

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

Felipe Morelli da Silva

Crédito rural e desmatamento provocado pela pecuária: evidências para o
Brasil

Juiz de Fora
2021

Felipe Morelli da Silva

Crédito rural e desmatamento provocado pela pecuária: evidências para o
Brasil

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

Orientador: Prof. Dr. Weslem Rodrigues Faria

Juiz de Fora

2021

Ficha catalográfica elaborada através do Modelo Latex do CDC da UFJF
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Da Silva, Felipe Morelli.

Crédito rural e desmatamento provocado pela pecuária: evidências para o Brasil / Felipe Morelli da Silva. – 2021.

85 f. : il.

Orientador: Weslem Rodrigues Faria

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Economia. Programa de Pós-graduação em Economia, 2021.

1. Crédito Rural. 2. Desmatamento. 3. Pecuária. I. Faria, Weslem Rodrigues , orient. II. Título.

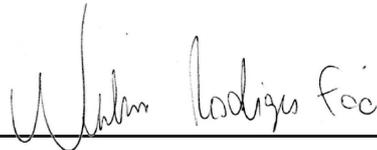
Felipe Morelli da Silva

Crédito rural e desmatamento provocado pela pecuária: evidências para o Brasil

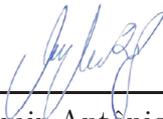
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Economia da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Economia Aplicada. Área de concentração: Economia

Aprovada em 02 de fev de 2021

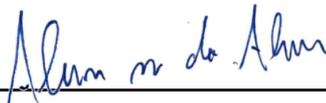
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Weslem Rodrigues Faria - Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora



Prof. Dr. Admir Antonio Betarelli Junior
Universidade Federal de Juiz de Fora



Prof. Dr. Alexandre Nunes de Almeida
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

RESUMO

O Sistema Nacional de Crédito Rural (SNCR) influencia a pecuária brasileira de diversas formas. Ele pode estimular a industrialização, a comercialização ou mesmo adoção de técnicas mais produtivas. O que se propõe neste trabalho é utilizar estimativas empíricas para identificar se a forma como o SNCR está estruturado tem alguma relação com o nível de desmatamento no país. Utilizando informações sobre 5.007 municípios brasileiros entre os anos de 2013 e 2018, e focando apenas na atividade pecuária, conclui-se que a forma de distribuição dos recursos (investimento, custeio, comercialização e industrialização) afeta o desmatamento para formação de pastagem. Os valores destinados à pecuária familiar estão correlacionados negativamente com o desmatamento, assim como a possibilidade de fiscalização do emprego dos recursos. Também conclui-se que, quanto maior o nível de preço para o boi gordo, maior a expectativa de desmatamento. Por fim, variáveis fixas como 'distância até centros comerciais' e 'aptidão do solo' também se mostraram positivamente correlacionadas com o desmatamento para atividade pecuária nos municípios.

Palavras-chave: Crédito Rural. Desmatamento. Pecuária.

ABSTRACT

The National Rural Credit System (SNCR) influences Brazilian livestock in several ways. It can stimulate industrialization, commercialization, or even the adoption of more productive techniques. What is proposed is to use empirical estimates to identify whether the SNCR has any relationship with the level of deforestation in the country. Using information from 5,007 Brazilian municipalities between 2013 and 2018, and focusing only on livestock activity, it was concluded that the form of distribution of resources (investment, costing, commercialization, and industrialization) affects deforestation to form pasture. Values destined for family livestock are negatively correlated with deforestation, as well as the possibility of monitoring the use of resources. It is also concluded that the higher the price level of live cattle, the greater the expectation of deforestation. Finally, fixed variables such as 'distance to commercial centers' and 'soil suitability' were also positively correlated with deforestation for livestock activity.

Keywords: Rural credit. Deforestation. Livestock.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Desmatamento anual no Brasil por atividade econômica	9
Figura 2 - Desmatamento anual em ha para plantio de soja	10
Figura 3 - Taxa média de juros praticada no Brasil para o setor rural (controlada e não controlada)	15
Figura 4 - Divisão dos recursos do SNCR entre agricultura e pecuária entre os anos de 2013 e 2018.	17
Figura 5 - Variação de área plantada ou de pasto ^a vs ganho produtividade	25
Figura 6 - Distribuição de áreas indígenas e áreas de conservação no município de Altamira - PA	37
Figura 7 - Tipos de solos por município.	40
Figura 8 - Desmatamento no Brasil entre 2013 e 2018	53
Figura 9 - Crédito do SNCR para pecuária, divisão por finalidade e programa	54
Figura 10 - Proporção de área de pasto por município e representação da tecnologia na pecuária (cabeças de gado por hectare)	55
Figura 11 - Estimativa da aptidão do solo para a atividade pecuária ^a	57
Figura 12 - Áreas de preservação e terras indígenas no Brasil	58
Figura 13 - Mapa de distância dos municípios até grandes centros comerciais	59
Figura 14 - Relação entre desmatamento ^a para pecuária e preço do boi gordo	60
Figura 15 - Leitura de precipitação no município de Altamira - PA	61
Figura 16 - Proporção do empréstimo aplicado em investimento (pecuária)	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Finalidade das operações de crédito do SNCR ^a	16
Tabela 2 – Distribuição do crédito rural pecuário entre programas do SNCR. Valores acumulados entre os anos 2013 e 2018	19
Tabela 3 – Distribuição de recursos do SNCR para a atividade pecuária entre 2013 e 2018	20
Tabela 4 – Variáveis do modelo de regressão linear	34
Tabela 5 – Tabela de correlações	49
Tabela 6 – Descrição das variáveis	62
Tabela 7 – Correlação entre as variáveis explicativas do modelo e a heterogeneidade não observada.	63
Tabela 8 – Resultados econométricos	65
Tabela 9 – Resultados econométricos: Amazônia Legal	69
Tabela 10 – Resultados econométricos: Cerrado + Pantanal	70
Tabela 11 – Tipo de solo e nota de aptidão à pecuária	83
Tabela 12 – Resultados econométricos: todas as regiões e considerando o desmatamento agrícola	84
Tabela 13 – Resultados econométricos: todas as regiões e considerando o desmatamento agrícola e produtividade da soja	85

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	O SISTEMA NACIONAL DE CRÉDITO RURAL (SNCR) .	12
3	REVISÃO DE LITERATURA	23
3.1	REVISÃO TEÓRICA	23
3.2	REVISÃO EMPÍRICA	29
4	METODOLOGIA	34
4.1	ESPECIFICAÇÃO DO MODELO	34
4.2	ENDOGENEIDADE	44
4.3	DEPENDÊNCIA LINEAR	48
4.4	DADOS E ESTATÍSTICA DESCRITIVA	50
5	RESULTADOS	64
6	CONCLUSÃO	71
7	REFERÊNCIAS	73
	ANEXO A – APTIDÃO DOS SOLOS	82
	ANEXO B – RESULTADOS ECONOMÉTRICOS ADICIONAIS	84

1 INTRODUÇÃO

O Sistema Nacional de Crédito Rural (SNCR) foi desenhado pelos agentes públicos com o intuito de promover a atividade rural no país. Esse desenho conta com instrumentos como: subsídio, alocação de recurso por finalidade (ex: investimento, custeio, comercialização e industrialização) e distinção entre grupos atendidos (ex: pequenos produtores, médios produtores, assentamentos rurais, etc). Cabe analisar a forma como esta estrutura do SNCR afeta o desmatamento provocado pela atividade rural no país, ou seja, se existe relação empírica entre esses instrumentos e a expansão da área rural no país. A política de crédito para o setor rural pode estar cumprindo seu papel em gerar aumento de produção e produtividade no campo, no entanto, é preciso compreender seu efeito sobre o capital natural do país, a fim de evitar que ela cause prejuízos e degradações ambientais, tanto no curto quanto no longo prazo.

