

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA**

Mariana Rezende e Silva

**Eletrificação rural, crédito e produtividade agrícola: uma análise das relações
com o desmatamento e as emissões de CO₂ na Amazônia Legal**

Juiz de Fora

2023

Mariana Rezende e Silva

Eletrificação rural, crédito e produtividade agrícola: uma análise das relações com o desmatamento e as emissões de CO₂ na Amazônia Legal

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Economia. Área de concentração: Economia Regional e Macroeconomia

Orientador: Doutor Weslem Rodrigues Faria

Juiz de Fora

2023

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Rezende e Silva, Mariana.

Eletrificação rural, crédito e produtividade agrícola : Uma análise das relações com o desmatamento e as emissões de CO2 na Amazônia Legal / Mariana Rezende e Silva. -- 2023.
106 p.

Orientador: Weslem Rodrigues Faria

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Economia. Programa de Pós-Graduação em Economia, 2023.

1. Desmatamento. 2. Amazônia Legal. 3. Eletrificidade. 4. Crédito Rural. 5. Produtividade Total dos Fatores. I. Rodrigues Faria, Weslem, orient. II. Título.

Mariana Rezende e Silva

Eletrificação rural, crédito e produtividade agrícola: uma análise das relações com o desmatamento e as emissões de CO2 na Amazônia Legal

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Economia da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Economia. Área de concentração: Economia

Aprovada em 06 de setembro de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Weslem Rodrigues Faria - Orientador

Universidade Federal de Juiz de Fora

Dr. Admir Antonio Betarelli Junior

Universidade Federal de Juiz de Fora

Dr. Fernando Salgueiro Perobelli

Universidade Federal de Juiz de Fora

Dr. Alexandre Nunes de Almeida

Universidade de São Paulo

Dr^a. Terciane Sabadini Carvalho

Universidade Federal do Paraná

Juiz de Fora, 23/08/2023.



Documento assinado eletronicamente por **Weslem Rodrigues Faria, Professor(a)**, em 06/09/2023, às 16:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alexandre Nunes de Almeida, Usuário Externo**, em 11/09/2023, às 09:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Terciane Sabadini Carvalho, Usuário Externo**, em 11/09/2023, às 09:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Admir Antonio Betarelli Junior, Professor(a)**, em 11/09/2023, às 12:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fernando Salgueiro Perobelli, Professor(a)**, em 12/09/2023, às 09:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Uffj (www2.ufff.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **1424858** e o código CRC **BB8F124B**.

Dedico este trabalho aos meus pais, Maria do Carmo e Paulo Roberto, meu irmão, Matheus e ao meu querido esposo Christian que me inspiraram e me auxiliaram nesta jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade, saúde e resiliência concedida para que conseguisse concluir o doutorado.

Agradeço à minha família, em especial aos meus pais por todo o apoio e por terem sempre incentivado meus estudos, que acreditaram que a educação é a base para tudo. Agradeço também ao meu irmão, Matheus, que sempre esteve ao meu lado me apoiando.

Agradeço também ao meu esposo, Christian, que sempre me incentivou, está sempre ao meu lado e acreditou no meu potencial, me dando todo o suporte necessário para atingir meus objetivos.

Agradeço aos meus tios, Lizete e Geraldo, por todo o apoio que me deram nesta trajetória.

Agradeço em especial meu orientador, Weslem Rodrigues Faria, pela orientação, incentivo no desenvolvimento da tese, paciência e por ter sempre acreditado no meu trabalho.

Gostaria também de agradecer aos amigos de PPGE, Jéssica Facioli e Izak Carlos pela amizade, pelas boas conversas e pelas trocas de conhecimento que contribuíram para a superação das dificuldades.

Agradeço também ao Programa de Pós-Graduação em Economia da UFJF pelo ensino de qualidade, pela excelente estrutura e pelo profissionalismo oferecidos durante o curso, contribuindo diretamente para a minha formação.

Agradeço também ao Laboratório de Análises Territoriais e Espaciais (LATES) da UFJF que possibilitou trocas de conhecimento e experiências.

Agradeço ainda à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro durante o doutorado.,

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo analisar a relação entre o desmatamento e emissões de CO₂ na Amazônia Legal e três medidas de desenvolvimento econômico: eletricidade, crédito rural e produtividade total dos fatores dos produtores rurais. Dessa forma, são desenvolvidos três artigos, em que o primeiro capítulo estuda a relação entre o acesso a eletricidade nas comunidades rurais e o desmatamento. No segundo capítulo é analisada a relação de longo prazo entre crédito rural e as emissões de CO₂. No terceiro capítulo é desenvolvida uma análise sobre a produtividade total dos fatores dos estabelecimentos rurais de diferentes tamanhos e o desmatamento na Amazônia Legal.

Palavras-chave: Desmatamento. Amazônia Legal. Eletricidade. Crédito Rural. Produtividade Total dos Fatores.

ABSTRACT

The present study aims to analyze the relationship between deforestation and CO2 emissions in the Legal Amazon and three measures of economic development: electricity, rural credit, and total factor productivity of rural producers. Thus, three articles were developed, where the first chapter examines the relationship between access to electricity in rural communities and deforestation. The second chapter analyzes the long-term relationship between rural credit and CO2 emissions. The third chapter provides an analysis of the total factor productivity of rural establishments of varied sizes and deforestation in the Legal Amazon.

Keywords: Deforestation. Legal Amazon. Electricity. Rural Credit. Total Factor Productivity.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	13
CAPÍTULO 1	13
ARTIGO 1 - O Impacto da Eletrificação Rural no Desmatamento da Amazônia Legal	13
RESUMO	13
ABSTRACT	14
1. INTRODUÇÃO	15
2. ARCABOUÇO INSTITUCIONAL	17
3. AS CAUSAS DO DESMATAMENTO	25
4. ELETRIFICAÇÃO RURAL, DESMATAMENTO E DESENVOLVIMENTO	28
5. BASE DE DADOS	30
6. ESTRATÉGIA EMPÍRICA	37
7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	40
8. CONCLUSÃO	45
Referências	47
CAPÍTULO 2	52
ARTIGO 2 - Relação de Longo Prazo entre Emissões de CO₂, Crédito Rural e Desmatamento na Amazônia Legal	52
RESUMO	52
ABSTRACT	53
1. INTRODUÇÃO	54
2. O CRÉDITO RURAL NO BRASIL	55
3. A POLÍTICA NACIONAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA (PNMC)	57
4. REVISÃO DE LITERATURA	59
5. BASE DE DADOS	64
6. ESPECIFICAÇÃO DO MODELO ECONOMETRICO	67
7. ESTRATÉGIA EMPÍRICA	69

8. RESULTADOS	71
9. CONCLUSÃO	77
Referências	78
CAPÍTULO 3	84
ARTIGO 3 - A Produtividade Total dos Fatores dos Estabelecimentos Rurais e o Desmatamento na Amazônia Legal	84
RESUMO	84
ABSTRACT	85
1. INTRODUÇÃO	86
2. REVISÃO DE LITERATURA	88
3. METODOLOGIA	91
4. BASE DE DADOS	94
5. RESULTADOS	98
6. CONCLUSÃO	102
Referências	104

INTRODUÇÃO GERAL

A Amazônia Legal, uma vasta região compreendida por nove estados brasileiros, é reconhecida por sua riqueza natural, biodiversidade e papel crucial na regulação climática global. No entanto, nas últimas décadas, tem enfrentado desafios significativos, incluindo o desmatamento acelerado, a expansão da agricultura e a necessidade de promover o desenvolvimento econômico da região.

Esta tese de doutorado busca investigar as interações complexas entre o desmatamento, a agricultura e o desenvolvimento econômico na Amazônia Legal. Através de uma análise empírica, esta pesquisa visa fornecer insights para a formulação de políticas públicas eficazes que possam conciliar o crescimento econômico sustentável com a conservação ambiental na região.

O primeiro capítulo desta tese examina a relação entre eletrificação rural e a redução do desmatamento na Amazônia Legal. A eletricidade é um elemento essencial para impulsionar o desenvolvimento socioeconômico e melhorar a qualidade de vida das comunidades rurais. Pretende-se investigar se o acesso à energia elétrica influencia as atividades econômicas e o uso da terra, e como isso afeta o desmatamento na região. Compreender essa relação é fundamental para identificar os impactos das políticas de eletrificação rural e propor medidas que incentivem a preservação das florestas.

O segundo capítulo aborda a relação de longo prazo entre o crédito rural e as emissões de gases do efeito estufa na Amazônia Legal. A agricultura é um setor-chave na região e está intrinsecamente ligada às mudanças climáticas. Este estudo procura examinar como o acesso ao crédito rural afeta as práticas agrícolas e o uso da terra, e qual é o impacto resultante nas emissões de gases de efeito estufa. Com base nessa análise, é possível identificar políticas de crédito que incentivem a adoção de práticas agrícolas sustentáveis e reduzam a pressão sobre as florestas.

Por fim, o terceiro capítulo centra-se na produtividade total dos fatores dos produtores rurais e seu impacto no desmatamento na Amazônia Legal. Aumentar a produtividade agrícola é essencial para promover o desenvolvimento econômico na região, mas é importante entender como esse aumento pode afetar o desmatamento. Neste estudo, busca-se investigar as relações entre produtividade, uso da terra e desmatamento, considerando fatores como tecnologia, trabalho e acesso a insumos. Os resultados podem ajudar a orientar políticas que promovam a produtividade agrícola de forma sustentável e minimizem os impactos negativos sobre as florestas.

Ao abordar esses três aspectos - eletricidade rural, crédito agrícola e produtividade total dos fatores - esta tese visa fornecer uma compreensão abrangente das dinâmicas econômicas e ambientais na Amazônia Legal. Com base nos resultados obtidos, espera-se que as conclusões e recomendações desta pesquisa possam informar a formulação de políticas públicas efetivas que promovam o desenvolvimento econômico sustentável e a conservação dos recursos naturais nessa região.

CAPÍTULO 1

ARTIGO 1 - O IMPACTO DA ELETRIFICAÇÃO RURAL NO DESMATAMENTO DA AMAZÔNIA LEGAL

RESUMO

Energia é uma das necessidades humanas mais básicas, mais do que isso, a eletrificação rural seria um fator chave para o desenvolvimento econômico. Portanto, em localidades em que melhores fontes de energia estão disponíveis e acessíveis, a produtividade agrícola poderia ser ampliada, indústrias rurais poderiam ser ampliadas e famílias conseguiriam ter mais tempo produtivo para estudar e trabalhar. Além disso, no longo prazo, a eletrificação rural pode reduzir as pressões ambientais, facilitando o processo de desenvolvimento sustentável, reduzindo a necessidade das comunidades rurais de buscar o desmatamento para obter energia. Como em áreas rurais da Amazônia Legal, que tem a menor cobertura de domicílios com eletricidade dentre todas as regiões brasileiras. Portanto, o objetivo do estudo é examinar o impacto da eletrificação rural no desmatamento dos municípios da Amazônia Legal. Para atingir tal objetivo foi utilizado um painel de dados não balanceado de 758 municípios para os anos de 1996, 2006 e 2017. Os resultados mostraram que a eletrificação rural seria uma variável significativa para a redução do desmatamento na Amazônia. A hipótese da Curva de Kuznets Ambiental foi confirmada, ou seja, a existência de uma relação de U-invertido entre o desmatamento e o PIB *per capita*. Outros fatores significativos do desmatamento seriam a criação a gado e os estabelecimentos agropecuários com área maior que 1000ha. Portanto, os achados do estudo mostram que a governança pode promover o desenvolvimento sustentável. Ou seja, a promoção da eletrificação rural pelo Estado poderia desenvolver as comunidades rurais, reduzindo a necessidade destas de desmatar para obter energia.

Palavras-chave: Eletrificação rural. Desmatamento. Amazônia Legal.

ABSTRACT

Electricity is one of the most basic human necessities, more than this, the rural electrification would be a key factor to economic development. Hence, in locations where better energy sources are available and accessible, agricultural productivity could be increased, rural industries could be expanded, and households would be able to have more productive time to study and work. Furthermore, in the long term, rural electrification can reduce environmental pressures, facilitating the process of sustainable development and reducing the need from rural communities for deforestation to obtain electricity. This is the case of areas such as the Legal Amazon, which has the smallest coverage of households with electricity amongst all regions in Brazil. The goal of the study is to examine the impact of rural electrification on the deforestation of cities in the Legal Amazon region. In order to achieve this, the study used a dashboard of non-balanced data from 758 cities in the years 1996, 2006, and 2017. The results show that rural electrification is an important variable for the reduction of deforestation in the Amazon. The hypothesis of the Environmental Kuznets Curve was confirmed – that is, the existence of an inverted-U relationship between deforestation and GDP per capita. Another cause of deforestation are livestock farming and agricultural establishments with an area larger than 1000ha. Therefore, the findings of the study show that governance can promote sustainable development. In other words, the promotion of rural electrification by the State could develop rural communities, reducing their need to deforest to obtain energy.

Keywords: Rural electrification. Deforestation. Legal Amazon.

1. INTRODUÇÃO

As florestas tropicais são fonte essencial para a conservação da biodiversidade e seu ecossistema é essencial para as populações indígenas e tradicionais, assim como para toda a sociedade (HARGRAVE; KIS-KATOS, 2013). As florestas podem desaparecer naturalmente como resultado das mudanças climáticas ou catástrofes. Mas, grande parte da mudança nas áreas florestais ou até mesmo o desaparecimento da cobertura florestal são resultado da atividade humana como, por exemplo, o crescimento populacional, que pode demandar quantidades cada vez maiores de terra e madeira, que excede a capacidade das florestas de ofertar madeira para combustível e alimento para a população local.

Tanto mudanças na cobertura do solo quanto no uso da terra afetam significativamente os principais aspectos do sistema de funcionamento da Terra. Elas impactam diretamente a diversidade biótica, contribuem para mudanças climáticas locais e regionais, assim como para o aquecimento global, o desmatamento de florestas tropicais é responsável por, aproximadamente, 20% das emissões de gases de efeito estufa (ASSUNÇÃO et al., 2017). Além disso, tais mudanças são a primeira fonte de degradação do solo, afetam a oferta de recursos hídricos e, determinam, em parte, a vulnerabilidade de pessoas e lugares, como as comunidades rurais, as perturbações climáticas, econômicas e sociopolíticas (ALLEN; BARNES, 1985; LAMBIN et al., 2001). Assim, ao controlar os impactos negativos das mudanças climáticas, o homem ajuda a proteger os seus meios de subsistência e a reduzir os danos causados pelas inundações (AHMED et al., 2015).

As florestas tropicais estão localizadas, em sua maioria, em regiões pobres, onde o desenvolvimento econômico tem ocorrido juntamente com a destruição da cobertura de floresta. O desmatamento está intrinsecamente relacionado com as decisões do uso da terra para a produção agrícola, fator importante de subsistência para as famílias mais pobres de áreas rurais. Na Amazônia Legal, a trajetória de desmatamento iniciou com a abertura de estradas, o povoamento, especulação fundiária e a estruturação da pecuária. Após a década de 80, o desmatamento foi um processo espontâneo provocado pela exploração de recursos naturais, principalmente pelas atividades madeireira e pecuária (DINIZ et al., 2009).

A população rural depende mais do ambiente local para atender às suas necessidades básicas e tende a ser mais pobre e marginalizada que a população urbana (TANNER; JOHNSTON, 2017). Milhares de comunidades rurais em países em desenvolvimento ainda não

tem acesso à energia, que é fundamental ao bem-estar humano, produtividade rural, cuidados de saúde, educação e sustentabilidade ambiental (SAPKOTA et al., 2014). Segundo a IEA (2019), em 2018, no mundo, existiam 860 milhões de pessoas (11% da população mundial) sem acesso a eletricidade. O acesso para a população rural é ainda pior com aproximadamente 713 milhões de pessoas (21% da população rural) sem eletricidade. A razão para isso pode ser o alto custo de extensão do sistema de energia elétrica para as localidades rurais (MUNDA; RUSSI, 2008). A ampliação do acesso à eletricidade rural pode ajudar a aliviar a pobreza em regiões pouco desenvolvidas, o que possibilita o crescimento econômico local e pode beneficiar a população mais pobre a aumentar a produtividade e obter melhores oportunidades de emprego no médio prazo (BERNARD, 2012).

A infraestrutura, como a eletrificação rural, afeta o crescimento econômico de forma direta e indireta. O efeito direto é o da produtividade, que pode ser ampliado com investimentos em infraestrutura em áreas remotas que impactará diretamente a produtividade de setores como a agricultura (COOK, 2011). Além disso, no longo prazo, a eletrificação rural pode reduzir as pressões ambientais, facilitando o processo de desenvolvimento sustentável (BERNARD, 2012), reduzindo a necessidade das comunidades rurais de buscar o desmatamento para obter energia (TANNER; JOHNSTON, 2017).

O Brasil ampliou o acesso a eletrificação rural através do Programa Luz para Todos, lançado em 2003, para 16,2 milhões de pessoas da zona rural (BRASIL, 2018a). Contudo, na Amazônia Legal, faltam condições de estruturas básicas para viabilizar a economia local como o acesso à energia. Como resultado, a região tem a menor cobertura de domicílios com eletricidade dentre todas as regiões brasileiras (BRASIL, 2008). Isso se deve não só a falta de investimentos, mas também a certas características da região, que faz com que a oferta de eletricidade nas comunidades da Amazônia Legal através de sistemas de distribuição convencionais não seja muito fácil devido aos obstáculos naturais, longas distâncias entre os centros de geração de energia e os consumidores e a baixa densidade populacional (VALER et al., 2014).

O Estado pode ser o agente chave para a sustentabilidade e desenvolvimento das comunidades rurais ao promover a expansão do acesso à eletricidade, reduzindo a necessidade dessa população de expandir o desmatamento para obter suas necessidades básicas. Portanto, o objetivo deste artigo é examinar o impacto da eletrificação rural nas taxas de desmatamento dos municípios da Amazônia Legal, controlando por fatores econômicos, populacionais e

climáticos. Para esse fim, será empregada uma análise de dados em painel para três anos, 1996, 2006 e 2017, dos municípios da Amazônia Legal.

Este estudo avança na literatura dos determinantes do desmatamento ao considerar para a análise o acesso à energia elétrica em comunidades rurais. Mais do que isso, foi identificado que a eletrificação rural seria um fator de redução das taxas de desmatamento nos municípios da Amazônia Legal. Ou seja, a expansão do acesso à energia elétrica seria uma variável a ser considerada na formulação de políticas de combate ao desmatamento.

Além da introdução, esse artigo tem mais sete seções. Na segunda seção é descrito o arcabouço institucional da Amazônia Legal. Nas seções três e quatro são apresentadas a revisão de literatura sobre as causas do desmatamento e a relação da eletrificação rural com desmatamento e desenvolvimento, respectivamente. Na quinta seção é apresentada a base de dados, logo depois é explicada a estratégia empírica. Na sétima seção é feita a discussão dos resultados e, por fim, tem-se a conclusão do estudo.

2. ARCABOUÇO INSTITUCIONAL

A Amazônia Legal foi criada em 1953 pela extinta Lei 1806, de 06/01/1953, que estabeleceu a Superintendência do Plano de Valorização Econômica da Amazônia (SPVEA), com o objetivo de promover o desenvolvimento econômico dessa região do país. Atualmente, a região é de responsabilidade da Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM), que foi recriada a partir da Lei Complementar 124, de 3/01/2007, tendo como missão promover o desenvolvimento inclusivo e sustentável da Amazônia, assegurando a erradicação da miséria e a redução das desigualdades regionais (BRASIL, 2007).

A região da Amazônia Legal, ilustrada na Figura 1, é composta por 772 municípios de nove estados – Acre, Amapá, Amazonas, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins, correspondendo a cerca de 58,9% do território brasileiro, com uma superfície aproximada de 5.015.067,749 km² (IBGE, 2019a). De acordo com dados do Censo Demográfico de 2010 (IBGE, 2013) a região possui uma população de aproximadamente 24,37 milhões de pessoas, representando 12,77% da população brasileira, das quais 72,4% vivem em área urbana.

Figura 1 – Amazônia Legal

Fonte: Elaboração própria.

Com o projeto de desenvolvimento da região amazônica na década de 60, mais de 60.000 quilômetros de estradas foram contruídas, bilhões de dólares em crédito foram concedidos a taxas de juros reais negativas, e foram oferecidos incentivos fiscais e concessões de terra aos empreendedores que estavam dispostos a abrir estabelecimentos agrícolas na região. Além disso, bilhões de dólares foram arrecadados de fontes internacionais e investidos na construção de usinas hidrelétricas, portos e ferrovias (ANDERSEN; REIS, 2015). Os grandes projetos de infraestrutura foram o principal vetor de transformação do espaço e da dinâmica social na Amazônia ao longo das últimas décadas (BRASIL, 2008). Contudo, faltam condições de estruturas básicas para viabilizar a economia local como acesso à energia, estradas, segurança pública e disponibilidade de tecnologias de comunicação.

A ocupação desordenada da região tem provocado sérios danos ambientais, sociais e econômicos. Essa pressão deve-se ao fato de o bioma Amazônico constituir a maior parcela da fronteira agrícola. A intensa dinâmica de ocupação da área é caracterizada pela desvalorização da vegetação nativa, expansão das áreas de produção agropecuária, aumento da demanda por recursos florestais (madeira, lenha e carvão vegetal) e desenvolvimento de atividades

econômicas de base florestal ou de uso múltiplo das áreas nativas ainda incipiente (BRASIL, 2018b).

Há muita diferença entre os grandes centros urbanos regionais como Belém, Manaus, São Luís e Cuiabá, e as demais capitais e centros regionais como Santarém, Marabá, Rondonópolis e Ji-Paraná. Existe ainda, grande diferença entre essas e os pequenos municípios, onde milhares de pessoas estão ligadas ao meio rural e não há equipamentos urbanos ou recursos humanos suficientes (BRASIL, 2008). A rápida urbanização, associada às deficiências das políticas públicas e dos investimentos relativos à ocupação do solo urbano, abastecimento de água, saneamento básico e geração de emprego, colocou milhões de pessoas em habitações insalubres, tanto nas regiões metropolitanas, quanto nas cidades do interior.

Pode-se observar essa situação ao comparar os valores de alguns indicadores sociais na Amazônia Legal com a média nacional, que são, em geral, abaixo da média brasileira. Para o Brasil, em 2010 (IBGE, 2013), o percentual da população na zona rural era de 15,64%, a taxa de analfabetismo da população com 25 anos ou mais era de 11,82%, a taxa de pessoas em domicílios com abastecimento de água e esgoto inadequados era de 6,12% e a taxa de pessoas em domicílios sem energia elétrica era de 1,42%. Já na Amazônia Legal, os valores eram 27,56% para a população rural, 23,84% de taxa de analfabetismo, 23,5% da população com saneamento inadequado e 8,76% dos domicílios sem energia elétrica (IBGE, 2013).

Em 1954 foi criado o Fundo Federal de Eletrificação com o objetivo de financiar a produção, transmissão e distribuição de energia elétrica (BRASIL, 1954), e que foi responsável pela consolidação do sistema nacional de eletricidade. Essa foi a base para o Sistema Interligado Nacional (SIN), isto é, a rede energética interligada que cobre grandes extensões do Brasil.

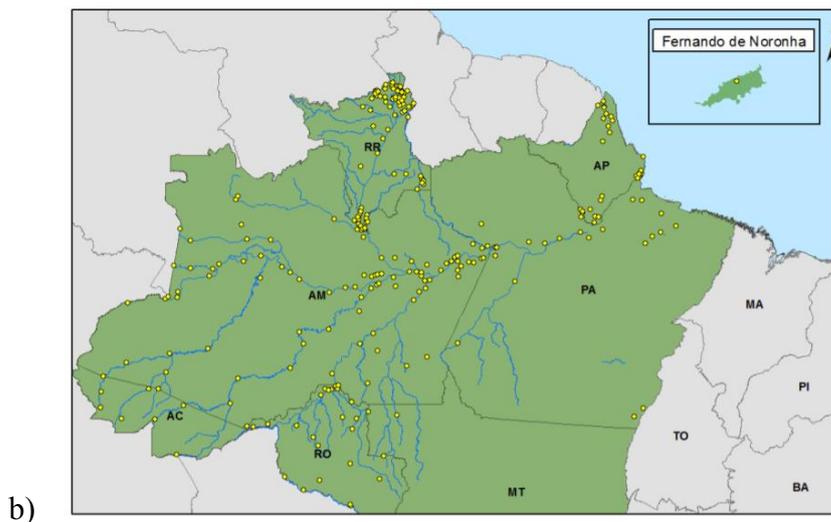
Na década de 1960, foi criado o Comitê Coordenador dos Estudos Energéticos da Amazônia (ENERAM) pelo Ministério de Minas e Energia (MME), que identificou um significativo potencial hidroelétrico na região. A fim de explorar esse potencial, foi criada a Centrais Elétricas do Norte (Eletronorte) em 1973, como uma subsidiária da Eletrobrás. Essa empresa construiu quatro hidrelétricas – Coaracy Nunes, Samuel, Curuá-Uma e Tucuruí- além de parques termelétricos em Rondônia, Acre, Roraima e Amapá, com uma capacidade de geração de 9049,95 MW (ELETRONORTE, 2020). Isto é equivalente a, aproximadamente, 5% da capacidade de geração de energia instalada no país (ANEEL, 2020).

O SIN fornece eletricidade para centros urbanos e áreas rurais tanto da Amazônia quanto do Brasil que são atendidas pelo SIN, como mostra a Figura 2a. Segundo o Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS (2020) - as linhas de transmissão de energia fazem com que os estados não fiquem isolados e dependentes dos próprios sistemas de energia. Essa interconexão dos sistemas elétricos permite atender ao mercado consumidor com mais segurança e economia.

A Amazônia Legal detinha a menor cobertura de domicílios com eletricidade dentre todas as regiões brasileiras, o déficit na área rural era alto, com mais de um milhão de domicílios sem acesso ao serviço no ano de 2004. O crescimento da cobertura de domicílios com energia elétrica aconteceu após a implementação do Programa Luz para Todos Programa de Eletrificação Rural (Decreto 4873 de 2003). A primeira fase do programa foi realizada até 2008, sendo mais tarde prorrogado até 2022. Na Região Norte, até 2019, aproximadamente, 670 mil unidades consumidoras foram atendidas pela Eletrobras (ELETROBRAS, 2019).

Figura 2 – Sistema Interligado Nacional e Sistemas Isolados



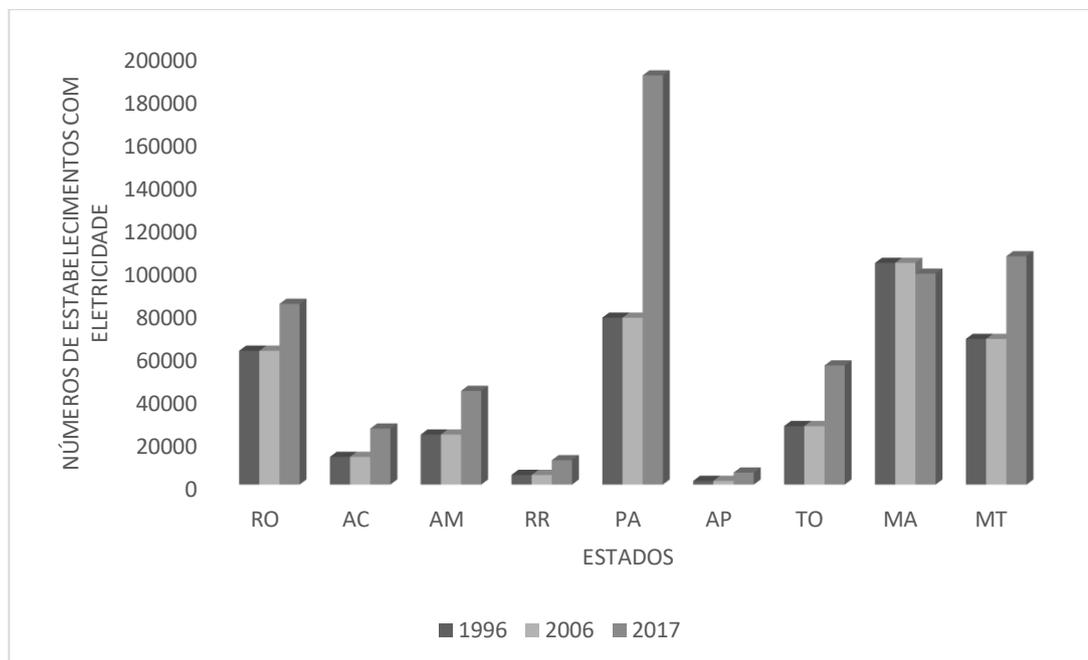


Fonte: Eletrobras (2020); EPE (2019).

