



Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos (RBERU)

Vol. 11, n. 3, pp. 384-405, 2017

<http://www.revistaaber.org.br>

**CUSTO DE OPORTUNIDADE DA PRESERVAÇÃO AMBIENTAL: O CASO DA
AMAZÔNIA LEGAL BRASILEIRA***

André Luis Squarize Chagas

Professor no Departamento de Economia da Universidade de São Paulo (USP)

E-mail: achagas@usp.br

Luíza Cardoso de Andrade

Banco Mundial

E-mail: luiza.c.andrade@gmail.com

RESUMO: Este trabalho estimou o custo de oportunidade de preservar a floresta dos agentes econômicos da Amazônia Legal Brasileira. Tal custo é representado pelo fluxo de renda de que esses agentes abrem mão ao não usar a terra para a produção agropecuária. Parte-se da hipótese de que essa região se encontra, atualmente, em um estágio de produção similar ao da região Centro-Oeste na década de 1970 e de que os produtores formam suas expectativas quanto à rentabilidade futura da produção a partir da *performance* do Centro-Oeste nos últimos anos. Por meio de análise fatorial, estimam-se os fatores de produção terra, capital e trabalho de cada região, com base nos censos agropecuários. A rentabilidade é estimada empregando-se fronteiras estocásticas. Testes de robustez confirmam que a hipótese de funções com retornos constantes de escala é satisfatória. Os resultados mostram que, supondo rentabilidade máxima da produção, os produtores na região amazônica esperam um incremento anual médio na renda de no máximo 12% a.a., e que é necessária uma taxa de desconto intertemporal acima de 7% para tornar a atividade economicamente não atrativa.

Palavras-chave: Uso da terra; Amazônia Legal Brasileira; Fronteira estocástica; Desmatamento.

Classificação JEL: Q51; Q23; R14.

ABSTRACT: This work estimated the opportunity cost of preserving the forest by the economic agents living on Brazilian Legal Amazon region. This cost is represented by the income flow that these agents give up not using the land for agricultural production. Our main hypothesis is that, currently, this region is at a production stage similar to that of the Midwest region in the 1970s, and those producers form their expectations about the future profitability of production looking for the performance of the Center in the last years. By means of factorial analysis, we estimate the factors of production land, capital, and labor of each region, based on the agricultural census. The profitability is estimated using stochastic frontier analysis. Robustness tests confirm that the hypothesis of functions with constant returns to scale is satisfactory. The results show that, assuming maximum profitability of production, producers in the Amazon region expect an average annual increase in income of 12% per year, and that an intertemporal discount rate above 7% is required to make the activity economically unattractive.

Keywords: Land use; Brazilian Legal Amazon region; Stochastic frontier; Deforestation.

JEL Code: Q51; Q23; R14.

*Recebido em: 10/02/2017; Aceito em: 13/07/2017.

1. Introdução

Desde a década de 1970, a fronteira agrícola brasileira tem se expandido das regiões Sul e Sudeste do país em direção ao Norte e Centro-oeste. Nas décadas de 1980 e 1990, esse movimento foi marcado pela ocupação dos estados do Mato Grosso e do Mato do Grosso do Sul por atividades como o cultivo de milho, arroz, soja e pela pecuária. Atualmente, a área de fronteira agrícola brasileira é a Amazônia Legal, notadamente o chamado Arco de Desmatamento, região que possui os maiores índices de desmatamento e que abrange o sul e o leste do estado do Pará, norte de Mato Grosso e os estados de Rondônia e do Acre.

Nesse contexto, o presente trabalho apresenta uma estimação do custo de oportunidade privado em que estariam incorrendo os agentes econômicos localizados nas áreas de fronteira agrícola ao deixar de derrubar novas áreas de floresta para fins de exploração econômica, ou seja, o custo que a preservação da floresta representa para eles. Esse custo pode ser indicativo da quantia máxima necessária para incentivar tais agentes a deixar de desmatar.

Existe um *trade-off* latente entre desmatamento e geração de renda nas áreas de fronteira (IGLIORI, 2006). A presença humana nas áreas de floresta por si já representa um vetor de desmatamento. Comumente pensa-se que tal presença ocorre apenas para explorar as riquezas e potenciais locais para exportação (interna ou externa). Essa visão esconde uma realidade mais complexa, que deve atentar para as necessidades das pessoas que vivem na Amazônia e que demandam recursos locais para sua subsistência. Em trabalho recente, Castelani (2014) conclui que, apesar de representar somente 13% da população brasileira, a população residente na Amazônia Legal responde por 30% do desmatamento anual dessa região, quando se consideram os efeitos diretos e indiretos da produção que atende à demanda local.

Além de atender à demanda local, o desmatamento ainda atende à expectativa de ganhos atuais e futuros de uma forma que se assemelha à decisão de investimento de uma firma (PFAFF, 1999). A mais recente teoria de decisão de investimento é baseada na hipótese de expectativas racionais, que dá muito peso ao conjunto de expectativas atuais sobre a rentabilidade futura. Novos resultados, após a mais recente crise econômica mundial, recuperam a importância de retornos passados sobre as expectativas futuras e, conseqüentemente, as decisões de investimento atual (GENNAIOLI; MA; SHLEIFER, 2016).

Neste trabalho, adotamos duas importantes hipóteses. A principal hipótese é que a Amazônia Legal se encontra, atualmente, em um estágio de produção similar ao da região Centro-Oeste na década de 1970, período em que se iniciou a intensificação da ocupação produtiva dos estados do Centro-Oeste. Essa hipótese é testável e, condicional nas características observadas em cada região, a Amazônia Legal apresenta *performance* similar à do Centro-Oeste daquela época.

Partindo dessa suposição, assume-se que os produtores da Amazônia Legal podem formar suas expectativas quanto à rentabilidade futura da produção a partir do desempenho verificado no Centro-Oeste nos últimos quarenta anos. O valor presente da renda esperada com o uso produtivo da terra é avaliado através da construção de uma fronteira estocástica de produção, supondo que a terra apresenta rentabilidade máxima, dado seu uso eficiente. Para tanto, estimou-se, com os dados dos censos agrícolas de 1970, 1975, 1980, 1985 e 2006, para a região de controle (Centro-Oeste), a função que representa a rentabilidade da terra nesse período. Utilizando os dados do censo agrícola de 2006 para a região amazônica, foi possível identificar em que ponto da curva de rentabilidade estimada ela se encontra atualmente. Dessa forma, pode-se calcular o custo de oportunidade da não expansão da área convertida pela diferença entre a renda obtida atualmente e o valor presente daquela que é esperada para o futuro, segundo a função estimada.

Um custo de oportunidade elevado exerce forte pressão econômica sobre a floresta remanescente, o que pode limitar o alcance de políticas de comando e controle ou transferência de renda para essas áreas. O desenho dessas políticas deve levar em conta não apenas o ganho atual, estimado a partir das técnicas usuais, que considera apenas a rentabilidade e os preços correntes, mas também o ganho potencial que os agentes locais podem esperar (custo de oportunidade). Os resultados obtidos a partir desse trabalho podem ser considerados uma *proxy* do valor máximo esperado pelos

proprietários de terra locais e balizar as políticas de controle do desmatamento, de forma a desincentivar a expansão da atividade agropecuária sobre áreas de floresta.

O trabalho se organiza da seguinte forma: na próxima seção, faz-se uma revisão da literatura acerca de serviços ambientais e retornos econômicos do desmatamento. Em seguida, são descritos os métodos utilizados. A quarta seção descreve os dados utilizados. A quinta seção apresenta os resultados obtidos. A última seção desenvolve algumas considerações finais e as possíveis perspectivas para futuros trabalhos.

2. Revisão bibliográfica

O presente trabalho se insere na discussão acerca dos serviços ambientais que a natureza presta aos indivíduos, ou seja, dos benefícios que são retirados por eles dos ecossistemas. No caso específico da Amazônia, sobressai-se sua importância na regulação do regime de chuvas do subcontinente sul-americano, além do fato de que ela abriga ecossistemas que estão entre os mais ricos do mundo e apresenta alto potencial para conservar e sequestrar carbono no solo (IPCC, 1996).

Igliori (2006) contrasta com esses serviços o valor representado pelos bens e serviços que deixam de ser produzidos sob usos alternativos da terra, determinando a existência de um *trade-off* entre desenvolvimento e conservação ambiental. Esse *trade-off* torna-se particularmente decisivo devido à pobreza da região amazônica. O autor acrescenta ainda que há conflito entre horizontes temporais e entre a visão privada e a global quanto aos custos de atividades que degradam o meio ambiente na tomada de decisão quanto à utilização da terra.

Young (1996) trata a questão da conversão da terra por meio da composição de um portfólio de ativos, com o objetivo de gerar fluxos de renda. Assim como outros problemas de decisão quanto à composição do portfólio, dois parâmetros são fundamentais: o fluxo descontado de receitas futuras associadas a cada uma das opções de uso e o grau de risco ou incerteza envolvida em cada opção. A incerteza quanto à evolução futura dos preços e a tênue delimitação dos direitos de propriedade são fenômenos que afetam de forma diferenciada o processo de tomada de decisão quanto ao uso da terra. Basicamente, a possibilidade de reposição da terra a custos relativamente baixos e a incerteza quanto à posse induzem a uma redução do tempo relevante para a tomada de decisão.