Não são raros os exemplos de políticas que acabaram afetando negativamente o meio ambiente no Brasil. É possível citar a desarticulação dos movimentos populares durante o regime militar, o enfraquecimento de grupos mais comprometidos com a preservação ambiental e, conseqüentemente, a captura do estado por grupos de pressão, não ambientalmente comprometidos, com características opostas (SIQUEIRA, 2008). Outro exemplo é a impossibilidade de usar imposto como política fiscal ambiental. Segundo Gramkow (2015) e Fortes e BASSOLI (2010), o código tributário do Brasil não permite que impostos sejam usados como sanções contra atos ilícitos, pois o princípio do poluidor-pagador¹ estaria sendo violado. Esses são dois exemplos de como as instituições podem afetar o desmatamento, mas, por si só, eles não explicam a relevância social e econômica do desmatamento.

Para explicar porque o desmatamento é relevante, e assim justificar a realização do nosso trabalho, é preciso recorrer a dois conceitos chave: capital natural e sustentabilidade. Capital natural é o conjunto de recursos naturais, renováveis ou não, empregados como insumos produtivos. Apesar de sua definição ser simples, é difícil mensurar a totalidade do capital natural de um país, inclusive autores como Toman (1998) defendem a impossibilidade de tal cálculo. Como as florestas fazem parte do capital natural, também é difícil mensurar a perda provocada pelo processo de desmatamento. Por exemplo, o desmatamento pode extinguir espécies desconhecidas, mas com potencial econômico talvez maior do que a pecuária.

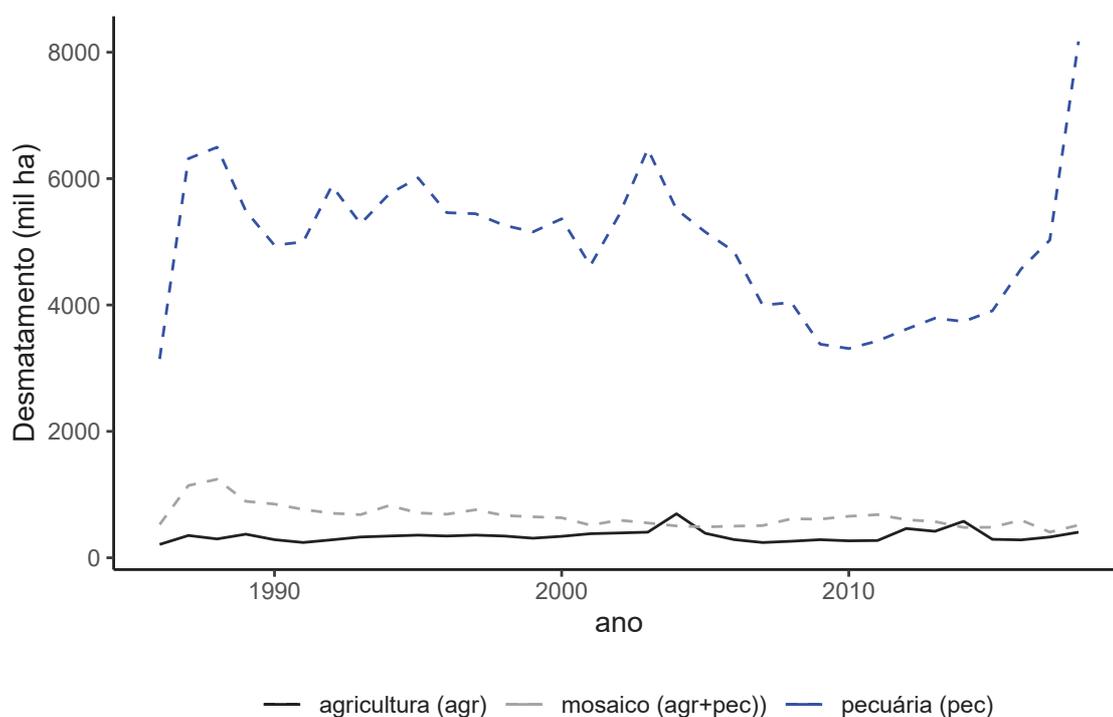
O conceito de capital natural (CN) é necessário para explicar porque o desmatamento é relevante, mas ele não é suficiente para isso. Nesse caso, é preciso fazer uso

¹ O princípio do poluidor pagador diz que aquele que causar danos ao meio ambiente deve compensar as perdas por meio de pagamento, seja de forma monetária ou através prestação de serviços, de acordo com a Lei 6.938/81 e respaldado pelo inciso IV do artigo 225 da Constituição Federal (COSTA et al., 2012).

do conceito de sustentabilidade. Segundo Barbier (2019), o desenvolvimento sustentável é aquele que ocorre sem prejuízo (declínio) da riqueza per capita ao longo do tempo. Admitindo que a riqueza é a soma de três diferentes tipos de capitais (Natural (CN), Humano (CH) e Reprodutível (CR)), a riqueza per capita se manteria constante se, no caso da redução de um dos capitais, outro tipo de capital pudesse compensar essa perda. Em outras palavras, as ações da geração presente não influenciam negativamente o bem estar da geração futura sob condição de sustentabilidade. A questão que deve ser considerada é: dado que parte da perda do capital natural é irreversível, as duas outras formas de capital seriam capazes de compensar a perda de Capital Natural? Essa dúvida, somada à dificuldade metodológica em calcular o capital natural de um país, é que torna o desmatamento preocupante.

A maior parte do desmatamento no Brasil se deve à pecuária, à abertura de área de floresta para pasto. A agricultura também contribui, mas em escala menor. Entre 1986 e 2006 o ritmo de desmatamento para criação de pastos foi de 4 a 6 milhões de hectares (ha) ao ano. A partir de 2006, o desmatamento caiu para 3,5 milhões de ha em média e, em 2016, voltou a subir, chegando a 8 milhões de ha desmatados em 2018 (Figura 1). Entre os anos de 1985 e 2018, 96,5 milhões de ha de floresta foram substituídos por áreas de agropecuária. Desse total, 83% foram para pastagem e 14,6% para a agricultura. Isso não quer dizer que a área de agricultura não tenha avançado.

Figura 1 - Desmatamento anual no Brasil por atividade econômica



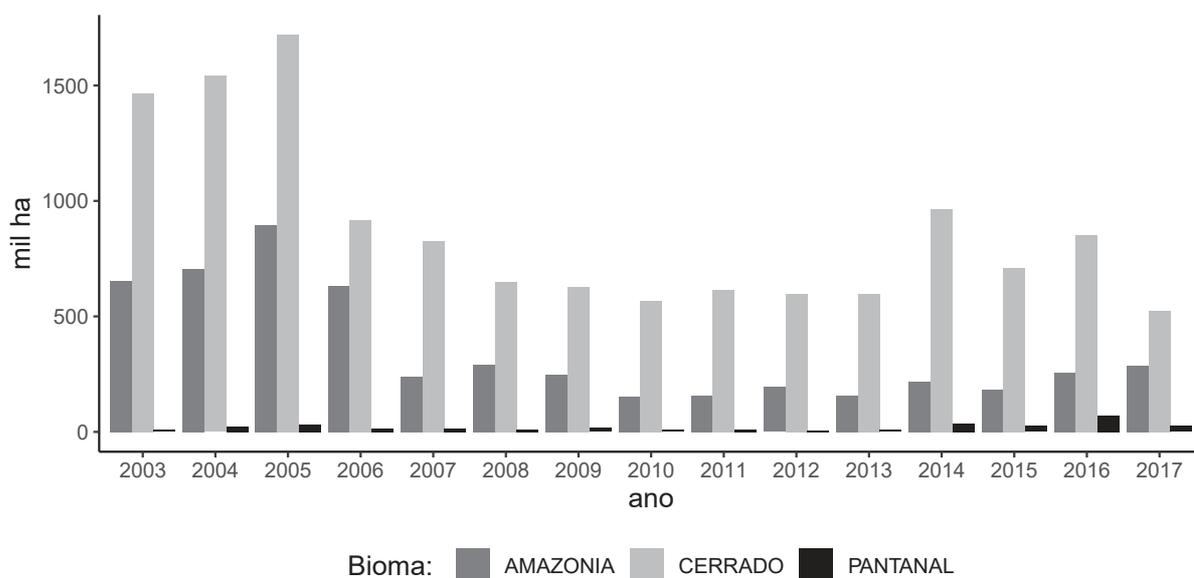
Fonte – Elaboração própria com base nos dados do MapBiomias (2019)

O aumento da área agrícola ocorre muitas vezes sobre a área de pastagem que, provavelmente, um dia foi uma floresta. Nesse mesmo período, entre 1985 e 2018, 17,1 milhões de ha que antes eram pastagem se transformaram em lavouras.