Ainda que o crescimento do número e percentual médio de estabelecimentos rurais com energia elétrica nos estados entre 1996 e 2017 (Figuras 3 e 4), o acesso ainda não é universal. Analisando a Figura 4, é possível perceber que apenas os estados do Tocantins (TO), Rondônia (RO) e Mato Grosso (MT) teriam, em média, 70% dos estabelecimentos rurais com acesso à energia em 2017. Por outro lado, Roraima e Amapá são aqueles com o menor número e percentual de estabelecimentos rurais com energia elétrica.

Figura 3 – Gráfico do número de estabelecimentos rurais com energia elétrica

1996/2006/2017

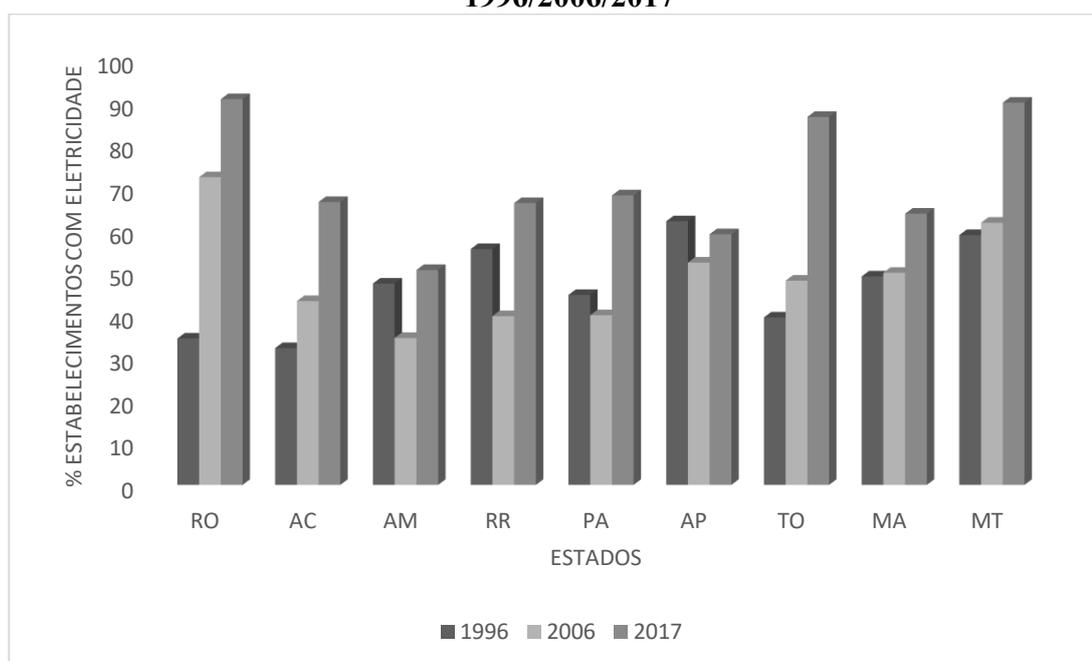


Fonte: Elaboração própria a partir de dados do IBGE (1991, 1996, 2007, 2017).

Apesar da ampliação do acesso à eletricidade, foi identificada uma parcela da população das áreas remotas da Amazônia Legal que não puderam ser atendidas pela extensão da rede elétrica convencional (BRASIL, 2020a). Essa população pertence a comunidades afastadas das sedes municipais e são parcialmente atendidas por Sistemas Isolados, como mostra a Figura 2b, em que os pontos amarelos são os sistemas existentes. Dos 271 Sistemas Isolados existentes no Brasil, 269 estão localizados na Região Norte, atendendo a mais de 3,3 milhões de pessoas (EPE, 2019). O único estado atendido totalmente por Sistemas Isolados é Roraima, que tem maior vulnerabilidade energética, sua matriz energética é composta apenas por cinco usinas termelétricas, mais poluentes e caras. A geração de energia é feita a partir do óleo diesel, que é transportado por embarcações até as comunidades, sofrendo com interrupções em épocas de estiagem. Ou seja, essa situação exige que as localidades estoquem o combustível para os períodos de seca, que podem durar meses. Portanto, essas comunidades necessitam da ampliação do uso de tecnologias de energia limpa e sustentável para geração de eletricidade.

Com o objetivo de atender essa parcela da população, foi instituído o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica na Amazônia Legal – Mais Luz Para a Amazônia com o Decreto 10221, de 5/02/2020. O programa prevê a utilização de fontes renováveis de geração de energia elétrica, principalmente sistemas fotovoltaicos, e a substituição de pequenos geradores de energia elétrica a diesel ou gasolina, que são a única fonte de energia elétrica de famílias que vivem nessa região. Isso poderá contribuir para a redução da emissão de gases de efeito estufa e incentivar o uso sustentável dos recursos da Floresta Amazônica (BRASIL, 2020b). O programa instituiu como prazo para a universalização do acesso à energia elétrica o ano de 2022 com possibilidade de ser prorrogado.

Figura 4 – Gráfico do percentual de estabelecimentos rurais com energia elétrica 1996/2006/2017



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do IBGE (1991, 1996, 2007, 2017).

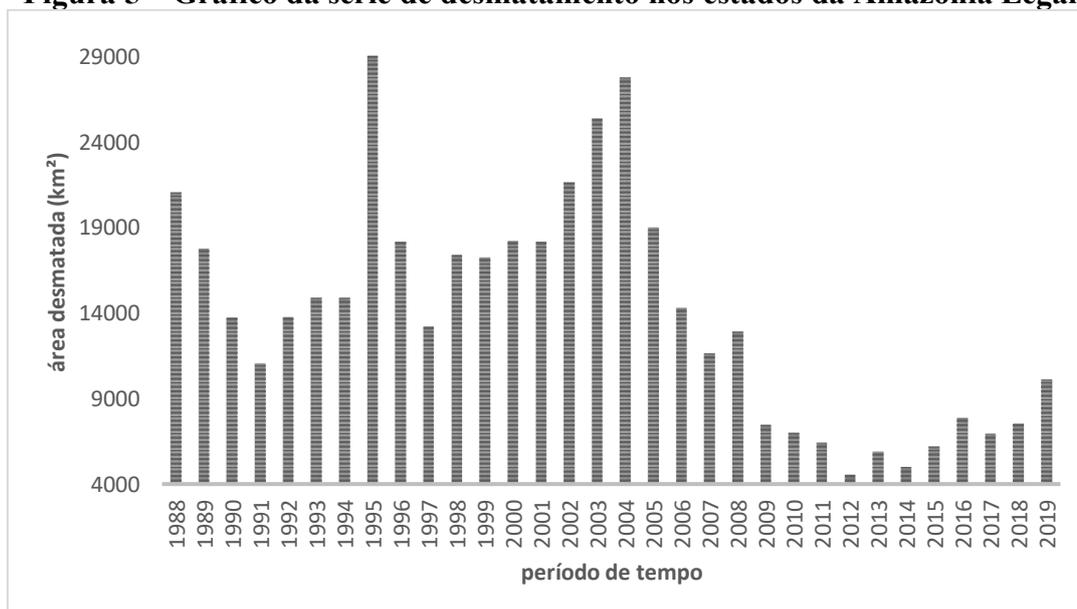
O Amapá é a unidade da federação mais vulnerável daquelas ligadas ao SIN. Prova disso foi o apagão que ocorreu no estado em 3 de novembro de 2020. O blecaute aconteceu em função de um incêndio em dois transformadores na subestação de Macapá, um terceiro equipamento já estava avariado e não havia outro transformador ou um sistema alternativo para manter o fornecimento em caso de pane. Por conta disso, 14 dos 16 municípios do estado e mais de 80% da população ficaram sem energia elétrica por quase quatro dias, além de 20 dias de racionamento. A crise energética comprometeu o abastecimento de água, acesso à internet,

caixas eletrônicos, postos de gasolina e prejudicou a saúde pública. Esse cenário mostra que a situação que se encontram algumas regiões do país com serviços precários de distribuição de energia.

Roraima corre o risco de repetir a situação do Amapá, já que não tem linhas de transmissão de energia e é dependente de usinas termelétricas. Existe um projeto de construir uma linha entre Tucuruí e Boa Vista desde 2011, mas o projeto ainda não saiu do papel. A energia elétrica era fornecida pela Venezuela até 2019, mas o país suspendeu o fornecimento, o que deixou o estado mais dependente das termelétricas. A solução para resolver a fragilidade energética seria não só a conexão com o SIN, mas também outras fontes de geração, como energia solar, térmica e hidrelétrica (AMARAL; MILITÃO, 2020; BARROS, 2020; ONS, 2020b).

Outro problema relacionado a essa região é o desmatamento da Floresta Amazônica ao longo do tempo. Até 1980, o desmatamento na região foi de cerca de 300 mil km² (BRASIL, 2008). Nos últimos 30 anos, a área total desmatada na Amazônia Legal foi de aproximadamente 436 mil km² (INPE, 2020), como pode ser observado na Figura 5. Entre 2004 e 2018, a área desmatada teve uma redução de 72%, o início dessa redução coincide com a o lançamento do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), com a primeira fase entre 2004 e 2015 e a segunda fase entre 2016 e 2020.

Figura 5 – Gráfico da série de desmatamento nos estados da Amazônia Legal



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do INPE (2020).

O objetivo principal do plano é reduzir o desmatamento e a degradação da vegetação nativa, promovendo a manutenção dos serviços ecossistêmicos, promovendo um modelo de desenvolvimento econômico que leve em conta a conservação da biodiversidade, dos recursos hídricos e do patrimônio cultural e natural das populações tradicionais (BRASIL, 2018b). O PPCDAm é o principal instrumento para a implementação da Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC, Lei 12187/2009), que estabeleceu uma meta de redução de 80% da taxa de desmatamento na Amazônia até 2020, relativa à média da taxa de desmatamento no período de 1996 a 2005. O acompanhamento dos resultados do PPCDAm mostra que a Amazônia possui 63,4% da área coberta por floresta e 19% de vegetação não florestal, sendo que o desmatamento acumulado corresponde a 15,4% da área (BRASIL, 2018b).

Apesar da legislação ambiental vigente, após anos de declínio na área desmatada, o desmatamento voltou a crescer em 2019. De acordo com dados divulgados pelo INPE, os alertas de desmatamento em setembro/2019 e setembro/2020 foram os maiores da série histórica, 1543 km² e 964 km², respectivamente. Além disso, o desmate em meses mais secos do ano, maio a setembro, tem sido duas vezes maior do que os três anos anteriores, 2016, 2017 e 2018 (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2020). Essa crise ambiental acontece após diversas ações da administração federal de enfraquecer as instituições e políticas ambientais. As multas por desmatamento na Amazônia caiu 61% na comparação com 2018, o Ibama utilizou apenas 35,3% dos recursos destinados à fiscalização ambiental e 41,6% na prevenção e controle de incêndios florestais até outubro de 2020 (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2020).

3. AS CAUSAS DO DESMATAMENTO

A literatura sobre desmatamento de florestas tropicais traz diversas abordagens sobre as possíveis causas desse problema. Segundo Angelsen (1999), existe uma linha divisória nesse debate, com estudos que enfatizam a pobreza e o crescimento populacional e estudos que enfatizam fatores de mercado como preços, custos de acesso e direitos de propriedade como forças motrizes do desmatamento. Além disso, pouco se sabe como as características dos agentes, estabelecimentos agropecuários, madeireiras e formação do agricultor afetam seu comportamento no processo de desmatamento das regiões (ANGELSEN e KAIMOWITZ, 1999).

Os estudos que utilizam a abordagem da população, mostram que essa variável impactaria de forma significativa o desmatamento. Em uma análise mais regional, o crescimento populacional seria o principal fator do desmatamento das florestas tropicais (ALLEN e BARNES, 1985; ANDERSEN, 1996; RUDEL, 1998; DINIZ et al., 2009; AHMED et al., 2015;; JUSYS, 2016). Por outro lado, em uma análise entre diversos países, o fator populacional não seria a principal causa do desmatamento (TANNER e JOHNSTON, 2017). Além do mais, Rudel (1998) identificou que no período de 1948 a 1963, a baixa taxa de crescimento populacional e uma população altamente urbanizada, foram responsáveis pelo processo de reflorestamento nos países analisados. Ao sintetizar os resultados de mais de 140 modelos econômicos que analisaram as causas do desmatamento, Angelsen e Kaimowitz (1999) levantaram algumas dúvidas e conclusões sobre as abordagens. A primeira delas é de que a densidade populacional se tornou um aspecto pouco importante na análise do desmatamento e, em níveis locais e regionais, a população é uma variável endógena (ANGELSEN e KAIMOWITZ, 1999; FERREIRA e COELHO, 2015) determinada pela infraestrutura, qualidade do solo, distância até os mercados e oportunidade de empregos. Isso implica que o crescimento populacional por si só não pode ser considerado como causa de desmatamento em áreas de floresta.

A expansão da fronteira agropecuária, como a expansão do cultivo de grãos e gado, tem se mostrado como uma das principais causas do desmatamento de florestas tropicais (ALLEN; BARNES, 1985; DINIZ et al., 2009; FARIA; ALMEIDA, 2016; JUSYS, 2016; OLIVEIRA et al., 2011). No estudo entre municípios, constatou-se também que a expansão dessas atividades em municípios vizinhos contribuiriam para o desmatamento no município, já o cultivo de cana de açúcar e a extração de produtos não madeireiros, reduziriam o corte de florestas (OLIVEIRA et al., 2011). A exploração da madeira e produtos florestais também é apontado como uma das causas do desmatamento (ALLEN; BARNES, 1985; JUSYS, 2016). Entretanto, o aumento da produtividade da agricultura reduziria a pressão sobre as florestas. Segundo Angelsen e Kaimowitz (1999), o melhoramento de tecnologias que ampliam a oferta agregada e reduzem os preços devem reduzir as pressões sobre as áreas de floresta. Como, por exemplo, a irrigação, que exige infraestrutura substancial e beneficia os agricultores com acesso aos mercados, é particularmente propensa a reduzir o desmatamento. Por outro lado, um aumento nos ativos e na renda das famílias rurais poderia eliminar as restrições de capital que anteriormente as impediam de desmatar (BABIGUMIRA *et al.*, 2014). As taxas de desmatamento são maiores em regiões onde pouco ou nenhum progresso tem sido feito na produtividade agrícola ou onde

a produtividade da terra cai rapidamente logo depois que a cobertura de floresta é removida (ALLEN e BARNES, 1985).

Ainda de acordo com Angelsen e Kaimowitz (1999), a liberalização econômica e a globalização propiciaram que a demanda global determinasse o preço e a demanda dos produtos agrícolas e florestais. Na Amazônia Legal, os preços da soja e dos insumos agrícolas (FERREIRA; COELHO, 2015; HARGRAVE; KIS-KATOS, 2013) e preços mais baixos de madeira (HARGRAVE; KIS-KATOS, 2013) explicariam em grande parte o desmatamento nessa região ao longo do tempo. Assim, políticas desenvolvidas para a promoção das exportações desses produtos, provavelmente, afetariam mais o desmatamento do que políticas que incentivam a produção para o mercado doméstico, uma vez que elas exerceriam maior pressão sobre os preços. Para a Amazônia Legal, existem evidências de que a abertura econômica provocaria um aumento significativo do desmatamento (FARIA e ALMEIDA, 2016). Para o Paquistão, as evidências mostraram que o desmatamento seria pouco impactado pela abertura comercial (AHMED et al., 2015).

A construção de estradas tem sido apresentado como uma das principais forças motrizes do desmatamento (ANDERSEN, 1996; JUSYS, 2016). A importância do crédito rural no desmatamento tem apresentado resultados ambíguos na literatura. Em alguns estudos, a variável de crédito afetaria de forma positiva e significativa o desmatamento (OLIVEIRA et al., 2011). Em outros estudos, um incremento no crédito rural não levaria a um aumento do desmatamento, porque esse crédito aumentaria a produtividade da terra e do trabalho, assim, não ocorreria expansão da terra plantada e, conseqüentemente, de áreas desmatadas (ASSUNÇÃO et al., 2019). Além disso, alguns autores identificaram o crédito agrícola como uma variável endógena no processo de desmatamento (DINIZ et al., 2009; FERREIRA; COELHO, 2015), ou seja, o crédito agrícola é determinado juntamente com o desmatamento.

A promoção de políticas ambientais teria papel relevante no desmatamento (ARIMA et al., 2014; FERREIRA; COELHO, 2015; HARGRAVE; KIS-KATOS, 2013). Além do mais, a aplicação de multas ambientais teria um transbordamento para os municípios vizinhos (HARGRAVE; KIS-KATOS, 2013). A expansão de terras protegidas com regras bem definidas, como as terras indígenas e unidades de conservação, reduziriam o desmatamento nessas regiões protegidas (FARIA e ALMEIDA, 2016; FERREIRA e COELHO, 2015). Apesar das áreas protegidas serem eficazes na proteção da floresta dentro de suas fronteiras, o impacto

sobre os níveis agregados de desmatamento seria insignificante (ASSUNÇÃO; GANDOUR, 2020).

Estudos também tem testado a hipótese da Curva de Kuznets Ambiental, ou seja, testam a relação entre desmatamento e renda nacional *per capita*. Alguns estudos sugerem que exista uma curva de Kuznets ambiental para o desmatamento no formato de U invertido (AHMED et al., 2015; DINIZ et al., 2009; JUSYS, 2016; OLIVEIRA et al., 2011), isto é, em baixos níveis de renda, um aumento nessa renda acelerará a taxa de desmatamento, mas um nível de renda mais alto depois de um certo ponto reduz essa taxa. Segundo Angelsen e Kaimowitz (1999) espera-se que o crescimento econômico e renda nacional alta reduzam a pressão sobre as florestas, melhorando as oportunidades de emprego, mas, por outro lado, podem estimular a demanda e aumentar a pressão por produtos agrícolas e florestais. Contudo, o esgotamento florestal pode contribuir para o crescimento econômico, implicando em uma relação causal na direção oposta. Segundo Angelsen e Kaimowitz (1999), as forças motrizes por trás da transição ainda não são claras e, mesmo que a essa relação renda-desmatamento exista, os níveis de renda na maioria dos países tropicais estão bem abaixo do nível em que o desmatamento começa a declinar. Conclusão semelhante a de Dinda (2004) que traz um survey de vários estudos sobre a Curva de Kuznets Ambiental, e evidencia que a existência dessa curva é inconclusiva. E completa que a degradação ambiental é um problema de multi-faces e diferentes estágios de degradação ambiental tem diferentes relações com o crescimento econômico.

4. ELETRIFICAÇÃO RURAL, DESMATAMENTO E DESENVOLVIMENTO

Energia é uma das necessidades humanas mais básicas e a pobreza energética é uma preocupação para o desenvolvimento (SLOUGH, URPELAINEN e YANG, 2015; TANNER e JOHNSTON, 2017; MAZZONE, 2019). Estudos para o Brasil argumentaram que promover o acesso a eletricidade pode desempenhar um importante papel na redução das desigualdades entre as regiões mais desenvolvidas, como Sudeste, e as regiões menos desenvolvidas como Norte e Nordeste (GÓMEZ e SILVEIRA, 2010; SLOUGH, URPELAINEN e YANG, 2015).. Ainda de acordo com Tanner e Johnston (2017), para adquirir as formas mais básicas de energia disponíveis, como a lenha e o carvão, é preciso grande esforço de trabalho e tem impacto significativo na saúde e nas áreas de florestas (GROGAN e SADANAND, 2013; SAPKOTA et al., 2014; TANNER e JOHNSTON, 2017). De acordo com Angelsen e Kaimowitz (1999) as

evidências da coleta de lenha sobre o desmatamento são fracas, mas essa atividade tem sido significativa para a remoção de florestas na África.

Segundo Harrison e Popke (2011), a oferta de meios alternativos para atender a essas necessidades básicas, como o fornecimento de material substituto adequado, pode reduzir as pressões do desmatamento. Ou seja, em qualquer localidade que melhores fontes de energia se tornem disponíveis e acessíveis, a população tenderá a aumentar rapidamente o consumo dessa energia.

Entretanto, na análise dos países africanos, os benefícios ambientais se mostraram limitados com a expansão da eletricidade, pois o impacto no desmatamento da redução do uso de madeira como combustível foi menor do que se esperava (BERNARD, 2012). Isso porque foi observado que a eletricidade não estava sendo empregada em atividades produtivas, mas sim para a iluminação da casa, funcionamento de rádio e televisão (BERNARD, 2012; PRASAD, 2008). A evidência encontrada para o Nepal foi distinta, uma vez que nessa região o uso de biogás e fogão elétrico resultaria em menor consumo de madeira como combustível para cozinhar (SAPKOTA et al., 2014).

A energia renovável poderia ser um fator importante para a expansão do acesso a serviços modernos de energia em áreas rurais (MUNDA; RUSSI, 2008; SAPKOTA et al., 2014). Entretanto, na Espanha, o subsídio para a instalação do sistema tradicional de energia elétrica foi o responsável pela escolha desse sistema em detrimento da energia solar em comunidades rurais (MUNDA; RUSSI, 2008). No Senegal, com o corte do subsídio governamental para a substituição da lenha pelo fogão a gás, famílias com menor renda aumentaram instantaneamente o consumo de madeira para cozinhar (PRASAD, 2008). Esses resultados indicam que incentivos públicos podem modificar as preferências dos usuários de energia elétrica (MUNDA; RUSSI, 2008).

O acesso a fontes de energia modernas em comunidades rurais é um fator chave para o desenvolvimento econômico, melhoria do modo de vida (PEREIRA, FREITAS e DA SILVA, 2010; SAPKOTA *et al.*, 2014; VALER *et al.*, 2014), melhores oportunidades de emprego (BERNARD, 2012), pois como mostrou Hosier e Dowd (1987), existe uma correlação entre a renda familiar e o uso de energia. Com o crescimento da renda, a população é menos dependente de lenha e vela e tende a usar fontes mais limpas e eficientes, assim como a eletricidade e combustíveis gasosos e líquidos (GROGAN e SADANAND, 2013; VALER *et al.*, 2014). Mais

do que isso, com o aumento do acesso a fontes de energia moderna, atividades produtivas podem ser melhoradas (SAPKOTA et al., 2014; VALER et al., 2014), reduzindo o tempo gasto em atividades de agricultura familiar (GROGAN e SADANAND, 2013)..

A eletrificação rural pode reduzir as pressões ambientais, facilitando o processo de desenvolvimento sustentável, reduzindo a necessidade destas de buscar o desmatamento para obter energia (ALLEN; BARNES, 1985; BERNARD, 2012; TANNER; JOHNSTON, 2017). Existem evidências de que propriedades rurais em municípios que aumentaram a infraestrutura de eletricidade, experimentaram menor nível de desmatamento (ASSUNÇÃO et al., 2017). Ou seja, o acesso a eletrificação rural não só reduziria o desmatamento, mas seu impacto seria mais robusto que as variáveis de crescimento populacional e econômico (TANNER; JOHNSTON, 2017). Por outro lado, o consumo de energia contribuiria para o crescimento do desmatamento, principalmente, no curto prazo (AHMED et al., 2015).

5. BASE DE DADOS

A base de dados consiste em observações anuais para 758 municípios da Amazônia Legal para três anos de referência do Censo Agropecuário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) - 1996, 2006, 2017, totalizando 2183 observações em um painel não-balanceado. O estudo do desmatamento se concentra nas áreas naturais de floresta da Amazônia Legal Brasileira. Todas as variáveis foram padronizadas e foram considerados os erros padrão robustos na estimação dos resultados. A descrição de cada variável, assim como a média, o desvio-padrão e os valores mínimo e máximo são apresentados na Tabela 1.

A medida de desmatamento, *desmatamento*, é o estoque da área desmatada no município, ou taxa anual acumulada, e representa a eliminação de cobertura florestal primária por corte raso, de forma independente do propósito futuro dessas áreas (INPE, 2020) Para o ano de 1996, foi preciso realizar uma etapa adicional para a obtenção do desmatamento, porque o Programa de Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) disponibiliza o desmatamento acumulado municipal somente a partir de 2000 (INPE, 2020). O PRODES fornece a informação sobre o total desmatado para o ano de 1996, mas não por município. Esse valor total foi distribuído entre os municípios considerando a estrutura do desmatamento municipal do Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil (PROJETO MAPBIOMAS, 2020).

Para os demais anos, 2006 e 2017, foi considerado os dados oficiais divulgados pelo INPE. A escolha pelos dados do INPE é justificada por esse instituto de pesquisa ser o responsável oficial pelo monitoramento do desmatamento da Amazônia Legal. Além disso, possui uma ampla experiência e metodologia consolidada de geração de dados de desmatamento. A. Primeiramente, com dados do Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil (PROJETO MAPBIOMAS, 2020), foi utilizada a diferença na área de floresta até 1996, ou seja, o desmatamento acumulado até 1996. A equação 1 é o somatório do desmatamento em cada município, n , de mesmo estado.

$$d_{jt} = \sum_{i=1}^n \Delta A_{it}, \quad j = 1, \dots, 9 \quad (1)$$

onde d_{jt} é o desmatamento acumulado em cada estado, j , até 1996. A equação 2 mostra o cálculo do peso de cada município na área desmatada total do estado em 1996 denotado por, D_{it} .

$$D_{it} = \frac{\Delta A_{it}}{d_{jt}} \quad (2)$$

Devido à diferença metodológica, foi necessário equalizar o desmatamento total municipal de 1996 obtido do MapBiomias com os dados do INPE, a fim de que esse dado possa ser comparado com os dados de 2006 e 2017. O percentual encontrado na equação 2 é, então, multiplicado pela área desmatada total em cada estado em 1996 disponibilizada pelo INPE, $Desmatamento_{jt}$. O resultado dessa multiplicação é a variável dependente de desmatamento de 1996 para realizar as estimações, $desmatamento_{it}$.

$$desmatamento_{it} = D_{it} \times Desmatamento_{jt} \quad (3)$$

Para os anos de 2006 e 2017, foi considerado o desmatamento acumulado divulgado pelo INPE.

As variáveis *Estabelecimentos com Eletricidade* e *Percentual Estabelecimentos com Eletricidade* são, respectivamente, o número de estabelecimentos agropecuários com energia elétrica e o percentual de estabelecimentos agropecuários com energia elétrica em cada município. *Estabelecimentos com Eletricidade* seria a variável explicativa de interesse, usada como proxy para o número de domicílios rurais com acesso à energia elétrica, sob a hipótese de que a eletrificação rural ajudaria na redução do desmatamento. Ou seja, a promoção do acesso à energia elétrica em larga escala poderia incentivar a redução do consumo de materiais florestais, como lenha, pelas comunidades rurais para suprir suas necessidades energéticas e, conseqüentemente, o desmatamento. Além disso, o incentivo a desmatar dos produtores agropecuários pode ser reduzido, porque o acesso à energia contribuiria com o aumento da produtividade agrícola, tornando desnecessário a expansão das áreas produtivas para a expansão da produção. *Percentual Estabelecimentos com Eletricidade* será utilizada como instrumento para o número de estabelecimentos com acesso à eletricidade.

