per capita)	-0.001**	-0.004*	-0.005**	-0.005**	-0.001***	-0.005**
Interação (2012-2016)-ICE					0.097***	
Interação (2017-2021)-ICE					0.095***	
Dummy (2012-2016)	-0.052***	-0.362***	-0.358***	-0.333***	-0.104***	-0.357***
Dummy (2017-2021)	-0.046***	-0.316***	-0.310***	-0.286***	-0.096***	-0.310***
Constante	0.078***	0.942***	-6.560	-12.403	-0.280	-6.192
Modelo	EA	EA	EF	EF	EF	EF
N	89075	12907	12907	11285	89075	12907
R2	0.245	0.248	0.273	0.254	0.233	0.274
Wald (W) ou F	26893 (W)	4673.29 (W)	413.46	274.61	212.11	325.09
P-Value	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Nota: Significância: *=10%; **=5%; ***=1%. Período base: 2006-2011.

Fonte: Elaboração própria

Os resultados indicam uma associação positiva e significativa entre o índice de complexidade econômica (ICE) e o logaritmo da área desmatada anual, tanto a nível nacional como nos municípios da Amazônia. A associação é mais forte e robusta no caso desta última, onde um aumento de 0,1 no ICE é responsável um aumento médio

de 2% no desmatamento anual, valor significativo num intervalo de confiança de 99%. O coeficiente positivo para o modelo não surpreende, dado que municípios mais desenvolvidos hoje e, portanto, mais complexos tendem a ter menor área preservada em função do padrão de desenvolvimento implementado no passado. De fato, é preciso controlar para outros fatores e para os efeitos fixos individuais para que outra relação esperada entre complexidade e desmatamento possa emergir.

As dummies para os períodos também foram significativas em todas as estimações, confirmando a existência de tendências temporais agregadas na dinâmica do desmatamento. Sua inclusão ajuda a capturar também os choques macroeconômicos de cada ciclo, bem como os efeitos médios dos preços dos produtos e efeitos médios das mudanças nas políticas em cada período, incluindo o crédito rural subsidiado e outras políticas de incentivo setorial, que tendem a ter um caráter regional ou nacional.

Os demais controles não foram significativos, com exceção das autuações ambientais e do PIB per capita, que apresentam impacto negativo no desmatamento, e do preço da madeira, com coeficiente positivo. Isso pode indicar algum problema nas variáveis utilizadas ou de especificação. De fato, o coeficiente positivo e significativo para o preço da madeira tende a divergir de estudos recentes. Ainda, na amostra nacional, a variável que representa a área protegida no município se associou positivamente com o desmatamento, o que pode ser tanto um indicativo de sua endogeneidade como um problema de mensuração.

A coluna (iii) inclui efeitos fixos (EF) na estimação. O fato de o modelo com efeitos fixos apontar um parâmetro negativo para o ICE confirma a hipótese inicial do estudo e que poderia ser dissimulada pelos efeitos de nível e características individuais específicas dos municípios. A hipótese de que possam existir efeitos individuais específicos afetando o desmatamento municipal foi confirmada pelo teste de Hausman (1978) para cada estimação, rejeitando a hipótese nula de que os interceptos do modelo de efeito fixos não estão correlacionados com os regressores. Em particular, sua inclusão altera o coeficiente do ICE, que se torna negativo, ainda que não significativo. Os demais controles continuam com níveis e significância semelhantes.

A coluna (iv) explora a possibilidade de que o efeito do ICE sobre o desmatamento seja defasado. Tanto a variável como suas *lags* de primeira e segunda ordem foram incluídas. Confirmando a hipótese, a segunda *lag* foi significativa a 10%, indicando que o aumento do ICE poderia contribuir para a redução do desmatamento em até 2 anos. Já o efeito do ICE em períodos mais recentes, apesar de negativo, não foi significativo.

A estimação (v) investiga a hipótese de que o efeito do ICE no desmatamento possa também ser afetado pelo ciclo político-econômico, ao incluir um termo de interação do ICE com o período. O primeiro período, entre 2006 e 2011, foi tomado como base. Os resultados confirmam a significância da hipótese. O parâmetro do ICE se torna negativo e significativo nessa estimação, indicando que a mudança dos padrões de transformação produtiva em cada período pode ser responsável pela dificuldade de identificação do seu efeito sobre o desmatamento.

Finalmente, a última coluna (vi) explora a hipótese de que o nível de complexidade municipal poderia afetar o impacto de variações no ICE sobre o desmatamento. Apesar de mantido em nível semelhante, o parâmetro do

ICE perde sua significância na estimação, mas o termo de interação é significativo para o grupo de mais alta complexidade na região. Isso indica que o crescimento do ICE é tão mais relevante para o controle do desmatamento quanto maior o nível de complexidade local. Ainda que não significativo, o parâmetro positivo para o grupo de complexidade média-baixa parece indicar que o crescimento do ICE nesse grupo de municípios pode ser mais associado a setores que requerem a supressão da área verde municipal.

Parte dos resultados reportados na Tabela 1 ainda estão em contradição com achados da literatura mais recente, particularmente a insignificância dos preços da arroba do boi e da soja, reconhecidos fatores de pressão sobre a floresta. Entre as possibilidades estão a interação destes elementos com outros fatores, erros de medida das variáveis adotadas no estudo, mudanças nos padrões de influência destas variáveis ao longo do tempo, e/ou impacto localizado, uma vez que é notória a existência de um cinturão agropecuário na região. Em quaisquer dos casos acima, mais testes são necessários, restringindo a amostra, testando proxies alternativas, ou instrumentalizando as variáveis potencialmente endógenas.

5.2. Regressões em painel dinâmico

Para tratar de forma mais explícita as questões de endogeneidade possivelmente presentes nos testes em painel, a Tabela 2 apresenta os resultados para a estimação dos modelos via GMM em diferenças (especificações i a iii) e em sistema (especificações iv a vi). Como são estimados por GMM, o modelo permite a inclusão da variável explicada defasada entre os regressores, testando assim a dependência de trajetória da explicada. Em todas as especificações, foram incluídas dummies temporais ou de período, uma vez que o teste de autocorrelação e as estimativas robustas dos erros padrão dos coeficientes do modelo assumem que não há nenhuma correlação entre os indivíduos nos erros idiossincráticos.