À rentabilidade alcançada com a conversão das florestas devem ser contrastados os benefícios ambientais oferecidos por sua preservação. Young e Fausto (1997) ressaltam a importância da valoração econômica de recursos naturais ao atribuir valores econômicos aos benefícios provenientes de bens e serviços que não são captados pelo mercado. A estimação de tais valores esbarra, entretanto, em sérias dificuldades, devidas principalmente à inexistência de mercados para a maioria dos recursos naturais e à presença de falhas de mercado em muitos dos mercados que envolvem esse tipo de ativo. Dificuldades adicionais podem surgir ainda do fato de que os direitos de propriedade sobre ativos ambientais muitas vezes não são bem definidos e de que as preferências das gerações futuras não são levadas em conta quando os preços são avaliados.

Posto que os bens ambientais possam ser precificados em função do fluxo de renda ou de benefícios que eles venham a gerar no futuro, a taxa de desconto utilizada para estimar o valor presente desse fluxo também é um fator crucial na valoração desse tipo de ativo (FIELD, 2001; ANDERSEN, 1997). Dois fatores se sobressaem na discussão sobre a taxa de desconto. O primeiro deles é a definição dos direitos de propriedade, uma vez que a incerteza sobre a possibilidade de exploração dos ativos no futuro aumenta a taxa de desconto, o que pode levar à superexploração dos recursos. O segundo diz respeito às preferências das gerações futuras. Dado que o desconto reflete a perspectiva da geração atual, ele tende a valorizar menos os benefícios futuros com relação aos atuais.

Uma vez valorados os recursos ambientais, o preço obtido, que representa os benefícios por eles gerados, costuma ser comparado aos custos envolvidos em sua preservação. Field (2001) indica quatro custos principais que devem ser considerados: os custos de oportunidade (sociais e privados) representados pela conservação, notadamente a produção de que se abre mão; os custos ligados a mudanças nos preços, uma vez que internalização de externalidades deve gerar uma adaptação dos mercados à nova situação; o custo das instalações físicas necessárias à proteção dos recursos em

questão; e o custo da regulação pública, que envolve conhecimento das estruturas de custo das firmas, informações sobre as condições de demandas dos mercados, etc. O presente trabalho tem como foco o primeiro desses custos, tratando especificamente dos custos de oportunidade privados em que os agentes econômicos localizados na região da Amazônia Legal incorreriam ao decidir preservar a floresta. Alguns trabalhos já buscaram avançar nesse sentido e serão brevemente analisados a seguir.

Andersen (1997) chama atenção para a importância dos efeitos positivos indiretos do desmatamento sobre a economia urbana da região, que potencializam os benefícios totais gerados pelo desmatamento, e para o fato de que o preço da terra é o principal fator determinante da intensidade do uso da terra. Considerando uma sequência ocupacional que tem início com a atividade madeireira, seguida pela pecuária extensiva e, por fim, pela cultura agrícola, cuja intensidade aumenta ao longo do tempo, o autor conclui que, no estágio de desmatamento observado à época, a expansão da área desmatada era mais vantajosa do que a preservação da floresta sob qualquer uma das óticas analisadas. No caso dos primeiros ocupantes da terra, o estabelecimento de uma agricultura de queimada, apesar da diminuição dos lucros conforme cai o nível de nutrientes no solo, seria economicamente vantajoso considerando a perspectiva de venda para ocupantes de segunda geração, com maior acesso ao capital, uma vez que a fronteira já se encontra mais desenvolvida. Do ponto de vista do planejador social, no entanto, ela só seria justificada se a terra fosse usada de maneira mais eficiente. Conforme ressaltado no próprio trabalho, no entanto, essas estimativas de custos e benefícios nele apresentadas dizem respeito a um ponto específico de cada uma dessas curvas, associado a um nível de desmatamento de 10%. Conforme o desmatamento aumenta, crescem seus custos, que em algum momento ultrapassarão o valor da terra agrícola.

Diaz e Schwartzman (2005) analisam os possíveis efeitos de uma política de redução compensada no desmatamento na Amazônia, através de créditos de carbono. Os autores apontam que, a menos que a preservação ambiental possa gerar um fluxo de renda de longo prazo, a fiscalização por parte do governo não será suficiente para parar a expansão da área desmatada. Busca-se, portanto, o *break-even point*, ou seja, o preço do carbono que tornaria a preservação tão rentável quanto os principais usos alternativos da terra (pecuária, cultivo de soja e manejo florestal). O trabalho aponta que a soja, embora seja a atividade com maiores retornos, tem suas possibilidades de cultivo limitadas por fatores geográficos. A pecuária, por outro lado, embora não apresente retornos tão altos, é vista como forma de garantia da posse da terra, tornando-a o principal uso das terras convertidas.

O trabalho de Pinedo-Vasquez *et al.* (1992) também se aproxima muito do que se pretende fazer neste projeto: ele está interessado em estimar os retornos econômicos obtidos com a conversão de áreas de floresta na Amazônia peruana. Para tanto, eles utilizam um inventário das espécies vegetais presentes na área em 1985-86 e de dados relativos aos custos de produção e preços de recursos madeireiros e de culturas agrícolas levantados pelo sindicato de agricultores da região¹. Segundo os autores, os agentes regionais adotam um horizonte de decisão de curtíssimo prazo devido à incerteza quanto à propriedade da terra. Seus resultados apontam que no contexto atual a população ribeirinha deve continuar convertendo área de floresta para a agricultura através da queimada a menos que usos alternativos da terra se tornem mais atrativos economicamente.

De acordo com Margulis (2001), os desmatamentos proporcionam ganhos econômicos claros, que do ponto de vista privado fazem todo sentido, e esses ganhos decorrem fundamentalmente de atividades produtivas e não especulativas. Os agentes que se apropriam desses ganhos são os madeireiros e os agentes intermediários que transformam a floresta nativa em pastagens (pequenos agentes com os menores custos de oportunidade), e principalmente os pecuaristas e fazendeiros que

¹ Considerando as técnicas mais difundidas e a produção média por hectare delas resultante, o valor presente da atividade agrícola baseada em rotações contínuas de culturas é dado por $R_{NPV} = \frac{R_1}{1 - (e^{-ht_3})}$, em que h é a taxa de juros contínua, t_3 , o tempo entre as rotações, e R_1 , a renda líquida ajustada da cultura 1. R_1 , por sua vez, é dado por $R_1 = (-C_1)(e^{-ht_1}) + (pV - C_2)(e^{-ht_2})$, em que C_1 são os custos iniciais, t_1 , o tempo de plantação, C_2 , os custos de colheita e transporte, e t_2 , o tempo de colheita. A receita líquida ajustada da segunda cultura é dada por $R_2 = R_1 (e^{-ht_3})$. Esses valores são calculados para taxas de desconto de 5%, 10% e 15%. A esse VPL pode-se acrescentar ainda a receita obtida com a extração de madeira.

os seguem. Se a pecuária não fosse rentável, não haveria tantos agentes intermediários, pois seus lucros também cessariam. Por outro lado, o autor aponta para a aproximação da fronteira agrícola da área mais densa da floresta, em que os altos índices pluviométricos impedem a realização de qualquer atividade econômica.

Souza-Rodrigues (2015) busca determinar a demanda por desmatamento em propriedades privadas da Amazônia brasileira, definida como a área de mata derrubada em função das diferenças no valor privado da terra agrícola e da floresta. Para tanto, o autor estima os efeitos dos custos de transporte sobre o desmatamento e em seguida redimensiona esses custos usando os rendimentos, de forma a determinar a diferença nos preços por hectare da terra agrícola e da floresta. Os resultados indicam que um imposto pigouviano seria a política com a melhor relação custo/benefício quando comparada com o pagamento por serviços ambientais, programas REDD+ e a imposição de limites quantitativos ao uso da terra. O autor aponta, ainda, para o fato de que médios e grandes fazendeiros respondem mais a essas políticas, devido aos retornos decrescentes apresentados pela terra.

Com relação aos trabalhos analisados, a principal contribuição deste artigo é buscar incorporar as expectativas dos agentes econômicos quanto à rentabilidade futura da terra convertida no cálculo do valor presente líquido da mesma. Posto que a Amazônia Legal é uma região de ocupação econômica recente, é razoável que os produtores nela localizados esperem um aumento na renda gerada pela terra, na medida em que os métodos produtivos vão sendo adaptados ao clima e ao solo local e que a infraestrutura da região é desenvolvida. Isso dado, os níveis de retornos observados atualmente podem não caracterizar os melhores valores de referência para a estimação do valor econômico da terra na Amazônia, uma vez que ele deve refletir o valor presente do fluxo de renda esperado para o futuro. A comparação do atual estágio de produção da região Amazônica com aquele alcançado pela região Centro-Oeste se deve justamente ao fato de essa última já ter passado pelo mesmo processo de ocupação econômica e amadurecimento da atividade agropecuária. Em que pesem diferenças físicas e institucionais entre as duas regiões, os resultados desse trabalho sugerem que essa hipótese não é desprovida de sentido. Deve-se atentar, no entanto, que, devido à ausência, na Amazônia Legal, de fatores institucionais que favoreceram a ocupação econômica como a verificada no Centro-Oeste no passado, o fluxo de renda estimado para a primeira região deve ser encarado como um limite máximo que poderia ser obtido, uma vez controladas as diferenças climáticas e de aptidão do solo.

3. Métodos utilizados

O produtor/proprietário i maximiza sua renda esperada, em um dado instante t , expressa por

$$E(\pi_{it}) = E[f(x_{it}) - c(x_{it})] \quad (1)$$

em que $E(\pi_{it})$ é a renda esperada, x é um vetor de insumos e $f(\cdot)$ e $c(\cdot)$ são, respectivamente, as funções de receita e de custo, esperadas em cada instante.