Dados obtidos no Censo Demográfico de 1991 (IBGE, 1992) mostram que, a população dos municípios da Amazônia Legal era predominantemente rural, com uma média de 64,5% da população vivendo na zona rural. Esses dados foram utilizados para obter a variável de número e porcentagem de domicílios com energia elétrica do ano de 1996, já que não existe dados oficiais de estabelecimentos agropecuários com energia elétrica disponível para o ano estudado. Então, para 1996, o cálculo da *Estabelecimentos com Eletricidade* foi feito multiplicando os dados de percentual de domicílios com energia elétrica do Censo de 1991 (IBGE, 1992) pelo número de estabelecimentos agropecuários em 1996 do Censo Agropecuário (IBGE, 1995). Para os anos de 2006 e 2017, a variável foi obtida a partir da razão entre o número de estabelecimentos agropecuários com energia elétrica e o número total de estabelecimentos agropecuários em cada município disponibilizados no Censo Agropecuário (IBGE, 2012, 2019b).

O *PIB pc* é o PIB *per capita* dos municípios, calculado como a razão do Produto Interno Bruto (PIB) a preços constantes (R\$ 2000) e a população total disponibilizados pelo IBGE, (1996, 2017, 2020). O PIB *per capita* é incluído para controlar o efeito de economia de escala

dos municípios. A hipótese é de que o desmatamento deve ser maior para municípios com maior nível de PIB *per capita*. Será acrescentado também o PIB *per capita* ao quadrado, *PIB pc2* para testar a hipótese da Curva de Kuznets Ambiental, de que existe uma relação de U invertido entre o desmatamento e o PIB *per capita*.

O indicador de grau de abertura econômica, *Abertura*, é o volume total de produtos comercializados com o mercado exterior, correspondendo à soma das exportações e importações como proporção do PIB. Os dados de exportação e importação foram obtidos do Comexstat do Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (BRASIL, 2020). O grau de abertura econômica está relacionado com fatores geográficos, que podem afetar o grau de exploração de madeira, e com fatores locais como, transporte, estradas e disponibilidade de crédito. A hipótese é de que o grau de abertura pode estar positivamente associado com o desmatamento nos municípios da região amazônica (FARIA; ALMEIDA, 2016).

Ainda para identificar como as atividades produtivas da região podem afetar o desmatamento, foram incluídas as variáveis *Lavoura Temporária*¹, *Lavoura Permanente*², *Pecuária e Extração Vegetal*³ disponíveis no Censo Agropecuário (IBGE, 1995, 2012, 2019b). Essas variáveis indicam o número de estabelecimentos rurais com essas atividades em cada município. Ao longo dos anos essas atividades se expandiram por conta do crescimento da demanda mundial em conjunto com a valorização do preço das *commodities* agrícolas e a desvalorização do real em relação ao dólar. Esse movimento de expansão muitas vezes esteve associado com a expansão do uso da terra, devido à disponibilidade de terras agrícolas pela conversão de áreas de floresta. Contudo, com a implementação de algumas medidas ambientais, como a Moratória da Soja, que proíbe a venda de soja proveniente do desmatamento da Floresta Amazônica, o aumento da produção pode estar mais associado ao aumento da produtividade do que com o desmatamento.

Para avaliar o efeito populacional foi incluída a variável e população rural nos municípios, *População rural*, obtido do Censo (IBGE, 1992, 2003, 2013). O sinal da relação entre percentual da população rural e desmatamento pode ser tanto negativo quanto positivo

¹ Somatório dos estabelecimentos com atividade principal de arroz, milho, trigo, outros cereais, algodão, cana-de-açúcar, fumo, soja, abacaxi, amendoim, batata inglesa, cebola, mandioca, feijão, juta, mamona, melão, tomate, outros.

² Somatório dos estabelecimentos com atividade principal de café, cacau, uva, banana, caju, coco da baía, pimenta do reino, chá da índia, maçã, mamão, manga, maracujá, outros.

³ Somatório dos estabelecimentos com atividades extrativista de madeira nativa como, madeira extrativista, não madeireiros extrativos, borracha extrativa, carvão vegetal madeira nativa.

(FEARNSIDE, 2017). É incluída a população rural e não a população urbana ou total do município, para capturar o efeito da proximidade dos habitantes sobre os recursos naturais. Maior concentração da população em zonas rurais tende a aumentar a pressão sobre os recursos naturais, expandindo o desmatamento. Por outro lado, quando essa população rural reduz, devido a uma migração para os centros urbanos, a pressão por maiores áreas desmatadas nessas localidades se reduz.

Foram incluídas outras variáveis que podem ajudar a explicar o processo de desmatamento no Brasil, como os direitos de propriedade. De acordo com Fearnside (2017), estabelecimentos agropecuários de médio (101-1000 ha) e grande porte (>1000 ha) tem sido um dos principais causadores do desmatamento. Contudo, ainda de acordo com o autor, pequenos (< 100 ha) e micro (<10ha) produtores tem aumentado sua participação no desmatamento da Floresta Amazônica. Assim, é necessário considerar o número de estabelecimentos para cada tamanho de área em cada município, isto é, estabelecimentos com área menor que 10ha (Micro), área menor que 100ha (Pequeno), entre 101 e 1000ha (Médio) e maior que 1000ha (Grande) (IBGE, 1995, 2012, 2019b).

Outra questão relacionada aos direitos de propriedade é a posse da terra (FEARNSIDE, 2001; FEARNSIDE, 2017). Grande parte das terras na Amazônia Brasileira é de domínio público. Aquelas que passam para o domínio privado, muitas vezes, foram, inicialmente, invadidas por pequenos posseiros ou por grileiros que, posteriormente, tem as reivindicações reconhecidas pelo governo, obtendo assim, o título da posse da terra. Esse título de posse da terra é dado aos posseiros ou grileiros após eles provarem que fizeram alguma benfeitoria na terra invadida, tal como, plantação ou criação de gado. Ou seja, aqueles que invadem a terra desmatam para que possam começar atividades de agricultura ou pecuária e, posteriormente, obter o título de posse da terra. Então, para explicar esse efeito foi incluída a variável de *Percentual Proprietário*, que estão incluídas as propriedades de assentamentos oficiais, adquiridas de forma oficial e concedidas. Ela representa a proporção do número de estabelecimentos agropecuários com proprietários. Como instrumentos, foram utilizadas as variáveis de número de estabelecimentos com proprietários, *Proprietários*, e número de estabelecimentos em que os produtores são ocupantes, ou seja, se apossaram da terra (*Ocupantes*). Essas variáveis foram retiradas do Censo Agropecuário (IBGE, 1995, 2012, 2019b).

Foram considerados também controles para áreas legalmente protegidas. No Brasil, as áreas protegidas incluem as terras indígenas, *Terra Indígena*, e as unidades de conservação, *Unidades Conservação*. A criação de unidades de conservação e o reconhecimento de terras indígenas são recursos utilizados para combater o desmatamento ao redor do mundo (ASSUNÇÃO, J.; GANDOUR, 2020). Os dados sobre a área das unidades de conservação sem distinção de esfera administrativa (federal, estadual, municipal) são disponibilizados pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) (BRASIL, 2020c). Os dados sobre a área das terras indígenas são disponibilizados pelo Programa de Monitoramento de Áreas Protegidas do Instituto Socioambiental - ISA (2020)⁴.

Serão incluídas como instrumentos as variáveis que indicam o número de estabelecimentos rurais dirigidos por produtores analfabetos (*Analfabeto*), com ensino fundamental (*Fundamental*), médio (*Médio*) e superior (*Superior*) disponíveis no Censo Agropecuário (IBGE, 1995, 2012, 2019b). O nível de escolaridade dos produtores que dirigem os estabelecimentos agropecuários seria um fator que influencia no número de estabelecimentos com acesso à eletricidade.

Tabela 1 – Descrição das variáveis e estatísticas descritivas⁵

Variável	Descrição, efeito + ou -	Média	DP	Min	Max
Desmatamento	Estoque de área Desmatada (km ²)	722.061	1221.393	0	18440.2
Estabelecimentos com Eletricidade	Número de estabelecimentos agropecuários com energia elétrica, (-)	596.599	720.336	0	9928
Percentual Estabelecimentos com Eletricidade	Proporção de estabelecimentos agropecuários com energia elétrica (%), (-)	56.542	26.350	0	99.422

⁴ Unidades de conservação incluem área de proteção ambiental, área de relevante interesse ecológico, estação ecológica, floresta, monumento natural, parque, refúgio de vida silvestre, reserva biológica, reserva de desenvolvimento sustentável, reserva extrativista e reserva partícula do patrimônio natural. Foram consideradas apenas as unidades de conservação e as terras indígenas que são homologadas ou registradas.

⁵ Algumas variáveis tinham observações *missing* para alguns municípios do período estudado. Para resolver esse problema, estimativas ponderadas geograficamente foram geradas para essas observações.

Abertura	(X + M) / PIB, onde X e M são, respectivamente, os valores de exportação e importação de todos os produtos, (+)	0.012	0.055	0	0.995
PIB <i>per capita</i>	PIB per capita (preços constantes R\$ 2000), (+)	6865.551	9099.082	0	134871.4
PIB <i>per capita</i> ao quadrado	PIB per capita ao quadrado, (-)	1.30E+08	6.78E+08	0	1.82E+10
População rural	População rural (%), (+)	8548.56	13769.85	445352	445352
Micro	Número de estabelecimentos agropecuários com área de até 10ha, (+)	373.8173	726.6859	0	10701
Pequeno	Número de estabelecimentos agropecuários com área entre 10 e 100ha, (+)	459.2213	560.5468	0	4647
Médio	Número de estabelecimentos agropecuários com área entre 100 e 1000ha, (+)	168.303	214.864	0	2237
Grande	Número de estabelecimentos agropecuários com área maior que 1000ha, (+)	24.973	37.576	0	421
Percentual Proprietário	Proporção de estabelecimentos próprios ou concedidos (%), (+)	0.857	0.192	0.027	1.009
Percentual Ocupante	Proporção de estabelecimentos ocupados (%), (+)	0.091362	0.157338	0	0.967404

Temperatura	Temperatura anual média (°C), (+ ou -)	26.995	0.860	23.925	28.496
Precipitação	Precipitação anual média (mm), (+ ou -)	164.315	47.339	83.783	303.858
Temperatura2	Temperatura anual média ao quadrado (°C), (+ ou -)	729.458	45.956	572.406	812.013
Precipitação2	Precipitação anual média ao quadrado (mm), (+ ou -)	29239.35	17934.17	7019.647	92329.89
Unidades Conservação	Área das unidades de conservação federais, estaduais e municipais (km²), (-)	1570.964	12113.38	0	301090.1
Terra Indígena	Área das terras indígenas (km²), (-)	1123.806	5789.741	0	123503

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Censo Demográfico, INPE, Mapbiomas, Censo Agropecuário, CRU, MMA, ISA e IBGE.

Nota: N = 2183 observações para 758 municípios.

6. ESTRATÉGIA EMPÍRICA

A análise de regressão utilizou dados em painel balanceado dos municípios, com variáveis explicativas ao longo do tempo e entre os municípios da Amazônia Legal para identificar os efeitos do acesso à energia elétrica pelos estabelecimentos agropecuários sobre o desmatamento, controlando por fatores econômicos, de direitos de propriedade e climáticos. A especificação para investigar essa relação tem a seguinte forma:

$$desmatamento_{it} = \alpha + \beta X_{it} + \gamma R_{it} + \rho E_{it} + \mu_i + \varphi_t + u_{it},$$

$$i = 1, \dots, N, \quad t = 1, \dots, T \quad (5)$$

onde a variável dependente, $desmatamento_{it}$, é a área desmatada no ano t e município i . O vetor de variáveis explicativas observadas dos municípios, X_{it} , inclui PIB *per capita*, grau de abertura econômica e tamanho da população rural. R_{it} , é o vetor de variáveis observadas das características dos estabelecimentos nos municípios, tais como, o tamanho dos estabelecimentos, a atividade exercida nesses estabelecimentos, estabelecimentos com proprietários. E_{it} é o número de estabelecimentos agropecuários com acesso à energia elétrica. Os termos, μ_i e φ_i , representam, respectivamente, as características não observadas dos municípios e dos estabelecimentos rurais dos municípios. u_{it} é o termo de erro, e α, β, γ e ρ são os parâmetros a serem estimados.

A especificação de efeitos fixos garante que as características não observadas dos municípios sejam controladas. Contudo, ainda existe a preocupação de que características específicas municipais na dinâmica do desmatamento na Amazônia também possam afetar algumas das variáveis explicativas ou, ainda, sejam especificadas em conjunto pelos fatores não observados. Essa questão pode afetar variáveis econômicas causando efeitos endógenos ao desmatamento, o que poderia enviesar os coeficientes estimados.

Se a eletrificação dos estabelecimentos rurais nos municípios ocorresse de forma aleatória, então a estimação do modelo (5) poderia resultar em estimativas não viesadas do impacto da eletrificação nas taxas de desmatamento. Contudo, os estabelecimentos em cada município não são aleatoriamente selecionados pelas concessionárias de energia para receber a conexão. A decisão de conectar ou não um estabelecimento à eletricidade é baseada em características observadas e não observadas, tais como, escolaridade do responsável pelo estabelecimento, recursos disponíveis para a execução da obra, entre outros. Mesmo com o Programa Luz para Todos de promoção da eletrificação rural, as ligações de energia elétrica nos domicílios de comunidades rurais ocorrem pela demanda de consumidores.

Identificada a demanda, as concessionárias de distribuição de energia elétrica - Eletronorte no caso da Amazônia Legal – elaboram o plano de obras, que é apresentado para análise da Eletrobrás. A Eletrobrás, encaminha então, essa análise para o Ministério de Minas e Energia (MME), que é o responsável pelo parecer para execução da obra. Com o parecer favorável, o programa de obras é viabilizado e os recursos disponibilizados de acordo com as condições estabelecidas em contrato (BRASIL, 2005). Nesse caso, se a possibilidade endogeneidade na conexão à eletricidade for ignorada, os impactos estimados pela equação (5)

serão viesados. Para resolver esse problema de endogeneidade, é preciso um instrumento para o número de estabelecimentos rurais com acesso à eletricidade.

Seguindo a metodologia empregada por Khandker *et al.* (2014), a variável instrumental é dada por um vetor de instrumentos que afetam somente a demanda por eletricidade, mas não diretamente o desmatamento. A taxa de desmatamento será afetada indiretamente por esses instrumentos pelo acesso à eletricidade.

Na abordagem por variável instrumental (VI), para que o instrumento seja válido, é preciso que ele atenda a duas condições:

- i. τ não pode ser um vetor de zeros e;
- ii. $Cov(\mathbf{D}_{it}, u_{it}) = 0$

A primeira condição significa que pelo menos um dos instrumentos tem de ser válido, ou seja, tem de afetar o número de estabelecimentos com acesso à eletricidade em cada município. A segunda condição implica que os instrumentos devem afetar, somente, o número de estabelecimentos com acesso à eletricidade e não afetarem diretamente a variável de interesse, desmatamento.

A proposta é, então, que o vetor de instrumentos que inclui uma variável indicando a proporção de estabelecimentos no município i com eletricidade e a interação dessa variável com as características observadas dos produtores dos estabelecimentos nesses municípios, como, status do produtor em relação à terra e escolaridade. Espera-se que a proporção de estabelecimentos rurais com eletricidade no município seja uma VI válida por causa do efeito de pares. Isto é, a pressão dos pares (estabelecimentos vizinhos) provavelmente afetará a tomada de decisão de solicitar a ligação a rede de energia de outro estabelecimento, já que as pessoas tendem a seguir seus vizinhos nas comunidades rurais. Desse modo, espera-se que, quanto maior a porcentagem de estabelecimentos rurais nos municípios com energia elétrica, maior a probabilidade que outros estabelecimentos da mesma localidade adotem eletricidade. Todos os instrumentos serão utilizados em conjunto na estimação por Variáveis Instrumentais de Efeitos Fixos.

7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Esta seção traz a discussão sobre os efeitos dos estabelecimentos com acesso à eletricidade no desmatamento na Amazônia Legal. O resultado das estimações por mínimos quadrados empilhados (POLS), Efeitos Fixos (EF) e Efeito Aleatório (EA) são apresentados na Tabela 2. Todas as variáveis utilizadas nas regressões foram padronizadas e os erros padrão são robustos.

O Teste de Hausman sugere que as estimativas por efeitos fixos são consistentes e mais eficientes em relação às estimativas por efeitos aleatórios. A análise inicial traz evidências de que o número de estabelecimentos com energia elétrica seria um fator relacionado com a redução do desmatamento nos municípios (Tabela 2). O aumento em 1% do acesso à energia elétrica pelos estabelecimentos rurais reduziria em, aproximadamente, 13% a devastação das áreas de floresta. Em geral, as estimativas para todas as variáveis apresentaram os sinais esperados.

Os resultados para o PIB *per capita* indicam que essa variável contribuiria para a expansão do desmatamento. Analisando conjuntamente o resultado dessa variável com o PIB *per capita* ao quadrado para testar a Curva de Kuznets Ambiental, é possível perceber que existiria uma relação de U invertido entre o desmatamento e o PIB *per capita*. Ou seja, essa relação de U invertido indica que a expansão do desmatamento ocorreria, no primeiro momento, relacionada com o crescimento econômico. Após os municípios atingirem o ponto máximo de crescimento, ocorreria uma redução no desmatamento. Esse achado evidencia os efeitos das políticas ambientais implementadas a partir de 2004 – PPCDAm, Política Nacional sobre Mudança do Clima – que ajudou na redução do desmatamento, como mostra a Figura 1.

O indicador de população rural teria efeito positivo e significativo no desmatamento. Resposta semelhante a encontrada por Allen e Barnes (1985), Andersen (1996), Diniz *et al.* (2009) e Jusys (2016). Os resultados para Grau de Abertura mostram que esta variável teria um efeito negativo, mas não significativo nas estimações. Este efeito pode ser explicado pela Moratória da Soja, com o boicote à compra da soja plantada em áreas desmatadas da Floresta Amazônica. Esta política, de certo modo, teria fechado a região para a exportação de grãos.

Os resultados para as variáveis das atividades praticadas nos estabelecimentos rurais, lavoura temporária, lavoura permanente, pecuária e extração vegetal de floresta nativa, teriam uma relação positiva e significativa com o desmatamento na região da Amazônia Legal. Esse resultado era esperado, já que até 2004 o desmatamento na Amazônia era mais sensível às influências globais como o mercado de *commodities* e avanços tecnológicos que favoreceram a expansão da plantação de grãos, como a soja (NEPSTAD *et al.*, 2014). Apesar do Acordo da Pecuária assinado em 2009⁶, a pecuária seria a atividade que mais afetaria a devastação das áreas de florestas, indicando que a expansão da atividade em 1% expandiria o desmatamento em, aproximadamente, 75%.

Das variáveis que indicam o tamanho dos estabelecimentos agropecuários, aquelas que representam os micros, pequenos e médios produtores contribuiriam para a redução do desmatamento na Amazônia Legal. Por outro lado, os grandes produtores contribuiriam para a expansão das áreas desmatadas. De acordo com Fearnside (2017), os médios e grandes produtores tem sido os principais causadores do desmatamento. Entretanto, os pequenos produtores têm aumentado a participação na degradação ambiental. O indicador de direitos de propriedade (*Proprietário*) estaria positivamente associado com o desmatamento, entretanto, o resultado não apresentou significância estatística. Esse resultado já era esperado, porque a incerteza quanto à propriedade na terra, muitas vezes está associada à expansão do desmatamento.

A variável de *Unidade Conservação* foi significativa apenas na estimação por POLS. Além disso, o efeito positivo de *Terras Indígena* sobre o desmatamento evidencia que as áreas protegidas não seriam tão protegidas como se assume. Principalmente, pelo fato de que essas terras são extensas, dificultando a fiscalização contra a invasão e instalação de grileiros.

⁶ Informações mais detalhadas sobre Moratória da Soja e Acordo da Pecuária podem ser encontradas em Fearnside (2017) e Nepstad *et al.* (2014).

Tabela 2 – Resultados das Regressões

Variáveis Independentes	POLS	Efeitos Fixos	Efeitos Aleatórios
Estabelecimentos com acesso à eletricidade	-0.1616*** (0.0446)	-0.1321*** (0.0319)	-0.1433*** (0.0311)
Grau de Abertura	-0.0173 (0.0122)	-0.0335 (0.0271)	-0.0296 (0.0185)
PIB <i>per capita</i>	0.1418*** (0.0395)	0.2195*** (0.0319)	0.1890*** (0.0352)
PIB <i>per capita</i> ao quadrado	-0.0768** (0.0312)	-0.1363*** (0.0257)	-0.1134*** (0.0276)
População Rural	0.1149* (0.0635)	0.0237** (0.0121)	0.0662* (0.0382)
Micro	-0.1222*** (0.0330)	-0.1028*** (0.0353)	-0.1088*** (0.0322)
Pequeno	0.0105 (0.0313)	-0.2479*** (0.0472)	-0.1157*** (0.0359)
Médio	-0.0651** (0.0258)	-0.1569*** (0.0381)	-0.1052*** (0.0277)
Grande	0.2520*** (0.0419)	0.3419*** (0.0779)	0.2692*** (0.0612)
Percentual Proprietário	0.0199 (0.0133)	0.0026 (0.0143)	0.0045 (0.0126)
Lavoura Temporária	0.1779*** (0.0269)	0.0778*** (0.0270)	0.1139*** (0.0289)
Lavoura Permanente	0.1065*** (0.0200)	0.1295*** (0.0232)	0.1327*** (0.0246)
Pecuária	0.6142*** (0.0483)	0.7494*** (0.0528)	0.7141*** (0.0550)
Extração Vegetal	0.0632*** (0.0182)	0.0949*** (0.0305)	0.0889*** (0.0246)
Unidades Conservação	0.0299* (0.0166)	0.0169 (0.0293)	0.0319 (0.0301)
Terra Indígena	0.0911*** (0.0271)	0.0346** (0.0145)	0.0689** (0.0296)
Constante	0.0000 0.0140	0.0000*** (0.0000)	0.0000 (0.0216)
N	2277	2277	2277
R ² -ajustado	0.5540	0.6307	0.6131
Hausman		49.96***	

Fonte: Elaboração própria.

Notas: Desmatamento é a variável dependente. R^2 ajustado para o POLS, para efeitos fixos e aleatórios utilizou-se o R^2 *within*. Os erros-padrão robustos são reportados entre parênteses.

* $p < 0.10$; ** $p < 0.05$; *** $p < 0.01$

A Tabela 3 mostra os resultados das estimações por Efeitos Fixos utilizando variáveis instrumentais (VI). Nessas estimações foram utilizados instrumentos o Número Estabelecimentos Agropecuários com Acesso à Eletricidade. Foram empregados o percentual de estabelecimentos agropecuários com acesso à eletricidade, as variáveis de escolaridade dos produtores e a interação entre elas para instrumentalizar a variável endógena. O Teste de Kleibergen-Paap Wald F statistic (Teste F dos instrumentos) foi significativo, indicando que os instrumentos são altamente correlacionados com a variável endógena. O teste Kleibergen-Paap LM statistic (Teste de Subidentificação) também foi significativo, indicando que a matriz dos coeficientes da forma reduzida tem rank cheio. Ou seja, o modelo com as variáveis instrumentais utilizadas é identificado.

A variável de eletrificação rural que foi instrumentalizada se manteve significativa, com mesmo sinal, porém, o seu efeito sobre o desmatamento foi ampliado. As variáveis PIB *per capita* e PIB *per capita* ao quadrado apresentaram coeficientes significativos, com os mesmos sinais em relação à primeira estimação, confirmando a evidência da existência da relação de U invertido entre o desmatamento o PIB *per capita*, confirmando a hipótese da Curva de Kuznets Ambiental (Tabela 3).

Os coeficientes estimados das variáveis que indicam a atividade econômica dos estabelecimentos foi um pouco menor, mas permaneceram significativos. Além disso, a pecuária se manteve como o fator que mais contribui para o desmatamento. A população rural permaneceu significativa e associada com a expansão do desmatamento. Os estabelecimentos de área menor que 10 hectares não seria significativo para explicar a redução das áreas de floresta na Amazônia Legal.

A variável de unidades de conservação permaneceu não significativa e de terras indígenas perdeu significância. Tal resultado não era esperado. No entanto, esse resultado confirma a evidência encontrada por Assunção e Gandour (2020) de que, embora as áreas de proteção sejam eficazes na proteção das florestas dentro de suas fronteiras, o efeito dessas áreas sobre os níveis agregados de desmatamento seria insignificante.

Por fim, os instrumentos incluídos na regressão que indicam a escolaridade dos produtores, se mostraram significativos para explicar o desmatamento, com exceção daqueles produtores com ensino superior. Além disso, o resultado mostra que estabelecimentos com produtores com ensino fundamental ou ensino médio contribuiriam para o desmatamento. Diferentemente, estabelecimentos dirigidos por produtores analfabetos reduziria o desmatamento.

Tabela 3 – Resultado da Regressão de Efeitos Fixos com Variável Instrumental

Variáveis Independentes	Efeitos Fixos com VI	Variáveis Independentes	Efeitos Fixos com VI
Estabelecimentos com acesso à eletricidade	-0.2435*** (0.0441)	Lavoura Temporária	0.0743*** (0.0233)
Grau de Abertura	-0.0337 (0.0232)	Lavoura Permanente	0.1116*** (0.0243)
PIB <i>per capita</i>	0.2013*** (0.0325)	Pecuária	0.7180*** (0.0543)
PIB <i>per capita</i> ao quadrado	-0.1247*** (0.0253)	Extração Vegetal	0.0689*** (0.0268)
População Rural	0.01738 (0.0098)	Unidades Conservação	0.0157 (0.0232)
Micro	-0.0548 (0.0431)	Terra Indígena	0.0222 (0.0145)
Pequeno	-0.1838*** (0.0557)	Analfabeto	-0.0821** (0.0346)
Médio	-0.1396*** (0.0359)	Fundamental	0.0682** (0.0326)
Grande	0.3350*** (0.0689)	Ensino Médio	0.0856** (0.0402)
Proprietário	0.0012 (0.0436)	Superior	-0.0182 (0.0297)
Ocupante	0.0184 (0.0213)		
N		2277	
Teste F dos Instrumentos		581.201***	
Teste de Subidentificação		276.430***	
R ²		63.96	

Fonte: Elaboração própria.

Notas: A variável dependente é Desmatamento.

*p < 0.10; ** p < 0.05; *** p < 0.01

8. CONCLUSÃO

O objetivo do estudo foi examinar o impacto da eletrificação rural nas taxas de desmatamento dos municípios da Amazônia Legal, controlando por fatores econômicos, populacionais e educacionais. Para atingir tal objetivo, um painel de dados balanceado com informações de 759 municípios para os anos 1996, 2006 e 2017 foi utilizado. Para explicar a relação entre desmatamento e eletrificação rural foi utilizado o número de estabelecimentos rurais com acesso à energia elétrica. O acesso a fontes de energia modernas pode promover desenvolvimento econômico e melhoria do modo de vida em sociedades rurais. A expansão da eletrificação rural pode reduzir pressões ambientais e facilitar o processo de desenvolvimento sustentável, reduzindo a necessidade de buscar o desmatamento para obter energia.

Contudo, essa expansão da eletrificação das áreas rurais não ocorre de forma aleatória, ela ocorre de acordo com a demanda feita pelos moradores. Assim, características dos produtores, tais como, escolaridade e seu status em relação à terra, podem influenciar no número de estabelecimentos com acesso à energia elétrica. Além disso, o percentual desses estabelecimentos com acesso à eletricidade na comunidade poderia influenciar os produtores a solicitar a ligação da energia elétrica em seu estabelecimento. Diante disso, o número de estabelecimentos com acesso à energia elétrica foi instrumentalizado pelo percentual desses estabelecimentos, as variáveis de status do produtor em relação à terra, escolaridade e a interação entre essas variáveis.