As especificações (i) e (iv) reportam os coeficientes estimados em uma etapa e as demais os estimados em duas etapas. Estas últimas são assintoticamente mais eficientes, mas para evitar um problema comum da estimação em duas etapas, em que os erros-padrão são viesados para baixo, foram utilizadas estimativas robustas com a correção de Windmeijer (2005) para amostras finitas. A utilização de métodos robustos faz com que as estimativas de erro padrão resultantes sejam consistentes na presença de qualquer padrão de heterocedasticidade e autocorrelação dentro dos painéis (Roodman, 2006). Ademais, tomou-se o cuidado de limitar o número de *lags* utilizadas como instrumentos, de forma a não sobre-ajustar o efeito das variáveis potencialmente endógenas sem eliminar seus componentes responsáveis por sua endogeneidade. Os resultados da estatística de Hansen confirmam a exogeneidade dos subgrupos de instrumentos utilizados.

De uma forma geral, os resultados para as seis especificações demonstram a robustez do modelo basal, com os parâmetros das variáveis apresentando pouca variação. A exceção é justamente o ICE, que tem o seu impacto significativamente aumentado no modelo sistêmico, ainda que o efeito da sua *lag* permaneça em níveis semelhantes aos das demais especificações.

O parâmetro positivo para o ICE em nível indica que o desmatamento tende a crescer quando há aumento da complexidade municipal. Contudo, o crescimento do ICE leva a reduções no desmatamento em períodos

futuros. Este segundo efeito foi significativo em todas as especificações, diferentemente do efeito da variável em nível, significativo apenas no modelo sistêmico.

Outro destaque na explicação do fenômeno do desmatamento são as autuações ambientais, que tendem a reduzir significativamente a supressão da floresta no mesmo ano. Diferentemente das estimações sem instrumentos, tanto o preço da soja, como da carne bovina e dos produtos do extrativismo foram significativos em algumas especificações.

As colunas (iii) e (vi) testam a sensibilidade dos resultados gerais para o modelo em diferenças e em nível, respectivamente, ao controlar para o preço do leite, a atividade mineradora, a área de proteção e as condições iniciais, incluindo o tamanho inicial da floresta e o PIB real per capita inicial. Estas últimas variáveis capturam efeitos de escala. Os resultados são robustos à inclusão dessas condições iniciais e demais variáveis que apenas foram significativas no modelo sistêmico. As condições iniciais acabaram excluídas do modelo em diferenças devido a sua colinearidade.

Não há razões substanciais para acreditar que os instrumentos utilizados sejam correlacionados com os efeitos fixos individuais, o que valida a escolha pelo modelo GMM. A exogeneidade dos instrumentos nos subgrupos da estimação foi atestada em todos os modelos. O modelo GMM-Sys parece apresentar melhor ajuste de acordo com as respectivas estatísticas de teste.

A Tabela 3 mostra os resultados da estimação do modelo mais parcimonioso para municípios em cada nível de complexidade e por período, acrescido do nível de desmatamento inicial. O nível de desmatamento inicial foi incluído para controlar para o fato de que o ganho inicial de ICE parece ser condicionado a algum grau de desmatamento, ainda que a avaliação dessa hipótese não tenha retornado resultados significativos nas especificações anteriores. Da mesma forma, como discutido anteriormente, a potencial endogeneidade do tipo de transformação produtiva ao ciclo histórico-político e nível de complexidade municipal traz um complicador adicional à identificação do efeito do ganho de complexidade sobre o desmatamento na região. Por um lado, deve-se esperar que a maior complexidade média abra caminhos para uma diversificação produtiva verde. Por outro, é também esperado que a relação entre o crescimento do ICE e desmatamento deva, em tese, também variar ao longo do tempo se diferentes tipos de atividades são incentivados em cada período, sobretudo em uma região tão carente de produção. Com populações relativamente pequenas e ponto de partida baixo, pequenos incentivos ao emprego de fatores na produção um bem a ou b pode ter impacto significativo no ICE do município.

As estimativas confirmam os resultados encontrados nos modelos anteriores. O nível de desmatamento e o desmatamento do ano anterior são importantes variáveis explicativas do desmatamento atual. Também são notórias as diferenças existentes entre cada período tanto para o ICE como para outros controles. No primeiro período o ICE não apresenta significância. Já no segundo período, a associação é negativa e significativa para os municípios de alta complexidade. Essa associação é mantida no último período, mas para os municípios de mais baixa e média complexidade se torna positiva e significativa. Em outras palavras, a complexificação produtiva

pode se associar tanto ao crescimento quanto à redução do desmatamento, confirmando as limitações dessa abordagem.

Tabela 2: Determinantes do desmatamento municipal: painel dinâmico (2006-2021)

Ln (Desmatamento)	(i)	(ii)	(iii)	(iv)	(v)	(vi)
Lag do Ln(Desm.)	0.060***	0.060***	0.062***	0.089***	0.094***	0.066***
ICE	0.541	0.271	0.310	1.752***	1.647***	0.956**
Lag do ICE	-0.448***	-0.320*	-0.314*	-0.623***	-0.549***	-0.349*
Ln (Preço da Soja)	-0.008	-0.005	0.003	0.032*	0.011	0.025
Ln (Preço da Madeira)	0.060	0.042	0.054	0.240**	0.260*	0.169
Ln (Preço da Carne)	-0.000	0.000	-0.000	-0.001**	-0.000	-0.000
Ln (Preço de Extrat.)	-0.0005*	-0.0005*	-0.0005	0.001*	0.001	0.001
Ln (Autuações)	-0.411***	-0.420***	-0.418***	-0.522***	-0.525***	-0.514***
Ln (PIB per capita)	-0.005*	-0.003	-0.002	0.000	-0.000	-0.003
Ln (Preço do Leite)			-0.003			-0.046*
ln (Mineração)			-0.009			0.016**
Ln (Áreas de Proteção)			30.924			-0.031
% área floresta em t0						0.000***
Ln (PIB per capita) em t0						0.249**
Dummy (2006-2011)	0.290***	0.246***	0.258***	0.280***	0.247***	0.271***
Dummy (2012-2016)	-0.052***	-0.044**	-0.052**	-0.025	-0.0360*	-0.066**
Constante				0.216	0.102	-1.718**
Modelo	GMM-Dif.		GMM-Dif.	GMM-Sys.		GMM-Sys.
N	11298	11298	10640	12105	12105	11400
F	173.11	102.75	88.53	252.12	135.97	118.81
P-Value	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Sargan	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
P-Value	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Hansen	515.41	515.41	521.01	578.99	578.99	552.17
P-Value	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
AR1 (P-Value)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
AR2 (P-Value)	0.837	0.814	0.795	0.353	0.367	0.833

Notas: Indicadores de período, preços de carne, leite, madeira e soja, atividade mineradora são tratados como exógenos em todos os modelos. Desmatamento passado, ICE e autuações por área são tratados como endógenos e instrumentados dentro do modelo. Erros padrão robustos foram adotados em todas as especificações. O período 2017-2021 acabou eliminado por colinearidade. Significância: *=10%; **=5%; ***=1%.