Desde que a função de produção apresente retornos constantes de escala, o que é razoável para uma função agregada para todo o setor, então, pode-se mostrar que o retorno esperado pelo produtor é

$$E(\pi_{it}) = E \left[f(x_{it}) - \sum_i \frac{df(x_{it})}{dx_{it}} x_{it} \right] \quad (2)$$

Definindo $\sum_i \frac{df(x_{it})}{dx_{it}} \frac{x_{it}}{f(x_{it})} = \alpha$ como a participação dos fatores de produção não pertencentes ao produtor rural, conclui-se que a renda esperada pelos produtores, em cada instante t , equivale à participação dos fatores de produção possuídos pelos produtores na produção total, ou seja

$$E(\pi_{it}) = E[f(x_{it})(1 - \alpha)]. \quad (3)$$

3.1. Análise fatorial

Como muitas variáveis apresentavam alta multicolinearidade, adotou-se o método de análise fatorial, que consiste em reduzir o número dessas variáveis por meio da análise de fator, que usa técnicas de regressão para estimar, a partir de variações observadas entre variáveis correlacionadas, um número menor de variáveis latentes, ou fatores, capazes de explicar as variáveis observadas². As variáveis observadas seriam uma combinação linear das variáveis latentes acrescidas de um termo de erro, de forma que se busca obter fatores que expliquem o máximo possível a variância das variáveis observadas.

Dado um conjunto de variáveis $Z = z_1, z_2, \dots, z_n$ com médias $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$, suponha que

$$z_i - \mu_i = a_{i1}F_1 + a_{i2}F_2 + \dots + a_{ik}F_k + \varepsilon_i, \quad (4)$$

em que a_{ij} são constantes, F_j são variáveis não observadas, de média zero e independentes entre si e independentes do erro, e ε_i é um termo de erro de média zero e variância finita ψ . Em termos matriciais,

$$z - \mu = AF + \varepsilon, \quad (5)$$

em que A é a matriz de constantes, ou *loading matrix*, e F , o vetor de variáveis não observadas, ou fatores. Logo, sendo $cov(z - \mu) = \Sigma$, tem-se

$$\Sigma = AA' + \psi, \quad (6)$$

o que permite estimar A e F para uma dada amostra.

A principal vantagem desse método é a redução do número de variáveis, sendo comumente usado quando se deseja reduzir uma grande quantidade de variáveis observadas a um número menor de fatores. No entanto, a análise fatorial também é utilizada quando as variáveis observadas apresentam erros de medida.

3.2. Fronteira estocástica de produção

Para cada instante t , estima-se a função $f(x_{it})$ por meio de fronteiras de possibilidades de produção para a região Centro-Oeste nos anos de 1970, 1975, 1980, 1985 e 2006 e para a Amazônia Legal, em 2006, empregando-se o método de fronteira estocástica. Esse método, desenvolvido por Meeusen e Van Den Boeck (1977) e Aigner, Lovell e Schmidt (1977)³, consiste na estimação, através de máxima verossimilhança, de uma função de produção da forma

$$y_i = \varepsilon_i f(x_i, \beta) e^{v_i}, \quad (7)$$

em que y_i é a produção, $f(x_i, \beta)$ é a fronteira determinística, comum a todos os produtores, x_i são os insumos, β é o vetor de parâmetros, ε_i é o termo indicativo de ineficiência e v_i é o componente aleatório. Linearizando a equação e definindo $u_i = -\ln \varepsilon_i$, tem-se que

$$\ln y_i = \ln f(x_i, \beta) + v_i - u_i \quad (8)$$

² Ver Lawley e Maxwell (1973), Bartholomew *et al.* (2008), Hair *et al.* (2006).

³ Uma boa revisão do método pode ser encontrada em Kumbhakar e Lovell (2003).

Assim, o desvio com relação à parte determinística da fronteira de produção é dado por u_i e v_i , determinando o erro composto característico do modelo. O termo u_i que captura a ineficiência técnica: se $u_i > 0$, há ineficiência e o produtor opera abaixo da fronteira de produção; se $u_i = 0$, o produtor é eficiente, operando sobre a fronteira. O termo v_i segue uma distribuição normal e captura choques aleatórios que fogem ao controle da firma e afetam especificamente o i -ésimo produtor, além de erros de observação e medida em y . Assim, v_i expressa o fato de que a fronteira pode variar aleatoriamente de uma firma para a outra ou ao longo do tempo para uma mesma firma (AIGNER; LOVELL; SCHMIDT, 1977).

Como $\varepsilon_i = v_i - u_i$, e dado que $u_i \geq 0$, tem-se que o erro composto é assimétrico e acrescenta-se por hipótese que ele é diferente de zero.

3.3. Teste de robustez

Dada a importância dos retornos de escala e concorrência perfeita para as previsões que se deseja fazer, recorreu-se a um método alternativo para testar essas hipóteses, que consiste em um exercício adaptado de contabilidade do crescimento. Parte-se de uma função de produção do tipo

$$Y_{it} = A_{it}G(T_{it}, K_{it}, L_{it}, I_{it}), \tag{9}$$

em que Y_{it} é a produção total da firma i no momento t ; A_{it} é o índice de progresso tecnológico Hicks-neutro do setor, ou seja, que altera apenas o produto auferido com determinadas quantidades de insumos, sem alterar as taxas marginais de substituição; T_{it} , K_{it} e L_{it} são os fatores de produção, terra, capital e trabalho, respectivamente, utilizados pela firma i no momento t ; I_{it} são os bens intermediários consumidos na produção; e $G(\cdot)$ é uma função de classe C^2 . Diferenciando totalmente essa função e dividindo por Y_{it} , obtém-se

$$\frac{dY_{it}}{Y_{it}} = \frac{dA_{it}}{A_{it}} + \frac{\partial Y}{\partial T} \frac{dT_{it}}{Y_{it}} + \frac{\partial Y}{\partial K} \frac{dK_{it}}{Y_{it}} + \frac{\partial Y}{\partial L} \frac{dL_{it}}{Y_{it}} \tag{10}$$

Seja α_j a participação do fator J na renda do setor e μ o grau de *mark-up* no setor em questão (definido como sendo a razão entre o preço e os custos marginais), as condições de maximização do lucro da firma implicam que $\frac{\partial Y}{\partial J} \frac{P}{\mu} = j$ e $\frac{\beta}{\mu} = \sum \alpha_j$, em que j é a remuneração do fator J , J_{it} é a quantidade utilizada desse fator, P é o preço de Y e β é o parâmetro que indica os retornos de escala apresentado pela tecnologia. Assim, se $\beta < 1$, as firmas têm retornos decrescentes de escala; $\beta = 1$ nos leva ao caso anterior, em que as firmas têm retornos constantes de escala; e se $\beta > 1$ as firmas têm retornos crescentes de escala.

Substituindo esse resultado em (1), tem-se que

$$\begin{aligned} \Delta \ln \left(\frac{Y_{it}}{K_{it}} \right) = & \mu \left[\alpha_L \Delta \ln \left(\frac{L_{it}}{K_{it}} \right) + \alpha_T \Delta \ln \left(\frac{T_{it}}{K_{it}} \right) + \alpha_I \Delta \ln \left(\frac{I_{it}}{K_{it}} \right) \right] \\ & + (\beta - 1) \Delta \ln(K_{it}) + \Delta \ln(A_{it}) \end{aligned} \tag{11}$$

Torna-se possível, assim, estimar conjuntamente o grau de *mark-up* no setor e os retornos de escalas proporcionados pela tecnologia adotada. Harrison (1994) sugere ainda que seja incorporado um termo específico às firmas, f_{it} , que dê conta de possíveis diferentes na produtividade, resultando em

$$\begin{aligned} \Delta \ln \left(\frac{Y_{it}}{K_{it}} \right) = & \mu \left[\alpha_L \Delta \ln \left(\frac{L_{it}}{K_{it}} \right) + \alpha_T \Delta \ln \left(\frac{T_{it}}{K_{it}} \right) + \alpha_I \Delta \ln \left(\frac{I_{it}}{K_{it}} \right) \right] \\ & + (\beta - 1) \Delta \ln(K_{it}) + \Delta \ln(A_{it}) + \ln(f_{it}) \end{aligned} \tag{12}$$

Essa equação pode ser simplificada na seguinte forma:

$$dY = \mu dx + (\beta - 1)dK + dA + f \quad (13)$$

Foram testadas duas especificações do modelo, uma impondo retornos constantes de escala e outra relaxando essa hipótese. Foram utilizados os métodos de mínimos quadráticos agrupados (modelos 1 e 2) e de efeitos fixos (modelos 3 e 4).

3.4. Estimação do valor presente líquido da renda futura esperada

A partir dos resultados obtidos, é possível estimar a participação dos produtores no produto gerado e, posteriormente, estima-se o valor presente da renda futura a partir da fórmula do valor presente,

$$\Pi = \int_{\tau}^{\tau+n} \pi(t) e^{-rt} dt, \quad (14)$$

em que $\pi(t)$ é a função de produção estimada pelo método das fronteiras estocástica e r é a taxa de desconto. O ajuste dessa função, ao longo do tempo, é feito a partir de um modelo polinomial, do tipo $\ln \pi(t) = \ln y = at^2 + bt + c$, em que y é a renda em reais de 2000, e t , o tempo em anos. O valor presente líquido da renda esperada pode então ser calculado por

$$\Pi = \int_{\tau}^{\tau+n} e^{at^2+bt+c-rt} dt, \quad (15)$$

correspondendo à renda projetada descontada pela taxa de juros.