A evidência empírica obtida indica que a expansão da eletrificação rural na Amazônia Legal contribuiria para a redução do desmatamento na região. A relação entre o PIB *per capita* e o desmatamento é dada em formato de U invertido, confirmando a hipótese da Curva de Kuznets Ambiental. Esse resultado aponta que ocorreria expansão do desmatamento, num primeiro momento, com o crescimento econômico e, no longo prazo, após atingir um certo nível de renda, existiria uma contração na degradação ambiental. Além de confirmar a hipótese da Curva de Kuznets Ambiental, os resultados indicaram que a eletrificação rural seria um fator importante na redução do desmatamento na Amazônia Legal.

A pecuária, o PIB *per capita* e a quantidade de estabelecimentos rurais com área maior que 1000ha seriam os fatores que mais contribuiriam para a expansão da área desmatada na Amazônia Legal. Os incentivos econômicos para a expansão das áreas de pastagem são

atraentes, a menos que sanções sejam aplicadas para desencorajar esse movimento. As áreas de conservação não apresentaram resultados significativos no estudo, resultado semelhante ao encontrado por Assunção e Gandour (2020) de que essas áreas não tem impacto significativo sobre o nível agregado do desmatamento.

Apesar da Moratória da Soja ter sido uma iniciativa de agentes do setor privado, ela em conjunto com os planos ambientais, PPCDAm e Política Nacional para Mudanças Climáticas, mostram que a governança pode promover o desenvolvimento sustentável. Ainda, de acordo com Tanner e Johnston (2017), o Estado é geralmente o único agente que pode fornecer às populações rurais substitutos eficazes para fontes de energia de baixa qualidade, dado os *sunk costs* significativos da instalação inicial e manutenção a longo prazo do sistema elétrico.

O Programa Luz Para Todos (LPT) promoveu a expansão do sistema elétrico para comunidades rurais, mas o programa não conseguiu alcançar áreas remotas da Amazônia. Slough, Urpelainen e Yang (2015) pontuam que políticas, como o LPT, são importantes para reduzir a desigualdade, mas o impacto no desenvolvimento depende da sua capacidade de promover o crescimento econômico e o desenvolvimento social. Além disso, é preciso promover intervenções complementares para que a eletrificação rural seja explorada para usos produtivos pelas comunidades locais.

Com o objetivo de atender essa parcela da população em áreas remotas da Amazônia, foi instituído no início de 2020 o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica na Amazônia Legal – Mais Luz Para a Amazônia. O programa prevê a utilização de fontes renováveis de geração de energia elétrica, contribuindo para a redução da emissão de gases de efeito estufa e incentivo do uso sustentável dos recursos da Floresta Amazônica.

A expansão da eletrificação rural tem sido bem-sucedida em promover o desenvolvimento sustentável, reduzindo a degradação ambiental. Contudo, a eletrificação de comunidades remotas e menos desenvolvidas ainda é um desafio, como no caso do Amapá e Roraima, com sistemas elétricos pouco integrados e sem alternativas para o fornecimento de energia em caso de pane. Portanto, para continuar promovendo o desenvolvimento sustentável é preciso expandir o acesso à energia elétrica para essas regiões em conjunto com as políticas ambientais, o que favorece o desenvolvimento econômico e a preservação ambiental.

REFERÊNCIAS

- AHMED, K. et al. The linkages between deforestation, energy and growth for environmental degradation in Pakistan. **Ecological Indicators**, v. 49, n. 2014, p. 95–103, 2015.
- ALLEN, J. C.; BARNES, D. F. The Causes of Deforestation in Developing Countries. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 75, n. 2, p. 163–184, 15 jun. 1985.
- AMARAL, L.; MILITÃO, E. Sem linha de energia, Roraima está sob risco de repetir apagão do AP. **UOL**, 2020.
- ANDERSEN, L. E. The causes of deforestation in the Brazilian amazon. **Journal of Environment and Development**, v. 5, n. 3, p. 309–328, 1996.
- ANDERSEN, L. E.; REIS, E. J. **Deforestation, development, and government policy in the Brazilian Amazon: An econometric analysis.**: Texto para Discussão, n. 69. Brasília: Instituto de Economia Aplicada (IPEA), 2015.
- ANEEL. Brasil alcança 170 mil megawatts de capacidade instalada em 2019 . **Agência Nacional de Energia Elétrica**, 10 jan. 2020.
- ANGELSEN, A. Agricultural expansion and deforestation: Modelling the impact of population, market forces and property rights. **Journal of Development Economics**, v. 58, n. 1, p. 185–218, 1999.
- ANGELSEN, A.; KAIMOWITZ, D. Rethinking the causes of deforestation: Lessons from economic models. **World Bank Research Observer**, v. 14, n. 1, p. 73–98, 1999.
- ARIMA, E. Y. et al. Public policies can reduce tropical deforestation: Lessons and challenges from Brazil. **Land Use Policy**, v. 41, n. 2014, p. 465–473, 2014.
- ASSUNÇÃO, J.; GANDOUR, C. **Áreas protegidas, embora críticas, não são suficientes para desacelerar o desmatamento na Amazônia: O Brasil precisa de políticas de conservação direcionadas e coordenadas.** Rio de Janeiro: Climate Policy Initiative (CPI), 2020.
- ASSUNÇÃO, J. et al. Agricultural productivity and deforestation in Brazil. **Climate Policy Initiative (CPI)**, p. unpublished manuscript, 2017.
- ASSUNÇÃO, J. et al. Does Credit Boost Agriculture? Impacts on Brazilian Rural Economy and Deforestation. **Climate Policy Initiative (CPI)**, p. 1–35, 2019.
- BABIGUMIRA, R. et al. Forest Clearing in Rural Livelihoods: Household-Level Global-Comparative Evidence. **World Development**, v. 64, n. S1, p. S67–S79, 2014.
- BARROS, P. S. A crise no Amapá e a integração energética da América do Sul. **Folha de São Paulo**, 23 nov. 2020.
- BERNARD, T. Impact analysis of rural electrification projects in Sub-Saharan Africa. **World**

Bank Research Observer, v. 27, n. 1, p. 33–51, 2012.

BRASIL. **Exportação e Importação Municípios**. Disponível em: <<http://comexstat.mdic.gov.br/pt/municipio>>. Acesso em: 9 ago. 2020.

BRASIL. **Lei Nº 2308**. Brasília: Congresso Nacional, 31 ago. 1954. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1950-1969/L2308.htm>. Acesso em: 19 dez. 2020

BRASIL. **Lei Complementar Nº 124**. Brasília: Congresso Nacional, 3 jan. 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LCP/Lcp124.htm>. Acesso em: 9 ago. 2020

BRASIL. PLANO AMAZÔNIA SUSTENTÁVEL (PAS). **Ministério do Meio Ambiente (MMA)**. Brasília: 2008.

BRASIL. **Programa de Eletrificação Rural**. Disponível em: <https://www.mme.gov.br/luzparatodos/Asp/o_programa.asp>. Acesso em: 10 ago. 2020a.

BRASIL. **Planos de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado (PPCerrado) e Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm): fase 2016-2020**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Mudança do Clima e Florestas, Departamento de Florestas e Combate ao Desmatamento, 2018b.

BRASIL. **Programa Nacional De Universalização Do Acesso E Uso Da Energia Elétrica Na Amazônia Legal: Manual De Operacionalização Do Programa Mais Luz Para A Amazônia**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2020a.

BRASIL. **Ministro aprova Manual de Operacionalização do Programa Mais Luz para a Amazônia**. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/todas-as-noticias/-/asset_publisher/pdAS9IcdBICN/content/ministro-aprova-manual-de-operacionalizacao-do-programa-mais-luz-para-a-amazonia>. Acesso em: 20 out. 2020b.

BRASIL. **Cadastro Nacional de Unidades de Conservação**. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/areas-protegidas/cadastro-nacional-de-ucs.html>>. Acesso em: 9 ago. 2020c.

COOK, P. Infrastructure, rural electrification and development. **Energy for Sustainable Development**, v. 15, n. 3, p. 304–313, 2011.

DINDA, S. Environmental Kuznets Curve hypothesis: A survey. **Ecological Economics**, v. 49, n. 4, p. 431–455, 2004.

DINIZ, M. B. et al. Causas do desmatamento da Amazônia: Uma aplicação do teste de causalidade de Granger acerca das principais fontes de desmatamento nos municípios da Amazônia Legal brasileira. **Nova Economia**, v. 19, n. 1, p. 121–151, 2009.

ELETOBRAS. **Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica**. Disponível em: <<https://eletrobras.com/pt/Paginas/Luz-para-Todos.aspx>>. Acesso em: 9 ago. 2020.

ELETROBRAS. **Mapa Evolução Transmissão - Rede Básica - 1960 a 2018**. Disponível em: <<https://eletrobras.com/pt/AreasdeAtuacao/Transmissao/MapaEvolucaoTransmissao-RedeBasica-de1960a2018-INTERATIVO.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2020.

ELETRONORTE. **Geração de energia**. Disponível em: <<https://www.eletronorte.gov.br/geracao-de-energia/>>. Acesso em: 20 dez. 2020.

EPE. **Planejamento do Atendimento aos Sistemas Isolados Horizonte 2024 - Ciclo 2019**. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA p. 56, 2019.

FARIA, W. R.; ALMEIDA, A. N. Relationship between openness to trade and deforestation: Empirical evidence from the Brazilian Amazon. **Ecological Economics**, v. 121, p. 85–97, 2016.

FEARNSIDE, P.; FEARNSIDE, P. **Deforestation of the Brazilian Amazon**. [s.l: s.n.].

FEARNSIDE, P. M. Land-Tenure Problems As Factors in Environmental Destruction in Brazilian Amazonia. **World Development**, v. 29, n. 8, p. 1361–1372, 2001.

FERREIRA, M. D. P.; COELHO, A. B. Desmatamento recente nos estados da amazônia legal: Uma análise da contribuição dos preços agrícolas e das políticas governamentais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 53, n. 1, p. 91–108, 2015.

GÓMEZ, M. F.; SILVEIRA, S. Rural electrification of the Brazilian Amazon - achievements and lessons. **Energy Policy**, v. 38, n. 10, p. 6251–6260, 2010.

GROGAN, L.; SADANAND, A. Rural Electrification and Employment in Poor Countries: Evidence from Nicaragua. **World Development**, v. 43, p. 252–265, 2013.

HARGRAVE, J.; KIS-KATOS, K. Economic Causes of Deforestation in the Brazilian Amazon: A Panel Data Analysis for the 2000s. **Environmental and Resource Economics**, v. 54, n. 4, p. 471–494, 2013.

HARRISON, C.; POPKE, J. “Because you got to have heat”: The networked assemblage of energy poverty in eastern North Carolina. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 101, n. 4, p. 949–961, 2011.

HOSIER, R. H.; DOWD, J. Household fuel choice in Zimbabwe: an empirical test of the energy ladder hypothesis. **Resources and Energy**, v. 9, n. 4, p. 347–361, 1987.

IBGE. **PIB Municipal a preços constantes**. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx>>. Acesso em: 9 ago. 2020a.

IBGE. **Produto Interno Bruto dos Municípios 2002-2017**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pib-munic/tabelas>>. Acesso em: 9 ago. 2020b.

IBGE. **Censo Demográfico 1991**. Rio de Janeiro: IBGE, 1992.

IBGE. **Censo Agropecuário: 1995-1996**. Rio de Janeiro: IBGE, 1995.

IBGE. **Atlas do censo demográfico 2000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2003.

IBGE. **Censo Agropecuário: 2006 : Brasil, grandes regiões e unidades da federação : segunda apuração**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

IBGE. **Atlas do censo demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

IBGE. **Censo Agropecuário : resultados definitivos 2017**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal**, 2018a. Disponível em:
<<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>>. Acesso em: 24 set. 2020

IBGE. **Pesquisa da Pecuária Municipal**, 2018b. Disponível em:
<<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/quadros/brasil/2018>>. Acesso em: 24 set. 2020

IBGE. **Amazônia Legal**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15819-amazonia-legal.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 9 ago. 2020a.

IBGE. **Estimativas da População**. Disponível em:
<<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 29 nov. 2020.

IEA. **SDG7: Data and Projections Analysis**. Paris: IEA, 2019. Disponível em:
<<https://www.iea.org/reports/sdg7-data-and-projections/access-to-electricity#abstract>>. Acesso em: 10 ago. 2020.

INPE. **PRODES — Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite**. Disponível em:
<<http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>>. Acesso em: 8 ago. 2020.

INPE. **A taxa consolidada de desmatamento por corte raso para os nove estados da Amazônia Legal (AC, AM, AP, MA, MT, PA, RO, RR e TO) em 2019 é de 10.129 km**. Disponível em: <http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=5465>. Acesso em: 20 dez. 2020.

ISA. **Terras Indígenas no Brasil**. Instituto Socioambiental. Disponível em:
<<https://terrasindigenas.org.br/pt-br/brasil#onde>>. Acesso em: 9 ago. 2020.

JUSYS, T. Fundamental causes and spatial heterogeneity of deforestation in Legal Amazon. **Applied Geography**, v. 75, p. 188–199, 2016.

LAMBIN, E. F. et al. The causes of land-use and land-cover change: Moving beyond the myths. **Global Environmental Change**, v. 11, n. 4, p. 261–269, 2001.

MUNDA, G.; RUSSI, D. Social multicriteria evaluation of conflict over rural electrification and solar energy in Spain. **Environment and Planning C: Government and Policy**, v. 26, n. 4, p. 712–727, 2008.

NEPSTAD, D. et al. and Soy Supply Chains. **Science**, v. 344, n. 6188, p. 1118–1123, 2014.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Sob Bolsonaro, desmatamento dobra de patamar** . Disponível em: <<http://www.observatoriodoclima.eco.br/sob-bolsonaro-desmatamento-dobra-de-patamar/>>. Acesso em: 29 nov. 2020.

OLIVEIRA, R. C. DE et al. Desmatamento e crescimento econômico no Brasil: Uma análise da curva de Kuznets Ambiental para a Amazônia Legal. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 49, n. 3, p. 709–740, 2011.

ONS. **O que é o SIN**. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>>. Acesso em: 20 dez. 2020a.

ONS. **ONS divulga Relatório de Análise de Perturbação sobre ocorrência no Amapá**. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/Paginas/Noticias/20201207-ons-divulga-rap-ocorrencia-amapa.aspx>>. Acesso em: 20 dez. 2020b.

PEREIRA, M. G.; FREITAS, M. A. V.; DA SILVA, N. F. Rural electrification and energy poverty: Empirical evidences from Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 4, p. 1229–1240, 2010.

PRASAD, G. Energy sector reform, energy transitions and the poor in Africa. **Energy Policy**, v. 36, n. 8, p. 2806–2811, 2008.

PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção 4.1 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso do Solo do Brasil**, 2020. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/estatisticas>>

RUDEL, T. Is There a Forest Transition ? **Rural Sociology**, v. 63, n. 4, p. 533–552, 1998.

SAPKOTA, A. et al. Role of renewable energy technologies in rural communities' adaptation to climate change in Nepal. **Renewable Energy**, v. 68, p. 793–800, 2014.

SLOUGH, T.; URPELAINEN, J.; YANG, J. Light for all? Evaluating Brazil's rural electrification progress, 2000-2010. **Energy Policy**, v. 86, p. 315–327, 2015.

TANNER, A. M.; JOHNSTON, A. L. The Impact of Rural Electric Access on Deforestation Rates. **World Development**, v. 94, p. 174–185, 2017.

UNIVERSITY OF EAST ANGLIA CLIMATIC RESEARCH UNIT; HARIS, I. C. .; JONES, P. D. **Dataset Record: CRU TS3.26: Climatic Research Unit (CRU) Time-Series (TS) Version 3.26 of High-Resolution Gridded Data of Month-by-month Variation in Climate (Jan. 1901- Dec. 2017)**. Centre for Environmental Data Analysis, 2019. Disponível em: <<https://catalogue.ceda.ac.uk/uuid/7ad889f2cc1647efba7e6a356098e4f3?jump=related-docs-anchor>>. Acesso em: 9 ago. 2020

VALER, L. R. et al. Assessment of socioeconomic impacts of access to electricity in Brazilian Amazon: Case study in two communities in Mamirauá Reserve. **Energy for Sustainable Development**, v. 20, n. 1, p. 58–65, 2014.

WOOLDRIDGE, J. M. **Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data**. 2. ed. Londres: The MIT Press, 2010.

CAPÍTULO 2

ARTIGO 2 - RELAÇÃO DE LONGO PRAZO ENTRE EMISSÕES DE CO₂, CRÉDITO RURAL E DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA LEGAL

RESUMO

Esse artigo tem o objetivo de analisar as relações de curto e longo prazo entre crédito rural, as taxas de desmatamento e as emissões de gases de efeito estufa pelo setor agropecuário na Amazônia Legal. Para atingir tal objetivo, foi aplicada a metodologia do *ARDL bounds test* para identificar se existiria uma relação de cointegração em nível e, então, verificar as relações de curto e longo prazo. Os resultados indicaram que, no longo prazo, um aumento na concessão de crédito contribuiria para a expansão das emissões de CO₂.

Palavras-chave: Crédito Agrícola. Desmatamento. Amazônia Legal.

ABSTRACT

This article aims to analyze the short and long-term relationships between rural credit, deforestation rates and greenhouse gas emissions by the agricultural sector in the Legal Amazon. To achieve this objective, the ARDL bounds test methodology was applied to identify if there would be a level cointegration relationship and then, verify the short- and long-term relationships. The results indicated that, in the long term, an increase in the granting of credit would contribute to the expansion of CO₂ emissions.

Keywords: Rural Credit. Deforestation. CO₂ Emissions.

1. INTRODUÇÃO

O desmatamento em larga escala de florestas tropicais tem sido uma questão de preocupação global, em virtude do papel destas florestas na conservação da biodiversidade e na mitigação das mudanças climáticas. As florestas absorvem cerca de 30% do carbono emitido no mundo pelos combustíveis fósseis e pela indústria (BRACK, 2019). Entretanto, mudanças no uso da terra como, desmatamento para agricultura e exploração florestal, tem provocado a perda de biomassa nessas florestas e emitido quantidade significativa de gases de efeito estufa na atmosfera (CANADELL *et al.*, 2007). Estima-se que cerca de 12% das emissões de gases de efeito estufa são derivados do desmatamento, efeito que se torna pior por causa das mudanças climáticas (BRACK, 2019).

O desmatamento na Floresta Amazônica tem desempenhado um papel particularmente importante no ciclo global do carbono nas últimas décadas (NUMATA *et al.*, 2011), apesar do Brasil ter conseguido reduzir o desmatamento em mais de 70% entre 2004 e 2019 (INPE, 2020). Políticas públicas restritivas e medidas privadas foram implantadas com o objetivo de coibir o desmatamento ilegal na Amazônia como, por exemplo, inclusão de novas áreas protegidas e terras indígenas, aplicação da lei apoiada por monitoramento de satélite e restrições de crédito a fazendeiros em jurisdição com altas taxas de desmatamento (BUSCH e ENGELMANN, 2018). No entanto, a área desmatada voltou a crescer em 2019 sendo responsável por 841 MtCO₂e das emissões brutas naquele ano (SEEG, 2020).

O desmate nesta região acontece, principalmente, pela conversão de áreas de floresta em áreas de pastagem e de lavouras, que se acelerou na década de 1960. Nesta época, o governo brasileiro iniciou um grande programa de desenvolvimento para integrar a região ao restante da economia. Uma das políticas utilizadas para o desenvolvimento da região foi a concessão de crédito a taxas de juros reais negativas, além de incentivos fiscais e concessões de terra a empreendedores que estivessem dispostos a abrir estabelecimentos agrícolas (ANDERSEN e REIS, 2015).

A Política de Crédito Rural tem sido, desde então, a principal política do governo para acelerar a difusão de novas tecnologias na agricultura (CARRER *et al.*, 2020), que possibilita o aumento de renda dos agricultores (CULAS, 2003), promove o uso mais eficiente da terra, avanços produtivos, limitam a expansão da área agrícola e priorizam os ganhos de produtividade (ANDERSEN e REIS, 2015; ASSUNÇÃO *et al.*, 2019). Assim, a intensificação

da pecuária e agricultura com a concessão de crédito é vislumbrada como um meio para o Brasil atingir tanto a redução das emissões, quanto a expansão das safras sem novos desmatamentos (GOUVELLO *et al.*, 2010).

Entretanto, a expansão da agricultura no país, em especial nos estados da Amazônia Legal, ocorreu às custas de 41 milhões de hectares de floresta, que foram convertidos em pastagem ou terra para cultivo entre 1990 e 2019 (INPE, 2021). Os efeitos dessa expansão têm contribuído para as mudanças climáticas. Dessa forma, mitigar esses efeitos no clima tem se tornado um desafio para o setor agrícola no Brasil (STABILE *et al.*, 2020).

Os programas de crédito, como Programa ABC e Resolução 3545, podem ajudar na intensificação dos resultados das políticas ambientais, como a Política Nacional de Mudanças Climáticas. Contudo, não é possível garantir que o resultado conjunto dessas políticas reduziria a demanda por terras próximas a florestas, resultando na mitigação de emissões de gases.

Assim, esse artigo tem o objetivo de analisar as relações de curto e longo prazo entre crédito rural, as taxas de desmatamento e as emissões de gases de efeito estufa pelo setor agropecuário na Amazônia Legal. Para atingir tal objetivo, é aplicada a metodologia do *ARDL bounds test* para identificar se existiria uma relação de cointegração em nível e, então, verificar as relações de curto e longo prazo. Os resultados sugerem que o crédito rural contribuiria para a expansão das emissões de CO₂ ao longo do tempo.

Além desta introdução, este artigo tem mais oito seções. As seções dois e três trazem o histórico e informações sobre o crédito rural no Brasil e a Política Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC), respectivamente. Logo depois, é apresentada uma revisão de literatura sobre a relação do crédito com o meio ambiente e sobre as emissões e desmatamento. Na quinta seção, é descrita a base de dados que será utilizada. Após apresentação dos dados tem-se a explicação da especificação do modelo econométrico e da estratégia empírica. Na oitava seção tem a discussão dos resultados e, por fim, a conclusão do estudo.

2. O CRÉDITO RURAL NO BRASIL

Em 1965 foi criado o Sistema Nacional de Crédito Rural (SNCR) e institucionalizada a Política de Crédito Rural – Lei nº 4829, de 05 de novembro de 1965 (BRASIL, 1965). A oferta de crédito rural subsidiado tem sido uma das principais políticas do Governo Brasileiro para

acelerar a difusão de inovações na agricultura (CARRER et al., 2020). Dois dos objetivos dessa política são: i) possibilitar o fortalecimento econômico dos produtores rurais, notadamente pequenos e médios; e ii) incentivar a introdução de métodos racionais de produção, visando ao aumento da produtividade e à melhoria do padrão de vida das populações rurais, e à defesa do solo (BACEN, 2018).

O SNCR é composto por órgãos básicos, vinculados e articulados (BACEN, 2008a), como Banco Central do Brasil (Bacen), Banco do Brasil (BB), Banco da Amazônia (Basa) e Banco do Nordeste (BNB). Os órgãos vinculados são o Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), bancos privados e estaduais, Caixa Econômica Federal, cooperativas de crédito rural e sociedades de crédito. Por fim, os órgãos articulados são os órgãos oficiais de valorização regional e entidades de prestação de assistência técnica (BACEN, 2008a).

O crédito rural é concedido para produtores rurais, tanto pessoa física quanto jurídica, e cooperativa de produtores rurais. Na concessão do crédito deve ser observada a condição do produtor quanto a sua Receita Bruta Agropecuária Anual (RBA) e classificá-lo em: pequeno produtor (até R\$ 415.000,00); médio produtor (acima de R\$ 415.000,00 até R\$ 2.000.000,00) e; grande produtor (acima de R\$ 2.000.000,00). Como a legislação básica do SNCR foi elaborada em um contexto diferente do atual cenário do agronegócio brasileiro, foi preciso complementá-la com outras leis e programas ao longo dos anos (BANCO DO BRASIL, 2004), como apresentado abaixo.

Em 1986 foi criado o Fundo de Defesa da Economia Cafeeira (Funcafé) com o objetivo de financiar, modernizar e incentivar a produtividade da cafeicultura, da indústria do café e da exportação. Em 1995 foi desenvolvido o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf), para o financiamento de atividades e serviços rurais agropecuários e não-agropecuários desenvolvidos em estabelecimentos rurais, com a finalidade de estimular a geração de renda e melhorar o uso de mão de obra familiar. Para a aquisição de imóvel rural criou-se o Fundo de Terras e da Reforma Agrária (FTRA) em 1998. Para as operações de custeio, investimento e assistência técnica para os médios produtores, foi criado o Programa Nacional de Apoio ao Médio Produtor (Pronamp) em 2010 (BANCO DO BRASIL, 2004).

Dada a relevância da agropecuária para a economia nacional, como os ciclos da cana de açúcar, algodão, café e, mais recentemente, da soja, os governos criaram estratégias para a

planejar a produção agrícola. Essa estratégia se materializou no Plano Safra, divulgado no início do segundo semestre civil de cada ano. Esse plano contempla as medidas de incentivo à produção de determinados produtos e o volume de recursos destinados à agropecuária, como o crédito a juros menores a ser disponibilizado no ano safra, período entre julho do ano corrente e junho do ano seguinte (BANCO DO BRASIL, 2004).

Para que o SNCR entrasse em conformidade com as políticas ambientais estabelecidas no país, o Banco Central publicou a Resolução nº 3.545, de 29 de fevereiro de 2008 (BACEN, 2008b). Ela altera o Manual do Crédito Rural (MCR) para estabelecer a exigência de documentação comprobatória de regularidade ambiental e outras condicionantes para o financiamento agropecuário na Amazônia. De acordo com Assunção *et al.* (2020), como todos os agentes de crédito foram obrigados a seguir as novas regras, essa resolução poderia ser uma barreira de acesso ao crédito. Além dessa resolução e com o objetivo de reduzir as emissões de gases de efeito estufa oriundas das atividades pecuárias, reduzir o desmatamento, aumentar a produção agropecuária em bases sustentáveis, adequar as propriedades rurais à legislação ambiental, ampliar a área de florestas cultivadas e estimular a recuperação de áreas degradadas, em 2010 foi lançado o Programa para Redução da Emissão de Gases de Efeito Estufa na Agricultura (Programa ABC).

3. A POLÍTICA NACIONAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA (PNMC)

A PNMC foi instituída em 2009 pela Lei nº 12.187 (BRASIL, 2009) e modificada em 2018 e 2019 pelos decretos nº 9.578 e nº 10.143 (BRASIL, 2018, 2019). Tal política tem como objetivos, entre outros, compatibilizar o desenvolvimento econômico-social com a proteção do sistema climático; redução das emissões antrópicas de gases de efeito estufa; implementação de medidas para promover a adaptação à mudança do clima; à preservação, conservação e recuperação dos recursos ambientais.

Os instrumentos da Política são o Plano Nacional sobre Mudança do Clima; Fundo Nacional sobre Mudança do Clima; as linhas de crédito e financiamento específicas de agentes financeiros públicos e privados; desenvolvimento de linhas de pesquisa por agências de fomento; os mecanismos financeiros e econômicos referentes à mitigação da mudança do clima que existam no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima e do Protocolo de Quioto. Além dessas medidas gerais, devem ser considerados para atingir os

objetivos da política, os planos de ação para prevenção e controle do desmatamento nos biomas e planos setoriais de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas, tais como: Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento da Amazônia Legal (PPCDAm); Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado (PPCerrado); Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE); Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC); e Plano Setorial de Redução de Emissões da Siderurgia (BRASIL, 2008).