Fonte: Elaboração própria

Em relação às demais variáveis, as estimativas mostram resultados mais alinhados com a literatura, o que sugere a mediação do impacto dessas variáveis pelo nível de desmatamento e mudanças nos padrões ao longo do tempo. Como esperado, o aumento do preço da soja e da carne promovem o aumento do desmatamento de forma significativa. Esse impacto, contudo, varia nos diferentes períodos e entre os grupos de complexidade municipal. O preço da soja tem maior impacto nos municípios de baixa complexidade em todos os períodos, mas também levou ao maior desmatamento nos municípios de maior complexidade, sobretudo nos dois primeiros períodos. Já o preço da carne é significativo na explicação do desmatamento no primeiro período.

Finalmente, o preço da madeira é significativo e ajuda a explicar a redução no desmatamento, como descrito na literatura.

5.3. Regressões do modelo Probit

Os resultados do modelo Probit apresentados nas Tabelas 4 e A2a-A2c no Anexo confirmam os achados anteriores da pesquisa, mostrando que o tipo de transformação produtiva dos municípios da Amazônia variou entre os períodos avaliados. O parâmetro do ICE é positivo e significativo para explicar o município pertencer ao grupo com preservação ambiental e crescimento do emprego (grupo 1) no primeiro período. O ICE chega a aumentar as chances de pertencimento ao grupo 1 em 25% no primeiro período (ver Tabelas A2a-A2c no Anexo). A partir do segundo período, porém, o crescimento do ICE reduziu em até 33% a probabilidade do município pertencer ao grupo 1. No segundo e terceiro períodos, municípios que apresentaram crescimento do ICE apresentaram chances aumentadas de pertencimento ao grupo 3, de 21% e 43%, respectivamente.

No caso das variáveis fatoriais, o parâmetro representa a mudança discreta em relação ao valor basal. Por exemplo, estar no segundo e terceiro quartis de desmatamento total, média-baixa e média-alta, aumenta a probabilidade do município ter feito parte do grupo 1 entre 2006-2011 em 10% e 7%, respectivamente, em relação aos municípios de baixo desmatamento (grupo basal).

Municípios com menor área total preservada (maior desmatamento) têm probabilidades semelhantes (estatisticamente) de serem classificados no mesmo grupo daqueles com as maiores áreas preservadas (menor desmatamento), quando avaliados pela perda de área vegetal a ganho de empregos. Municípios com graus intermediários de preservação da cobertura vegetal são aqueles com maior probabilidade de se destacarem positivamente nas dimensões avaliadas. Em particular, estar em um grupo intermediário de desmatamento total aumenta significativamente a probabilidade de pertencimento ao grupo 1 (e também ao 2, em especial com desmatamento médio-alto) e reduz significativamente a chance de pertencimento ao grupo 3. Ressalta-se que este resultado era esperado.

Os resultados indicam ainda que quanto maior o nível de complexidade municipal, maior a probabilidade de pertencimento ao grupo 3 e menor a probabilidade de pertencimento ao grupo 2. Chama atenção que no período entre 2012 e 2016, os municípios com maior ICE foram os que apresentaram pior dinâmica de emprego e preservação, i.e., tiveram aumentadas relativamente as chances de pertencimento ao grupo 4 (em 9% e 31%, para os grupos de complexidade média-alta e alta, respectivamente).

Estes resultados podem indicar que o tipo de crescimento está associado ao ciclo econômico-político de cada período, de forma que, em qualquer momento da evolução da sua estrutura produtiva, um município pode caminhar para um crescimento mais ou menos sustentável.

Outras variáveis incluídas na especificação também impactam na probabilidade de pertencimento aos grupos. A criação de gado, por exemplo, reduz a probabilidade de pertencimento aos grupos com destaque na preservação (particularmente o grupo 1) em até 5% e aumenta as chances de pertencimento aos grupos de

Tabela 3: Determinantes do desmatamento municipal: painel dinâmico por grupo de complexidade e período

Ln(Desm.)	2006-2011				2012-2016				2016-2021			
	Baixa	Média-baixa	Média-alta	Alta	Baixa	Média-baixa	Média-alta	Alta	Baixa	Média-baixa	Média-alta	Alta
Lag1 do Ln(Desm.)	0.21***	0.29***	0.37***	0.42***	0.18***	0.39***	0.46***	0.40***	0.31***	0.41***	0.62***	0.51***
ICE	0.20	-0.06	-0.08	1.28	0.14	-0.12	-0.42	-3.32***	0.24*	0.53**	-0.26	-1.11**
Ln(P. Soja)	0.65***	0.15	0.39**	0.50***	0.50***	0.29***	0.50***	0.20***	0.12***	0.06***	0.03**	0.04**
Ln(P. Gado)	0.00	0.004*	0.01***	0.03***	0.003*	0.00	-0.01***	-0.01**	-0.001**	0.00	0.00	0.00
Ln(P. Mad.)		-2.33*	0.15	-1.18***	-2.28*	-0.16	-0.24	-0.54***	0.44***	-0.28***	-0.10	-0.13**
Ln(P. Extrat.)					0.00	-0.01*	0.02	0.01**	-0.001***	0.00	0.00	0.0003*
Ln(Autuações)	-0.66***	-0.64***	-0.59***	-0.60***	-0.53***	-0.42***	-0.43***	-0.46***	-0.51***	-0.42***	-0.33***	-0.38***
Ln(Desm. t0)	0.25***	0.30***	0.43***	0.47***	0.20***	0.27***	0.34***	0.44***	0.15***	0.34***	0.19***	0.38***
Ln(PIB p.c.)	0.16	0.57***	0.13	-0.41***	0.06	-0.16	-0.36***	-0.15	0.01***	0.03	0.01	0.02***
Constante	75.48	303.75***	260.17***	551.23***	224.78*	-23.73	-340.00***	-440.00**	0.00	-330.00	-14.01	0.00
Modelo												
N	804	808	808	804	1009	1010	1010	1005	1212	1212	1212	1206
F	45.28	128.04	132.89	212.07	68.38	55.41	119.10	131.31	124.79	115.77	227.59	150000
P-Value	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sargan	139.00	160.98	134.10	199.88	138.94	207.20	165.86	196.45	311.08	296.90	252.87	349.71
P-Value	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Hansen	65.37	76.71	84.56	75.83	104.02	106.44	108.37	103.41	117.39	107.17	102.63	125.63
P-Value	0.010	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.04	0.07	0.00
AR1 (P-Value)	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AR2 (P-Value)	0.150	0.80	0.14	0.17	0.44	0.03	0.35	0.02	0.49	0.02	0.38	0.25

Nota: Significância: *=10%; **=5%; ***=1%.