4. Coleta e seleção de dados

Os dados utilizados para estimação são provenientes dos Censos Agropecuários realizados pelo IBGE em cada um dos anos citados. Buscou-se identificar as informações referentes aos fatores de produção presentes em todos os anos. Os dados do Censo Agropecuário de 1995/1996 não foram utilizados devido às divergências metodológicas entre esse e os demais censos considerados e à ausência de observações nesse ano de algumas variáveis utilizadas.

No caso da Amazônia Legal, foram desconsiderados os municípios do Mato Grosso, já contabilizados na região Centro-Oeste, posto que esse estado teve ocupação econômica anterior aos demais estados da região. O restante dos municípios pertencentes à Amazônia Legal soma um total de 630 observações para o ano de 2006.

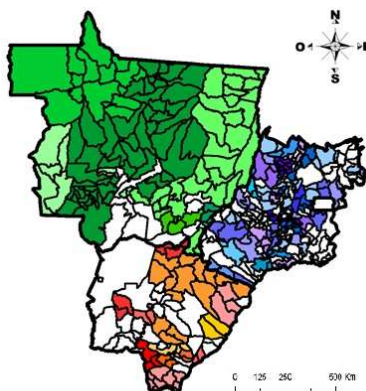
No que diz respeito ao fator trabalho, foram considerados os seguintes dados do Censo Agropecuário: número de empregados, número de parceiros e responsável e membros não remunerados da família. Os dados de capital utilizados dizem respeito ao número de tratores, arados e colheitadeiras utilizados na propriedade. A terra é medida pela área rural do município⁴. O valor da produção no ano não inclui a indústria rural e está medido em reais de 2000.⁵

⁴ A metodologia de cálculo da área total dos estabelecimentos agrícolas foi alterada no Censo Agropecuário de 2006, que passou a levar em conta, além dos usos já computados nos censos anteriores, áreas de matas e/ou florestas naturais destinadas à preservação permanente ou reserva legal; de matas e/ou florestas naturais (exclusive a área de preservação permanente e as em sistemas agroflorestais); áreas cultivadas com espécies florestais também usadas para lavouras e pastejo de animais; áreas ocupadas por tanques, lagos, açudes e/ou área de águas públicas para exploração da aquicultura e área de construções, benfeitorias ou caminhos. Portanto, para não causar distorções nas estimações e permitir comparações entre os diferentes anos, considerou-se, para o ano de 2006, a área total menos a área dedicada aos usos acima mencionados.

⁵ O valor de produção, apresentado em moeda corrente para cada um dos anos, foi trazido para reais de 2000 de forma a permitir comparações entre os anos. Para tanto, foi utilizado o deflator implícito do PIB agrícola, calculado pelo IPEA.

Para análise das variáveis referentes aos fatores capital e trabalho, observou-se alta multicolinearidade entre as variáveis selecionadas. Mostrou-se necessário, portanto, realizar uma análise fatorial. Os dados disponíveis em todos os anos com relação ao capital (número de tratores, arados e colheitadeiras utilizados no ano) representam apenas parte do capital total envolvido na produção agropecuária, porém, a capitalização da firma afeta positivamente todas as variáveis observadas. Além disso, a possibilidade de existência de erros de medidas nos dados referentes ao capital e ao trabalho é maior do que naqueles referentes a terra, possibilidade agravada devido às mudanças na metodologia adotada pelo IBGE ao longo dos anos.

Figura 1 – Áreas mínimas comparáveis⁶



O número de observações (no Centro-Oeste, 222, e, na Amazônia Legal, 630 para as variáveis referentes ao trabalho e 500 para aquelas referentes ao capital) e o número de variáveis observáveis (três para cada variável latente) são condizentes com os apontados pela literatura como adequados para gerar resultados robustos⁷. O método de estimação adotado foi o de fator principal, que realiza a análise fatorial a partir da matriz de correlação (sem rotação) entre as variáveis observadas de forma a maximizar o poder explicativo do primeiro fator. Os fatores foram padronizados de forma a fazer com que a soma dos coeficientes de cada variável observada fosse 1, tornando possível comparações entre os anos e as regiões.

5. Resultados

5.1. Resultados da análise fatorial

A distribuição espacial de cada uma das variáveis, bem como sua evolução ao longo do tempo, está ilustrada nas Figuras 2 e 3. Pode-se perceber uma clara tendência ao aumento na intensidade do uso do capital com o passar do tempo, provavelmente conforme a terra é ocupada e torna-se difícil aumentar a produção expandindo a área cultivada. Tal crescimento, no entanto, dá-se a taxas decrescentes, tornando-se o valor do capital mais estável entre 1985 e 2006. O número de observações com capital igual a zero cai de 12 em 1970 para 3 em 1975 e 1 em 1980. A partir de 1985, todos os municípios utilizam alguma forma de capital.

No que diz respeito ao trabalho, observa-se uma tendência diferente daquela apresentada pelo capital: a utilização do fator inicialmente cresce (entre 1970 e 1975) para em seguida começar a cair a taxas crescentes, caracterizando o aumento na produtividade do trabalho agrícola, já discutido pela

⁶ Reis, Pimentel e Alvarenga (2009).

⁷ HAIR, Jr.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. *Multivariate Data Analysis*. 6ª edição. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 2006.

literatura que analisa os resultados dos Censos Agropecuários (GASQUES; CONCEIÇÃO, 2000; GASQUES *et al.*, 2010).

A terra é o fator de produção que apresenta menor variação ao longo do tempo na região Centro-Oeste, apesar disso, sua utilização apresenta um movimento claro, aumentando a terra utilizada até 1985, para cair entre esse ano e 2006. Tal dinâmica é condizente com a ocupação de novas áreas de fronteira, diminuindo a quantidade de terra utilizada conforme a região se desenvolve e se urbaniza.

O valor da produção comporta-se conforme esperado, apresentando uma tendência ao aumento, na região Centro-Oeste, com o passar do tempo, apesar de o ano de 1985 representar uma queda nessa tendência.

Dada a evidência, na literatura sobre a Amazônia Legal, da forte influência de fatores climáticos, notadamente da precipitação, sobre a maior adequação de determinadas regiões à produção agropecuária (MARGULIS, 2003), determinando sua maior produtividade, foram considerados, ainda, alguns controles referentes ao clima e à topologia dos municípios, dizendo respeito a estimativas da precipitação pluviométrica e de temperatura médias trimestrais e à altitude dos municípios.⁸

As variáveis de controle para o clima representam uma média histórica para cada município, não variando, portanto, de um ano para o outro. Para evitar problemas de multicolinearidade nos dados climáticos, por conta das baixas variações nas temperaturas ao longo do ano, buscou-se utilizar sempre uma única variável de controle para a temperatura. Já o regime de chuvas mostrou-se bastante significativo, conforme era previsto pela literatura.

5.2. Resultados das estimações

A função de produção estimada para cada um dos anos foi

$$\ln Y_i = \beta_0 + \beta_1 \ln T + \beta_2 \ln K + \beta_3 \ln L + v_i - u_i \quad (16)$$

Para a variável v_i , adotou-se a distribuição normal, mais comumente observada nesse tipo de modelo. Para a ineficiência, foram testadas as distribuições *half-normal*, normal truncada e exponencial. As estimações realizadas com a distribuição exponencial apresentaram problemas de convergência. Os resultados com as distribuições *half-normal* e normal truncada, por outro lado, foram bastante similares, de forma que apresentaremos aqui apenas os obtidos com a distribuição *half-normal*.

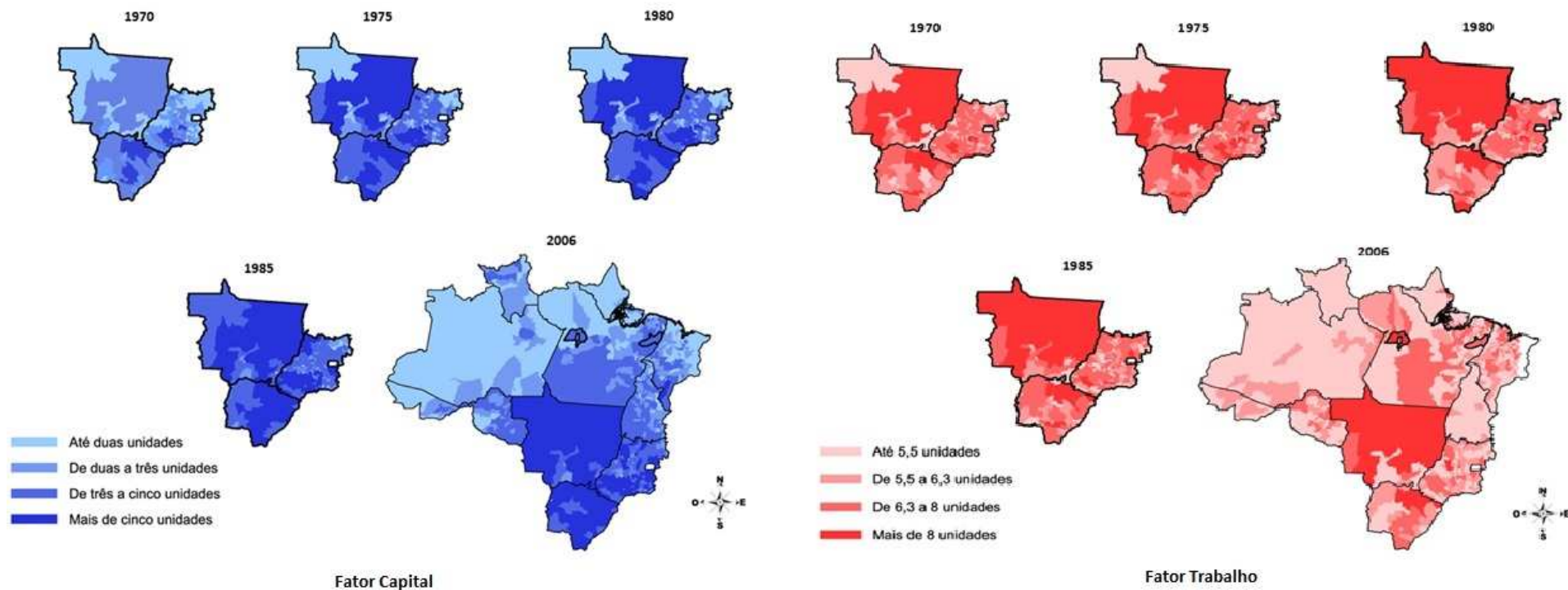
Foram estimadas duas funções de produção: uma Cobb-Douglas e uma *translog*. Os resultados obtidos com a função *translog* apontaram para a não significância das interações entre as variáveis, o que leva a crer que a função Cobb-Douglas descreve melhor a tecnologia de produção utilizada. Para possibilitar melhor comparação entre os anos, impôs-se que