De forma geral, em 1985 haviam 587 milhões de ha de floresta no país, em 2018 esse número caiu para 505 milhões de ha. Se a cada três décadas for mantido esse ritmo de desmatamento, próximo de 80 milhões de ha, no final de 2100 haverá apenas 50% de floresta remanescente no Brasil. Todos esses dados foram levantados pelo Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil (MapBiomass,2020), resultado da interação de pesquisadores brasileiros e estrangeiros com auxílio tecnológico da Google. Atualmente não existe recurso governamental para levantar e manter tal base de dados que apresente a causa do desmatamento (pastagem, agricultura, mineração), a não ser os dados do projeto TerraClass no Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE). Porém os dados do TerraClass cobrem apenas o bioma amazônico com levantamentos bianuais entre 2004 e 2014.

Segundo estudo da Embrapa (2005, p. 200), a dinâmica da cultura da soja era seguir e avançar sobre áreas de pastagens degradadas, ou de outras culturas mais preparadas para o primeiro plantio após o desmatamento (como o arroz por exemplo), até que a própria cultura da soja encontrou a fronteira com a floresta. A Figura 2 mostra o desmatamento na Amazônia no Cerrado e no Pantanal brasileiro provocado apenas pela cultura da soja:

Figura 2 - Desmatamento anual em ha para plantio de soja



Fonte – Elaboração própria com base nos dados da TRASE (2020).

O desmatamento, seja ele provocado pela pecuária ou agricultura e, independente da intensidade que esteja ocorrendo, pode estar sendo afetado pela política de crédito

rural brasileira. Demonstrar a existência, ou não, da relação entre o subsídio ao crédito rural e a perda de capital natural do país, por exemplo, é estratégico pela questão da sustentabilidade ambiental.

Portanto, o objetivo é relacionar características do Sistema Nacional de Crédito Rural (SNCR) ao desmatamento no Brasil. Mais especificamente, relacionar subsídio, forma de alocação dos recursos e grupos de agentes atendidos (ex: pequenos, médios e grandes produtores) ao desmatamento provocado exclusivamente pelo setor pecuário do país. Esse setor foi escolhido por sua maior dependência por terra como fator de produção. Em 2018, a área ocupada pela pecuária no Brasil era de 183,2 milhões de hectares, seguida pela agricultura, com 60 milhões de hectares. Os demais setores econômicos não possuem demanda expressiva por fator terra, cabendo ressaltar apenas os 28 mil hectares ocupados pela mineração (MAPBIOMAS, 2019).

A seguir, será apresentado o SNCR de uma forma mais clara, simples e acessível de como ele é apresentado no Manual de Crédito Rural (MCR). A compreensão do sistema é uma das bases para as pesquisas que tenham intenção de analisar a relação entre crédito e desmatamento no Brasil. Em seguida será apresentada a revisão de literatura, tanto teórica quanto empírica. Por fim, será demonstrada empiricamente a relação entre desmatamento e características do SNCR através de metodologia de dados em painel.

2 O SISTEMA NACIONAL DE CRÉDITO RURAL (SNCR)

A produção agrícola e pecuária no Brasil depende de fatores como: terra, insumos, tecnologia e mão de obra. Como exemplo, para a produção de soja no estado do Mato Grosso, o Instituto Mato-grossense de Economia Aplicada (IMEA) estimou em janeiro de 2020 que 77% dos custos eram variáveis e que aproximadamente 50% era destinado à compra de sementes, fertilizantes e defensivos. No entanto, como a atividade produtiva se inicia meses antes da colheita (a fim de realizar atividades como preparo de solo), parte da compra dos insumos é realizada a partir de operações de crédito e parte com recursos próprios. Rastrear a origem desse recurso permite criar relações causais entre agropecuária, desmatamento e crédito, as quais serão detalhadas posteriormente.

Santana e Nascimento (2012) estimaram que 72% dos recursos para produção agropecuária são recursos próprios. Já o valor emprestado ao setor agropecuário por meio do SNCR foi de aproximadamente 351,5 bilhões de reais em 2019, segundo dados do Bacen (2020c). Na falta de estudos mais recentes, e, com intuito meramente ilustrativo, se for aplicado o coeficiente que representa o valor de recursos próprios, estimado por Santana e Nascimento (2012), igual a 72%, aos valores atuais emprestados pelo SNCR, estimado em 351,5 bilhões de reais em 2019 pelo Bacen, é possível supor que a agropecuária movimentou nesse ano, mediante operações de: investimento; custeio; comercialização; e industrialização, um valor próximo de 1,26 trilhões de reais ($\frac{351,5bi}{0,28}$). Tal estimativa não está distante dos 1,53 trilhões de reais que a CNA e o Cepea (2020b) estimaram para o PIB do agronegócio em 2019. Ou seja, o crédito concedido ao setor através do SNCR é expressivo (em 2019 representou 4,8% do PIB brasileiro, que foi estimado em 7,3 trilhões de reais pelo Bacen (2020c)).

Além disso, em 2019, de todo o valor em dólares exportado pelo Brasil, aproximadamente 15,4% correspondia à soja e seus derivados, 12,5% apenas ao grão de soja (SECEX, 2020). Esse valor corresponde a 68,5% da produção nacional de soja que, por sua vez, corresponde a 45,23% da área agrícola do Brasil no mesmo ano (CONAB, 2020b). Em contrapartida, o coeficiente de exportação da indústria brasileira¹ em 2018 foi de apenas 15,8% segundo dados da CNI (2016), ou seja, apenas 15,8% da produção nacional foi exportada.

Dessa maneira, fica demonstrado que o valor destinado ao financiamento rural é expressivo, que boa parte do valor é proveniente do SNCR e que esse recurso é utilizado em um dos principais setores da economia brasileira, o agronegócio. O SNCR será detalhado a seguir, primeiro de forma geral, abrangendo toda a produção rural, e, em seguida, concentrando apenas na atividade pecuária. A construção das equações a seguir foram

¹ O coeficiente de exportação mostra a relevância do setor externo para a indústria brasileira. Foi criado pela CNI e representa a relação entre valor exportado (X_k) e valor produzido (Y_k) pelo setor k (CNA, 2020).

baseadas principalmente na lei 5.868, de 12 de dezembro de 1972 e que cria o SNCR, e no trabalho realizado por Lopes, Lowery e Peroba (2016). Os coeficientes das equações foram baseados em dados do BACEN/SNCR entre julho de 2019 e janeiro de 2020 e servem para dar noção da distribuição atual dos recursos. No entanto, eles podem variar mensalmente.