Fonte: Elaboração própria.

maior desmatamento também em até 5%. A produção de madeira, por sua vez, reduz a probabilidade de pertencimento aos grupos com destaque na preservação em cada período (1 e 2) e aumenta a probabilidade de pertencimento aos demais, enquanto a produção extrativista tem o efeito oposto, aumentando as chances de pertencimento aos grupos com destaque na preservação no período e reduzindo a probabilidade de pertencimento dos demais. Em termos marginais, contudo, o efeito é em média baixo, de até 1%. Por fim, a produção de soja apresentou efeito variável ao longo do tempo, ora contribuindo para as chances de pertencimento a um determinado grupo, ora reduzindo estas chances, também de forma marginal.

O padrão mais claro é da variável número de autuações do IBAMA, que aumenta em até 6% a probabilidade de pertencimento aos grupos de destaque na preservação em cada período e reduz também em até 6% a probabilidade de pertencimento aos grupos de maior desmatamento.

Finalmente, em relação à participação dos setores no VAB, o aumento na produção dos setores agrícola, indústria e na administração pública⁵ aumentam significativamente as chances de pertencimento aos grupos de maior perda da área de floresta em cada período e reduzem as chances de pertencimento ao grupo de destaque na preservação. Este resultado, aparentemente contraditório, indica, contudo, que os municípios com melhor padrão de desenvolvimento no período não tiveram destaque específico de apenas um setor, confirmando que diferentes padrões de transformação produtiva levaram a dinâmicas distintas de desmatamento e emprego em cada período.

6. Conclusões

Os testes empíricos reportados no presente artigo sugerem que a relação entre a complexidade econômica e o desmatamento é mediada por um conjunto de variáveis, ao passo que estes fatores acabam sendo endogenamente alterados ao longo do tempo, tornando mais complicada a tarefa de entendimento do papel do crescimento do ICE na preservação ambiental da região amazônica. Este resultado na verdade já era esperado, uma vez que o ICE se apresenta como uma medida sintética das capacidades produtivas localmente estabelecidas que podem ser aplicadas em atividades diversas, desde aquelas com maior impacto ambiental àquelas que poderiam efetivamente contribuir para redução deste impacto. O aumento do ICE, neste sentido, não necessariamente reflete uma reorganização da atividade produtiva local em direção a setores verdes, o que torna necessário estudos para identificação de atividades que possam contribuir para a preservação ambiental associada ao aumento da complexidade.

As estimativas presentes no trabalho adotam três estratégias distintas para atingir resultados robustos e contornar a dificuldade de compreender a influência do ICE no processo de preservação ambiental. Inicialmente, o modelo basal é estimado a partir de uma regressão em painel que contrasta o efeito de variáveis econômicas e políticas com a dinâmica municipal de desmatamento entre 2006 e 2021. Contudo, tal especificação simplificada pode gerar parâmetros viesados em razão da endogeneidade que compromete a relação entre as variáveis. Para contornar esse problema adota-se uma segunda estratégia de testar as hipóteses a partir de um

⁵ A variável para o setor de serviços foi excluída devido a sua colinearidade.

Tabela 4: Determinantes de pertencimento aos grupos: Modelo Probit por período

Variável	2006-2011				2012-2016				2017-2021			
	Grupo1	Grupo2	Grupo3	Grupo4	Grupo1	Grupo2	Grupo3	Grupo4	Grupo1	Grupo2	Grupo3	Grupo4
ICE	1.10**	-0.77**	0.23	0.00	-1.12***	0.68*	0.72*	0.18	-0.77*	-0.63	1.51***	0.09
Desmatament o												
Médio-baixo	0.45***	0.22	-0.40***	-0.04	0.31**	0.14	-0.30**	0.04	0.32**	0.35**	-0.43***	-0.04
Médio-alto	0.33**	0.34**	-0.29**	-0.56***	0.06	0.50***	-0.43***	-0.25	-0.11	0.58***	-0.32**	-0.13
Alta	-0.02	-0.20	-0.03	-0.24	-0.34*	-0.05	-0.04	0.06	-0.38**	-0.12	0.10	0.11
ICE												
Médio-baixo	0.02	-0.30**	0.33**	0.09	0.03	-0.21	0.14	0.07	-0.06	0.02	0.02	0.03
Médio-alto	0.10	-0.59***	0.59***	0.03	0.08	-0.68***	0.13	0.40**	-0.01	-0.27	0.04	0.19
Alto	0.12	-1.81***	1.44***	-0.04	-0.09	-1.23***	0.34	1.09***	-0.36	-0.76***	0.74***	0.23
Soja	0.02	0.05***	-0.06***	-0.01	0.03***	-0.01	-0.02*	-0.03**	-0.01	-0.00	0.02	-0.05***
Madeira	-0.04	-0.02	0.00	0.05*	-0.05***	-0.05**	0.04**	0.05***	-0.03**	-0.06***	0.05***	0.04**
Carne	-0.23***	0.04	0.18***	0.07*	-0.12***	-0.06*	0.16***	0.08*	-0.14***	-0.01	0.08**	0.15***
Extrativista					0.01	0.06***	-0.03**	-0.04***	0.00	0.08***	-0.07***	-0.04*
Autuações	0.18***	0.18***	-0.14***	-0.12***	0.08***	0.14***	-0.07**	-0.04	0.22***	0.14***	-0.22***	-0.01
Agricultura	-0.29	-1.04	0.85	3.17***	-2.29***	-0.25	1.44***	3.17***	-1.77***	0.07	1.47***	2.43***
Indústria	-0.44	-0.96	1.22*	1.61*	-2.84***	0.80	-0.88	4.37***	-1.98***	0.42	1.14*	2.03***
Adm. Pública	-1.82**	0.07	1.13*	3.58***	-2.28***	-0.20	0.29	3.94***	-3.45***	0.99	1.07	2.57***
Constante	1.43**	-0.04	-3.67***	-4.05***	2.71***	-0.17	-2.92***	-4.80***	3.17***	-0.94	-3.02***	-4.33***

Nota: Significância: *=10%; **=5%; ***=1%. Grupo 1: Destaque no aumento dos empregos formais e menor nível de desmatamento; Grupo 2: Destaque na preservação, mas não nos empregos; Grupo 3: Destaque no aumento dos empregos formais, mas com elevada perda de cobertura vegetal; Grupo 4: Desmatamento elevado e baixa dinâmica de emprego.