$$\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 = 1 \quad (17)$$

Para verificar se seria possível proceder a tal normalização, recorreu-se a um exercício adaptado da contabilidade do crescimento que permite testar a especificação da função. Conforme discutido na sessão 3.3, o exercício realizado testa tanto os retornos de escala quanto a existência de concorrência perfeita no mercado. Os resultados encontram-se na Tabela 1. Um teste de significância das *dummies* de efeito fixo indica que esses estimadores explicam melhor os dados observados do que os de mínimos quadrados agrupados. Portanto, considerando que os estimadores dos modelos (1) e (3) são viesados pela omissão da variável dK e que, testando as especificações dos modelos (2) e (4), rejeita-se a hipótese nula de que não há efeito fixo, tem-se que os resultados do modelo (4) são aqueles em que se tem interesse.

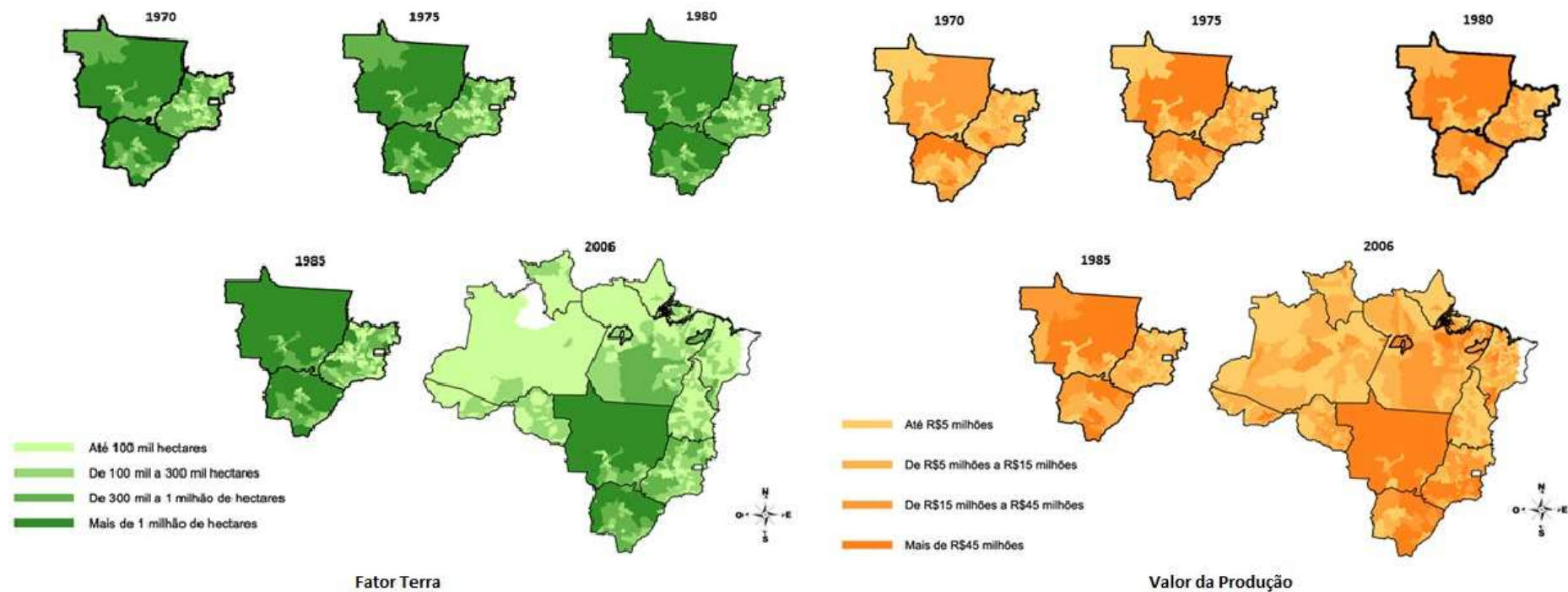
⁸ Os dados foram elaborados a partir dos dados georreferenciados disponíveis no site do IBGE.

Figura 2 – Uso dos fatores capital e terra



Fonte: Elaboração própria a partir do Censo Agropecuário do IBGE.

Figura 3 – Uso do fator terra e valor da produção



Fonte: Elaboração própria a partir do Censo Agropecuário do IBGE.

Dada a significância do coeficiente de dK , há indícios da presença de retornos decrescentes de escala na produção. Um teste t mostra que o coeficiente estimado para a variável Dx não é estatisticamente diferente de 1, indicando que há competitividade no setor, e que, portanto, a hipótese de retornos constantes é razoável. O resultado aponta ainda para um crescimento médio de 9,5% da produtividade entre os anos analisados.

Tabela 1 – Resultados dos testes sobre os retornos de escala

	1	2	3	4
Constante	-0,1200** (0,02631)	0,03089 (0,02428)	-0,05985*** (0,03130)	0,09549** (0,03090)
Dx	1,514** (0,05692)	0,7057** (0,07569)	1,726** (0,08584)	1,030** (0,1039)
dK	-	-0,5070** (0,03735)	-	-0,4701** (0,05139)
Resíduo de Solow	-0,12 (0,40324)	0,0000 (0,33032)	-0,059850 (0,26004)	0,09549 (0,21388)
Obs	379	379	379	379
R² ajustado	0,6516	0,7656	0,6896	0,7889

Fonte: Resultados das estimações.

Os resultados das estimações da fronteira de produção sob a restrição de que não haja retornos constantes de escala podem ser observados na Tabela 2. Já na Tabela 3 apresentam-se os resultados obtidos com a incorporação das *dummies* de controle descritas no capítulo anterior. Foram considerados como grupos-base aqueles cuja participação na região Centro-Oeste era mais significativa, a saber, o bioma cerrado, o clima de tipo 5, o solo de tipo 8, o relevo de tipo 2 e os produtores na condição de proprietários.

Tabela 2 – Resultados da estimação sem controles

	1970	1975	1980	1985	2006	AL
β_0	8,7526* (0,3285)	9,2001* (0,3108)	9,6747* (0,4251)	9,6965* (0,3604)	13,3143* (0,6105)	10,3451* (0,6667)
β_1	0,1839* (0,0266)	0,1605* (0,0289)	0,1215* (0,0383)	0,0888* (0,0204)	-0,2556* (0,0623)	0,0947*** (0,0492)
β_2	0,243	0,3586	0,4846	0,5782	0,9986	0,1744
β_3	0,573* (0,0373)	0,4808* (0,0328)	0,3938* (0,0333)	0,333* (0,029)	0,257* (0,0607)	0,7308* (0,0364)

Nota: * Significativo a 1%; ** Significativo a 5%; *** Significativo a 10%.

Fonte: Resultados das estimações.

Dentre as variáveis de clima e relevo, mostram-se consistentemente significativos os biomas pantanal e mata atlântica, que aumentam a produção com relação ao cerrado, porém que têm pouca penetração nas regiões analisadas. O bioma amazônico, o mais observado, não apresenta efeitos significativos sobre a produção, quando comparado com o cerrado. Entre as *dummies* de clima, a única que se mostra consistentemente significativa e, portanto, afeta a produção diferentemente do clima base é o clima de tipo 4. Os solos do tipo 4 e 5 mostram-se mais férteis do que o solo base. Quanto ao relevo, apenas o do tipo 4 é significativo em diversos anos, porém seus efeitos são bastante voláteis.