Como já ressaltado, o crédito rural (Cr) no Brasil tem duas origens, o Sistema Nacional de Crédito Rural ($SNCR$) e recursos fora do SNCR ($!SNCR$), tais como: empréstimos familiares, *traders*, processadoras de grãos, recursos próprios dentre outros. Recordando que, segundo Santana e Nascimento (2012), a maior parte do recurso, em torno de 72%, origina-se fora do SNCR:

$$\begin{aligned} Cr &= SNCR + !SNCR \\ &\approx 0,28 Cr + 0,72 Cr \end{aligned} \quad (2.1)$$

Essa é a referência mais recente encontrada na literatura. No entanto, existem dados que sinalizam que essa proporção não variou muito nos últimos 6 anos, por exemplo: para a safra de 2018-19, 69% do crédito para produção de soja no estado do Mato Grosso foi fornecido por multinacionais, revendas ou recursos próprios (IMEA, 2018).

Na prática, o SNCR é um conjunto de normas que definem a origem do recurso destinado ao crédito rural - investidores (I), tesouro nacional (TN) ou fundo constitucional(FC) - assim como as taxas de juros a serem praticadas (fixadas, ou não, de acordo com a fonte e o destino do crédito).

$$\begin{aligned} SNCR &= SNCR_{(I)} + SNCR_{(TN)} + SNCR_{(FC)} \\ &\approx 0,79 SNCR + 0,13 SNCR + 0,8 SNCR \end{aligned} \quad (2.2)$$

Parte do recurso do SNCR é emprestado a taxas fixas de juros ($SNCR_{\bar{r}}$) e o restante a taxas livremente acordadas entre a instituição financeira e o produtor rural ($SNCR_r$).

$$\begin{aligned} SNCR &= SNCR_{\bar{r}} + SNCR_r \\ &\approx 0,75SNCR + 0,25SNCR \end{aligned} \quad (2.3)$$

Sendo assim, 75% do recurso do SNCR é repassado às instituições financeiras (IF) que cobrarão uma taxa de juros maior que aquela fixada pelo SNCR. A diferença entre a taxa desejada (r) e aquela fixada (\bar{r}) é paga pelo tesouro nacional na forma de equalização de taxas de juros (Eq).

$$Eq = [r - \bar{r}][\alpha SNCR] = [\Delta r][SNCR_{\bar{r}}] \quad (2.4)$$

Nesse caso α representa a proporção do valor do SNCR que é emprestado na modalidade de taxas fixas (cerca de 75% de todo o valor segundo dados do Tesouro

nacional para o período entre julho de 2019 e janeiro de 2020). Se for considerado que 28% dos recursos destinados ao crédito rural advém do SNCR, chega-se ao resultado de que 21% do crédito rural no Brasil é beneficiado por subsídio. Sendo assim, é razoável considerar essa variável ao determinar os condicionantes do investimento rural no Brasil, assim como os condicionantes para o desmatamento.

Parte do valor do SNCR não subsidiado é captado na forma de Letras de Crédito Agrícola (LCA). Os agricultores tomam emprestado junto aos bancos e emitem notas promissórias. Por sua vez, o banco vende essas notas a algum investidor na forma de LCA. Quando o agricultor paga o banco, o banco em seguida paga ao investidor (LOPES; LOWERY; PEROBA, 2016; SANTANA; NASCIMENTO, 2012).

Segundo Lopes, Lowery e Peroba (2016), o agente que recorre à LCA como forma de financiamento é, geralmente, aquele que (i) não se enquadra nas exigências do SNCR subsidiado, o que, por vezes, envolve projetos de produção mais sustentáveis (ex: Integração Lavoura Pecuária Floresta (ILPF)) ou (ii) não tem familiaridade com o programa. Por isso, a taxa de juros paga por esse tipo de produtor é maior. Sendo o volume financeiro captado pelas LCA's expressivo (14% de todo o valor do SNCR, aproximadamente 16,5 bi de reais entre julho de 2019 janeiro de 2020)(BACEN, 2020c) e sendo a taxa de juros praticada para esse instrumento(r_{LCA}) acima daquela fixada, em média, pelo SNCR (\bar{r}), pode-se supor que a taxa paga pelas LCA's representa uma *proxy* para a taxa livre praticada (r) e que a diferença entre essa taxa e aquela fixada pelo SNCR seria um indicador para os gastos com equalização:

$$Eq \approx [r_{LCA} - \bar{r}][0, 21SNCR] \approx [\Delta r_{LCA}][SNCR_{\bar{r}}] \quad (2.5)$$

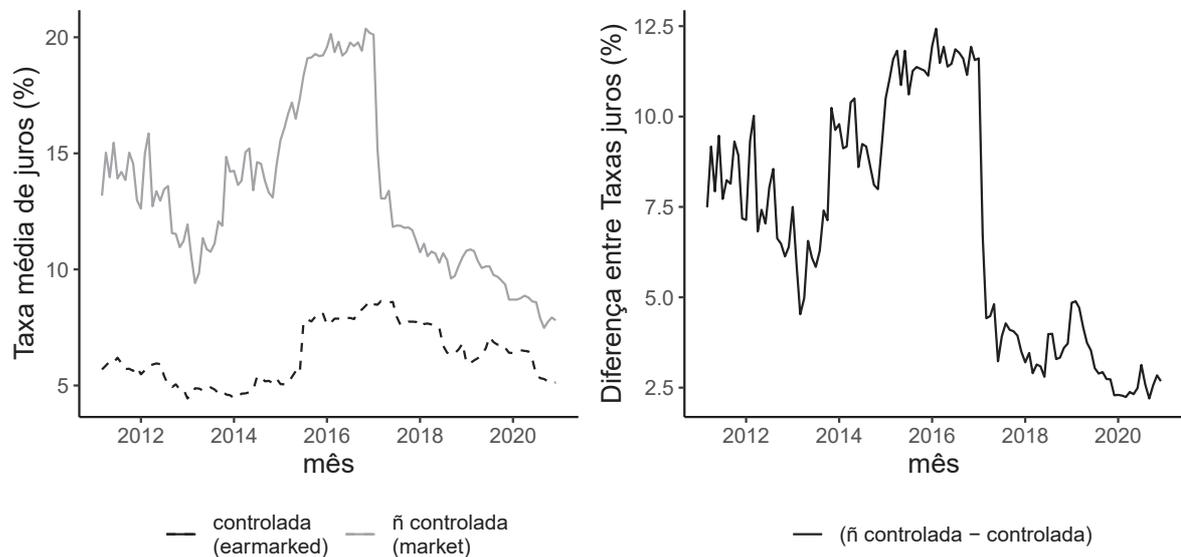
A LCA é um bom exemplo por ser popularizada no Brasil, mesmo entre os agentes não ligados ao agronegócio, os quais veem o título como uma alternativa rentável e relativamente segura aos títulos públicos. No entanto, existem outras fontes de recurso com taxa livre, menos conhecidas, que não são derivadas em títulos como as LCA's, mas que também compõem o SNCR. A captação externa, recursos livres do BNDES e recursos livres da poupança rural são alguns exemplos. Nesse ponto é possível expandir o argumento de Lopes, Lowery e Peroba (2016), os agentes irregulares não recorrem apenas a programas financiados por LCA's, mas sim a qualquer programa com taxa não subsidiada e livre de fiscalização. A base para esse argumento está no no capítulo 6, seção 3, item 6 do MCR, segundo o qual as operações de crédito rural com recursos livres não estão sujeitas às exigências de vistoria prévia, medição e fiscalização².