Fonte: Elaboração própria.

painel dinâmico, com especificações de um modelo GMM em diferenças (Arellano and Bond, 1991) e de um GMM sistêmico (Blundell and Bond, 1998). Tais métodos adotam variáveis instrumentais que controlam um eventual viés de variável omitida por características não observáveis dos municípios constantes no tempo. Por fim, para estabelecer a robustez dos resultados, a terceira estratégia envolve testar a capacidade do ICE em prever os municípios destaques em termos do controle do desmatamento e da promoção de empregos formais. Para isso, adota-se a especificação de um modelo Probit.

Os modelos de painel com efeitos fixos apontam um parâmetro negativo e significativo para o ICE e, portanto, confirmam a hipótese de que a associação entre tais variáveis é dissimulada pelas características particulares de cada município. Encontra-se também que a complexidade influencia negativamente o desmatamento futuro. No entanto, alguns resultados das estimativas em painel permanecem em contradição com a literatura, tais como os resultados não significativos do efeito dos preços de commodities determinantes para a dinâmica do desmatamento.

Os modelos GMM, por sua vez, indicam que um aumento de 0,1 na complexidade tende a elevar em 9,5% o desmatamento no período presente e a reduzi-lo em 3,5% no período futuro. Diferentemente das estimações sem instrumentos, os preços da soja, da carne bovina e dos produtos do extrativismo agora aparecem significativos em algumas especificações. Além disso, estimações por períodos e grupos de municípios diferentes indicam que a complexificação produtiva pode se associar tanto ao crescimento quanto à redução do desmatamento, o que reforça a dificuldade dessa abordagem.

Os modelos Probit, por fim, demonstram que o tipo de mudanças nas estruturas produtivas dos municípios da Amazônia variou entre 2006 e 2021. Ao analisar essa dinâmica em três períodos (2006-2011, 2012-2016 e 2017-2021), observa-se que a influência do ICE para prever os municípios de maior destaque na preservação ambiental e crescimento do emprego formal não é constante. No primeiro período, o crescimento do ICE chega a aumentar em 25% as chances de que o município pertença ao grupo de maior preservação e emprego. No segundo e terceiro períodos, porém, o aumento do ICE implica, principalmente, em chances maiores de pertencimento ao grupo de municípios com menor preservação e maior geração de empregos. Outras variáveis consideradas na especificação chegam também a resultados importantes. A se destacar, a criação de gado aumenta em 5% as chances do município pertencer aos grupos de maior desmatamento e o acréscimo do número de autuações do IBAMA aumenta em 6% a chance de que o município pertença a grupos de maior preservação.

De forma geral, portanto, os resultados apresentados no artigo indicam que os determinantes do desmatamento no período avaliado coincidem com aqueles reportados na literatura, como o preço (ou lucratividade) da pecuária, da agricultura e da atividade extrativista, justificando o modelo utilizado no estudo. Confirmando trabalhos anteriores, como o de Assunção *et al.* (2012) e Hargrave e Kis-Katos (2013), é verificado, no entanto, que estas variáveis tiveram um papel apenas secundário na explicação da queda do desmatamento.

É importante notar que a variável de maior impacto no desmatamento anual e única significativa em todos os modelos e especificações é a fiscalização ambiental, confirmando o papel das políticas públicas para

preservação da área verde na região. Mais do que isso, as autuações parecem gerar um viés protetivo futuro, segundo indicam os resultados de modelos com defasagens dessa variável, o que pode ser tanto resultado da redução do potencial de desmatamento desvelado pela autuação, como também por colocar a região em evidência, inibindo a derrubada da floresta.

Entre as sugestões para futuros estudos, pode-se destacar a necessidade corrigir o ICE para reduzir o papel de atividades de baixa sofisticação ou mesmo ligadas ao setor público que, contudo, impactam significativamente no índice de municípios com um setor formal ainda limitado. A limitação dos dados anuais de áreas protegidas traz também limitações na interpretação dos parâmetros desta variável.

Uma nova frente da pesquisa deveria focar na identificação das atividades alternativas para uso das competências existentes nos municípios da região, o que poderia ser feito pela comparação entre municípios com as mesmas características gerais e avaliação das atividades desenvolvidas em cada um deles, ou, de forma alternativa, a partir da identificação dos setores associados àqueles localmente estabelecidos com menor impacto na cobertura vegetal e maior potencial de ganhos sustentáveis a longo prazo.

Referências

Aguiar, A. P. D; Câmara, G; Escada, M. I. S. (2007) Spatial statistical analysis of land-use determinants in the Brazilian Amazonia: exploring intra-regional heterogeneity. *Ecological Modelling*, 209(2–4):169–188

Andersen, L. E; Granger, C.W.J; Reis, E. J; Weinhold, D. (2002) The dynamics of deforestation and economic growth in the Brazilian Amazon. Cambridge University Press, Cambridge

Angelsen, A. (1999) Agricultural expansion and deforestation: modelling the impact of population, market forces and property rights. *Journal of Development Economics*, 58(1):185–218

Arellano, M; Bond, S. (1991). Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations. *Review of Economic Studies*, 58: 277-297.

Arima, E. Y., Simmons, C. S., Walker, R. T., Cochrane, M. A. (2007). Fire in the Brazilian Amazon: a spatially explicit model for policy impact analysis. *Journal of Regional Science*, 47(3):541–567

Assunção, J.; Gandour, C. C., Rocha R (2012) *Deforestation slowdown in the Legal Amazon: prices or policies?* CPI Working Paper Climate Policy Initiative, Rio de Janeiro

Azevedo-Ramos, C.; Moutinho, P.; Arruda, V. L. S.; Stabile, M. C. C.; Alencar, A.; Castro, I.; Ribeiro, J. P. (2020) Lawless land in no man's land: The undesignated public forests in the Brazilian Amazon. *Land Use Policy*, 99, 104863.