Tabela 3 – Resultados da estimação com controles

	1970	1975	1980	1985	2006	AL
β_0	8,3664* (0,2304)	8,9737* (0,3477)	8,6703* (0,3957)	9,4083* (0,3582)	14,2426* (0,7097)	10* (0,4006)
β_1	0,1987* (0,0273)	0,1718* (0,0317)	0,1727* (0,0381)	0,0768* (0,0182)	-0,3294* (0,068)	0,2327* (0,0493)
β_2	0,1981 0,6031* (0,0375)	0,3549 0,4732* (0,0337)	0,4364 0,3908* (0,0339)	0,5795 0,3436* (0,0262)	1,0262 0,3032* (0,0634)	0,2325 0,5347* (0,0398)
Pantanal	1,8133* (0,4152)	1,1733* (0,4494)	0,6453* (0,2012)	0,4356** (0,1871)	0,7929** (0,3235)	-
Mata Atlântica	0,6371* (0,1512)	0,7922* (0,149)	0,6743* (0,1706)	0,8969* (0,164)	-	-
Clima 1	-	-	-	-	-	5,6633* (1,3608)
Clima 3	-0,3487** (0,1411)	-	-	-	-1,2242* (0,2647)	0,5538* (0,1327)
Clima 4	0,2517* (0,0679)	-	0,4246* (0,1073)	0,2743* (0,0771)	-0,518* (0,1638)	0,2965* (0,0937)
Clima 8	0,2779** (0,1315)	-	0,3952** (0,1545)	-	-	-
Clima 9	-	-	-	-	-	18,7947* (6,0321)
Clima 10	-	-0,2262*** (0,1249)	-	-	-	-
Solo 1	-	-	-	-	-	0,6337** (0,2785)
Solo 4	0,2229* (0,0826)	-	0,4452* (0,0973)	0,267* (0,0942)	-	-
Solo 5	0,4875* (0,1107)	0,408* (0,1231)	0,6739* (0,1297)	0,5547* (0,122)	-	1,0057** (0,4558)
Solo 6	-	-	-	-	-	0,6295* (0,2261)
Relevo 1	-	-	-	-	-	-0,7693* (0,144)
Relevo 3	-1,0053** (0,3958)	-0,7558*** (0,4229)	-	-	-	-
Relevo 4	1,5871** (0,7453)	0,1446** (0,0644)	0,185*** (0,1009)	-	-0,4697* (0,1637)	-0,6674* (0,1162)
Arrendatário	4,2773*** (2,5612)	2,4488** (1,013)	2,2266** (1,04)	-	-	2,3222** (0,9547)
Parceiro	-	-3,4328** (1,7343)	-	6,6171* (1,8973)	0*** 0	-

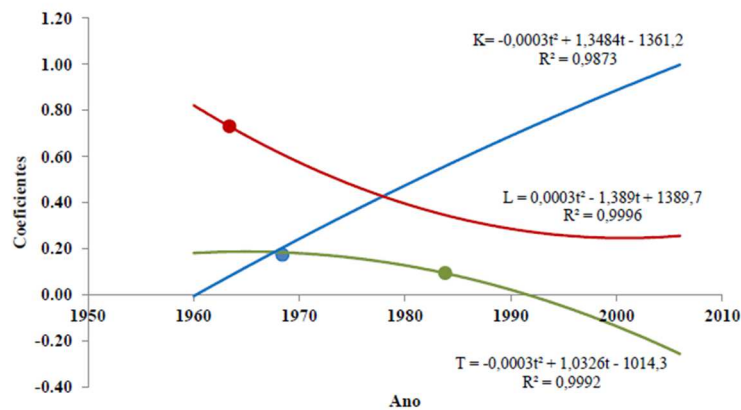
Nota: * Significativo a 1%; ** Significativo a 5%; *** Significativo a 10%.

Fonte: Resultados das estimações.

As variáveis referentes à propriedade da terra, através das quais se buscava incorporar possíveis efeitos do ambiente institucional, mostraram-se controversas. A *dummy* ocupante apresenta sinal negativo na maioria dos anos, como era de se esperar dado que a incerteza gerada pela falta de título sobre a terra possivelmente inibe maiores investimentos por parte do produtor. Essa variável, no entanto, foi a única que não se mostrou significativamente diferente da variável base, proprietário, em nenhum dos modelos estimados. Os arrendatários, por outro lado, são significativa e consistentemente mais produtivos do que os proprietários. Já os coeficientes para a *dummy* indicativa de parceria só são significativos em três das seis regressões de interesse e seus valores são contraditórios.

É interessante notar que, quando não há controle para o clima dos municípios (Tabela 2), não é possível encontrar correspondência entre as fronteiras de produção na Amazônia Legal e no Centro-Oeste. Esse resultado é mais facilmente observado no Gráfico 1. Nota-se que, na ausência dos controles, os coeficientes estimados para a Amazônia Legal, sobretudo para o fator terra, encontram-se em momentos bem diferentes dos verificados para a região Centro-Oeste nos anos setenta.

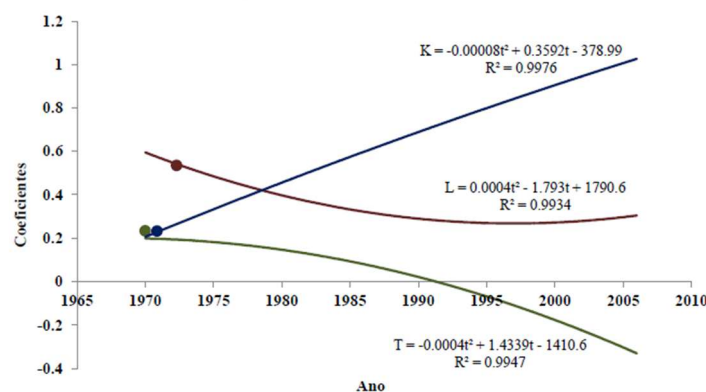
Gráfico 1 – Comparação dos coeficientes sem controles na Amazônia Legal e no Centro-Oeste



Nota: Municípios da região CO (curvas) e da Amazônia Legal (pontos).
 Fonte: Resultados das estimações.

Uma vez incorporadas variáveis climáticas, no entanto, é possível notar que o atual estágio da produção agropecuária na Amazônia Legal é muito próximo àquele observado na região Centro-Oeste entre 1970 e 1975, o que vai de acordo com a hipótese inicialmente adotada.

Gráfico 2 – Comparação dos coeficientes com controles na Amazônia Legal e no Centro-Oeste



Nota: Municípios da região CO (curvas) e da Amazônia Legal (pontos).
 Fonte: Resultados das estimações.

Para projetar os valores futuros da produção agropecuária na Amazônia Legal, foi necessário primeiro projetar as alterações nas quantidades utilizadas de cada um dos fatores de produção. Para isso, foram feitas regressões, para os municípios da região Centro-Oeste, das quantidades dos fatores observadas a cada ano contra seus valores iniciais. Os resultados dessas regressões podem ser encontrados na Tabela 4.

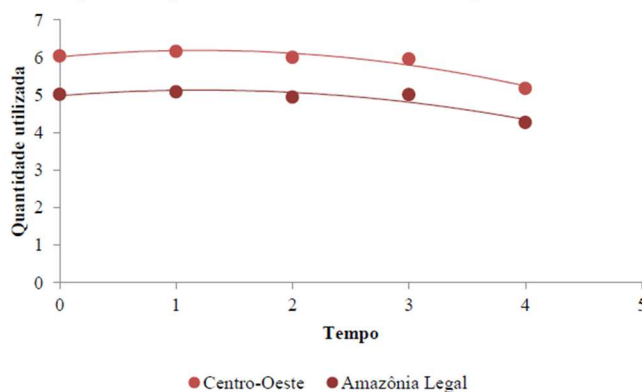
Tabela 4 – Variação na utilização por fator

Trabalho				
	1975	1980	1985	2006
Constante	-	-	6,2609*	-0,3612**
			(0,736)	(0,205)
L_0	1,0053*	1,0114*	0,4808*	1,0126*
	(0,0008)	(0,0013)	(0,0621)	(0,0173)
Capital				
	1975	1980	1985	2006
Constante	0,6029*	1,7938**	2,0064*	2,4501*
	(0,0751)	(0,1213)	(0,1362)	(0,1358)
K_0	0,9909*	0,804*	0,6668*	2,4501*
	(0,0259)	(0,0418)	(0,047)	(0,0468)
Terra				
	1975	1980	1985	2006
Constante	-	-	0,512*	-
			(0,1815)	
T_0	1,0129*	0,9852*	0,896*	0,8498*
	(0,0036)	(0,006)	(0,0456)	(0,0079)

Fonte: Resultados das estimações.

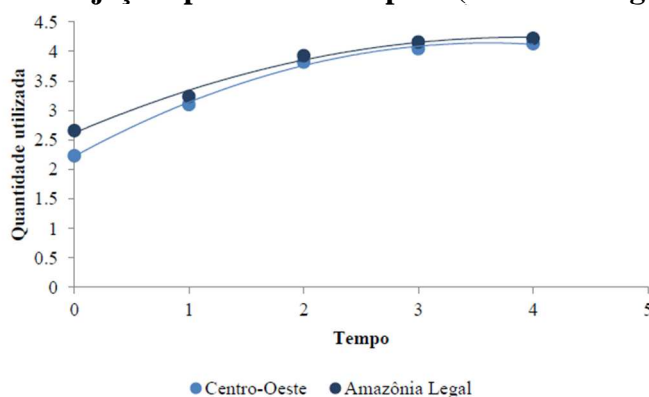
No caso do Centro-Oeste, considerou-se o período zero como sendo aquele correspondente à atual posição da Amazônia Legal na fronteira de produção, ou seja, entre 1970 e 1975. O período 1 corresponde às observações de 1975; o período 2, às de 1980; o 3, às de 1985; e o 4, às de 2006. Portanto, no caso da Amazônia Legal, os períodos de 0 a 4 correspondem, respectivamente, aos anos 2006, 2013, 2018 e 2039. Os gráficos 3, 4 e 5 ilustram a variação no uso dos fatores observada ao longo do tempo na região Centro-Oeste e a projeção feita para a Amazônia Legal.