O país estabeleceu um compromisso com ações de mitigação das emissões de gases de efeito estufa para entre 36,1% e 38,9% as emissões até o fim de 2020. Ou seja, o país, almejava reduzir as emissões entre 1.168 milhões de tCO₂e e 1.259 milhões de tCO₂e, para atingir a meta de 3.236 milhões tCO₂e (BRASIL, 2009, 2018). Ainda de acordo com o plano, essa projeção englobaria as emissões dos setores de mudança do uso da terra (1.404 milhões de tCO₂e), energia (868 milhões de tCO₂e), agropecuária (730 milhões de tCO₂e) e processos industriais e tratamento de resíduos (234 milhões de tCO₂e) (BRASIL, 2008).

Para o cumprimento dessas metas, foram listadas ações contidas nos planos de prevenção e controle do desmatamento. Entre elas tem-se a redução em 80% dos índices anuais de desmatamento na Amazônia Legal em relação à média entre 1996 e 2005 e de 40% no Cerrado em relação à média entre 1999 e 2008; recuperação de 15 milhões de hectares de pastagens degradadas; ampliação do sistema de integração lavoura-pecuária-floresta em 4 milhões de hectares; expansão do plantio de florestas em 3 milhões de hectares. Além da PNMC, em 2015 o Brasil assinou o Acordo de Paris na 21^a Conferência das Partes (COP21), o qual se comprometeu a reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% até 2025 e apresentou um indicativo de redução de 43% até 2030 em relação aos níveis de 2005 (BRASIL, 2020a).

Apesar de todas os compromissos assumidos com o PNMC, as estimativas para emissões e desmatamento para 2020 indicam que o Brasil não conseguiu atingir as metas. O Relatório do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) divulgado pelo Observatório do Clima, mostra que as emissões brutas de gases de efeito estufa aumentaram em 9,6% em 2019 (SEEG, 2020). O que equivale ao lançamento na atmosfera de 2,17 bilhões de tCO₂e contra 1,98 bilhão em 2018.

Ainda de acordo com o relatório, esse resultado consolida uma reversão da tendência de redução das emissões ocorrida entre 2004 e 2010. Desde então, o país elevou em 28,2% a quantidade de gases de efeito estufa emitidos na atmosfera. Esse aumento das emissões nos últimos anos está descolado da geração de riqueza, já que o PIB a partir de 2010 cresceu, em média, pouco mais de 1% a.a. (SEEG, 2020). O setor que mais tem contribuído para a expansão das emissões é o de mudanças de uso da terra, puxada pelo desmatamento. Esse setor representa 44% dos gases emitidos no país em 2019, 4% a mais em relação ao ano anterior. Esse crescimento coincide com o crescimento do desmatamento observado na Amazônia Legal que foi 34,4% maior que o observado em 2018 (INPE, 2020b).

O segundo setor que mais contribuiu para as emissões no país foi a agropecuária (598,7 milhões de tCO₂e – 30%), seguido pelo setor de energia (413,7 milhões de tCO₂e – 19%). O setor de processos industriais e uso de produtos foi o único setor que apresentou redução nas emissões (99 milhões de tCO₂e – 5%). O setor de resíduos é aquele que menos emitiu gases na atmosfera em 2019 (96,1 milhões de tCO₂e – 4%) (SEEG, 2020).

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1 RELAÇÃO ENTRE CRÉDITO RURAL, MEIO AMBIENTE E ECONOMIA

A disponibilidade de crédito agrícola subsidiado tem sido uma das principais políticas para aumentar a produtividade e a renda de agricultores em países em desenvolvimento. Os programas para essas políticas são baseados na teoria de que a principal barreira que impede a mudança de tecnologias utilizadas na agricultura tradicional para modernas e produtivas tecnologias, seria a incapacidade dos agricultores de comprar insumos necessários, como fertilizantes, devido à falta de facilidade de crédito (CULAS, 2003).

As relações do crédito com o desmatamento, a renda e as emissões foram discutidas por uma série de autores na literatura econômica, tais como Angelsen e Kaimowitz (1999); Browder, Pedlowski e Summers (2004); Garrett, Lambin e Naylor (2013); Arima *et al.* (2014); Andersen e Reis (2015); Assunção *et al.* (2019b). Segundo Angelsen e Kaimowitz (1999), a expansão do crédito poderia reduzir a pressão sobre as áreas de floresta se esse crédito fosse usado para investimentos em agricultura mais intensiva ou para o manejo florestal. Entretanto, poderia aumentar a pressão sobre as florestas se fosse utilizado para atividades financeiras

associadas com o desmatamento florestal, como a criação extensiva de gado. Portanto, a relação entre crédito e desmatamento é ambígua. Por um lado, quando os mercados são completos e os produtores têm livre acesso ao crédito, a decisão de desmatar não dependeria da disponibilidade de renda. Por outro lado, quando os mercados são incompletos e os produtores enfrentam restrições de crédito, espera-se que variações exógenas no crédito afetem as decisões de produção agrícola e, portanto, de reduzir áreas de florestas (ANGELSEN e KAIMOWITZ, 1999; GARRETT, LAMBIN e NAYLOR, 2013; ASSUNÇÃO *et al.*, 2020).

Essa ambiguidade entre crédito e desmatamento pode ser vista em alguns estudos para a Amazônia Brasileira. Para o período entre 1970 e 1985, foram encontradas evidências de que o desmatamento ocorrido na Amazônia Legal foi provocado pelas políticas de desenvolvimento, como a construção de estradas (72%) e concessão de crédito subsidiado (28%) (ANDERSEN e REIS, 2015). Isto é, o crédito impactaria o desmatamento, mas o impacto seria menor que outras políticas de desenvolvimento, sendo o instrumento mais eficiente em termos de *trade-off* entre PIB e desmatamento. Para anos mais recentes, foram encontradas evidências também de que o crédito não seria um fator significativo na decisão do uso da terra (BROWDER, PEDLOWSKI e SUMMERS, 2004). Por outro lado, a expansão da concessão de crédito rural impactaria de forma positiva as áreas de floresta (ASSUNÇÃO *et al.*, 2019). Ou seja, o crédito poderia promover ganhos de produtividade, o que aliviaria a pressão sobre as florestas.

Alguns estudos avaliaram o efeito da Resolução nº 3.545, que entrou em vigor em 2008 para conceder crédito apenas a proprietários de terra que comprovasse titulação das terras e que estivessem de acordo com as normas ambientais. De acordo com Arima *et al.* (2014), a resolução seria pouco efetiva na concessão de crédito, porque o volume de crédito na Amazônia teve expansão de mais de 100% entre 2007 e 2011. Já para Assunção *et al.* (2020), após a resolução, a concessão do crédito apresentou redução significativa, principalmente para a pecuária. Além do mais, apenas os empréstimos para médios e grandes produtores foram afetados, resultado que é consistente com o fato de que os requisitos de políticas são menos rigorosos para pequenos produtores. A conclusão geral dos autores foi de que a redução na concessão de crédito reduziria também o desmatamento.

A oferta de crédito rural também seria capaz de impactar o PIB dos municípios e a produção agrícola. O aumento da oferta de crédito rural proporcionaria um aumento no PIB rural e urbano (COSTA JUNIOR, 2018; NEVES *et al.*, 2020). Choques positivos de oferta de

crédito promoveriam avanços produtivos, limitando a expansão da área agrícola e priorizariam os ganhos de produtividade (GARRETT, LAMBIN e NAYLOR, 2013; ASSUNÇÃO et al., 2019). Além do mais, a expansão da concessão de crédito afetaria de forma positiva o PIB porque permitiria investimentos em colheitas permanentes que dão maiores retornos por hectares e, ao contrário da construção de estradas, o crédito é destinado naturalmente para projetos de maior retorno (ANDERSEN e REIS, 2015). Evidências mostram que a área plantada e os rendimentos são maiores em regiões onde existam fontes de crédito mais barato e níveis maiores de crédito (GARRETT, LAMBIN e NAYLOR, 2013; PAULA FILHO, CALVI e CASTRO, 2016; MAIA, EUSÉBIO e DA SILVEIRA, 2019).

Resultados mostram que o acesso ao PRONAF tem impactos positivos na produção agrícola (PAULA FILHO, CALVI e CASTRO, 2016; MAIA, EUSÉBIO e DA SILVEIRA, 2019). O programa teria maior impacto em regiões mais pobres, como o Nordeste. Contudo, a efetividade do PRONAF depende da infraestrutura básica que facilitaria acesso ao mercado de crédito (PAULA FILHO, CALVI e CASTRO, 2016). Como, por exemplo, em localidades na Amazônia, região com menor impacto do PRONAF, devido à ausência de infraestrutura básica e de agentes bancários (MAIA, EUSÉBIO e DA SILVEIRA, 2019). A política de crédito brasileira tem sido capaz de aumentar a renda dos produtores rurais, mas também tem ajudado a aumentar a desigualdade de renda, com exceção do PRONAF (NEVES *et al.*, 2020).

O impacto do crédito rural na produção agrícola e do município está relacionado com o aumento do investimento em técnicas de manejo mais produtivas e eficientes. De acordo com De Castro e Teixeira (2012) e Garrett, Lambin e Naylor (2013), os agricultores enfrentam restrições orçamentárias para a compra de insumos e o programa de crédito poderia expandir a oferta de produtos agrícolas. Carrer *et al.* (2020) concluíram que o acesso ao crédito rural impactaria de forma positiva a adoção do Sistema Integrado Lavoura-Pecuária, um sistema mais eficiente e sustentável para a rotação de culturas, em estabelecimentos rurais no estado de São Paulo.

A integração de programas de crédito também ajudaria no aumento da eficiência da pecuária e na mitigação de emissões, como o Programa ABC e o Programa de desenvolvimento da criação de gado de Santa Catarina. A análise conjunta desses programas indica que eles promoveriam melhorias no manejo de pastagens e na gestão da atividade, com investimentos na recuperação de pastagens, manejo adequado e redução na idade de abate dos animais, com potencial para a mitigação da emissão de gases de efeito estufa (COSTA *et al.*, 2019).

4.2 RELAÇÃO ENTRE EMISSÕES, DESMATAMENTO E ECONOMIA

As emissões derivadas de alguns processos são consideradas um dos componentes mais incertos de estimar do ciclo de carbono global (AGUIAR *et al.*, 2012). As queimadas que promovem o desmatamento liberam, além do gás carbônico (CO₂), gases-traço como metano (CH₄), monóxido de carbono (CO) e nitroso de oxigênio (N₂O). A biomassa que não foi queimada inicialmente, será oxidada por dois processos. O primeiro seria o processo de decomposição, que emite uma quantidade pequena de CH₄ pela madeira consumida por cupins. O segundo processo se dá pelas requeimadas, isto é, queimadas de pastagens que também consomem restante de floresta original presente na área, que emitem maiores volumes de gases-traço (FEARNSIDE, 2002). Ao longo dos anos muitos estudos se atentaram a estimar a contribuição das mudanças do uso da terra e desmatamento na emissão de gases de efeito estufa - Potter, Klooster e Genovese (2009); Galford *et al.* (2011); Numata *et al.* (2011); Leite *et al.* (2012) Novaes *et al.* (2017)

Em uma análise sobre a mudança do uso da terra para o Mato Grosso entre 1901 e 2006, pode-se observar, até então, que 24% do território do estado teria sido convertido em pastagens e 10% em terras de cultivo. Desses usos, 80% se deram pelo desmatamento de floresta e 20% pelo desmatamento do Cerrado. As emissões líquidas de carbono do Mato Grosso a partir de 2000 pela mudança do uso do solo foram semelhantes às emissões provocadas pelos combustíveis fósseis no Brasil no mesmo período (GALFORD *et al.*, 2011). Segundo Leite *et al.* (2012), as emissões no Brasil de mudança no uso da terra seria 11 vezes maior do que as provocadas pela queima de combustíveis fósseis.

As emissões de carbono do desmatamento para expansão do cultivo de grãos na nova fronteira agrícola do Matopiba apresentou crescimento entre 2003 e 2013, contribuindo em 45% nas emissões do Cerrado (NOOJIPADY *et al.*, 2017). Entretanto, as maiores taxas de emissões de gases foram observadas na Amazônia e provocadas por lavouras que experimentaram expansão da área cultivada nessa região (NOVAES *et al.*, 2017). Em um estudo para o Paquistão, Aziz *et al.* (2020) identificaram que a agricultura seria o principal responsável pela degradação ambiental, pela utilização de combustíveis fósseis e fertilizantes ricos em nitrogênio. Apesar da redução das taxas de desmatamento na Floresta Amazônica, observou-se no período entre 2006 e 2010 que a importância relativa das emissões de carbono da

fragmentação florestal aumentou (NUMATA *et al.*, 2011). Além disso, as emissões de carbono seria maiores nas regiões Leste e Norte da Amazônia (POTTER, KLOOSTER e GENOVESE, 2009).

Desde 1990, a mudança no uso da terra tem sido a fonte de emissões de gases mais importante no Brasil (LA ROVERE *et al.*, 2013). De acordo com Aguiar *et al.* (2012), os esforços para reduzir as emissões de gases na Amazônia Brasileira não deveria focar somente em controlar o desmatamento da floresta primária, mas também em criar incentivos para o reflorestamento de florestas secundárias. Entretanto, como a mudança no uso da terra na Amazônia Brasileira é dominada pela transformação de floresta em áreas de pastagens, a regeneração dessas áreas em floresta secundária ocorre mais lentamente do que em áreas de cultivo, levando a uma menor absorção de carbono do que se acredita (FEARNSIDE e GUIMARÃES, 1996). Assim, a taxa de emissões provocada pelo desmatamento e pelo corte de florestas secundárias na região excederia em muito a absorção da regeneração da vegetação de substituição.

Portanto, promover a redução de emissões pelo desmatamento de florestas tropicais traria melhor custo-benefício para a mitigação das mudanças climáticas do que a promoção de outras ações em outras regiões e setores (BUSCH e ENGELMANN, 2018). Por outro lado, baseado na hipótese da Curva de Kuznets Ambiental, o país não deveria adotar nenhuma política ou ação que pudesse ter impactos conservadores na renda com o objetivo de reduzir as emissões (ALAM *et al.*, 2016). Isso porque o crescimento da emissão de gases de efeito estufa por Índia, China, Indonésia e Brasil está associada não somente com o desmatamento, mas também com a dinâmica populacional e geração de riqueza nesses países. No Paquistão, as evidências mostram que as emissões de dióxido de carbono seriam um fator significativo que tem contribuído para o crescimento econômico do país, tanto no curto quanto no longo prazo (ABBASI *et al.*, 2021). Entretanto, existem evidências também de que as emissões aumentam de forma mais rápida em momentos de recessão econômica do que durante as fases de expansão econômica (BALOCH *et al.*, 2021). Além disso, as emissões de CO₂ teriam uma relação negativa com energia renovável e positiva com o investimento estrangeiro e crescimento populacional (HUSSAIN; REHMAN, 2021).

Ainda segundo Alam *et al.* (2016), no Brasil as emissões de gases tendem a se reduzir ao longo do tempo com a expansão da renda. Diferentemente do encontrado por La Rovere *et*

al. (2013), de que indicou que se nenhuma ação de mitigação for implementada após 2020, as emissões tenderiam a aumentar, devido ao crescimento da população e da economia.

O estudo se concentra em avaliar a relação do desmatamento, crédito rural, produção de soja, criação de gado e do crescimento econômico no nível das emissões de CO₂ do setor agropecuário na Amazônia Legal. Ele avança na literatura ao realizar uma avaliação, até então inédita, da relação de curto e longo prazo entre a concessão de crédito agrícola e as emissões de carbono pelo setor rural. Essa relação é avaliada em um horizonte de 30 anos, maior série de crédito rural já utilizada na literatura. Além disso, a metodologia de séries temporais, ARDL nunca foi utilizada nos estudos para analisar a relação entre crédito e emissões de CO₂.

5. BASE DE DADOS

A base de dados consiste em observações anuais da região da Amazônia Legal para o período de 1990 a 2019. Será considerado para a análise o total das emissões de dióxido de carbono (CO₂) do setor da agropecuária, estimadas e disponibilizadas pelo Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) do Observatório do Clima (SEEG, 2019). As emissões de CO₂ são comumente utilizadas como uma medida de poluição na literatura. Além de estar presente naturalmente na natureza, o CO₂ é um subproduto da queima de combustíveis fósseis e biomassa, mudança do uso da terra, do processo agrícola e industrial. Para as estimações, será utilizado o CO₂ equivalente *Global Warming Potential* (CO₂eGWP).

A medida de desmatamento é a área desmatada em km² anualmente na Amazônia Legal, que representa a eliminação de cobertura florestal primária por corte raso, disponibilizado pelo Programa de Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2020a).

Os dados sobre crédito rural correspondem ao valor em R\$ do crédito contratado em cada estado da Amazônia Legal⁷ e disponibilizado na Matriz de Dados do Crédito Rural pelo Banco Central do Brasil (BACEN, 2020). Para a análise serão utilizados o valor total do crédito agrícola contratado por produtores e cooperativas na região da Amazônia Legal. O valor de

⁷ No estado do Maranhão, 181 municípios dos 217 existentes ou 83% do total, pertencem a Amazônia Legal. Assim, para o crédito rural, foram considerados para a análise, os dados sobre crédito para todo o estado do Maranhão.

crédito contratado, disponibilizado pelo Banco Central, corresponde ao valor do crédito à disposição do tomador. Isto é, o crédito contratado não se refere ao montante de recurso efetivamente liberado ao produtor, mas sim, ao montante de crédito disponível (BACEN, 2021).

A emissão de gases de efeito estufa pela criação de gado é um dos fatores significativos que contribuem para o aquecimento global (LYNCH, 2019; REISINGER e CLARK, 2017). O dióxido de carbono é emitido pela pecuária através da aplicação de cal e ureia no solo e, também, pela expansão do uso da terra (LYNCH, 2019). Assim, neste trabalho, é utilizada a série da criação de gado, que corresponde ao efetivo do rebanho de bovinos da Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM) (IBGE, 2019a).

A principal atividade agropecuária no Brasil, em termos de produção e exportação é a soja. A produção de soja é dependente de insumos como fertilizantes, combustível, maquinário e pesticidas que contribuem para a emissão de gases de efeito estufa. Por conta disso, o setor produtivo tem passado por mudanças nos últimos anos, com a adoção do plantio direto e a criação da Moratória da Soja, com o objetivo de reduzir os impactos ambientais (FEARNSIDE, 2017; NEPSTAD *et al.*, 2014; RAUCCI *et al.*, 2015). Portanto, neste estudo a série da produção de soja é utilizada nas estimações. Ela foi obtida da Pesquisa Agrícola Municipal (PAM), com os dados da produção de soja em grãos em toneladas (IBGE, 2019b).

A trajetória das emissões de CO₂ pode depender do papel que o crescimento econômico tem de influenciar essas emissões. De acordo com Balochet *al.* (2021), os efeitos do crescimento econômico sobre a emissão de gases de efeito estufa podem variar de acordo com o país, as fontes desse crescimento e, mais importante, as características estruturais do país. Portanto, para explicar a trajetória de curto e longo prazo das emissões de CO₂, é utilizado também a variável do Produto Interno Bruto (PIB), que foi obtido pelo somatório do PIB dos estados da Amazônia Legal e corresponde ao PIB real, a preços de 2010 (IBGE, 2021a, 2021b).

A Figura 1 mostra a trajetória das variáveis ao longo de 29 anos da série. As emissões de dióxido de carbono pelo setor da agropecuária foram crescentes ao longo do tempo, comportamento semelhante ao da criação de gado, produção de soja e PIB. As emissões de CO₂ pelo setor da agropecuária no início da década de 90 era de, aproximadamente, 67 milhões de toneladas. Em 2019, as emissões atingiram 206 milhões de toneladas. O número de cabeças de boi teve crescimento semelhante, passando de 26 milhões em 1990 para quase 90 milhões no

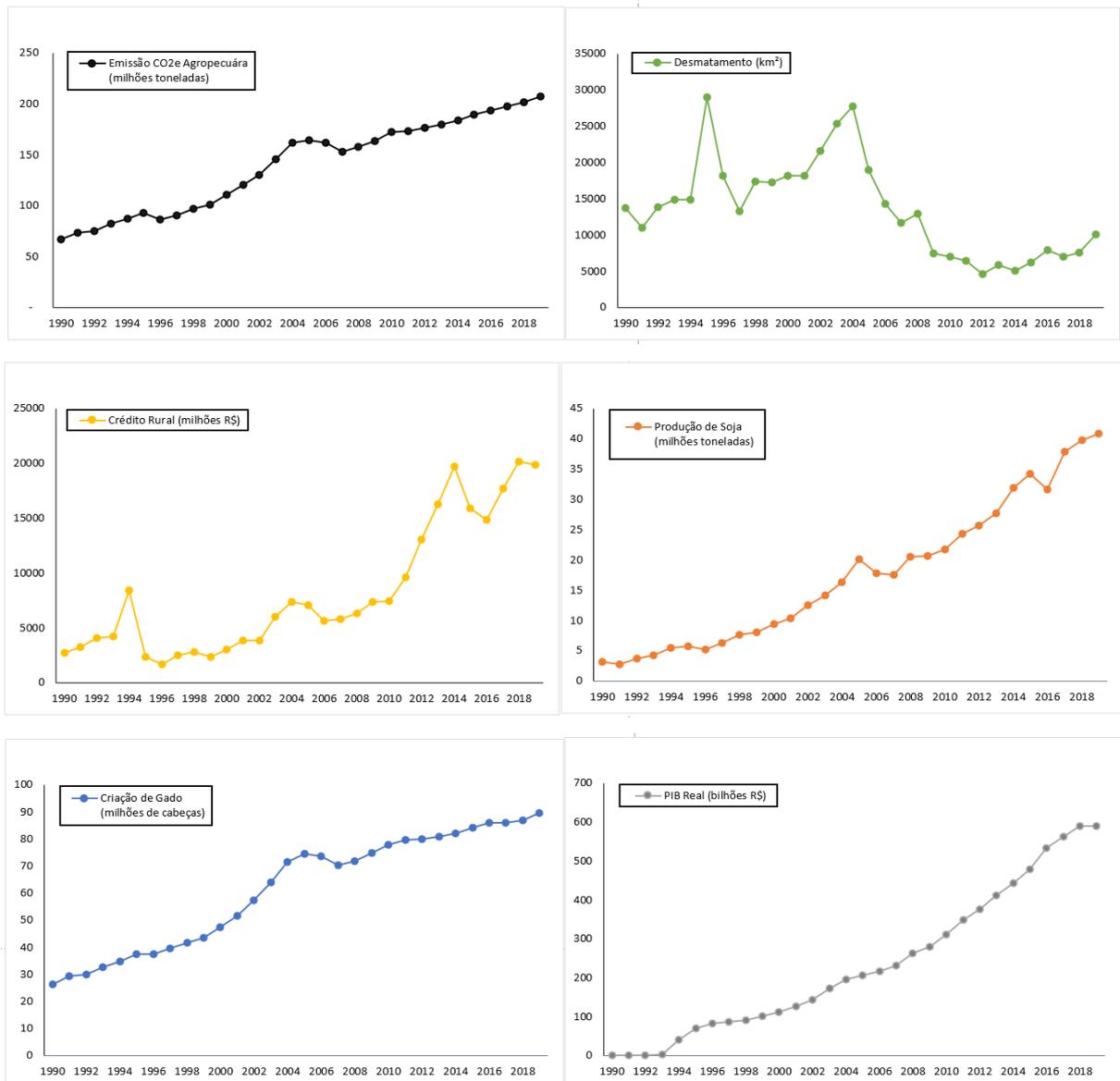
último ano da série. A expansão da soja foi ainda mais exponencial, com a produção passando de 3 milhões de toneladas para 40 milhões em 2019.

O crédito agrícola também aumentou ao longo dos anos, entretanto, teve momentos de queda. Na década de 1990, maior inserção da economia brasileira no mercado internacional, o Plano Real, a entrada de agentes privados no financiamento à agricultura e as variações na taxa de câmbio afetaram a política de crédito rural (RAMOS e JUNIOR, 2010). Além disso, as altas taxas de juros em conjunto com o câmbio valorizado no início do Plano Real, aumentou o endividamento dos produtores. Por conta disso, os agentes financeiros ficaram mais rigorosos para a concessão de crédito, o que pode explicar a queda brusca de 8 bilhões de reais concedidos em 1994 para 2 bilhões em 1995.

A partir da década de 2000, foram realizadas políticas de expansão do crédito. Em 2010 foram criados os Programas ABC e Pronamp, que aumentaram os limites de financiamento. Devido à crise na economia brasileira nos anos 2015 e 2016, a oferta de crédito sofreu uma redução em relação aos anos anteriores. Em 2017 as contratações de crédito rural voltaram a subir. Na Safra 2019/20 as contratações de crédito rural tiveram crescimento de 11% em relação à safra anterior, com um total de R\$ 191,83 bilhões. Quanto à finalidade, o maior valor foi para as operações de custeio, com R\$ 107,48 bilhões, seguido pelos investimentos com R\$50,36 bilhões. Os produtores do Pronaf e Pronamp foram responsáveis por 12,9% e 12,4%, respectivamente, do crédito contratado (BRASIL, 2020b).

A área desmatada na Amazônia Legal apresentou expansão e contração ao longo do tempo, com pico no ano de 1995, com uma área desmatada de 29059 km². Apesar disso, desde 2005 tem apresentado queda substanciais. Este fato pode ser explicado pela criação do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm) em 2004, que objetivava reduzir o desmatamento e a degradação da vegetação nativa em 80% em 2020. O menor nível de desmatamento ocorreu em 2012, com 4571 km². Após essa data, as taxas voltaram a subir, atingindo 10129 km² em 2019.

Figura 1 - Gráficos das Séries de Dados (1990-2019)



Fonte: Elaboração própria.

6. ESPECIFICAÇÃO DO MODELO ECONOMÉTRICO

Para examinar a presença de uma relação de equilíbrio de longo prazo entre a emissão de gases de efeito estufa, as taxas de desmatamento e o crédito rural, será empregada a abordagem do teste de fronteira para cointegração com um modelo autorregressivo lag distribuído (ARDL – *Autoregressive Distributed Lag*) desenvolvido por Pesaran, Shin e Smith (2001). Esta abordagem tem algumas vantagens em relação aos testes convencionais de cointegração como o teste de resíduos em dois passos para cointegração proposto por Engle e

Granger (1987) e o teste de cointegração geral sugerido por Johansen (1988) e Johansen e Juselius (1990). A primeira vantagem é que este teste pode ser aplicado, independentemente, se as variáveis são $I(0)$, $I(1)$ ou mutualmente cointegradas. A segunda é que esta abordagem não coloca a dinâmica de curto prazo nos resíduos. Além disso, o ARDL pode ser aplicado em pequenas amostras, diferentemente da abordagem de Johansen para cointegração que é eficiente apenas para grandes amostras. Dessa forma, o ARDL tem propriedades estatísticas mais robustas para testar a presença de cointegração. A quarta vantagem encontrada por Pesaran e Shin (1999) é de que a abordagem do teste de fronteira é mais eficiente em pequenas amostras.

A variável de interesse é a emissão por CO_2 , que é considerada a variável dependente. As variáveis independentes incluem o desmatamento ($DESM$), crédito agrícola ($CRED$), produção de soja ($SOJA$), número cabeças de boi (BOI) e PIB real (PIB). A forma funcional da relação entre as variáveis para o modelo linear está representada em (1):

$$CO_2 = f(DESM, CRED, SOJA, BOI, PIB) \quad (1)$$

O modelo da Equação (1) pode ser expresso em logaritmo para capturar os impactos do crédito e do crescimento econômico no longo prazo:

$$\ln CO_{2t} = \beta_0 + \beta_1 \ln DESM_t + \beta_2 \ln CRED_t + \beta_3 \ln SOJA_t + \beta_4 \ln BOI_t + \beta_5 \ln PIB_t + \varepsilon_t \quad (2)$$

Onde, $\ln CO_{2t}$ é o natural log das emissões de dióxido de carbono; $\ln DESM_t$ é o log natural da área desmatada; $CRED_t$ é o log natural do valor dos contratos em preços reais; $SOJA_t$ é o log natural da quantidade de soja produzida; BOI_t é o log natural do número de cabeças de gado; $\ln PIB_t$ é o log natural do PIB real (ano base = 2010); e ε_t é o termo de erro.