Balland, P. A., Boschma, R., Crespo, J., Rigby, D. L. (2019). Smart specialization policy in the European Union: relatedness, knowledge complexity and regional diversification. *Regional Studies*, 53(9), 1252-1268.

- Blundell, R; Bond, S. (1998) Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models. *Journal of Econometrics* 87: 115-143
- Cameron, A. C.; P. K. Trivedi. 2022. *Microeconometrics Using Stata*. 2nd ed. College Station, TX: Stata Press.
- Chomitz, K. M.; Thomas, T. S. (2003). Determinants of land use in Amazonia: a fine-scale spatial analysis. *American Journal of Agricultural Economics*, 85(4):1016–1028.
- Costa, F. A. (2012) Mercado de terras e trajetórias tecnológicas na Amazônia. *Economia e Sociedade*, Campinas, v. 21, n. 2 (45), p. 245-273.
- Costa, F. A.; Nobre, C.; Genin, C.; Frasson, C. M. R.; Fernandes, D. A.; Silva, H.; Vicente, I.; Santos, I. T.; Feltran-Barbieri, R.; Neto, R. V.; Folhes, R. (2022). *Bioeconomy for the amazon: concepts, limits, and trends for a proper definition of the tropical forest biome*. WRI Brasil. Working paper, June.
- Fearnside P. M. (2005). Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates and consequences. *Conservation Biology*, 19(3):680–688
- Fernandes, D. A.; Costa, F. A.; Silva, H.; Folhes, R.; Neto, R. V. (2022). *Por uma bioeconomia da socio-biodiversidade na amazônia: lições do passado e perspectivas para o futuro*. Nota de Política Econômica n. 023. MADE/USP.
- Freitas, E. E. (2019). *Indústrias relacionadas, complexidade econômica e diversificação regional: uma aplicação para microrregiões brasileiras*. Tese (Doutorado) — Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional (UFMG), Belo Horizonte.
- Gatti, L.V; Basso, L.S; Miller, J.B. et al. (2021) Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. *Nature* 595, 388–393.
- Hargrave, J; Kis-Katos, K. (2013) Economic Causes of Deforestation in the Brazilian Amazon: A Panel Data Analysis for the 2000s. *Environmental and Resource Economics* (2013) 54:471–494.
- Hartmann, D.; Guevara, M. R.; Jara-Figueroa, C.; Aristaran, M.; Hidalgo, C. A. (2017) Linking Economic Complexity, Institutions and Income Inequality, *World Development*, 93, p. 75-93.
- Hausman, J. A. (1978) Specification tests in econometrics». *Econometrica: Journal of the econometric society*, 1251–71
- Hausmann, R.; Hidalgo C.A.; Bustos, S.; Coscia, M.; Chung, S.; Jimenez, J.; Simões, A.; Yildirim, M. A (2014) *The Atlas of Economics Complexity: Mapping Paths to prosperity*. Puritan Press, p. 364.
- Kirby, K. R; Laurance, W. F; Albernaz, A. K; Schroth, G; Fearnside, P. M; Bergen, S; Venticinque, E. M; Costa, C. (2006) The future of deforestation in the Brazilian Amazon. *Futures* 38(4):432–453

- Mealy, P., & Teytelboym, A. (2022). Economic complexity and the green economy. *Research Policy*, 51(8), 103948.
- Moutinho, P; Alencar, A; Stabile, M; Fellows, M; Salomão, C. S. C; Souza, L; Azevedo-Ramos, C; Laureto, L; Lui, G; Guyot, C; Castro, I; Bandeira, M. (2022) *Destinação de Florestas Públicas: Um meio de combate à grilagem e ao desmatamento ilegal na Amazônia. Projeto Amazônia 2030.*
- Queiroz, A. R.; Romero, J. P.; Freitas, E. E. (2023). Complejidad económica y empleo en los estados del Brasil. *Revista CEPAL* (139), 185-205.
- Pinheiro, F. L., Balland, P. A., Boschma, R.; Hartmann, D. (2022). The dark side of the geography of innovation: relatedness, complexity and regional inequality in Europe. *Regional Studies*.
- Rezende, E.; Santos, F.; Santos, C.; Stein, A. Q.; Romero, J. P. (2022). *Complexidade e emprego no Brasil entre 2006-2020: Evidência da regressão produtiva. Nota Técnica 01-2022. Belo Horizonte GPPD/CEDEPLAR/UFMG. Acesso em 19 de março de 2023.*
- Rodrigues, A.S.L.; Ewers, R.M.; Parry, L.; Souza, C.; Veríssimo, A.; Balmford, A. (2009). Boom-and-bust development patterns across the Amazon deforestation frontier. *Science*, 324, p. 1435-37.
- Romero, J. P.; Gramkow, C. (2021) Economic Complexity and Greenhouse Gas Emissions. *World Development*, 139, p. 1-18.
- Romero, J. P.; Freitas, E.; Silveira, F.; Britto, G.; Cimini, F.; Jayme Jr. F. G. (2022). Economic complexity and regional economic development: evidence from Brazil. In: *50º Encontro Nacional de Economia, Fortaleza/CE.*
- Roodman, D. (2006) *How to Do xtabond2: An introduction to "Difference" and "System" GMM in Stata. Working Paper 103, Center for Global Development, Washington.*
- Soares, R. R.; Pereira, L.; Pucci, R. (2021) *Ilegalidade e violência na Amazônia. Projeto Amazônia 2030.*
- Stern N. (2007) *The economics of climate change: the Stern review. Cambridge University Press.*
- Tritsch, I.; Arvor, D. (2016). Transition in environmental governance in the Brazilian Amazon: emergence of a new pattern of socio-economic development and deforestation. *Land Use Policy*, 59, 446-455.
- Windmeijer, F. (2005) A finite sample correction for the variance of linear efficient two-step GMM estimators. *Journal of Econometrics*, 126: 25-51.
- Waisbich, L. T.; Risso, M.; Husek, T.; Brasil, L. (2022) *O ecossistema do crime ambiental na Amazônia: uma análise das economias ilícitas da floresta. Artigo estratégico 55. Instituto Igarapé.*
- Wooldridge, Jeffrey M. (2010). *Econometric analysis of cross section and panel data. MIT Press.*

Anexos

A tabela A1 mostra os resultados para o modelo cumulativo para toda a população de municípios brasileiros (i) e para a amostra de municípios da região amazônica (ii-iv).