Cabe ressaltar que, além do SNCR, existem outros programas governamentais que destinam crédito à agricultura, tal como as políticas garantidoras de preços agrícolas. As

² A única exceção ocorre quando o financiamento está vinculado ao Programa de Garantia da Atividade Agropecuária (Proagro).

taxas de juros praticadas por esses programas também podem ser livremente acordadas pelas instituições financeiras e o tomador (*market rates*), ou são fixadas por alguma política de crédito rural (*earmarked rates*). Portanto, a diferença entre elas é um indicador mais geral para gastos com equalização que vão além do SNCR. A Figura 3 mostra essa diferença, que em 2016 chegou a 12,5%, mas que em 2020 caiu para 2% em média. A maior estabilidade das taxas controladas ao longo do tempo já era esperada. Também cabe notar o efeito da queda da taxa básica de juros na economia a partir de 2018 sobre as taxas não controladas:

Figura 3 - Taxa média de juros praticada no Brasil para o setor rural (controlada e não controlada)



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Bacen (2020a).

Além da origem do recurso do SNCR e do papel desempenhado pelo subsídio, outra informação de interesse sobre o SNCR é a forma como o recurso é empregado. Ele pode ser destinado a atender diferentes demandas que o legislador julgar necessárias. Por exemplo, parte do crédito do SNCR empregado na recuperação de solos e pastagens, mas não pode ser empregado na especulação financeira. A Tabela 1 detalha o destino do crédito por finalidade. A questão é, será que a forma como o crédito é distribuído afeta o desmatamento? Essa também é uma pergunta que o trabalho busca responder.

Tabela 1 – Finalidade das operações de crédito do SNCR^a

Geral	Específica	Detalhada
custeio	<i>cobrir despesas nominais do ciclo produtivo</i>	tratos culturais da cana-de-açúcar
		aquisição antecipada de insumos
		aquisição de insumos, incluso para recuperação de áreas de proteção, regeneração natural de espécies nativas e preservação de incêndios
		aquisição de animais para recria e engorda.
Investimento	<i>Aplicação com retorno após vários períodos de produção</i>	construção, reforma e ampliação de benfeitorias
		aquisição de máquinas
		ampliação de lavouras e pastagens
		recuperação de solo e de pastagens
		regularização ambiental
Comercialização	<i>cobrir despesas após finalização da produção ou converter títulos provenientes da venda a prazo em espécie</i>	desconto de Duplicata Rural (DR)
		desconto de Nota Promissória Rural (NPR)
		estoque de produção agropecuária
		proteção de preços (ex: estratégia de hedge)
Industrialização	industrialização da produção rural	beneficiamento da produção (ex: pasteurização, secagem, refrigeração)
		aquisição de insumos (ex: embalagens, rótulos, conservantes)
		despesas com mão-de-obra
		manutenção e conservação de equipamentos.

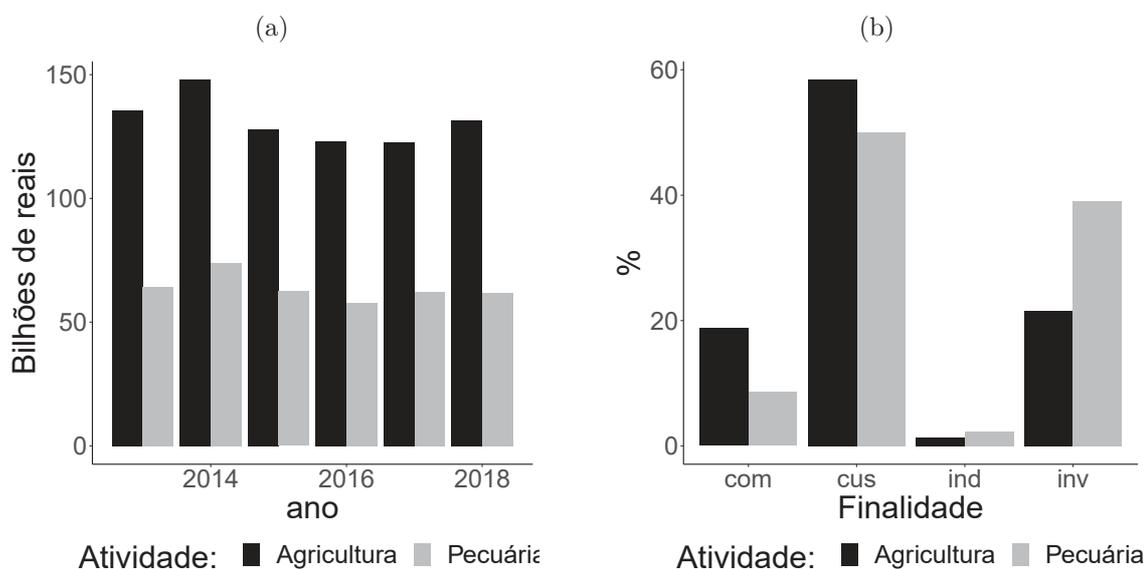
^a A tabela é um resumo das finalidades das operações de crédito praticadas pelo SNCR. Dados mais detalhados devem ser consultados no MCR

Fonte – Elaboração própria com base nos dados do Manual de Crédito Rural (BACEN, 2020c)

Construir esse mapa geral do crédito rural no Brasil possibilita concluir sobre a origem do recurso, sobre a relevância dos subsídios e sobre a forma como os recursos são empregados. Essas conclusões serão utilizadas posteriormente para a construção do modelo econométrico que visa explicar parte do desmatamento no Brasil considerando os possíveis efeitos da forma como o SNCR foi desenhado.

Até aqui o SNCR foi apresentado de forma agregada, sem distinguir pecuária e agricultura. Conhecidas as principais características do sistema de crédito, agora serão apresentados os dados específicos para a pecuária. A Figura 4(a) mostra que, em 2018, aproximadamente 63,8 bilhões de reais foram emprestados pelo SNCR aos pecuaristas, o que equivale a 33% do valor total de empréstimo (pecuária + agricultura). Levando em consideração que o PIB da atividade pecuária em 2018 foi igual a 401,8 bilhões de reais, segundo dados do Cepea (2020b), 63,8 bilhões corresponderiam a 16% do PIB pecuário. Isso torna mais clara a expressividade do crédito destinado para essa atividade e que não é apenas a agricultura que recorre a essa política de crédito. Além disso, a Figura 4(b) mostra que a pecuária distribui os recursos do SNCR entre investimento, custeio, comercialização e industrialização, de forma similar que a agricultura.

Figura 4 - Divisão dos recursos do SNCR entre agricultura e pecuária entre os anos de 2013 e 2018.



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Bacen (2020c)

A tabela 2 foi construída a partir dos dados da Matriz de Crédito Rural (MDCR) do Bacen, e representa o valor de crédito rural (em milhões de reais) por programa de financiamento entre os anos de 2013 e 2018, assim como o número de contratos e o valor médio por contrato (em mil reais). Ela apresenta quatro informações relevantes. A primeira delas é que a maioria dos financiamentos (58,1%) não são classificados entre os diversos programas existentes. A segunda é que o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf)³ e o Programa Nacional de Apoio ao Médio Produtor Rural

³ O termo 'agricultura' gera algumas confusões. De forma restrita os termos 'agricultura' e 'pecuária' são distintos, o primeiro referente à produção vegetal e o segundo referente à produção animal. Porém, alguns órgãos como o Bacen, em certos casos, utilizam o termo 'agricultura' de forma a englobar tanto a produção vegetal quanto animal. Sendo assim,

(Pronamp) são os programas mais expressivos do SNCR, consumindo respectivamente 20,6% e 14,4% do recurso disponível. A terceira é que existe uma clara distinção de valor entre os contratos negociados. Enquanto os contratos do Pronaf têm valor médio de 77,4 mil reais, os contratos do Pronamp são da ordem de 670 mil e, aqueles contratos geralmente financiados pelo BNDES (Moderninfra, Modernagro, Moderfrota) possuem valores superiores a 1 milhão. Por último, a Tabela 2 mostra que alguns programas são menos expressivos, tal como o Prodecer e o Proaquicultura, com poucos contratos negociados.

deve-se ressaltar que o Pronaf atende tanto a atividade agrícola quanto a pecuária.