A variável dependente na equação (2) pode não se ajustar imediatamente ao nível de equilíbrio de longo prazo. Se existem evidências de uma relação entre as variáveis, um modelo

de correção de erros irrestrito (ECM) é estimado pelo teste dos limites. Nesse processo, cada variável é tomada como uma variável dependente e o ECM é definido como:

$$\begin{aligned}
 \Delta \ln CO_{2t} = & \beta_0 + \beta_1 \ln CO_{2t-1} + \beta_2 \ln DESM_{t-1} + \beta_3 \ln CRED_{t-1} + \beta_4 \ln SOJA_{t-1} \\
 & + \beta_5 \ln BOI_{t-1} + \beta_6 \ln PIB_{t-1} + \sum_{i=1}^n \varphi_1 \Delta \ln CO_{2t-j} + \sum_{i=0}^n \varphi_2 \Delta \ln DESM_{t-j} \\
 & + \sum_{i=0}^n \varphi_3 \Delta \ln CRED_{t-j} + \sum_{i=0}^n \varphi_4 \Delta \ln SOJA_{t-j} + \sum_{i=0}^n \varphi_5 \Delta \ln BOI_{t-j} \\
 & + \sum_{i=0}^n \varphi_6 \Delta \ln PIB_{t-j} + \varepsilon_t
 \end{aligned} \tag{3}$$

7. ESTRATÉGIA EMPÍRICA

O primeiro passo no processo de estimação é estimar a Equação (3) por Mínimos Quadrados Ordinários (MQO). Dessa forma, é possível conduzir o Teste de Wald ou Teste F para determinar a significância conjunta dos coeficientes das variáveis defasadas com o objetivo de examinar a existência de uma relação de longo prazo entre elas. O propósito de usar o Teste de Wald seria de verificar se as séries, em conjunto, seguem um processo estacionário no longo prazo. A hipótese nula (H_0) é: $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = \beta_6 = 0$, que assume que não existiria cointegração entre as variáveis, enquanto a hipótese alternativa (H_1), assume justamente o oposto: $\beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3 \neq \beta_4 \neq \beta_5 \neq \beta_6 \neq 0$.

A estatística F é então, comparada com os valores críticos (limites inferior e superior) calculados por Narayan (2005) para amostras entre 30 e 80 observações. Pesaran, Shin e Smith (2001) computaram valores críticos para grandes amostras, com mais de 500 observações. Deste modo, como a amostra possui uma série com 30 observações, neste estudo serão utilizados os valores críticos propostos por Narayan (2005). Se a estatística F calculada é maior que o valor crítico do limite superior, a H_0 é rejeitada e pode-se concluir que as variáveis têm uma relação de longo prazo, ou seja, são cointegradas no longo prazo. Em contrapartida, se a estatística F calculada é menor que o valor crítico do limite inferior, a H_0 não pode ser rejeitada,

o que significa que não existe cointegração. Por fim, se a estatística F calculada tiver valor entre os valores críticos inferior e superior, os resultados são inconclusivos.

No segundo passo, após estabelecer uma relação de cointegração entre as variáveis, é possível estimar o coeficiente de longo prazo do modelo ARDL, como mostra a Equação (4):

$$\begin{aligned} \ln CO_2 = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \varphi_1 \Delta \ln CO_{2t-i} + \sum_{i=0}^n \varphi_2 \Delta \ln DESM_{t-i} + \sum_{i=0}^n \varphi_3 \Delta \ln CRED_{t-i} \\ + \sum_{i=0}^n \varphi_4 \Delta \ln SOJA_{t-i} + \sum_{i=0}^n \varphi_5 \Delta \ln BOI_{t-i} + \sum_{i=0}^n \varphi_6 \Delta \ln PIB_{t-i} + \varepsilon_t \end{aligned} \quad (4)$$

O máximo de defasagens foi determinado pelo *Akaike Information Criteria* (AIC) para determinar a especificação ótima do ARDL. O próximo passo no ARDL é a estimação dos coeficientes de curto prazo usando o modelo de correção de erros. Portanto, a estimação do modelo de correção de erros pode capturar a velocidade de aproximação entre os níveis de curto e longo prazos da variável dependente:

$$\begin{aligned} \Delta \ln CO_{2t} = \varphi_0 + \sum_{i=1}^n \varphi_1 \Delta \ln CO_{2t-i} + \sum_{i=0}^n \varphi_2 \Delta \ln DESM_{t-i} + \sum_{i=0}^n \varphi_3 \Delta \ln CRED_{t-i} \\ + \sum_{i=0}^n \varphi_4 \Delta \ln SOJA_{t-i} + \sum_{i=0}^n \varphi_5 \Delta \ln BOI_{t-i} + \sum_{i=0}^n \varphi_6 \Delta \ln PIB_{t-i} + \varphi_7 \varepsilon_{t-1} \\ + u_t \end{aligned} \quad (5)$$

onde Δ representa uma mudança em CO_2 , $DESM$, $CRED$, $SOJA$, BOI , PIB e ε_{t-1} é o termo de correção de erros (ECT) defasado um período, estimado da equação (2). O ECT em (5) mostra a velocidade com que o desequilíbrio entre os valores de curto e longo prazo da variável dependente (CO_2) é eliminado em cada período. O valor da velocidade de convergência pode variar entre 0 (sem convergência após o choque) e -1 (perfeita convergência após o choque).

Assim, espera-se que ECT tenha sinal negativo e significativo, indicando que existiria uma causalidade de longo prazo.

Para assegurar que o modelo ARDL foi bem especificado, foram conduzidos testes de diagnóstico. Para avaliar a estabilidade dos coeficientes modelo foram aplicados os testes CUSUM e CUSUMSQ, em que a inferência é baseada na soma cumulativa dos resíduos e dos resíduos ao quadrado. Para examinar a existência de heteroscedasticidade utilizou o Teste de Breusch-Pagan-Godfrey, a autocorrelação foi avaliada pelo Teste LM de Breusch -Godfrey. Por fim, para testar se o modelo foi bem especificado, foi realizado o Teste de Ramsey RESET.

8. RESULTADOS

A análise de dados de séries temporais assume que as séries de tempo são estacionárias. Entretanto, muitas séries econômicas são tipicamente não-estacionárias, implicando que os testes t e F clássicos não são apropriados, resultando em conclusões errôneas. Além disso, a análise de cointegração tem início com a determinação das propriedades univariadas das séries de tempo. O conceito de cointegração requer que todas as variáveis sejam integradas de mesma ordem e sua combinação linear deve ser estacionária. Se as séries não seguem a mesma ordem de integração, então não pode haver nenhuma relação significativa entre elas. Por outro lado, se as séries são integradas de mesma ordem, é razoável prosseguir com o teste de cointegração (ALAM et al., 2016).

Para aplicar o teste dos limites ARDL de Pesaran, Shin e Smith (2001), não existe a necessidade de checar a ordem de integração das variáveis. Entretanto, foram conduzidos testes de raiz unitária para assegurar que nenhuma variável tenha ordem de integração maior que $I(1)$. Foram aplicados os testes, Dickey Fuller Aumentado (ADF), Dickey Fuller mínimos quadrados generalizados (ERS) e Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS), em nível e em primeira diferença com intercepto e com intercepto e tendência para todas as variáveis. De acordo com os resultados reportados na Tabela 1, todas as variáveis são não estacionárias em nível, mas se tornam estacionárias em primeira diferença.

Considerando as variáveis estacionárias em primeira diferença, foi realizado o teste de limites para a cointegração entre as variáveis em três cenários diferentes. A Tabela 2 apresenta os resultados da estatística F desse teste. O Modelo 1 representa o modelo com constante e sem

tendência determinística, o Modelo 2 é aquele com tendência determinística restrita e o Modelo 3 é o modelo com tendência determinística irrestrita. Antes de aplicar o teste, foi preciso determinar a ordem máxima de defasagens (p), que pelo critério de AIC foi igual a 1.

Tabela 1 – Testes de Raiz Unitária

Teste	Variáveis	Nível		Primeira Diferença	
		Intercepto	Intercepto e Tendência	Intercepto	Intercepto e tendência
ADF	LCO2	-1,3789	-1,4290	-3.7318*	-3.8615*
	LDESM	-1,3579	-1,9180	-5.7255*	-5.6380*
	LCRED	-0,9722	-2,6120	-5.6672*	-4.7772*
	LSOJA	-1,3186	-1,8150	-6.5253*	-5.1516*
	LBOI	-1,5828	-0,9798	-3.0754**	-3.4854***
	LPIB	-6,7576*	-6,8516*	-2,9819**	-3,0068
ERS	LCO2	0,0271	-1,5348	-3.4634*	-3.9758*
	LDESM	-1,3702	-1,8990	-5.6641*	-5.6063*
	LCRED	-0,7514	-2,6726	-5.7350*	-5.7675*
	LSOJA	-0,2901	-1,9330	-4.4650*	-6.0761*
	LBOI	0,0236	-1,2045	-2.5941**	-3.6048**
	LPIB	-0,5768	-2,9863***	-2,4230**	-3,0674***
KPSS	LCO2	0.6850**	0.1597**	0,3209	0,0563
	LDESM	0.4264***	0.1191***	0,1204	0,1191
	LCRED	0.6285**	0.1245***	0,1259	0,1188
	LSOJA	0.7027**	0.1779**	0,2811	0.2016**
	LBOI	0.6735**	0.1758**	0.4272***	0,1011
	LPIB	0,5274**	0,1610**	0,4234***	0,1432***

Fonte: Elaboração Própria.

* Indica significância a 1%. Valores críticos: ADF = -3.6892/-4.3239, DF-GLS = -2.6501/-1.5349, KPSS = 0.739/0.216.

** Indica significância a 5%. Valores críticos: ADF = -2.9718/-3.5806, DF-GLS = -1.9533/-3.19, KPSS = 0.463/0.146

*** Indica significância a 10%. Valores críticos: ADF = -2.6251/-3.2253, DF-GLS = -1.6098/-2.89, KPSS = 0.347/0.119

Assim, ao analisar a estatística F calculada com os valores críticos propostos por Narayan (2005), pode-se testar se existe uma relação de longo prazo no modelo. Para $p = 1$, o valor da estatística F está fora do intervalo para os valores críticos ao nível de 5%, então a hipótese nula é rejeitada. Ou seja, não existe equação em nível em todos os casos, com ou sem tendência determinística. Portanto, a evidência é de que existe cointegração entre as emissões de CO₂ e as variáveis independentes. Os valores críticos para o nível de 5% de significância e cinco variáveis independentes ($k=5$), são reportados nas colunas de I(0) e I(1) na Tabela 2.

A Tabela 3 mostra os resultados da estimação de longo prazo das variáveis nas emissões de CO₂. No modelo com constante e sem tendência, todas as variáveis são significativas, enquanto no modelo com constante e tendência, soja e PIB não apresentaram significância ao nível de 10%. O coeficiente do PIB apresentou um valor pequeno e negativo, indicando que o crescimento econômico teria uma relação de longo prazo fraca com a emissão de dióxido de carbono pelo setor da agropecuária na Amazônia Legal ao nível de 10% de significância.

Tabela 2 – Teste do Limites

Teste dos Limites			Hipótese nula: não existe relação em nível	
Estatística	Valor	Significância	I(0)	I(1)
Sem Tendência Determinística (Modelo 1)				
Valor de F	9.6745	5%	3.125	4.608
<i>K</i>	5			
Com Tendência Determinística Restrita (Modelo 2)				
Valor de F	9.2838	5%	3.504	4.743
<i>K</i>	5			
Com Tendência Determinística Irrestrita (Modelo 3)				
Valor de F	7.9853	5%	3.818	5.253
<i>K</i>	5			

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 3 – Coeficientes de longo prazo estimados pelo ARDL

Variáveis	Equação em nível com constante	Equação em nível com constante e tendência
LDESM	0.016486*** (0.007952)	0.022273** (0.008337)
LCRED	0.027007*** (0.014581)	0.030319** (0.013367)
LSOJA	0.120703* (0.035694)	0.01974 (0.046722)
LBOI	0.672434* (0.047935)	0.765878* (0.047528)
LPIB	-0.004037*** (0.001979)	-0.00234 (0.002002)
C	4.005539* (0.507759)	0.0049** (0.002222)

Fonte: Elaboração própria.

* Indica significância a 1% para o ARDL (1,0,1,1,1) na equação com constante e ARDL (1,0,1,0,1,1) na equação com constante e tendência, selecionada pelo AIC. LCO₂ é a variável dependente e os erros-padrão estão entre parênteses.

** Indica significância a 5%.
 *** Indica significância a 10%.

Como esperado, as emissões de CO₂ da agropecuária teria uma relação de longo prazo positiva e significativa com as taxas de desmatamento na Floresta Amazônica. Além disso, foi possível confirmar que o número de cabeças de boi, com o maior coeficiente positivo, teria uma relação de longo prazo com as emissões de dióxido de carbono ao nível de 1% (Tabela 3).

Era esperado que a concessão de crédito agrícola fosse um fator que tivesse contribuído para a redução das emissões pelo setor agropecuário ao longo dos anos, já que essa política poderia promover o uso mais eficiente da terra, com avanços produtivos, que limitam a expansão da área agrícola (Tabela 3). Entretanto, os resultados sugerem que, no longo prazo, a expansão do crédito agrícola aumentaria as emissões de CO₂ pela agropecuária na região da Amazônia Legal. Esse resultado mostra que a política de crédito não tem sido muito utilizada para deixar os sistemas de produção mais sustentáveis, que aumentam a produtividade, reduzem o desmatamento e, conseqüentemente, as emissões de gases de efeito estufa.

Tabela 4 – Coeficientes de curto prazo estimados pelo ARDL⁸

Variável Dependente: DLCO2		
Variáveis	Estimação com constante	Estimação com constante e tendência
LDESM	0.013788*** (0.007653)	0.01967** (0.009005)
DLCRED	0.010503*** (0.005079)	0.00996** (0.004612)
DLSOJA	0.057265* (0.015903)	0.017433 (0.040032)
DLBOI	0.928794* (0.034702)	0.986473* (0.038695)
DLPIB	0.005411** (0.002016)	0.007104* (0.001987)
C	3.349989* (0.389471)	3.322969* (0.001987)

⁸ A variável LDESM tem lag ótimo igual a 0 (zero) nos dois modelos, enquanto a variável LSOJA tem lag 0 no modelo com constante e tendência. Elas são interpretadas como: $Z = Z(-1) + D(Z)$. Nesses casos, o coeficiente das variáveis defasadas e em diferença será o mesmo coeficiente estimado pelo ARDL no longo prazo.

ECT(-1)	-0.836339*	-0.883139*
	(0.093208)	(0.094874)

Fonte: Elaboração própria.

* Indica significância a 1% para o ARDL (1,0,1,1,1,1) na equação com constante e ARDL (1,0,1,0,1,1) na equação com constante e tendência, selecionada pelo AIC. LCO₂ é a variável dependente e os erros-padrão estão entre parênteses.

** Indica significância a 5%.

*** Indica significância a 10%.

Os resultados das regressões do modelo de correção de erros no curto prazo são apresentados na Tabela 4. A variável LDESM tem lag igual a zero nos dois modelos e LSOJA tem lag igual a zero no modelo com constante e tendência. Dessa forma, não é possível estimá-las em diferenças e com defasagens. Portanto, o coeficiente associado a LDESM e LSOJA no curto prazo é o mesmo coeficiente estimado pelo modelo de correção de erros de longo prazo.

Os sinais dos coeficientes de curto prazo são semelhantes aos obtidos no longo prazo, com exceção do LPIB. No curto prazo, esta variável seria estatisticamente significativa e positivamente relacionada com as emissões de CO₂ nos dois modelos. Além disso, todas as demais variáveis teriam uma relação positiva e significativa com as emissões, de acordo com os resultados encontrados. Entretanto, deve-se mencionar também que o coeficiente para a maioria das variáveis seria menor no curto prazo em relação ao longo prazo. Diferentemente das demais variáveis, LBOI teria uma relação maior com as emissões de CO₂ no curto prazo.

O termo de correção de erros defasado (ECT(-1)) apresentou sinal negativo e estatisticamente significativo tanto no modelo com constante quanto no modelo com constante e tendência. Isso significa que as emissões de dióxido de carbono convergem para seu equilíbrio de longo prazo. O valor do ECT é de -0.8363 e -0.8831 para os modelos com constante e com constante e tendência, respectivamente, inferindo que existiria um desvio do equilíbrio de longo prazo. Em um ano, esse desequilíbrio seria corrigido em aproximadamente, 84% e 88%.

8.1 TESTES DE DIAGNÓSTICO

Para avaliar se os modelos não têm nenhum problema de diagnóstico, foram conduzidos alguns testes. Os testes de correlação serial, heteroscedasticidade e a especificação do modelo indicaram que o modelo seria adequado para realizar a inferência e suas estimativas são adequadas, como apresentado na Tabela 5. Os testes CUSUM e CUSUMSQ confirmaram que o modelo tem estabilidade ao longo do tempo, como ilustrado na Figura 2.

Primeiramente, os valores do R^2 e R^2 ajustado estimados foram maiores que 96%, indicando que o modelo estaria bem ajustado. Para avaliar a autocorrelação serial, foi aplicado o Teste LM de Breusch-Godfrey, que tem como hipótese nula a ausência de correlação serial nos resíduos. Os resultados encontrados indicaram que não seria possível rejeitar a hipótese nula, ou seja, os resíduos não seriam correlacionados serialmente (Tabela 5).

O segundo teste de diagnóstico realizado foi para verificar a presença de heteroscedasticidade nos resíduos pelo Teste de Breusch-Pagan-Godfrey. Neste caso, também não foi possível rejeitar a hipótese nula de que os erros são homocedásticos. Por fim, foi realizado o Teste de Ramsey RESET para avaliar se o modelo foi especificado corretamente. Este teste avalia se combinações não-lineares das variáveis explicativas poderiam explicar a variável dependente. O resultado do teste indicou que o modelo linear foi corretamente especificado, isto é, não foi possível rejeitar a hipótese nula (Tabela 5).

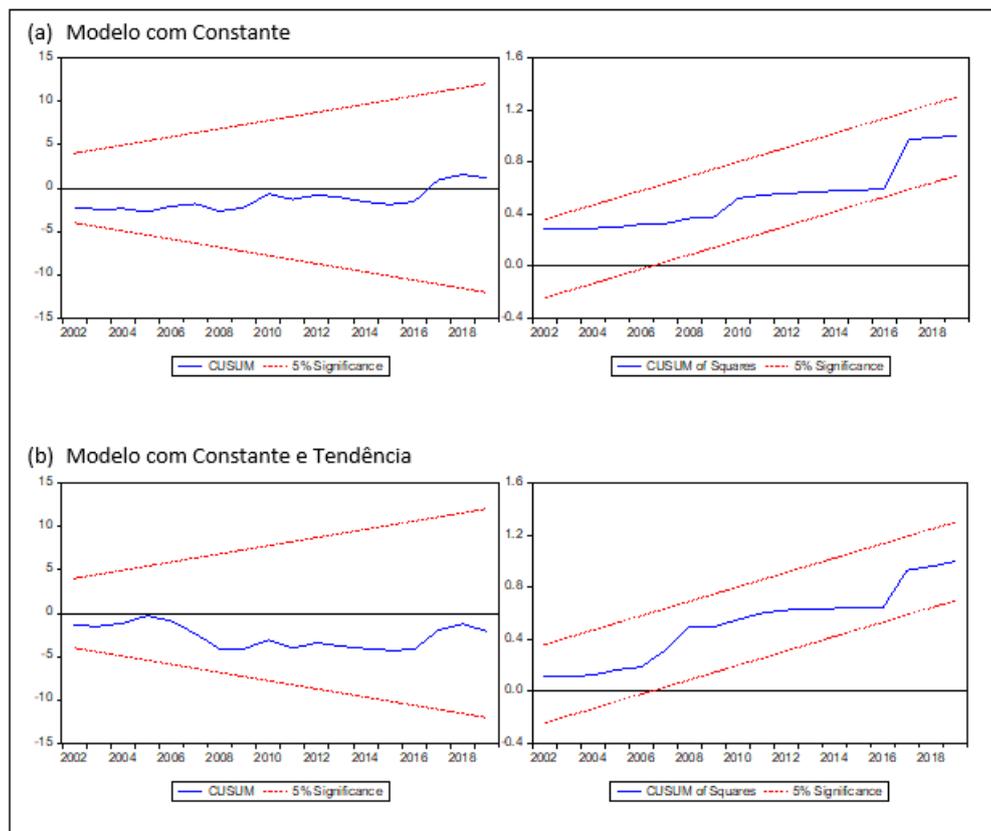
Tabela 5 – Testes de Diagnóstico

Testes	Equação em nível com constante	Equação em nível com constante e tendência
R^2	0.9687	0.97
R^2 -ajustado	0.9619	0.9635
Correlação Serial	0.6541 (0.4298)	0.2716 (0.6090)
Heteroscedasticidade	0.9533 (0.5121)	0.8676 (0.5771)
Forma Funcional	0.2222 (0.6433)	2.2682 (0.1504)

Fonte: Elaboração própria.

A Figura 2 traz os resultados dos testes CUSUM e CUSUMSQ de estabilidade dos parâmetros do modelo. Na representação gráfica, se a linha azul que representa a soma acumulada estiver dentro do intervalo de 5%, os parâmetros do modelo são estáveis ao longo do tempo. Os resultados indicam que os parâmetros seriam estáveis durante o período considerado.

Figura 2 – Gráficos do Teste CUSUM e CUSUMSQ



Fonte: Elaboração própria.

9. CONCLUSÃO

Neste estudo foi investigado a relação do desmatamento, crédito rural, produção de soja, criação de gado e PIB nas emissões de CO₂ pelo setor agropecuário na região da Amazônia Legal. A Política de Crédito Rural tem sido uma das principais políticas utilizadas para a difusão de novas tecnologias na agricultura. Assim, a intensificação da pecuária e da agricultura devido à criação de programas de concessão de crédito aliados às políticas ambientais poderia ser um meio para o Brasil reduzir as emissões de gases efeito estufa.

Entretanto, este setor ainda é um grande poluidor, sendo o segundo setor que mais emite gases de efeito estufa no país. Por outro lado, a agricultura e toda sua cadeia são importantes para o desenvolvimento econômico. Dessa forma, a concessão do crédito rural tem sido não só uma política de desenvolvimento da agricultura, mas também de desenvolvimento econômico do país e que pode impactar o meio ambiente, sobretudo, as emissões de gases de efeito estufa. Contudo, a relação entre a poluição do meio ambiente pelo setor da agropecuária e a política de crédito rural não tem recebido a devida atenção na literatura. Portanto, esse artigo contribui em

analisar como tem sido essa relação nos últimos trinta anos na Amazônia Legal pela abordagem do ARDL.

Os resultados indicaram que, no longo prazo, um aumento na concessão de crédito e na área desmatada poderia afetar o nível das emissões de dióxido de carbono, ou seja, poderia expandir as emissões nos municípios. Além disso, a criação de gado seria a atividade que mais aumentaria as emissões de CO₂ pela agropecuária na região. Os resultados de curto prazo seriam semelhantes àqueles obtidos no longo prazo. Além disso, foi possível verificar que as emissões de dióxido de carbono na Amazônia Legal convergem para seu equilíbrio de longo prazo.

Apesar da política de crédito rural ser elaborada para ampliar a modernização e a produtividade do setor agrícola, pode-se concluir que nos últimos trinta anos ela não teria contribuído para níveis menores de poluição da atmosfera. Ou seja, apenas uma pequena parcela deste crédito estaria sendo aplicada para a modernização da produção, com sistemas mais sustentáveis e gestão mais eficiente. Tais mudanças poderiam contribuir para o aumento da produtividade, redução do desmatamento e, conseqüentemente, em níveis menores de emissões de CO₂ pela agropecuária.

De forma geral, os resultados encontrados no estudo sugerem que a concessão de crédito para produtores rurais na Amazônia Legal contribuiria para a intensificação das emissões de CO₂ pelo setor da agropecuária. Estes resultados são importantes para alinhar as políticas públicas de desenvolvimento econômico, como a concessão de crédito, e políticas de proteção climática, como a PNMC. Portanto, políticas públicas melhores tem o potencial de escalar os ganhos de produtividade da agropecuária, aumentando a produção de alimentos e contribuindo para a preservação ambiental.

REFERÊNCIAS

ABBASI, K. R. et al. How energy consumption, industrial growth, urbanization, and CO₂ emissions affect economic growth in Pakistan? A novel dynamic ARDL simulations approach. **Energy**, v. 221, p. 119793, 2021.

AGUIAR, A. P. D. et al. Modeling the spatial and temporal heterogeneity of deforestation-driven carbon emissions: The INPE-EM framework applied to the Brazilian Amazon. **Global Change Biology**, v. 18, n. 11, p. 3346–3366, 2012.

ALAM, M. M. et al. Relationships among carbon emissions, economic growth, energy consumption and population growth: Testing Environmental Kuznets Curve hypothesis for Brazil, China, India and Indonesia. **Ecological Indicators**, v. 70, p. 466–479, 2016.

ANDERSEN, L. E.; REIS, E. J. **Deforestation, development, and government policy in the Brazilian Amazon: An econometric analysis.**: Texto para Discussão, n. 69. Brasília: Instituto de Economia Aplicada (IPEA), 2015.

ANGELSEN, A.; KAIMOWITZ, D. Rethinking the causes of deforestation: Lessons from economic models. **World Bank Research Observer**, v. 14, n. 1, p. 73–98, 1999.

ARIMA, E. Y. et al. Public policies can reduce tropical deforestation: Lessons and challenges from Brazil. **Land Use Policy**, v. 41, n. 2014, p. 465–473, 2014.

ASSUNÇÃO, J. et al. Does Credit Boost Agriculture? Impacts on Brazilian Rural Economy and Deforestation. **Climate Policy Initiative (CPI)**, p. 1–35, 2019.

ASSUNÇÃO, J. et al. The Effect of Rural Credit on Deforestation: Evidence from the Brazilian Amazon. **Economic Journal**, v. 130, n. 626, p. 290–330, 2020.

AZIZ, N. et al. Revisiting the role of forestry, agriculture, and renewable energy in testing environment Kuznets curve in Pakistan: evidence from Quantile ARDL approach. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 9, p. 10115–10128, 2020.

BACEN. Crédito Rural - Disposições Preliminares. **Manual de Crédito Rural (MCR)**, v. MCR 499, 2008a.

BACEN. Resolução N° 3545. . 29 fev. 2008 b.

BACEN. Crédito Rural - Disposições Preliminares. **Manual de Crédito Rural (MCR)**, v. MCR 651, 2018.

BACEN. **Matriz de Dados do Crédito Rural - Contratações**. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/micrrural>>. Acesso em: 5 jan. 2021.

BACEN. **Definições, Conceitos e Esclarecimentos sobre Crédito Rural**. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/conteudo/mdcr/Documents/definicoesCreditoRural.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2021.

BALOCH, A. et al. Towards connecting carbon emissions with asymmetric changes in economic growth: evidence from linear and nonlinear ARDL approaches. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 12, p. 15320–15338, 2021.

BANCO DO BRASIL. Evolução histórica do crédito rural. **Revista de Política Agrícola**, v. 13, n. 4, p. 10–17, 2004.

BRACK, D. **Background Analytical Study: Forests and Climate Change**. United Nations Forum on Forests. **Anais...**mar. 2019

BRASIL. Lei N° 4829, de 05 de novembro de 1965. . 5 nov. 1965.

BRASIL. **Plano Nacional Sobre Mudança do Clima (PNMC)**. [s.l: s.n.].