Tabela A1: Determinantes do desmatamento: estimações em painel (2006-2021)

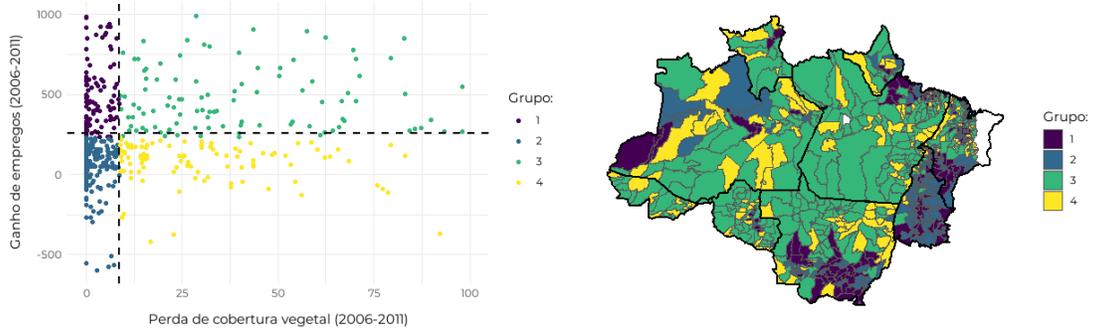
ln (Desmatamento total)	(i)	(ii)	(iii)	(iv)
ICE	-0.0020	0.0073	0.0168	0.0010
L1.ICE	-	-	-	0.0150
L2.ICE	-	-	-	0.0061
Período#c.ICE				
2012-2016	-	-	-0.0064	-
2017-2021	-	-	-0.0192	-
ln (soja)	0.0015***	0.0021***	0.0026***	0.0024***
ln (madeira)	0.0003***	0.0007	0.0007	0.0006
ln (gado)	0.0066***	0.0298***	0.0293***	0.0251***
ln (extrat)	-0.0011***	-0.0033***	-0.0031***	-0.0024***
ln (agricultura)	0.0013***	0.0038**		0.0033*
ln (autuações)	-0.0066***	-0.0043***	-0.0044***	-0.0054***
ln (PIBpc)	-0.0003***	-0.0020***	-0.0020***	-0.0021***
ln (min)	-	-	0.0009**	0.0002
ln (IDHm)	-	-	-	0.0811**
ln (educ)	-	-	-	0.0239***
ln (área de proteção)	-	0.9128	0.9030	0.7926
Período (dummy)				
2012-2016	0.0067***	0.0346***	0.0357***	0.0273***
2017-2021	0.0115***	0.0588***	0.0640***	0.0499***
Constante	0.6667***	0.8513	0.9231	1.4210
N	89075	12907	12907	11285
R2	0.0183	0.0729	0.0729	0.0510
F	155.4948	86.4002	73.1080	35.1220
P-Value	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Legenda: Significância: * 0,1 ** 0,05 *** 0,01

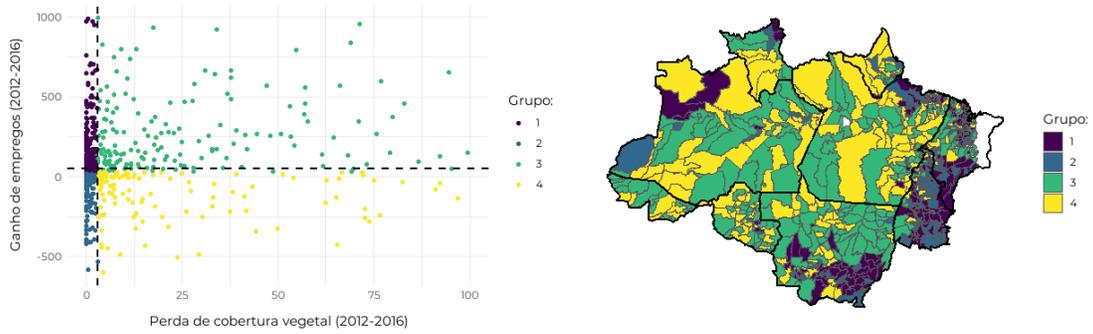
Fonte: Elaboração própria

Figura A1 - Degradação e variação de empregos por habitante

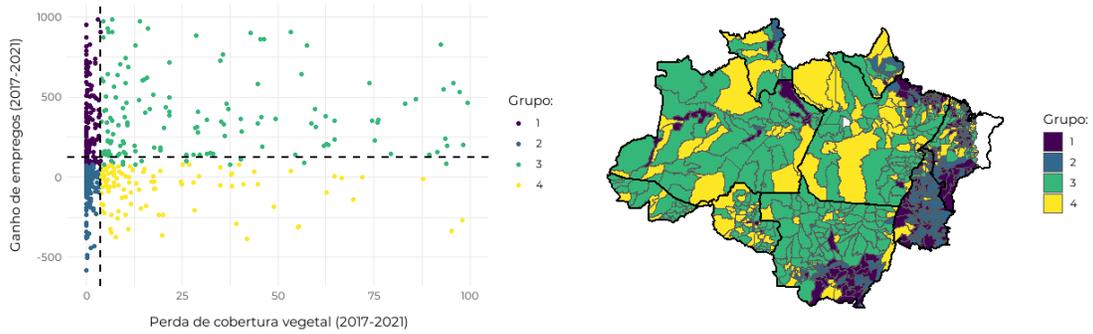
A. 2006-2011



B. 2012-2016



C. 2017-2021



Fonte: Elaboração própria.