Gráfico 3 – Projeções para o fator trabalho (em escala logarítmica)



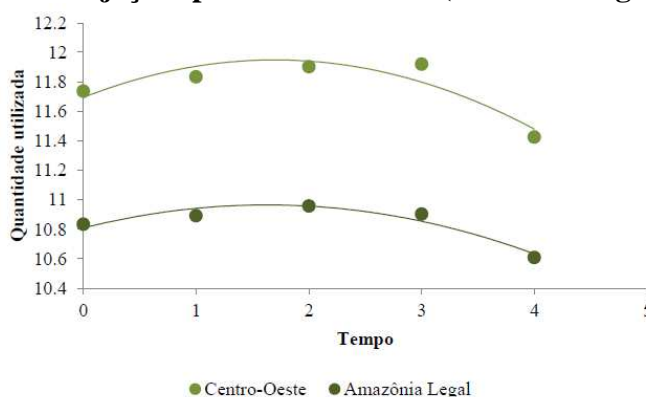
Fonte: Resultados das estimações.

Gráfico 4 – Projeções para o fator capital (em escala logarítmica)



Fonte: Resultados das estimações.

Gráfico 5 – Projeções para o fator terra (em escala logarítmica)



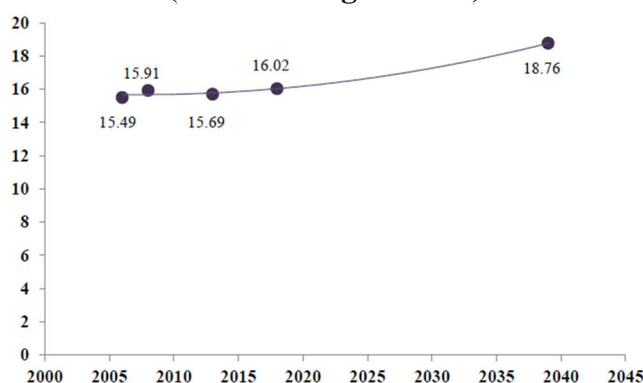
Fonte: Resultados das estimações.

Consideradas as variações na utilização dos fatores ao longo do tempo, foi possível projetar os valores da produção para a Amazônia Legal, que correspondem aos 33 anos seguintes a 2006. Esses valores foram calculados a partir das seguintes equações, em que os coeficientes são aqueles apresentados na Tabela 3.

$$\begin{aligned}
 Y_0 &= \beta_{006}^{AL} + \beta_{106}^{AL}T_0 + \beta_{206}^{AL}K_0 + \beta_{306}^{AL}L_0 + dummies_{06}^{AL} \\
 Y_1 &= \beta_{070}^{CO} + \beta_{170}^{CO}T_0 + \beta_{270}^{CO}K_0 + \beta_{370}^{CO}L_0 + dummies_{06}^{AL} \\
 Y_2 &= \beta_{075}^{CO} + \beta_{175}^{CO}T_0 + \beta_{275}^{CO}K_0 + \beta_{375}^{CO}L_0 + dummies_{06}^{AL} \\
 Y_3 &= \beta_{080}^{CO} + \beta_{180}^{CO}T_0 + \beta_{280}^{CO}K_0 + \beta_{380}^{CO}L_0 + dummies_{06}^{AL} \\
 Y_5 &= \beta_{006}^{CO} + \beta_{106}^{CO}T_0 + \beta_{206}^{CO}K_0 + \beta_{306}^{CO}L_0 + dummies_{06}^{AL}
 \end{aligned}
 \tag{18}$$

A evolução dos valores médios obtidos com essas projeções está ilustrada no Gráfico 6.

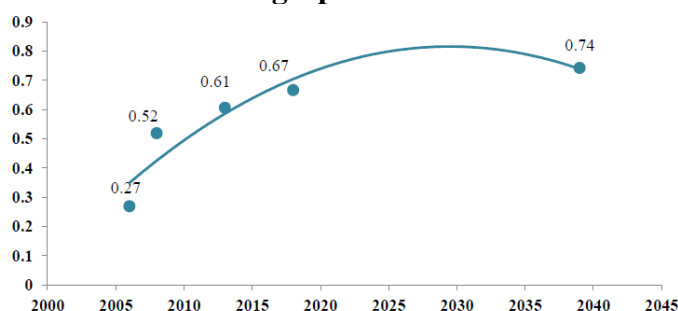
Gráfico 6 – Valor médio da produção na Amazônia Legal (em escala logarítmica)



Fonte: Resultados das estimações.

O próximo passo para estimar o valor presente líquido da renda da terra na Amazônia Legal é estimar a parcela do valor apropriada pelo agente que tem o poder de decisão sobre o desmatamento. Considerando a hipótese de que se trata de proprietários de terra capitalistas, tal parcela é representada pela soma dos coeficientes β_1 e β_2 , ou seja, as parcelas correspondentes às rendas da terra e do capital. A evolução desse coeficiente ao longo do tempo está ilustrada no gráfico abaixo.

Gráfico 7 – Renda do produtor como parcela da renda total do setor agropecuário



Fonte: Resultados das estimações.

A renda do proprietário da terra na Amazônia Legal (em escala logarítmica) a cada período é dada por $\ln[(\beta_1 + \beta_2)e^y]$. Se não houver expansão da agropecuária na região, a expectativa é de que a produção se mantenha no nível atual, representado pela linha pontilhada no Gráfico 8. Se, por outro lado, houver expansão da agropecuária, através da ampliação do desmatamento, a expectativa é de que a renda evolua de acordo com as projeções, ao longo da linha cheia no Gráfico 8. Os dados ilustrados nesse gráfico permitem calcular o valor presente líquido do aumento esperado na renda, que é dado pela área entre a curva da renda projetada e a linha pontilhada, que representa a renda obtida atualmente. Esse valor é dado pela integral definida

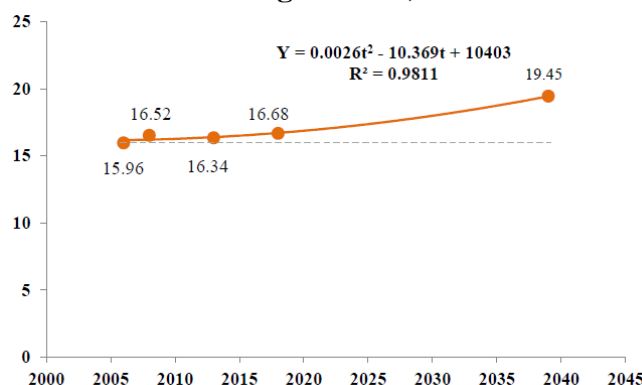
$$e \int_0^{33} (at^2 + bt + c - rt) dt \quad (19)$$

em que $at^2 + bt + c$ corresponde à linha de tendência, y é a renda obtida atualmente e r é a taxa de juros.

Como o agente a formar expectativas é um proprietário privado, não se deve esperar que ele se valha, ao avaliar a renda futura, de uma taxa de desconto que leve em conta os efeitos sociais ou ambientais da produção, razão pela qual optou-se por descontar o fluxo de renda por uma taxa de

juros real de mercado. Para efeitos de comparação, considera-se também o cenário em que o indivíduo não desconta o tempo.

Gráfico 8 – Renda esperada do produtor na Amazônia Legal (em escala logarítmica)



Fonte: Resultados das estimações.

Seja M o valor presente líquido do aumento esperado na renda, então M pode ser descrito como a capitalização contínua do capital a uma taxa de crescimento anual média esperada:

$$M = e^{\int_0^{33} (at^2 + bt + c - rt - y) dt} = e^{gt} \quad (20)$$

Os diferentes valores obtidos para essa taxa de crescimento, de acordo com a taxa de desconto utilizada, são expostos na Tabela 5.

Tabela 5 – Projeção da taxa média de crescimento anual da renda esperada

Taxa de desconto	Taxa média de crescimento anual
0%	11,85%
2%	10,71%
5%	7,65%
8%	-5,55%

Fonte: Resultado das estimações.

Os resultados apontam, portanto, que, no caso extremo de um agente que não desconta o tempo, a taxa anual máxima esperada para o crescimento da renda é de cerca de 12% a.a. Essa taxa decai rapidamente conforme aumenta a taxa de desconto intertemporal, ou seja, quanto mais o agente valoriza o presente com relação ao futuro, como pode ser observado no gráfico abaixo. Para taxas de desconto a partir de 7%, a expansão da área de fronteira agrícola deixa de ser economicamente interessante e uma taxa de desconto de 8% já indica prejuízos significativos.

Portanto, o custo de oportunidade da não expansão da fronteira agrícola na região da Amazônia Legal é tanto maior quanto menos o produtor valoriza o retorno imediato relativamente ao investimento de mais longo prazo. Esse resultado é condizente com a literatura, sobretudo com Margulis (2001), Andersen (1997) e Diaz e Schwartzman (2005), que apontam para os ocupantes de segunda geração como os que se apropriam da maior parte da renda gerada com o desmatamento, quando a agricultura de larga escala passa a se estabelecer na região, enquanto o desmatamento imediato é visto pelos ocupantes de primeira geração como uma forma de garantir a posse da terra, que inicialmente é explorada pela madeira ou via agricultura de queimada, cuja produtividade diminui rapidamente.

O relaxamento de algumas hipóteses utilizadas para a realização das projeções contribuiria para a redução dos custos encontrados. Supôs-se, nas estimativas acima, que a não expansão da área agrícola implicaria no não crescimento da renda auferida pelo produtor. Os resultados para a região Centro-Oeste sugerem um crescimento na produtividade total dos fatores nas últimas décadas. Dessa forma, uma estimativa menos conservadora poderia projetar uma taxa de crescimento positiva para a renda do produtor mesmo que a área desmatada não se expandisse. Destarte, a renda projetada sem desmatamento seria positivamente inclinada e a diferença entre essa linha e a curva da renda esperada diminuiria, reduzindo o custo de oportunidade do desmatamento. Outra possibilidade ainda seria incorporar rendas de outras atividades, tais como da extração vegetal e do manejo florestal. Essa incorporação nos cálculos, no entanto, assim como a do crescimento da produtividade total dos fatores, requer uma análise mais cuidadosa dos dados e da metodologia envolvidas, o que foge ao escopo deste trabalho.