BRASIL. **Lei Nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/112187.htm>. Acesso em: 4 jan. 2021.

BRASIL. **Decreto Nº 9.578, de 22 de novembro de 2018**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2018/Decreto/D9578.htm#art25>. Acesso em: 4 jan. 2021.

BRASIL. Decreto Nº 10.143, de 28 de novembro de 2019. . 28 nov. 2019.

BRASIL. **Clima**. Disponível em: <<https://antigo.mma.gov.br/clima.html?view=default>>. Acesso em: 4 jan. 2021a.

BRASIL. **Crédito Rural**. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/credito-rural>>. Acesso em: 4 jan. 2021b.

BROWDER, J. O.; PEDLOWSKI, M. A.; SUMMERS, P. M. Land use patterns in the Brazilian Amazon: Comparative farm-level evidence from Rondônia. **Human Ecology**, v. 32, n. 2, p. 197–224, 2004.

BUSCH, J.; ENGELMANN, J. Cost-effectiveness of reducing emissions from tropical deforestation, 2016-2050. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 1, 2018.

CANADELL, J. G. et al. **Contributions to accelerating atmospheric CO₂ growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <www.pnas.org/cgi/content/full/>. Acesso em: 5 jan. 2021.

CARRER, M. J. et al. Assessing the effectiveness of rural credit policy on the adoption of integrated crop-livestock systems in Brazil. **Land Use Policy**, v. 92, n. December 2019, p. 104468, 2020.

COSTA, N. B. DA et al. Public policies for low carbon emission agriculture foster beef cattle production in southern Brazil. **Land Use Policy**, v. 80, n. July 2018, p. 269–273, 2019.

COSTA JUNIOR, C. J. Impacto das variações no crédito rural e no investimento em pesquisa agrícola na produtividade da agricultura Brasileira contemporânea. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 56, n. 4, p. 551–564, 2018.

CULAS, R. Impact of credit policy on agricultural expansion and deforestation. **Tropical Agricultural Research**, v. 15, n. 2003, p. 276–287, 2003.

DE CASTRO, E. R.; TEIXEIRA, E. C. Rural credit and agricultural supply in Brazil. **Agricultural Economics**, v. 43, n. 3, p. 293–302, 2012.

FEARNSIDE, P.; FEARNSIDE, P. **Deforestation of the Brazilian Amazon**. [s.l: s.n.].

FEARNSIDE, P. M. Fogo e emissão de gases de efeito estufa dos ecossistemas florestais da Amazônia Brasileira. **Estudos Avancados**, v. 16, n. 44, p. 97–123, 2002.

FEARNSIDE, P. M.; GUIMARÃES, W. M. Carbon uptake by secondary forests in Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 80, p. 35–46, 1996.

GALFORD, G. L. et al. Historical carbon emissions and uptake from the agricultural frontier of the Brazilian Amazon. **Ecological Applications**, v. 21, n. 3, p. 750–763, 2011.

GARRETT, R. D.; LAMBIN, E. F.; NAYLOR, R. L. Land institutions and supply chain configurations as determinants of soybean planted area and yields in Brazil. **Land Use Policy**, v. 31, p. 385–396, 2013.

GOUVELLO, C. et al. Land Use, Land-use Change, and Forestry: Reference Scenario. **Brazil Low-carbon Country Case Study**, p. 8–21, 2010.

HUSSAIN, I.; REHMAN, A. Exploring the dynamic interaction of CO₂ emission on population growth, foreign investment, and renewable energy by employing ARDL bounds testing approach. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 29, p. 39387–39397, 2021.

IBGE. **Pesquisa da Pecuária Municipal - PPM**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/tabelas>>. Acesso em: 7 jun. 2021a.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal - PAM**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>>. Acesso em: 7 jun. 2021b.

IBGE. **Produto Interno Bruto dos Municípios**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/5938>>. Acesso em: 7 jun. 2021a.

IBGE. **PIB Estadual a preços de mercado corrente**. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx>>. Acesso em: 7 jun. 2021b.

INPE. **PRODES — Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite**. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>>. Acesso em: 8 ago. 2020.

INPE. **Terra Brasilis**. Disponível em: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal_amazon/rates>. Acesso em: 5 jan. 2021a.

INPE. **A taxa consolidada de desmatamento por corte raso para os nove estados da Amazônia Legal (AC, AM, AP, MA, MT, PA, RO, RR e TO) em 2019 é de 10.129 km**. Disponível em: <http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=5465>. Acesso em: 20 dez. 2020b.

LA ROVERE, E. L. et al. Brazil beyond 2020: From deforestation to the energy challenge. **Climate Policy**, v. 13, n. SUPPL.1, p. 70–86, 2013.

LEITE, C. C. et al. Historical land use change and associated carbon emissions in Brazil from 1940 to 1995. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 26, n. 2, p. 1–13, 2012.

LYNCH, J. Availability of disaggregated greenhouse gas emissions from beef cattle production: A systematic review. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 76, n. January, p. 69–78, 2019.

MAIA, A. G.; EUSÉBIO, G. DOS S.; DA SILVEIRA, R. L. F. Can credit help small family farming? Evidence from Brazil. **Agricultural Finance Review**, v. 80, n. 2, p. 212–230, 2019.

NARAYAN, P. K. The saving and investment nexus for China: Evidence from cointegration tests. **Applied Economics**, v. 37, n. 17, p. 1979–1990, 2005.

NEPSTAD, D. et al. and Soy Supply Chains. **Science**, v. 344, n. 6188, p. 1118–1123, 2014.

NEVES, M. D. C. R. et al. Does Access to Rural Credit Help Decrease Income Inequality in Brazil? **Journal of Agricultural and Applied Economics**, v. 52, n. 3, p. 440–460, 2020.

NOOJIPADY, P. et al. Forest carbon emissions from cropland expansion in the Brazilian Cerrado biome. **Environmental Research Letters**, v. 12, n. 2, 2017.

NOVAES, R. M. L. et al. Estimating 20-year land use change and derived CO₂ emissions associated to crops, pasture and forestry in Brazil and each of its 27 states. **Global Change Biology**, v. 23, n. 9, 2017.

NUMATA, I. et al. Carbon emissions from deforestation and forest fragmentation in the Brazilian Amazon. **Environmental Research Letters**, v. 6, n. 4, 2011.

PAULA FILHO, G. X. DE; CALVI, M. F.; CASTRO, R. R. A. DE. Socioeconomic Analysis of Rural Credit and Technical Assistance for Family Farmers in the Transamazonian Territory, in the Brazilian Amazon. **Journal of Agricultural Science**, v. 8, n. 10, p. 177, 2016.

PESARAN, M. H.; SHIN, Y.; SMITH, R. J. Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. **Journal of Applied Econometrics**, v. 16, n. 3, p. 289–326, 2001.

POTTER, C.; KLOOSTER, S.; GENOVESE, V. Carbon emissions from deforestation in the Brazilian Amazon Region. **Biogeosciences**, v. 6, n. 11, p. 2369–2381, 2009.

RAMOS, S.; JUNIOR, G. Evolução da Política de Crédito Rural Brasileira. **Embrapa Cerrados**, 2010.

RAUCCI, G. S. et al. Greenhouse gas assessment of Brazilian soybean production: A case study of Mato Grosso State. **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 418–425, 2015.

REISINGER, A.; CLARK, H. How much do direct livestock emissions actually contribute to global warming? **Global Change Biology**, v. 24, n. 4, p. 1749–1761, 2017.

SEEG. **Análise Das Emissões Brasileiras De Gases De Efeito Estufa E Suas Implicações Para As Metas De Clima Do Brasil 1970-2019**SEEG8. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://www.atmosphere.mpg.de/enid/2__Estufa__luz_e_biosfera/_Gases_estufa_2mb.html>.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (SEEG).
Base de dados de estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil 1970-2019 Observatório do Clima, , 2019. Disponível em:
<<http://seeg.eco.br/download>>. Acesso em: 18 maio. 2021

STABILE, M. C. C. et al. Solving Brazil's land use puzzle: Increasing production and slowing Amazon deforestation. **Land Use Policy**, v. 91, n. May 2019, p. 104362, 2020.

CAPÍTULO 3

ARTIGO 3 - A PRODUTIVIDADE TOTAL DOS FATORES DOS ESTABELECIMENTOS RURAIS E O DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA LEGAL

RESUMO

Aumentos na produtividade por meio de novas tecnologias podem aumentar o rendimento da agricultura em comparação com usos alternativos da terra, dessa forma, poderiam encorajar a expansão do uso da fronteira agrícola. Além disso, existe um fato estilizado entre o tamanho da propriedade e a produtividade para países em desenvolvimento, em que a redução nos ganhos agrícolas estaria associada com o aumento da propriedade. Neste estudo foi avaliada a relação entre a produtividade total dos fatores das micro, pequenas, médias e grandes propriedades de terra e o desmatamento nos municípios da Amazônia Legal. Os resultados indicaram que existiria uma relação não-linear entre a produtividade total dos fatores dos pequenos, médios e grandes estabelecimentos agropecuários nos municípios da Amazônia Legal. Em um primeiro momento, o incremento da PTF pelos pequenos produtores poderia aumentar o desmatamento na região. Mas há medida que esses produtores se tornam mais produtivos, haveria redução da área desmatada.

Palavras-chave: Produtividade Total dos Fatores. Desmatamento. Tamanho dos Estabelecimentos Rurais.

ABSTRACT

Increases in productivity through new technologies can enhance agricultural yields compared to alternative land uses, thereby potentially encouraging the expansion of agricultural frontier. Additionally, there exists a stylized fact regarding the relationship between farm size and productivity in developing countries, where diminishing agricultural gains are associated with larger land holdings. This study assesses the relationship between total factor productivity (TFP) of micro, small, medium, and large land properties, and deforestation in municipalities of the Legal Amazon. The results indicate a non-linear relationship between TFP of small, medium, and large agricultural establishments in the Legal Amazon municipalities. Initially, an increase in TFP by small producers may contribute to deforestation in the region. However, as these producers become more productive, the extent of deforestation is likely to decrease.

Keywords: Total Factor Productivity, Deforestation, Farm Size.

1. INTRODUÇÃO

As emissões provenientes do desmatamento e da degradação ambiental representam, aproximadamente, 12% das emissões de gases de efeito estufa provocadas pelo homem (SHENG; QIU, 2018). A conservação das florestas deve interligar os interesses regionais e a capacidade dessas regiões de mitigar as mudanças climáticas. Assim, o objetivo central das políticas ambientais deve ser a criação de mecanismos de incentivos que encorajam os países em desenvolvimento a conservar as florestas e reduzir o desmatamento (BUSCH et al., 2009; SHENG; QIU, 2018).

Em 2015, a Organização das Nações Unidas (ONU) lançou a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Desde então, diversas entidades começaram a buscar métodos de sustentabilidade nos negócios e propor soluções para balancear o crescimento econômico com o meio ambiente (CHOPRA et al., 2022). Entretanto, nos últimos anos, a cobertura florestal no mundo continuou a diminuir, enquanto a terra agrícola aumentou. Faltando menos de dez anos para cumprir as metas do programa da ONU, aumentam as preocupações com a degradação ambiental e os esforços para contê-la. Portanto, é fundamental equilibrar a área agrícola, produtividade e sustentabilidade ambiental. O Brasil tem o quinto maior valor de produção agrícola e o quarto maior em termos de uso da terra pela agricultura no mundo (FAO, 2022). Diferentemente dos demais produtores mundiais, o país combina grandes propriedades de terra, intensivas em capital e orientadas para a exportação, típicas de economias desenvolvidas, com uma parcela significativa de fazendas intensivas em mão de obra e de subsistência, características de economias em desenvolvimento (ABMAN; CARNEY, 2020).

A baixa produtividade agrícola representa uma barreira significativa ao desenvolvimento para grande parte do mundo (ABMAN; CARNEY, 2020). Ao mesmo tempo, o desmatamento de florestas tropicais tem sido, em grande parte, impulsionado por expansão do uso da terra para agricultura. Como na região da Amazônia Legal – compreende 772 municípios em nove estados e que corresponde a 58,9% do território brasileiro – onde o desmatamento está intrinsecamente relacionado com as decisões do uso da terra para a produção agrícola. A ocupação desordenada da região desde a década de 60 tem provocado danos ambientais, sociais e econômicos. Isso se deve ao fato de que o bioma Amazônico abrange a maior proporção da fronteira agrícola.

Esta competição por terras agrícolas e recursos florestais está no topo da agenda de desenvolvimento como resultado das mudanças climáticas, aumento dos preços das commodities e aumento dos preços da terra. A mudança na cobertura da terra ocasionada, principalmente por meio do desmatamento, é a terceira causa mais importante de emissões de carbono antrópicas em todo o mundo e a mais importante no Brasil (VILLORIA, BYERLEE, STEVENSON, 2014; SEEG, 2020;).

De acordo com Fearnside (2017), os proprietários de médias e grandes propriedades tem sido os principais atores do desmatamento na Amazônia Brasileira. Entretanto, a importância relativa das micro propriedades vem aumentando na proporção das áreas desmatadas (ROSA; SOUZA; EWERS, 2012). Apesar disso, os pequenos agricultores têm demonstrado maior potencial para estabilizar o uso da terra em um mosaico de agricultura, pastagem e floresta natural. Isso evita que as pequenas propriedades sejam consolidadas em grandes fazendas, representando uma medida benéfica para minimizar o desmatamento (FEARNSIDE, 2017).

A existência de uma relação inversa entre tamanho da propriedade e a produtividade tem sido uma das questões de desenvolvimento econômico que tem se discutido na literatura (BARRETT; BELLEMARE; HOU, 2010). Têm sido apontadas três explicações para existência dessa relação inversa. A explicação de Barrett (1996); Feder (1985); Sen (1966) é de que as falhas de mercado seriam as responsáveis pela maior produtividade das pequenas propriedades agrícolas em relação às grandes fazendas. A segunda explicação para essa relação inversa seria de que ela aconteceria por causa de variáveis relevantes omitidas relacionadas à qualidade do solo (BENJAMIN, 1995; BHALLA e ROY, 1988). A terceira explicação supõe que a relação inversa surge devido a questões estatísticas (LAMB, 2003).

A produtividade mensura o grau de eficiência, que é como uma economia usa seus recursos para produzir bens de consumo e serviços (MESSA, 2013; SILVEIRA et al., 2021). Melhorar a produtividade é o jeito mais rápido de atingir o crescimento econômico e o bem-estar social, assim como os ganhos de produção refletem a efetividade do setor produtivo e o grau de desenvolvimento da sociedade (FELEMA; RAIHER; FERREIRA, 2013; FENG; HUANG; WANG, 2018; MIRZA; RIZVI; BERGLAND, 2021; SILVEIRA et al., 2021).

A relação entre a produtividade agrícola e o desmatamento é uma questão fundamental, com implicações para políticas de desenvolvimento que encorajam a adoção de tecnologias que melhoram o rendimento em países com taxas de desmatamento significativas (ABMAN;

CARNEY, 2020). Os resultados encontrados na literatura são ambíguos. Trabalhos com modelos de rotação de cultura, como Takasaki (2006) e Balsdon (2007), previram que a melhora na qualidade do solo e/ou terra poderia reduzir o desmatamento. Entretanto, trabalhos sobre revisão empírica da relação entre desmatamento e agricultura, como Angelsen (1999), indicam que aumentar os retornos da agricultura tende a aumentar a quantidade de terra desmatada para esse fim.

Portanto, é preciso entender a relação entre produtividade agrícola e desmatamento em países em desenvolvimento. Isto é, se os avanços na produtividade ampliam a demanda por terras desmatadas, as políticas de desenvolvimento destinadas a melhorar a produtividade dos pequenos proprietários podem ter consequências ambientais negativas. No entanto, se os aumentos na produtividade permitirem que os pequenos produtores adiem a necessidade de expandir o cultivo para novas terras, essas políticas de desenvolvimento podem ter impactos ambientais positivos. Assim, este artigo tem como objetivo investigar como a produtividade total dos fatores (PTF) das micro, pequena, média e grande propriedades agrícolas afeta o desmatamento nos municípios da Amazônia Legal. Para atingir tal objetivo, pretende-se aplicar a metodologia de dados em painel para os anos do Censo Agropecuário, 1995, 2006 e 2017. A análise é feita em dois estágios. No primeiro, é calculada a PTF para cada uma das classes de tamanho de propriedades. No segundo estágio, é verificado se existe relação entre a PTF de cada classe com o desmatamento na Amazônia Legal.

Os resultados sugerem que a produtividade total dos fatores das pequenas, médias e grandes propriedades agropecuárias seria significativa para o desmatamento. Além disso, existiria uma relação não-linear entre a PTF desses estabelecimentos agropecuários e o desmatamento. Ou seja, isso indicaria que a adoção de tecnologias pode reduzir a expansão da área de produção pelos produtores em direção às áreas de floresta.

Além desta introdução, o artigo tem mais cinco seções. Na seção dois é apresentada uma revisão de literatura sobre a PTF e sua relação com o tamanho das propriedades e o desmatamento. Logo depois é apresentada a metodologia que aplicada para encontrar os resultados. Na quarta seção é descrita a base de dados utilizada. Na seção cinco é desenvolvida a discussão dos resultados e, por fim, a conclusão do estudo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Desde os artigos seminais de Sen (1962, 1966), o fato estilizado da relação negativa entre tamanho de propriedades agrícolas e produtividade tem se confirmado para países em desenvolvimento, (HENDERSON, 2015). Sen (1966) teorizou que quando o mercado de trabalho é caracterizado por um excedente de mão de obra e existe uma diferença salarial devido a um menor custo real do trabalho nas pequenas fazendas em relação aos grandes latifúndios, as pequenas propriedades seriam mais produtivas do que as grandes.

Similarmente, Feder (1985) explicou que, como nas grandes propriedade agrícolas têm maior número de mão de obra contratada, esses trabalhadores estão mais propensos a sair do emprego do que o trabalho familiar das pequenas propriedades. Dessa forma, as fazendas maiores tendem a ser menos produtivas do que as fazendas menores. Para Barrett (1996), as imperfeições no mercado de terras e a ausência do mercado de seguros levam as famílias que possuem fazendas menores a ofertarem mão de obra em excesso em suas próprias propriedades, como um esforço para evitar serem expostas a flutuações de preços ao comprar no mercado.

Entretanto, para Benjamin (1995) e Bhalla e Roy (1988) se a qualidade do solo é positivamente associada com a produção agrícola e negativamente associada com o tamanho da propriedade agrícola, mas se os dados são escassos, então a omissão de variáveis relacionadas à qualidade do solo pode influenciar as estimativas dos coeficientes e o resultado apresentar uma relação inversa enganosa.

Para Lamb (2003), o erro de medida nas abordagens estatísticas pode introduzir uma relação inversa espúria entre tamanho e produtividade. Se o tamanho da propriedade é mensurado com erro, esse erro se torna um componente do termo de erro na regressão de interesse. Mas se esse erro de medida é negativamente correlacionado com o tamanho, então o coeficiente da variável terra na regressão é enviesado para baixo, que no limite pode levar a inferir que existe uma relação inversa estatisticamente significativa entre tamanho e produtividade.

Segundo Ferreira, Féres (2020), explicações para associação negativa dependem das diferentes intensidades de uso de insumos entre pequenos e grandes produtores. Em particular, intensidade e a eficiência decresce à medida que o tamanho das propriedades aumenta (BARRETT; BELLEMARE; HOU, 2010). De acordo com os autores, a explicação para isso poderia ser, em parte, por imperfeições de mercado e pela qualidade do solo. A literatura

empírica também traz algumas evidências de que o crescimento da produtividade na agricultura tem sido impulsionado principalmente pelo progresso tecnológico, enquanto a eficiência técnica⁹ diminui com o aumento do tamanho da fazenda (AHMAD; BRAVO-URETA, 1995).

Se os pequenos produtores são mais produtivos e mais eficientes que os grandes, as políticas de redistribuição de terra poderiam aumentar a produção agrícola e reduzir a necessidade de novas áreas de produção. A redistribuição de terra também poderia reduzir a desigualdade de renda em países em desenvolvimento.

Entretanto, Townsend, Kirsten e Vink (1998) argumentam que a força da relação inversa diminuiria quando a produtividade total dos fatores é usada em relação às medidas parciais, como a produtividade da terra. Essas medidas parciais não levariam em consideração as diferenças em outros insumos usados. Villoria (2019) também argumenta que, em países exportadores de commodities, o crescimento da PTF estaria associado à expansão do uso da terra.

Estudos empíricos para o Brasil sugerem que a relação negativa entre o tamanho da propriedade e a produtividade é controversa. Por um lado, alguns estudos encontraram que os pequenos produtores têm contribuído menos para o desmatamento (HELFAND; RADA; MAGALHÃES, 2017; LUDEWIGS et al., 2009; PACHECO, 2009).

Outras evidências sugerem que os pequenos produtores seriam mais propensos a desmatar uma proporção maior de sua área quando comparado com os grandes produtores (ANGELSEN; KAIMOWITZ, 1999; LAMBIN et al., 2001). Entretanto, em termos absolutos, os grandes produtores contribuiriam mais para o desmatamento (ARAÚJO et al., 2019). Segundo Fearnside (2017), estabelecimentos agropecuários de médio e grande porte tem sido um dos principais causadores do desmatamento. Contudo, pequenos e micros produtores tem aumentado sua participação no desmatamento da Amazônia.

⁹ Eficiência técnica é um componente da produtividade. Ela mede a distância da produção observada para a produção potencial máxima. Pode ser interpretada como o produto adicional que a firma poderia produzir utilizando a mesma quantidade de insumos ou, por outro lado, a redução potencial no uso de insumos que poderia ser alcançada ao produzir a quantidade de produto atual. Eficiência técnica está relacionada com as habilidades gerenciais dos agricultores. Crescimento da produtividade não está necessariamente associada com um aumento da eficiência técnica. Se a mudança tecnológica permite que um produtor explore economias de escala, mas a adoção da tecnologia não depende das habilidades gerenciais, ele poderia ter um aumento de produtividade, mas com eficiência técnica constante.

Por outro lado, alguns estudos encontraram uma relação não-linear entre tamanho da propriedade e produtividade (HELFAND; LEVINE, 2004; RADA; HELFAND; MAGALHÃES, 2019; FERREIRA; FÉRES, 2020). Em um estudo para o Centro-Oeste e a Amazônia Legal, Helfand, Levine (2004) e Ferreira, Féres (2020), respectivamente, identificaram que a relação entre a eficiência técnica e o tamanho da propriedade era em forma de “U”. À medida que o tamanho da fazenda aumentava, a eficiência técnica decrescia, atingindo seu mínimo quando as propriedades atingiam entre 1000 e 2000 hectares no Centro-Oeste e 8000 hectares na Amazônia Legal. Depois de atingir esse ponto, a eficiência técnica tornava-se uma função crescente do tamanho da propriedade. Contudo, o ponto de reversão da curva aconteceria em um tamanho de propriedade muito acima do tamanho típico dos estabelecimentos agrícolas nas duas regiões.

Rada, Helfand, Magalhães (2019) encontraram o mesmo padrão em forma de “U” em uma análise em nível nacional da produtividade total dos fatores (PTF). Segundo Ferreira e Féres (2020), uma razão possível para essa relação não-linear poderia ser a adoção de tecnologias que reduzem o uso de mão de obra pelos grandes produtores. Assim, altas taxas de uso dessas tecnologias entre os grandes agricultores reverteriam a tendência decrescente entre o tamanho da fazenda e a produtividade (RADA; FUGLIE, 2019).

Portanto, entender a relação entre a produtividade agrícola e o desmatamento é uma questão empírica fundamental com importantes implicações para o desenvolvimento de políticas de subsídio de insumos para a agricultura. Além disso, esse entendimento encorajaria a adoção de tecnologias que melhorariam o rendimento em países com altas taxas de desmatamento.

Dessa forma, o artigo avança em relação à literatura ao avaliar a diferença entre a produtividade das propriedades com diversos tamanhos na Amazônia Legal e o impacto disso no desmatamento na região nos anos de 1996, 2006 e 2017.

3. METODOLOGIA

As estatísticas da produtividade comparam mudanças na produção em função de mudanças nos insumos para avaliar a performance de um determinado setor. Podem ser mensurados dois tipos de produtividade, parcial e multifatorial (FUGLIE, 2008). A

produtividade parcial relaciona a produção a um único insumo, trabalho, terra ou capital. Essa medida é útil para indicar algum viés dos fatores na mudança técnica. Contudo, podem superestimar a melhoria geral na eficiência, porque não leva em conta as mudanças no uso de outros insumos. Portanto, uma medida da PTF relacionando o produto com todos os insumos utilizados na produção seria um melhor indicador de eficiência do setor, podendo fornecer, na maioria dos casos, informações necessárias para o desenho de políticas eficazes (HELFAND; TAYLOR, 2021)

A contribuição seminal sobre uma medida para a produtividade foi dada por Solow (1956), que mostrou a existência de uma relação entre a função de produção e um índice de produtividade. Assumindo retornos constantes de escala, Solow mensurou mudanças na função de produção dado os níveis de capital e trabalho. Assim, ao rearranjar os termos da função de produção, obtém-se a Eficiência Hicksiana, ou seja, um indicador mais geral do produto por unidade de insumo, que mais tarde se transformou na Produtividade Total dos Fatores ou Resíduo de Solow. Essa medida reflete o progresso tecnológico e outros elementos que agem como determinantes do crescimento econômico (SILVEIRA et al., 2021).

Portanto, a PTF pretende mensurar a eficiência de uma economia ao combinar todos os seus recursos para gerar um produto, como resultado do progresso tecnológico (MESSA, 2013; -OSILVEIRA et al., 2021). Isto significa que a melhora na produtividade acontece quando se obtém uma produção maior com a mesma quantidade de recursos ou usando menos recursos para atingir a mesma produção. Assume-se uma função do tipo Cobb-Douglas, homogênea de grau t , onde A é a medida não observada da produtividade total dos fatores e a produção é uma função de trabalho, capital e terra, como mostra a equação abaixo:

$$f(L, K, A) = AL^\alpha K^\beta T^\gamma \quad (1)$$

Onde,

L : trabalho;

K : capital;

T : terra;

α, β, γ : parâmetros.

Aplicando o logaritmo, a função de produção toma a seguinte forma:

$$\ln Y = (t - 1)\ln T + \ln A + \alpha \ln L + \beta \ln K \quad (2)$$

Nesta metodologia, parte da produção não é explicada pelos insumos, esse resíduo é a produtividade total dos fatores, que pode ser expresso como na Equação (3):

$$PTF = \ln A = \ln Y - \alpha \ln L - \beta \ln K - \gamma \ln T \quad (3)$$

Onde a PTF é o Resíduo de Solow, ou seja, parte do produto que não é explicado pelo crescimento dos insumos, mas sim, pela evolução da produtividade. Assim, a equação (3) fornece uma medida de produtividade como a diferença entre a mudança na produção e a mudança no estoque de capital, trabalho e terra.

A estratégia empírica aplicada foi estimar a PTF de todos os estabelecimentos agropecuários dos municípios e por tamanho dos estabelecimentos agropecuários. Então, foi estimada a produtividade total dos fatores total e por quatro categorias de tamanho dos estabelecimentos agropecuários (micro, pequeno, médio e grande).

Após estimar a PTF para diferentes categorias de tamanhos de propriedades, essa medida foi utilizada na estimação do desmatamento para verificar qual a relação entre a ineficiência dos diferentes produtores agrícolas e o desmatamento. Para capturar a relação não-linear da PTF com o desmatamento, foi adicionado também o termo ao quadrado dessa medida. Assim, o desmatamento pode ser especificado como:

$$Desmatamento_{i,t} = \varphi + \beta X + \beta_{j-1} PTF_{i,t} + \beta_j PTF_{i,t}^2 + v_{i,t} \quad (4)$$

em que βX é um vetor com variáveis de controle e $v_{i,t}$ é o termo de erro composto.