Tabela 2 – Distribuição do crédito rural pecuário entre programas do SNCR. Valores acumulados entre os anos 2013 e 2018

Programa	Finalidade	Valor (mi)	Valor (%)	Cont	Valor/cont (mil)
ProdecerIII	Programa nipo-brasileiro para desenvolvimento do Cerrado	0,09	0,00	2	47,07
FNE	Renegociação de dívida, específico para a região nordeste, muito utilizado em casos de seca e estiagem	0,65	0,00	45	14,34
outros	outros	0,84	0,00	1	835,91
Proaquicultura	Recursos do BNDES para projetos de aquicultura	40,98	0,00	5	13.334,40
FNO	específico para a região nordeste	41,51	0,00	94	441,59
PNCF	reforma agrária	64,62	0,00	1.755	141,41
Moderinfra	Recursos do BNDES para projetos de irrigação e ambientes protegidos	74,44	0,00	223	1.991,18
PCA	Recursos do BNDES para construção e ampliação de armazéns	309,36	0,00	217	7.915,21
Procap	Recursos do BNDES para cooperativas	1.453,92	0,00	295	28.535,06
Moderagro	Recursos do BNDES para modernização da agricultura	2.182,50	1,00	6.050	2.402,99
Moderfrota	Recursos do BNDES para aquisição de tratores e colheitadeiras	2.583,92	1,00	16.670	859,82
PSI	Recursos do BNDES para aquisição de máquinas, equipamentos e caminhões	2.665,07	1,00	21.995	599,90
Prodecoop	Recursos do BNDES para cooperativas	2.757,13	1,00	164	97.426,16
Inovagro	Recursos do BNDES para inovação e tecnologia	5.646,46	1,00	19.023	2.006,33
ABC	Recursos do BNDES para redução de gases do efeito estufa	8.111,37	2,00	31.755	1.587,21
Pronamp	médio agricultor rural	55.252,24	14,00	495.257	669,62
PRONAF	agricultura familiar ^b	78.805,59	21,00	6.135.485	77,42
Sem programa	diversas finalidades	222.093,88	58,00	845.983	1.595,29

^a Valores deflacionados pelo IPCA (em reais de abril de 2020)

Fonte – Elaboração própria com base nos dados da Matriz de Crédito Rural (BACEN, 2020c)

Quanto à taxa praticada para esses empréstimos, elas são, em sua grande maioria, controladas. Aproximadamente 87% do crédito destinado para a pecuaristas através do SNCR é controlado, ou seja, são beneficiados por taxas menores do que aquelas praticadas em mercado e geram despesa ao estado na forma de subsídio (equalizações). Desse total, 33% advém da fonte ‘Obrigatórios’ e 33% da Poupança Rural. Cabe lembrar que, segundo o Manual de Crédito Rural (MCR), 59% da poupança rural deve ser obrigatoriamente destinada ao SNCR e 27,5% dos depósitos à vista deve ser destinados na forma de ‘Obrigatórios’.

Tabela 3 – Distribuição de recursos do SNCR para a atividade pecuária entre 2013 e 2018

Condição	Fonte	Valor (mi) ^a	Valor (%)	Contratos	Valor ^{ab} /contrato
controlado	Outras fontes de recursos	72,66	0,02	210	959,30
	Reforma agrária	90,49	0,02	2.658	193,82
	Governos estaduais	151,57	0,04	5.148	155,17
	FAT	420,18	0,11	13.877	17.917,16
	Compulsório	427,25	0,11	4.616	326,31
	Tesouro Nacional	479,55	0,13	60.985	53,70
	IHCD	6.067,75	1,59	152.437	764,09
	FNO	10.824,87	2,83	171.620	453,39
	FCO	19.357,83	5,06	236.449	487,03
	FNE	20.264,55	5,30	3.961.912	31,31
	BNDES	24.930,51	6,52	200.463	752,56
	Obrigatórios	124.678,87	32,59	662.856	1.201,83
	Poupança Rural	125.102,57	32,70	1.876.898	1.970,77
controlado	Total	332.868,63	87,02	7.350.129	45,29
não controlado	BNDES	12,22	0,00	17	4.007,03
	Captação externa	308,46	0,08	82	11.498,82
	Poupança Rural	10.174,00	2,66	50.695	1.150,20
	Recursos livres	15.272,32	3,99	133.745	1.210,98
	LCA	23.898,72	6,25	45.066	6.819,56
não controlado	Total	49.665,72	12,98	229.605	216,31

^a Valores deflacionados pelo IPCA (em reais de abril de 2020)

^b Valores na unidade de mil reais

Fonte – Elaboração própria com base nos dados da Matriz de Crédito Rural (BACEN, 2020c).

A origem e o destino do crédito, as regras para financiamento e o nível de subsídio são considerados elementos chave para tentar entender como o SNCR pode, ou não, afetar o desmatamento. No entanto, cabe lembrar que o SNCR não é a única fonte de subsídio para o setor rural, Aquisição do Governo Federal (AGF); Empréstimo do Governo Federal (EGF); Programa Especial de Securitização Agrícola (PESA) e Programa de Revitalização de Cooperativas de Produção Agropecuária (RECOOP), são exemplos de programas que também subsidiam o setor.

A AGF e o EGF foram os primeiros instrumentos da Política de Garantia de Preços Mínimos (PGPM). O funcionamento era simples e seguia duas regras: 1) a partir de um preço mínimo o Governo se dispunha a comprar o produto agrícola, 2) depois que os preços se recuperavam e atingiam determinado patamar os estoques formados eram vendidos (EMBRAPA, 2010).

Outra política de subvenção ao produtor foi criada em resposta ao próprio SNCR. O SNCR concedeu acesso a crédito aos produtores, no entanto, parte desse crédito tinha taxas indexadas. Em momentos de câmbio valorizado e taxa de juros elevada, como na década de 80, os produtores perceberam um descontrole de suas dívidas. A resposta do governo foi a criação de programas de securitização, tais como o Programa Especial de Securitização Agrícola (PESA) e o Programa de Revitalização de Cooperativas de Produção Agropecuária (RECOOP) (EMBRAPA, 2010).

Além desses programas, existem outros mais específicos, tais como isenção fiscal ao setor de combustíveis (álcool e biodiesel), recuperação de lavouras e modernização de frota (Moderfrota) (EMBRAPA, 2010). O Programa de Apoio ao Setor Sucroalcooleiro (PASS) se tornou mais relevante a partir de 2014 com a crise desse setor. Em 2016 o programa recebeu 56,6 milhões de reais na forma de subsídio financeiro e em 2018 o subsídio tributário ao biodiesel foi de 67,6 milhões de reais (TESOURO, 2018). O programa de Recuperação da Lavoura Cacaueira continua ativo principalmente no estado da Bahia.

Baseado nos principais programas existentes, pode-se analisar o subsídio por quatro ângulos: aquele que beneficia a tomada de crédito, aquele que auxilia a sanar as contas do agricultor (securitização), aquele aplicado em garantia de preços mínimos e, por fim, a isenção tributária.

Portanto, para uma análise mais ampla, deve-se considerar o subsídio da seguinte forma:

$$\begin{aligned} sub_{total} &= sub_{crédito} + Sub_{financeiro} + sub_{tributário} \\ &\approx 0,05sub_{total} + 0,32sub_{total} + 0,63sub_{total} \end{aligned} \quad (2.6)$$

Por simplificação, o subsídio praticado pelo governo federal foi dividido em dois grupos. O primeiro se refere ao subsídio financeiro (explícito ou direto) e creditício (implícito ou indireto) e o segundo ao tributário. A agregação do subsídio financeiro ao

creditício foi realizada, pois, em termos práticos, não há diferença entre eles. O subsídio financeiro passa por discussão para aprovação do congresso e consta no Orçamento Geral da União, enquanto que o creditício não. Essa divisão se baseia na nota informativa da Secretaria de Acompanhamento Econômico do Ministério da Fazenda (TESOURO, 2018, p. 02). Os coeficientes da equação 6 foram calculados a partir de dados do Tesouro (2018) obtidos entre os anos de 2003 e 2018 e corrigidos pelo Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA). O subsídio tributário, em média, corresponde a 63% de todo o subsídio ou benefício do governo ao setor rural. Em 2018, foram gastos aproximadamente 27 bilhões de reais em isenções tributárias ao setor.