Tabela A2a: Probabilidade de pertencimento aos grupos de destaque no crescimento do emprego e/ou preservação ambiental: Probit (2006-2011)

Período	2006-2011							
Grupo	Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		Grupo 4	
Variáveis	dy/d	P> z	dy/d	P> z	dy/d	P> z	dy/d	P> z
	x		x		x		x	
ICE	0.25	0.01	-0.22	0.04	0.07	0.56	0.00	0.99
D.(Desmatamento)								
Média-baixa	0.10	0.00	0.06	0.13	-0.11	0.01	-0.01	0.77
Média-alta	0.07	0.04	0.10	0.02	-0.08	0.05	-0.12	0.00
Alta	0.00	0.91	-0.05	0.27	-0.01	0.87	-0.06	0.17
D.(Complexidade)								
Média-baixa	0.01	0.90	-0.11	0.04	0.08	0.04	0.02	0.57
Média-alta	0.02	0.63	-0.21	0.00	0.15	0.00	0.01	0.86
Alta	0.03	0.66	-0.44	0.00	0.45	0.00	-0.01	0.89
ln (soja)	0.00	0.16	0.01	0.00	-0.02	0.00	0.00	0.37
ln (madeira)	-0.01	0.14	-0.01	0.46	0.00	0.90	0.01	0.07
ln (gado)	-0.05	0.00	0.01	0.32	0.05	0.00	0.02	0.10
ln (ativ. Extrativista)	0.00	-	0.00	-	0.00	-	0.00	-
ln (autuações IBAMA)	0.04	0.00	0.05	0.00	-0.04	0.00	-0.03	0.00
Setore								
s								
agro	-0.07	0.62	-0.29	0.12	0.24	0.13	0.70	0.00
ind	-0.10	0.52	-0.27	0.28	0.35	0.05	0.36	0.09
adm	-0.41	0.01	0.02	0.93	0.32	0.08	0.79	0.00

Notas: 1. Grupo 1: Destaque no aumento dos empregos formais e menor nível de desmatamento; Grupo 2: Destaque na preservação, mas não nos empregos; Grupo 3: Destaque no aumento dos empregos formais, mas com elevada perda de cobertura vegetal, comparativamente; Grupo 4: Desmatamento elevado e baixa dinâmica de emprego. 2. Grupo base: baixo desmatamento; 3. Grupo base: baixa complexidade; 4. Grupo base: setor de serviços.

Fonte: Elaboração própria

Tabela A2b: Probabilidade de pertencimento aos grupos de destaque no crescimento do emprego e/ou preservação ambiental: Probit (2012-2016)

Período	2012-2016							
Grupo	Grupo1		Grupo2		Grupo3		Grupo4	
Variáveis	dy/d	P> z	dy/d	P> z	dy/d	P> z	dy/d	P> z
	x		x		x		x	
ICE	-0.33	0.00	0.18	0.08	0.21	0.09	0.05	0.66
D.(Desmatamento)								
Média-baixa	0.10	0.03	0.03	0.37	-0.09	0.03	0.01	0.81
Média-alta	0.02	0.67	0.14	0.00	-0.13	0.00	-0.06	0.12
Alta	-0.09	0.06	-0.01	0.77	-0.01	0.78	0.02	0.72
D.(Complexidade)								
Média-baixa	0.01	0.82	-0.07	0.16	0.04	0.37	0.01	0.67
Média-alta	0.03	0.66	-0.20	0.00	0.04	0.51	0.09	0.04
Alta	-0.03	0.72	-0.30	0.00	0.10	0.20	0.31	0.00
ln (soja)	0.01	0.01	0.00	0.57	-0.01	0.09	-0.01	0.05
ln (madeira)	-0.01	0.01	-0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
ln (gado)	-0.04	0.00	-0.02	0.09	0.05	0.00	0.02	0.05
ln (ativ. Extrativista)	0.00	0.57	0.01	0.00	-0.01	0.01	-0.01	0.01
ln (autuações IBAMA)	0.02	0.01	0.04	0.00	-0.02	0.03	-0.01	0.28
Setores								
agro	-0.68	0.00	-0.07	0.65	0.42	0.01	0.80	0.00
ind	-0.84	0.00	0.21	0.22	-0.26	0.24	1.11	0.00
adm	-0.67	0.00	-0.05	0.78	0.08	0.65	1.00	0.00

Notas: 1. Grupo 1: Destaque no aumento dos empregos formais e menor nível de desmatamento; Grupo 2: Destaque na preservação, mas não nos empregos; Grupo 3: Destaque no aumento dos empregos formais, mas com elevada perda de cobertura vegetal, comparativamente; Grupo 4: Desmatamento elevado e baixa dinâmica de emprego. 2. Grupo base: baixo desmatamento; 3. Grupo base: baixa complexidade; 4. Grupo base: setor de serviços.

Fonte: Elaboração própria

Tabela A2c: Probabilidade de pertencimento aos grupos de destaque no crescimento do emprego e/ou preservação ambiental: Probit (2017-2021)

Período	2017-2021							
Grupo	Grupo1		Grupo2		Grupo3		Grupo4	
Variáveis	dy/d	P> z	dy/d	P> z	dy/d	P> z	dy/d	P> z
	x		x		x		x	
ICE	-0.21	0.08	-0.17	0.12	0.43	0.00	0.02	0.84
D.(Desmatamento)								
Média-baixa	0.10	0.02	0.10	0.02	-0.12	0.00	-0.01	0.79
Média-alta	-0.03	0.48	0.17	0.00	-0.09	0.03	-0.03	0.42
Alta	-0.09	0.04	-0.03	0.52	0.03	0.55	0.03	0.55
D.(Complexidade)								
Média-baixa	-0.02	0.72	0.01	0.90	0.01	0.90	0.01	0.83
Média-alta	0.00	0.94	-0.08	0.18	0.01	0.82	0.04	0.33
Alta	-0.09	0.20	-0.19	0.00	0.24	0.01	0.06	0.41
ln (soja)	0.00	0.44	0.00	0.92	0.01	0.22	-0.01	0.00
ln (madeira)	-0.01	0.04	-0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01
ln (gado)	-0.04	0.00	0.00	0.72	0.02	0.02	0.04	0.00
ln (ativ. Extrativista)	0.00	0.86	0.02	0.00	-0.02	0.00	-0.01	0.09
ln (autuações IBAMA)	0.06	0.00	0.04	0.00	-0.06	0.00	0.00	0.76
Setores								
agro	-0.47	0.00	0.02	0.91	0.42	0.01	0.57	0.00
ind	-0.53	0.00	0.12	0.55	0.33	0.05	0.48	0.00
adm	-0.92	0.00	0.27	0.17	0.31	0.12	0.60	0.00

Notas: 1. Grupo 1: Destaque no aumento dos empregos formais e menor nível de desmatamento; Grupo 2: Destaque na preservação, mas não nos empregos; Grupo 3: Destaque no aumento dos empregos formais, mas com elevada perda de cobertura vegetal, comparativamente; Grupo 4: Desmatamento elevado e baixa dinâmica de emprego. 2. Grupo base: baixo desmatamento; 3. Grupo base: baixa complexidade; 4. Grupo base: setor de serviços.

Fonte: Elaboração própria