6. Conclusão

A importância que vem sendo dada nas últimas décadas à redução das emissões de carbono no Brasil resultante, sobretudo, do avanço da fronteira agrícola sobre a floresta amazônica traz à tona o dilema entre desenvolvimento e preservação ambiental, uma vez que se associa o desmatamento a aumentos na renda e no bem-estar das populações locais e ao desenvolvimento regional.⁹ Nesse contexto, torna-se premente a discussão sobre a valoração dos recursos naturais e sobre a geração de renda alternativa para regiões de expansão da fronteira agrícola sobre áreas de floresta.

Nesse sentido, este trabalho avaliou o custo de oportunidade que a preservação dos recursos naturais e a prestação de serviços ambientais impõem sobre a população da Amazônia Legal brasileira. A hipótese inicial de que o estágio atual de desenvolvimento nessa região é semelhante àquele da região Centro-Oeste durante a década de 1970 mostrou-se razoável, dados os resultados das estimações de fronteiras de produção para as duas regiões. Com base nisso, não é ilícito supor que os produtores da Amazônia Legal formem suas expectativas de renda futura apoiando-se na rentabilidade apresentada pela atividade agropecuária na região Centro-Oeste desde 1970 até o presente.

As projeções realizadas com base nos resultados mostraram que os produtores da Amazônia Legal podem acreditar ter, nas próximas três décadas, um aumento de renda média, em relação à observada atualmente, entre 7,6% e 11% ao ano, quando são consideradas taxas de desconto entre 2% e 5%. No caso extremo de um agente que não desconta o tempo, a taxa anual máxima esperada para o crescimento da renda é de 12%. Essa taxa decai rapidamente conforme aumenta a taxa de desconto intertemporal, ou seja, quanto mais o agente valoriza o presente com relação ao futuro. Para taxas de desconto a partir de 7%, a expansão da área de fronteira agrícola deixa de ser economicamente interessante e uma taxa de desconto de 8% já indica prejuízos significativos.

Portanto, o custo de oportunidade da não expansão da fronteira agrícola na região da Amazônia Legal é tanto maior quanto menos o produtor valoriza o retorno imediato relativamente ao investimento de mais longo prazo. Esse resultado é condizente com a literatura, sobretudo com Margulis (2001), Andersen (1997) e Diaz e Schwartzman (2005), que apontam que são os ocupantes de segunda geração quem se apropria da maior parte da renda gerada com o desmatamento, quando a agricultura de larga escala passa a se estabelecer na região, enquanto o desmatamento imediato é visto pelos ocupantes de primeira geração como uma forma de garantir a posse da terra, a qual inicialmente é explorada pela madeira ou via agricultura de queimada, cuja produtividade diminui rapidamente.

Esses cenários já levam em conta diferenças no bioma, no clima, na fertilidade do solo e no relevo das duas regiões consideradas. As tentativas de incorporar variáveis que dessem conta das diferenças no ambiente institucional documentadas na literatura não tiveram o efeito esperado. O valor dos financiamentos obtidos pelos estabelecimentos como proporção do valor da produção não

⁹ Celentano *et al.* (2012), Iglioni (2006).

varia significativamente entre as duas regiões examinadas para ser considerado uma mudança institucional relevante. As *dummies* referentes à condição do produtor com relação a terra não se mostraram significativamente diferentes entre si, à exceção dos arrendatários, que se mostraram mais produtivos do que os demais produtores.

O relaxamento de algumas hipóteses utilizadas para a realização das projeções também contribuiria para a redução dos custos encontrados. Supôs-se que a não expansão da área agrícola implicaria no não crescimento da renda auferida pelo produtor. Uma estimativa menos conservadora poderia projetar uma taxa de crescimento positiva para a renda do produtor mesmo que a área desmatada não se expandisse. Ademais, poder-se-ia incorporar à renda obtida sem expansão da área desmatada aquela obtida com outras atividades que não a produção agropecuária, tais como a extração vegetal e o manejo florestal. Esses fatores, que não foram levados em conta no cômputo dos resultados aqui obtidos, provavelmente contribuem para a diminuição do custo de oportunidade da preservação florestal, indicando que os ocupantes de primeira geração, aqueles diretamente responsáveis pelo desmatamento, possivelmente estariam dispostos a receber valores próximos ao rendimento obtido atualmente com a produção agrícola para não ampliar a área explorada. Assim, os resultados deste trabalho são conservadores e devem ser considerados como indicadores de um possível valor *máximo* que seria necessário repassar aos produtores sob a condição de não desmatamento para que a expansão da fronteira agrícola sobre áreas de floresta deixasse de ser economicamente interessante.

Referências

- AIGNER, D. J.; LOVELL, C. A. K.; SCHMIDT, P. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *Journal of Econometrics*, v. 6, n. 1, p. 21–3, 1977.
- ANDERSEN, L. E. *A cost-benefit analysis of deforestation in the Brazilian Amazon*. Rio de Janeiro: IPEA, 1997. (Texto para discussão, n. 455)
- BARTHOLOMEW, D. J.; STEELE, F.; GALBRAITH, J.; MOUSTAKI, I. *Analysis of Multivariate Social Science Data* (2 ed.). New York: Chapman & Hall, 2008.
- CASTELANI, S. A. *Forests and cities: essays on urban growth and development in the Brazilian Amazon*. 2014. 234 f. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, Departamento de Economia, 2014.
- CELENTANO, D.; SILLS, E.; SALES, M.; VERÍSSIMO, A. Welfare Outcomes and the Advance of the Deforestation Frontier in the Brazilian Amazon. *World Development*, v. 40, n. 4, p. 850-864, 2012.
- DIAZ, M.; SCHWARTZMAN, S. Carbon offsets and land use in the Brazilian Amazon. In: MOUTINHO, P.; SCHWARTZMAN, S. (Ed.). *Tropical deforestation and climate change – Belém – Pará – Brazil*: IPAM – Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia; Washington DC – USA: Environmental Defense, 2005.
- FIELD, B. *Natural Resource Economics: An Introduction*. McGraw-Hill, 2001.
- GASQUES, J. G.; CONCEIÇÃO, J. C. P. R. *Transformações estruturais da agricultura e produtividade total dos fatores*. Brasília: IPEA, 2000. (Texto para discussão, n. 768)
- GASQUES, J.G.; BASTOS, E. T.; BACCHI, M. R. P.; VALDES, C. *Produtividade Total dos Fatores e Transformações da Agricultura Brasileira: análise dos dados dos Censos Agropecuários*. Brasília: IPEA, 2010.
- GENNAIOLI, N.; MA, Y.; SHLEIFER, A. *Expectations and investment*. NBER Macroeconomics Annual 30.1, p. 379-431, 2016.
- HAIR, Jr.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. *Multivariate Data Analysis* (6 Ed.). Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 2006.

- HARRISON, A. E. Productivity, imperfect competition and trade reform: Theory and evidence. *Journal of International Economics*, v. 36, n. 1, p. 53-73, 1994.
- IGLIORI, D. Economia espacial do desenvolvimento e da conservação ambiental: uma análise sobre o uso da terra na Amazônia. *Ciência e Cultura*, v. 58, n. 1, p. 29-33, 2006.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate change 1995 - Impacts, adaptation and mitigation of climate change: scientific-technical analyses*. Cambridge, U. K.: Cambridge Univ. Press (Contribution of Working Group II to the assessment report of the IPCC), 1996.
- KUMBHAKAR, S. C.; LOVELL, C. A. K. *Stochastic frontier analysis*. Cambridge University Press, 2003.
- LAWLEY, D. N.; MAXWELL, A. E. Regression and factor analysis. *Biometrika*, v. 60, n. 2, p. 331-338, 1973.
- MARGULIS, S. *Causas do desmatamento na Amazônia brasileira*. Brasília: Banco Mundial, 2003.
- MARGULIS, S. *Quem são os agentes do desmatamento na Amazônia e por que eles desmatam?* Brasília: Banco Mundial, 2001.
- MEEUSEN, W.; VAN DEN BROECK, J. Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed errors. *International Econometric Review*, v. 8, p. 435-444, 1977.
- PFÄFF, A. S. P. What drives deforestation in the Brazilian Amazon?: evidence from satellite and socioeconomic data. *Journal of Environmental Economics and Management*, v. 37, n. 1, p. 26-43, 1999.
- PINEDO-VASQUEZ, M. *et al.* Economic returns from forest conversion in the Peruvian Amazon. *Ecological Economics*, v. 6, n. 2, p.163-173, 1992.
- REIS, E.; PIMENTEL, M.; ALVARENGA, A. *Áreas mínimas comparáveis para os períodos intercensitários de 1872 a 2000*. Rio de Janeiro, IPEA-DIMAC, 2009.
- SOUZA-RODRIGUES, E. A. *Deforestation in the Amazon: A unified framework for estimation and policy analysis*, University of Toronto, Department of Economics, 2015. (Working Paper)
- YOUNG, C. E. F. *Economic adjustment policies and the environment: a case study of Brazil*. Dissertação. University College London, 1996.
- YOUNG, C. E. F.; FAUSTO, J. R. B. *Valoração de recursos naturais como instrumento de análise na expansão da fronteira agrícola na Amazônia*. Ed. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, Rio de Janeiro, 1997.