Segundo Cardoso et al. (2011), cada real gasto com equalização gera um ganho de 1,34 reais para o PIB brasileiro, além disso, todas as regiões do país seriam beneficiadas em termos de bem-estar. Ele também demonstrou que, caso o recurso fosse gasto no setor de transporte, ao invés do setor agropecuário, haveria perda de bem estar e retorno alternativo negativo. Cardoso et al. (2014) chegaram a valores mais elevados, de cada um real gasto com equalizações, 3,57¹ reais retornariam à economia na forma de produto. Para Júnior, Faria e Albuquerque (2019), o gasto com equalizações poderia gerar aumento da atividade econômica e, conseqüentemente, aumento da receita tributária do governo, podendo ser 41,85% superior ao gasto inicial com equalizações, além de promover o aumento do PIB e do número de postos de trabalho. Em contrapartida, cabe destacar que o imposto cobrado para a realização da política de subvenção ao crédito rural pode alterar os hábitos das famílias e causar redução na produção para evitar pagamento de impostos (REIMER; WEERASOORIYA, 2019), algo que não foi considerado por Cardoso et al. (2011) e por Cardoso et al. (2014).

A análise global do subsídio ao setor rural se torna ainda mais difícil quando adotada a ótica do capital natural. Se realmente o subsídio afeta o desmatamento, a política pública de incentivo à agricultura e pecuária pode causar perda de capital natural ao país. Como ressaltado por Combes et al. (2018) por meio da *Tinbergen rule*, às vezes uma política pública pode ser benéfica a um setor mas prejudicial a outro.

3 REVISÃO DE LITERATURA

A metodologia escolhida, dados em painel, não permite analisar a relação entre o desmatamento e o SNCR de forma isolada. Ela exige que seja construído um modelo bem especificado para explicar o desmatamento, ou seja, um modelo que englobe as principais causas de desmatamento, dentre elas a política de crédito rural. Para construir tal modelo, primeiro será realizada a revisão da literatura teórica que trata sobre o tema, em seguida a revisão empírica. Vale salientar que essa divisão não é clara, ela serve para guiar o leitor, mas não evita referências teóricas na revisão empírica.

3.1 REVISÃO TEÓRICA

O modelo teórico de Von Thünen explica o desmatamento através da diferença de rentabilidade da terra (ANGELSEN, 2007). Segundo ele, os agentes são racionais e irão empregar a terra para aquela atividade (agricultura, pecuária, preservação, etc) que melhor os remunerere. Um ponto relevante deste trabalho é que, da forma como ele foi elaborado, é possível relacionar a distância da terra até os centros comerciais com o rendimento proporcionado por ela. Consequência disso é a relação entre distância e desmatamento. Angelsen (2007) desenvolve o modelo de Von Thünen para apenas dois tipos de uso da terra, floresta e agricultura¹, e considera os seguintes axiomas:

- 1) não há custo em alterar o uso da terra, ou seja, o custo de desmatamento é zero.
- 2) Toda terra será convertida para o uso que a melhor remunerere.
- 3) homogeneidade das terras, ou seja, não há diferença de relevo, fertilidade, clima, etc entre as terras. Esse conjunto de variáveis será agregado na forma da variável ‘distância’ da terra até o centro comercial.
- 4) Intensidade fixa de produção, o que quer dizer que, dentro de cada classe de uso da terra (ex: agricultura) não haverá distinção de intensidade produtiva entre os agentes.
- 5) A distância é inserida no modelo como um custo adicional de produção.
- 6) A variável tempo é ignorada pelo modelo, por isso valores reais e nominais são iguais, o que facilita a análise.²
- 7) Os agentes são racionais e as porções de terra serão alocadas para as atividades com maior remuneração.

A partir desses axiomas Angelsen e Kaimowitz (2001a) propuseram o modelo:

$$r(d) = pY - wL - qK - c - vd \quad (3.1)$$

onde $r(\cdot)$ representa o retorno do uso da terra, Y a quantidade produzida por ha, p

¹ Angelsen e Kaimowitz (2001a) consideram a agricultura como sendo a soma entre a atividade agrícola de fato mais a atividade pecuária.

² Angelsen (2007) propõe um modelo teórico que incorpora a variável tempo.

o valor da produção vendida nos centros comerciais, L e K a quantidade de trabalho e capital respectivamente utilizados, w o custo por mão de obra e q o custo por unidade de capital, c representa o custo em proteger a propriedade privada, d a distância até o centro comercial e v o custo por quilômetro percorrido. Caso o valor de retorno das florestas seja considerado nulo é possível calcular a distância até a fronteira de desmatamento, ou seja, até o limite onde a terra gera retorno financeiro:

$$0 = pY - wL - qK - c - vd_{fronteira} \quad (3.2)$$

$$d_{fronteira} = \frac{pY - wL - qK - c}{v} \quad (3.3)$$

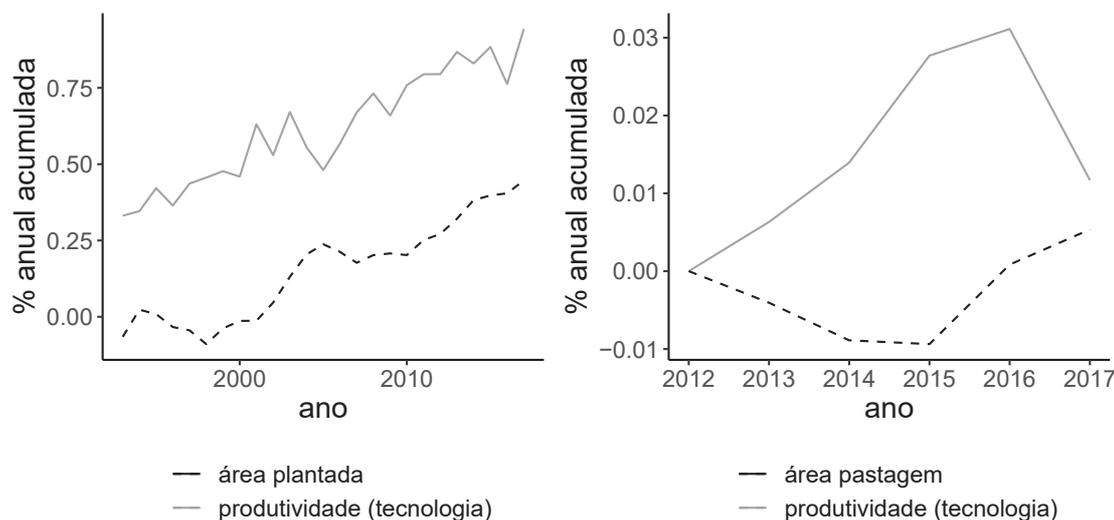
Assim, o limite de desmatamento irá depender de um conjunto de variáveis. Quanto maior o custo, em destaque o custo de transporte, menos rentável será a atividade rural e menor as chances de ocorrerem desmatamentos. Esse modelo chama atenção para diferentes variáveis que podem afetar o desmatamento, muitas delas incorporadas aos modelos econométricos atuais.