Com o objetivo de controlar por características observadas e não observadas, foi utilizado o modelo de efeitos fixos (EF) para estimar o desmatamento na Amazônia Legal. No modelo de efeitos fixos, os coeficientes não variam ao longo do tempo e as características individuais dos municípios não podem ser correlacionadas com as variáveis explicativas do

modelo. Para contornar o problema de correlação serial induzida pelas características individuais dos municípios e heteroscedasticidade, as estimações foram realizadas com erros-padrão robustos.

4. BASE DE DADOS

A base de dados é composta de observações anuais para 759 municípios da Amazônia Legal para os três últimos anos de referência do Censo Agropecuário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) – 1996, 2006 e 2017 (IBGE, 1995, 2012, 2019).

A especificação da função de produção considera que os agricultores usam três insumos: terra, trabalho e capital. A terra é mensurada como a área total em hectares no município para cada tamanho de propriedade, excluindo terra não-agrícola (construções, áreas cobertas com água, áreas inadequadas para agricultura e florestas naturais e plantadas) (IBGE, 1995, 2012, 2019). As variáveis relacionadas ao tamanho da propriedade foram desagregadas em quatro categorias (IBGE, 1995, 2012, 2019). Para classificar o tamanho dos estabelecimentos, foi utilizada a divisão do módulo fiscal conforme classificação do INCRA – disponível na página eletrônica da Embrapa - para os estados da Amazônia. De acordo com essa divisão, todos os municípios têm classificação equivalente, em que um módulo fiscal é igual a 100 hectares (EMBRAPA, 2022). De acordo com a mesma classificação, propriedades rurais com área menor do que 1 módulo fiscal são chamadas de minifúndio, que neste estudo foi denominado de “micro”. Assim, os estabelecimentos foram classificados a partir da utilização da divisão de módulo fiscal, como se segue na Tabela 1.

Tabela 1 – Tamanho das propriedades

Propriedade	Área em Hectares (ha)	Módulo Fiscal
Micro	menor que 100	Menor que 1
Pequeno	entre 101 e 500	Entre 1 e 5
Médio	entre 501 e 1000	Entre 5 e 10
Grande	acima de 1001	Maior que 10

Fonte: Elaboração própria com base na classificação do INCRA (EMBRAPA, 2022).

Para a função de produção dos estabelecimentos agropecuários, é utilizado o valor da produção agropecuária expresso em mil R\$ (mil reais) total e para cada tamanho de propriedade, que foi obtido do Censo Agropecuário (IBGE, 1995, 2012, 2019). A produção total (*produção*) representa o valor da produção agropecuária em cada município, independentemente do tamanho do estabelecimento. A produção de micro propriedades (*produção micro*), é obtida pelo valor da produção nos estabelecimentos com área menor que 100 hectares. A variável *produção pequeno* retrata o valor da produção dos pequenos estabelecimentos agropecuários, com área entre 101 e 500 hectares. Já a produção para as médias (*produção médio*) e grandes (*produção grande*) propriedades, representa o valor da produção nos estabelecimentos com área entre 501 e 1000 hectares e acima de 1000 hectares, respectivamente. Essa variável foi construída por um processo residual, subtraindo o valor da produção não-agrícola (extrativista, silvicultura e atividades de indústria rural) do valor total da produção. Além disso, o valor foi deflacionado pelo índice do PIB da Agropecuária com base em 2010, disponibilizado pelo IBGE (2022).

O trabalho é representado pelo pessoal ocupado maior de 14 anos no total e por tamanho de propriedade e o obtido no Censo Agropecuário (IBGE, 1995, 2012, 2019). O pessoal ocupado total nos estabelecimentos é retratado pela variável de *pessoal ocupado*. A variável de *pessoal micro* é o pessoal ocupado nas micro propriedades. Para os estabelecimentos com área entre 101 e 500 hectares, considerados pequenos, o pessoal ocupado é expresso pela variável *pessoal pequeno*. Para os médios e grandes estabelecimentos, o pessoal ocupado (*pessoal médio* e *pessoal grande*) é representado de forma similar.

O capital é representado pelo número de máquinas em uso no total e por tamanho de propriedade, obtido também no Censo Agropecuário (IBGE, 1995, 2012, 2019). A quantidade de máquinas inclui tratores, caminhões, plantadeiras e colheitadeiras. o número total de máquina nos estabelecimentos é dado pela variável de *maquinas*. As variáveis *maquina micro*, *maquina pequeno*, *maquina médio* e *maquina grande* representam o número de máquinas nos estabelecimentos micro, pequeno, médio e grande, respectivamente.

A medida de desmatamento é o estoque de área desmatada no município, representando a eliminação de cobertura florestal primária por corte raso, de forma independente do propósito futuro dessas áreas (INPE, 2020). Para o ano de 1996 foi preciso realizar uma etapa adicional para obter o desmatamento por município, porque o Programa de Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES) do Instituto Nacional

de Pesquisas Espaciais (INPE) não disponibiliza o desmatamento acumulado municipal antes de 2000 (INPE, 2020). O Programa fornece a área total desmatada para o ano de 1996, mas não tem a informação desagregada por município.

Este valor total foi distribuído entre os municípios considerando uma estrutura do desmatamento municipal do Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil (PROJETO MAPBIOMAS, 2020). Para os demais anos, 2006 e 2017, foram considerados os dados oficiais divulgados pelo INPE. Devido à diferença metodológica, foi preciso equalizar o desmatamento total municipal de 1996 obtido do MapBiomias com os dados do INPE, para que fosse possível comparar os dados desse ano com os dados de 2006 e 2017.

Foram utilizados dados de variáveis socioeconômicas e climáticas como controle nas estimações do desmatamento. O PIB *per capita* (*pibpc*) foi incluído para controlar o efeito de economia de escala dos municípios. Ele foi calculado como a razão do Produto Interno Bruto (PIB) a preços constantes (R\$ 2000) e a população total disponibilizados pelo (IBGE, 1996, 2017, 2020). Para avaliar o efeito populacional, dados retirados do Censo Agropecuário (IBGE, 1995, 2012, 2019) sobre população rural nos municípios foram incluídos. Essa variável foi incluída para capturar o efeito da proximidade dos habitantes com os recursos naturais. Ou seja, uma maior concentração da população nas zonas rurais tende a aumentar a pressão sobre os recursos naturais e, conseqüentemente, expandir o desmatamento.

Como controle climático na estimação do desmatamento na Amazônia Legal, foi utilizada a precipitação anual média, com dados do *Climate Research Unit (CRU)* (UNIVERSITY OF EAST ANGLIA CLIMATIC RESEARCH UNIT; HARIS; JONES, 2019). Variações em variáveis climáticas podem provocar diferentes efeitos econômicos nos municípios, porque tais variações podem tornar certas atividades mais rentáveis do que outras, incentivando ou desmotivando o desmatamento pelos agentes.

A expansão da pecuária pode estar associada com a expansão do uso da terra e tem se mostrado como uma das principais causas do desmatamento de florestas (ALLEN; BARNES, 1985; DINIZ et al., 2009; FARIA; ALMEIDA, 2016; JUSYS, 2016; OLIVEIRA et al., 2011). Por este motivo, foi incluída a variável de efetivo de rebanho bovino total (*pecuária*) e por micro (*pecuária micro*), pequena (*pecuária pequeno*), média (*pecuária médio*) e grande (*pecuária grande*) disponibilizada pela Censo Agropecuário (IBGE, 1995, 2012, 2019).

Tabela 2 – Descrição das variáveis e estatísticas descritivas

Variável	Descrição, efeito + ou -	Média	DP	Min	Max
Produção	Valor da produção agropecuária (mil reais, a preços de 2010)	40220	140963	0	2451469
Produção Micro	Valor da produção nos estabelecimentos com área menor que 100 hectares (mil reais, a preços de 2010)	16098	33679	0	584991
Produção Pequeno	Valor da produção nos estabelecimentos com área entre 101 e 500 hectares (mil reais, a preços de 2010)	10361	25579	0	499891
Produção Médio	Valor da produção nos estabelecimentos com área entre 501 e 1000 hectares (mil reais, a preços de 2010)	6388	21203	0	416795
Produção Grande	Valor da produção nos estabelecimentos com área maior que 1000 hectares (mil reais, a preços de 2010)	50343	235302	0	5259251
Pessoal Ocupado	Pessoal ocupado maior de 14 anos, (+)	2284	2422	0	28307
Pessoal Micro	Pessoal ocupado maior de 14 anos nos estabelecimentos com área menor que 100 hectares, (+)	3149	4037	0	53066
Pessoal Pequeno	Pessoal ocupado maior de 14 anos nos estabelecimentos com área entre 101 e 500 hectares, (+)	10880	16266	0	62346
Pessoal Médio	Pessoal ocupado maior de 14 anos nos estabelecimentos com área entre 501 e 1000 hectares, (+)	113	134	0	1626
Pessoal Grande	Pessoal ocupado maior de 14 anos nos estabelecimentos com área maior que 1000 hectares, (+)	241	470	0	6858
Máquinas	Número de tratores, caminhões, plantadeiras e colheitadeiras, (+)	203	422	0	6696
Máquinas Micro	Número de tratores, caminhões, plantadeiras e colheitadeiras nos estabelecimentos com área menor que 100 hectares, (+)	49	114	0	2129
Máquinas Pequeno	Número de tratores, caminhões, plantadeiras e colheitadeiras nos estabelecimentos com área entre 101 e 500 hectares, (+)	62	108	0	1800
Máquinas Médio	Número de tratores, caminhões, plantadeiras e colheitadeiras nos estabelecimentos com área entre 501 e 1000 hectares, (+)	37	80	0	1547

Máquinas Grande	Número de tratores, caminhões, plantadeiras e colheitadeiras nos estabelecimentos com área maior que 1000 hectares, (+)	130	343	0	5151
Desmatamento	Estoque de área Desmatada (km ²)	722	1221	0	18440
PIB <i>per capita</i>	PIB per capita (preços constantes R\$ 2000), (+)	6866	9099	0	134871
Precipitação	Precipitação anual média (mm), (+ ou -)	164	47	84	304
Pecuária	Efetivo de rebanho bovino, (+)	91938	140645	3	2240496
Pecuária Micro	Efetivo de rebanho bovino nos estabelecimentos com área menor que 100 hectares, (+)	13585	22610	0	388470
Pecuária Pequeno	Efetivo de rebanho bovino nos estabelecimentos com área entre 101 e 500 hectares, (+)	16890	25381	0	318187
Pecuária Médio	Efetivo de rebanho bovino nos estabelecimentos com área entre 501 e 1000 hectares, (+)	8749	12537	0	207955
Pecuária Grande	Efetivo de rebanho bovino nos estabelecimentos com área maior que 1000 hectares, (+)	29353	62535	0	766774

Fonte: Elaboração própria.

5. RESULTADOS

Esta seção traz as duas estimações realizadas para atingir os objetivos do trabalho. Na primeira estimação, a produtividade total dos fatores é estimada como Resíduo de Solow como especificado na equação (3). Na segunda, os resíduos preditos na primeira estimação são utilizados na avaliação dos seus possíveis efeitos sobre o desmatamento na Amazônia Legal. A Tabela 3 traz os resultados da estimação por efeitos fixos da função de produção para todos os estabelecimentos agropecuários (Modelo I), para os estabelecimentos micro (Modelo II), pequeno (Modelo III), médio (Modelo IV) e grande (Modelo V).

Em todos os modelos, as variáveis de pessoal ocupado e maquinário foram significativas. Já a variável de área de produção não se mostrou significativa na função de produção dos pequenos e médios produtores. O sinal negativo do tamanho da área dos

estabelecimentos nos Modelos I, IV e V confirmam o fato estilizado da relação negativa entre o tamanho do estabelecimento agropecuário e a produtividade em países em desenvolvimento (SEN, 1962, 1966; HENDERSON, 2015). Este resultado indica que a eficiência decresceria com o aumento do tamanho da fazenda. De acordo com a literatura, essa relação negativa pode ser explicada, em parte, pelas imperfeições de mercado, qualidade do solo e alta rotatividade de trabalhadores nas grandes propriedades (AHMAD; BRAVO-URETA, 1995; BARRETT; BELLEMARE; HOU, 2010).

Tabela 3 – Resultado da estimação das funções de produção

Variáveis (ln)	Modelo I	Modelo II	Modelo III	Modelo IV	Modelo V
Área	-1.0533*** (0.1586)				
Pessoal ocupado	0.4603** (0.2024)				
Máquinas	2.4026*** (0.1034)				
Área micro		1.8346*** (0.0867)			
Pessoal micro		-1.0258*** (0.0722)			
Máquina micro		0.3623*** (0.0430)			
Área pequeno			0.0548 (0.1373)		
Pessoal pequeno			-0.1650*** (0.0169)		
Máquina pequeno			1.4028*** (0.0579)		
Área médio				-0.3270 (0.2289)	
Pessoal médio				0.4654*** (0.1467)	
Máquina médio				1.8159*** (0.0734)	
Área grande					-1.2398*** (0.1422)
Pessoal grande					0.7221*** (0.1174)
Máquina grande					2.1404*** (0.0791)
Constante	5.8146*** (1.6537)	-2.1709*** (0.8366)	3.9275*** (1.3832)	2.4313 (1.7259)	9.4919*** (1.2902)
N	1916	1697	1754	1478	1356

R² Ajustado 0.3194 0.2861 0.46339 0.5757 0.6962

Fonte: Elaboração própria.

Notas: A variável dependente é o log do valor da produção.

Os erros-padrão robustos são reportados entre parênteses.

*** p < 0.01; ** p < 0.05; *p < 0.10

Uma vez estimada a função de produção agrícola para cada um dos modelos, foi feita a estimação da área desmatada na Amazônia Legal, utilizando a PTF como variável explicativa. Os resultados para o modelo de efeitos fixos se encontram na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultado da Regressão do Desmatamento

Variáveis	Modelo I	Modelo II	Modelo III	Modelo IV	Modelo V
PTF	-0.0870 (0.0774)				
PTF2	0.000 (0.0000)				
PTF_micro		0.8468 (1.1782)			
PTF_micro2		-0.0009 (0.0017)			
PTF_pequeno			4.1089** (2.0762)		
PTF_pequeno2			-0.0135* (0.0081)		
PTF_medio				-0.7400* (0.4281)	
PTF_medio2				0.0001* (0.0001)	
PTF_grande					-0.4961*** (0.1471)
PTF_grande2					0.0000*** (0.0000)
boi	0.0077*** (0.0003)				
boimc		0.0308*** (0.0022)			
boipq			0.0352*** (0.0034)		
boimd				0.0681***	

				(0.0044)	
boigd					0.0148*** (0.0012)
PIB pc	0.0198*** (0.0032)	0.0354*** (0.0047)	0.0300*** (0.0046)	0.0353*** (0.0054)	0.0347*** (0.0059)
Pop rural	0.0016 (0.0018)	0.0037 (0.0033)	0.0466*** (0.0131)	0.0699*** (0.0171)	0.0794*** (0.0156)
precipitacao	-0.3033 (0.8245)	-0.7249 (1.3046)	-0.0219 -10.994	1.8182 (1.3949)	0.7861 (1.5291)
Constante	-72.4221 (144.67)	154.63 (223.4811)	-511.6105** (229.3119)	-890.8848*** (256.6291)	-728.9841*** (-2.717.151)
N	1916	1697	1754	1457	1356
R ² Ajustado	0.5658	0.3451	0.5077	0.5237	0.5149

Fonte: Elaboração própria.

Notas: A variável dependente é o Desmatamento.

Os erros-padrão robustos são reportados entre parênteses.

*** p < 0.01; ** p < 0.05; *p < 0.10

As variáveis de controle, PIB *per capita* e número de cabeças de gado foram significativas e com sinal positivo em todos os modelos, indicando que esses fatores contribuem para o aumento do desmatamento nos municípios. Isso sugere que a expansão da fronteira agropecuária, como a criação de gado, e o crescimento econômico tem sido fatores significativos para o desmatamento de florestas tropicais (ALLEN; BARNES, 1985; DINIZ et al., 2009; FARIA; ALMEIDA, 2016; JUSYS, 2016; OLIVEIRA et al., 2011).

A população rural se mostrou significativa nos modelos de pequenas, médias e grandes propriedades, reforçando o resultado encontrado por Tanner e Johnston (2017). Além disso, a pressão do crescimento populacional sobre o desmatamento pode ser influenciada pela infraestrutura, distância até os mercados e oportunidades de emprego (ANGELSEN, 1999). Por sua vez, os níveis de precipitação na região não seriam significativos para explicar o desmatamento em nenhum dos modelos estimados.

A produtividade total dos fatores de todos os estabelecimentos rurais (Modelo I) e nas micro propriedades (Modelo II) não seria significativa para explicar o desmatamento na região. Para pequenos, médios e grandes produtores, existem evidências de uma relação não-linear entre produtividade e desmatamento. Para os pequenos produtores, existiria uma relação de “U invertido” entre a PTF e o desmatamento. Ou seja, em um primeiro momento, o incremento da produtividade pelos pequenos produtores provocaria uma expansão da área desmatada,

confirmando a hipótese de Araújo *et al.* (2019). Entretanto, essa relação se inverteria, o aumento da produtividade poderia reduzir a área desmatada.

Por outro lado, a relação entre desmatamento e as propriedades médias e de grande porte seria em forma de “U”. Isto é, em baixos níveis de produtividade total dos fatores, um aumento na eficiência reduziria a área desmatada. Contudo, após um certo nível de produtividade, a relação se inverte, estabelecimentos de médio e grande porte mais produtivos aumentariam o desmatamento das áreas de floresta. A explicação para esse fato poderia ser uma redução da eficiência técnica – um dos componentes da produtividade – desses estabelecimentos, que está relacionada com as habilidades gerenciais dos agricultores (AHMAD; BRAVO-URETA, 1995; BARRETT; BELLEMARE; HOU, 2010).

6. CONCLUSÃO

A relação entre a adoção de tecnologias que aumentam o rendimento e as mudanças no uso da terra não é direta. Ou seja, incrementos na produtividade por meio de novas tecnologias podem aumentar o rendimento da agricultura em comparação com usos alternativos da terra, dessa forma, poderiam encorajar a expansão do uso da fronteira agrícola. Além disso, existe um fato estilizado entre o tamanho da propriedade e a produtividade para países em desenvolvimento, em que a redução nos ganhos agrícolas estaria associada com o aumento da propriedade.

Neste estudo foi avaliada a relação entre a produtividade total dos fatores das micro, pequenas, médias e grandes propriedades de terra e o desmatamento nos municípios da Amazônia Legal para o período de 1995, 2006 e 2017.

Na estimação dos determinantes do desmatamento, o número de cabeças de boi e o PIB *per capita* seriam significativas para explicar o desmatamento em todos os modelos analisados. Os resultados indicaram que existiria uma relação não-linear entre a produtividade total dos fatores dos pequenos, médios e grandes estabelecimentos agropecuários nos municípios da Amazônia Legal. Em um primeiro momento, o incremento da PTF pelos pequenos produtores poderia aumentar o desmatamento na região. Mas há medida que esses produtores se tornam mais produtivos, haveria redução da área desmatada. Para médios e grandes propriedades, a melhora da PTF reduziria as áreas desmatadas. Contudo, maiores ganhos de produtividade

poderiam evoluir para maiores taxas de desmatamento por esses estabelecimentos agropecuários.

Este artigo contribui para a literatura sobre o desmatamento na Amazônia Legal ao entender a relação entre a produtividade dos estabelecimentos agropecuários de diferentes tamanhos e o desmatamento na região. Portanto, conhecer o perfil de quem está desmatando é essencial para formular políticas que, efetivamente, poderão conter esse processo. Como o desmatamento é feito por diferentes razões e por diferentes atores, dessa forma, políticas de desenvolvimento destinadas a melhorar a produtividade tem maiores chances de proporcionar impactos ambientais e sociais positivos.

Para melhorar a produtividade dos estabelecimentos agropecuários no Brasil, são necessárias políticas abrangentes e integradas. Investimentos em pesquisa e desenvolvimento agrícola, com foco em tecnologias inovadoras e práticas sustentáveis, podem impulsionar o avanço do setor. Paralelamente, programas de capacitação e extensão rural podem fornecer aos agricultores o conhecimento técnico e acesso a informações atualizadas sobre práticas agrícolas eficientes e gestão de recursos naturais.

Ademais, políticas de incentivo à inovação tecnológica, como a adoção de sistemas de irrigação eficientes e práticas de conservação do solo, juntamente com a promoção de práticas agrícolas sustentáveis, como a agricultura orgânica, agroecologia e integração lavoura-pecuária-floresta, podem aumentar a produtividade dos produtores e contribuir para o desenvolvimento sustentável do setor agropecuário.

Além disso, é crucial que haja investimentos na melhoria da infraestrutura rural, como a construção de estradas, a ampliação do acesso à eletricidade e a criação de mercados acessíveis. Essas medidas podem reduzir os custos de transporte e aumentar a eficiência logística das comunidades rurais, promovendo o desenvolvimento econômico e social do setor agrícola como um todo.

Portanto, uma combinação estratégica dessas políticas públicas pode criar um ambiente propício para o aumento da produtividade e a promoção de práticas agrícolas sustentáveis, impulsionando o crescimento econômico e contribuindo para a sustentabilidade ambiental das áreas rurais no Brasil.

REFERÊNCIAS

- ABMAN, R.; CARNEY, C. Land rights, agricultural productivity, and deforestation. **Food Policy**, v. 94, n. November 2019, p. 101841, 2020.
- AHMAD, M.; BRAVO-URETA, B. E. An Econometric Decomposition of Dairy Output Growth. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 77, n. 4, p. 914–921, 1995.
- ALLEN, J. C.; BARNES, D. F. The Causes of Deforestation in Developing Countries. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 75, n. 2, p. 163–184, 15 jun. 1985.
- ANGELSEN, A. Agricultural expansion and deforestation: Modelling the impact of population, market forces and property rights. **Journal of Development Economics**, v. 58, n. 1, p. 185–218, 1999.
- ANGELSEN, A.; KAIMOWITZ, D. Rethinking the causes of deforestation: Lessons from economic models. **World Bank Research Observer**, v. 14, n. 1, p. 73–98, 1999.
- ARAÚJO, M. L. S. DE et al. Spatiotemporal dynamics of soybean crop in the Matopiba region, Brazil (1990–2015). **Land Use Policy**, v. 80, n. July 2018, p. 57–67, 2019.
- BALSDON, E. M. Poverty and the management of natural resources: A model of shifting cultivation. **Structural Change and Economic Dynamics**, v. 18, n. 3, p. 333–347, 2007.
- BARRETT, C. B. On price risk and the inverse farm size-productivity relationship. **Journal of Development Economics**, v. 51, p. 193–215, 1996.
- BARRETT, C. B.; BELLEMARE, M. F.; HOU, J. Y. Reconsidering Conventional Explanations of the Inverse Productivity-Size Relationship. **World Development**, v. 38, n. 1, p. 88–97, 2010.
- BENJAMIN, D. Can unobserved land quality explain the inverse productivity relationship? **Journal of Development Economics**, v. 46, n. 1, p. 51–84, 1995.
- BHALLA, S. S.; ROY, P. Mis-specification in farm productivity analysis: The role of land quality. **Oxford Economic Papers**, v. 40, n. 1, p. 55–73, 1988.
- BUSCH, J. et al. Comparing climate and cost impacts of reference levels for reducing emissions from deforestation. **Environmental Research Letters**, v. 4, n. 4, 2009.
- DINIZ, M. B. et al. Causas do desmatamento da Amazônia: Uma aplicação do teste de causalidade de Granger acerca das principais fontes de desmatamento nos municípios da Amazônia Legal brasileira. **Nova Economia**, v. 19, n. 1, p. 121–151, 2009.
- FARIA, W. R.; ALMEIDA, A. N. Relationship between openness to trade and deforestation: Empirical evidence from the Brazilian Amazon. **Ecological Economics**, v. 121, p. 85–97, 2016.
- FEARNSIDE, P.; FEARNSIDE, P. **Deforestation of the Brazilian Amazon**. [s.l: s.n.].

- FEDER, G. The relation between farm size and farm productivity. The role of family labor, supervision and credit constraints. **Journal of Development Economics**, v. 18, n. 2–3, p. 297–313, 1985.
- FELEMA, J.; RAIHER, A. P.; FERREIRA, C. R. Agropecuária brasileira: Desempenho regional e determinantes de produtividade. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 51, n. 3, p. 555–573, 2013.
- FENG, C.; HUANG, J. B.; WANG, M. Analysis of green total-factor productivity in China's regional metal industry: A meta-frontier approach. **Resources Policy**, v. 58, n. March, p. 219–229, 2018.
- FERREIRA, M. D. P.; FÉRES, J. G. Farm size and Land use efficiency in the Brazilian Amazon. **Land Use Policy**, v. 99, n. June 2019, p. 104901, 2020.
- HELFAND, S. M.; LEVINE, E. S. Farm size and the determinants of productive efficiency in the Brazilian Center-West. **Agricultural Economics**, v. 31, n. 2- 3 SPEC. ISS., p. 241–249, 2004.
- HELFAND, S. M.; TAYLOR, M. P. H. The inverse relationship between farm size and productivity: Refocusing the debate. **Food Policy**, v. 99, n. June 2019, p. 101977, 2021.
- JUSYS, T. Fundamental causes and spatial heterogeneity of deforestation in Legal Amazon. **Applied Geography**, v. 75, p. 188–199, 2016.
- LAMB, R. L. Inverse productivity: Land quality, labor markets, and measurement error. **Journal of Development Economics**, v. 71, n. 1, p. 71–95, 2003.
- LAMBIN, E. F. et al. The causes of land-use and land-cover change: Moving beyond the myths. **Global Environmental Change**, v. 11, n. 4, p. 261–269, 2001.
- MESSA, A. Indicadores da Produtividade: Uma Breve Revisão dos Principais Métodos de Cálculo. **Radar**, n. 28, p. 17–26, 2013.
- MIRZA, F. M.; RIZVI, S. B. U. H.; BERGLAND, O. Service quality, technical efficiency and total factor productivity growth in Pakistan's post-reform electricity distribution companies. **Utilities Policy**, v. 68, n. January, p. 101156, 2021.
- OLIVEIRA, R. C. DE et al. Desmatamento e crescimento econômico no Brasil: Uma análise da curva de Kuznets Ambiental para a Amazônia Legal. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 49, n. 3, p. 709–740, 2011.
- RADA, N.; HELFAND, S.; MAGALHÃES, M. Agricultural productivity growth in Brazil: Large and small farms excel. **Food Policy**, v. 84, n. xxxx, p. 176–185, 2019.
- ROSA, I. M. D.; SOUZA, C.; EWERS, R. M. Changes in Size of Deforested Patches in the Brazilian Amazon. **Conservation Biology**, v. 26, n. 5, p. 932–937, 2012.
- SEN, A. K. Peasants and Dualism With ou Without Surplus Labor. **The Journal of Political Economy**, v. LXXIV, n. 1963, 1966.

SHENG, J.; QIU, H. Governmentality within REDD+: Optimizing incentives and efforts to reduce emissions from deforestation and degradation. **Land Use Policy**, v. 76, n. February, p. 611–622, 2018.

SILVEIRA, N. J. C. et al. CALCULATING MODELS FOR TOTAL FACTOR PRODUCTIVITY MEASUREMENT. **Exacta**, 2021.

SOLOW, R. M. A Contribution to the Theory of Economic Growth Author (s): Robert M . Solow Source. **The Quartely Journal of Economics**, v. 70, n. 1, p. 65–94, 1956.

TAKASAKI, Y. A model of shifting cultivation: Can soil conservation reduce deforestation? **Agricultural Economics**, v. 35, n. 2, p. 193–201, 2006.

TANNER, A. M.; JOHNSTON, A. L. The Impact of Rural Electric Access on Deforestation Rates. **World Development**, v. 94, p. 174–185, 2017.