Do final do século 19 até hoje, outros problemas econômicos foram formalizados. O modelo de Ricardo e o modelo de Heckscher-Ohlin(H-O), ambos apresentados por Feenstra (2004), são dois exemplos. O primeiro explica o conceito de vantagem comparativa usando a diferença tecnológica entre os países, o segundo utiliza a disponibilidade inicial de fatores produtivos. A questão é que, esse conjunto de teorias pode ajudar a explicar porque o Brasil se concentra na atividade agropecuária e, conseqüentemente, estimula o desmatamento. A seguir serão expostos alguns casos onde é possível explicar o desmatamento através dessas teorias.

Vieira Filho (2016) estimou que, entre 1985 e 2006, 171 milhões de ha teriam sido desmatados a mais caso não tivesse ocorrido o progresso tecnológico na agropecuária, o que o autor denominou de 'efeito poupa-terra'. Porém esse não é um argumento suficiente para concluir que a tecnologia não está positivamente correlacionada com o desmatamento. Segundo Cattaneo (2001), caso seja analisado o longo prazo, é possível encontrar relação positiva entre desmatamento e progresso tecnológico. O motivo estaria relacionado à migração, tanto de capital, quanto de força de trabalho entre os setores da economia. Ou seja, a pecuária se tornando mais produtiva e rentável poderia atrair investimentos de outras áreas como a indústria, fazendo o desmatamento e a área de pasto no país aumentar simultaneamente ao aumento da tecnologia (animais por hectare). O argumento de Cattaneo (2001) encontra exemplo empírico na agricultura. Entre 1994 e 2017 a produtividade agrícola aumentou a taxas médias de 2,55%/ano, enquanto a área ocupada cresceu em média 2,13%/ano. Essa vantagem de 0,42%/ano (produtividade sobre expansão de área) permitiu que a produção agrícola do país nesse período aumentasse 65%, o que não impediu que a área plantada crescesse 36% (IBGE, 2019b). Ou seja, no longo prazo, o progresso tecnológico agrícola realmente parece estar correlacionado positivamente com o

aumento de área (Figura 5). A tecnologia teria que avançar a um nível capaz de absorver os novos entrantes no setor rural sem que fosse preciso remover a cobertura vegetal nativa.

Figura 5 - Variação de área plantada ou de pasto^a vs ganho produtividade



Nota – ^a A reduzida série histórica sobre tamanho de rebanho no Brasil (2012 a 2018) inviabiliza essa mesma análise para a pecuária.

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do IBGE (2020b)

Bragagnolo e Camargo Barros (2015), ao estudarem como a produtividade total dos fatores (PTF) pode afetar apenas a produção agrícola brasileira (excluindo-se pecuária e floresta), considerando-se o período entre 2972 e 2009, concluiu o seguinte:

[...] elevações na PTF geraram aumento na área plantada e no emprego do capital. A PTF teria, portanto, o condão de aumentar a taxa de retorno nesses investimentos. Este resultado sugere que a modernização da agricultura ocorrida no período, com elevação da produtividade, exerceu influência sobre a expansão da fronteira agrícola, permitindo a exploração de novas áreas. (BRAGAGNOLO; CAMARGO BARROS, 2015)

No longo prazo, o SNCR tende a promover o desenvolvimento da atividade agropecuária ao financiar aquisição de máquinas, construção de benfeitorias, industrialização da produção e adoção de novas tecnologias em geral, o que torna a atividade mais rentável e atrativa ao interesse de novos agentes. Nesse sentido, Rada e Valdes (2012) concluíram que, entre 1985 e 2006, a cada 1% de aumento do crédito destinado à agropecuária o retorno foi de 0,07% em eficiência tecnológica³.

³ O trabalho de Rada e Valdes (2012) também mostrou que o investimento em infraestrutura escolar tem elevado impacto em aumentar a produtividade agrícola, reduzindo assim a diferença entre produtores medianos e altamente tecnificados. Um ponto a ser destacado é que, apesar de não estar claro no texto de Rada e Valdes (2012), eles utilizaram apenas dados do SNCR para estimar o valor do crédito rural no Brasil.

Além do desmatamento, o progresso tecnológico do setor rural, em parte apoiado pelo SNCR, pode afetar outros setores da economia. Matsuyama (1992) recorda que, para o caso Britânico, o aumento da produtividade agrícola permitiu que mais pessoas se concentrassem na atividade industrial ao garantir envio de alimento para as cidades e proporcionar aumento da poupança necessária para promover a industrialização. No entanto, outros fatos históricos não permitem criar tal correlação. Ainda segundo Matsuyama (1992), casos como a industrialização dos Estados Unidos são melhores explicados pela teoria das vantagens comparativas, segundo a qual a produtividade agrícola e a industrialização estão negativamente correlacionadas, uma vez que um setor rural altamente produtivo competiria pela força de trabalho com o setor industrial.

Para o caso brasileiro, e, analisando apenas as últimas duas décadas, o avanço tecnológico no campo proporcionou maior disponibilidade de mão de obra ao setor industrial. Porém, no mesmo período, a atividade industrial declinou no país, o que contraria a teoria das vantagens comparativas da forma como foi exposta por Matsuyama (1992) para os outros casos. Castro (2018) estimou que entre 2004⁴ e 2015 a população empregada (PE) no agronegócio⁵ brasileiro caiu 13%, o total de horas trabalhadas caiu 17%, enquanto na economia como um todo houve aumento de 13% da PE e 8% na quantidade de horas trabalhadas. Também concluiu que a produtividade⁶ do agronegócio aumentou 46,9%, enquanto a produtividade brasileira cresceu 31% e a industrial apenas 21%. Segundo a autora, a razão dessa diferença de crescimento se baseia no crescimento de 121,8% da produtividade do setor primário no período (2004 a 2015). Isso torna mais clara a diferença entre o desempenho dos setores econômicos brasileiros⁷.

Aquilo que parece contrário à teoria das vantagens comparativas (maior disponibilização de mão de obra pela agricultura, e, simultaneamente, decréscimo do setor industrial), quando colocado em perspectiva mais ampla, reforça a própria teoria. Por exemplo, se for considerado o crescimento Chinês nos últimos 15 anos, tanto em produção e concentração industrial, quanto em consumo de proteína animal, a teoria permite elucidar ambos os movimentos, a desindustrialização brasileira e o aumento do desmatamento. Matsuyama (1992) concluiu teoricamente que, quando considerados modelos de economia aberta, o desenvolvimento tecnológico do setor agrícola gera retardo no crescimento industrial.

A explicação é que, para uma economia aberta onde não há mudança compensatória

⁴ A PENAD passou a considerar a região norte em suas pesquisas sobre horas trabalhadas apenas em 2004 (CASTRO, 2018)

⁵ Segmento econômico (cadeia de suprimentos) que envolve atividades primárias, industriais e de serviços ligados à produção agrícola e pecuária (CEPEA).

⁶ Valor adicionado (VA) calculado pelo PIB sobre o número de horas de trabalho: $Produtividade_{i,t} = \frac{PIB_{i,t}}{horas_{i,t}}$, onde i = atividade econômica, t = ano

⁷ Nesse mesmo sentido, Bustos, Caprettini e Ponticelli (2016) mostraram que a adoção de soja transgênica no Brasil gerou economia de mão de obra.

entre os preços relativos internos, o setor agrícola altamente produtivo prejudica o setor industrial. Em outras palavras, em uma economia aberta os preços são ditados pelo comércio internacional ($P_a \propto P_a^*$, $P_m \propto P_m^*$), o que torna difícil o ajuste dos preços internos ($P_a \propto P_m$) para equiparar o retorno das atividades (a = agropecuária, m = manufatura) e não haver supressão de uma delas. Seguindo essa lógica, o avanço tecnológico da agricultura brasileira, em parte devido aos recursos do SNCR e a abertura comercial, tornam a atividade mais competitiva externamente ($\neg[P_a \propto P_a^*]$). Por outro lado, essa mesma abertura comercial, juntamente com a dificuldade de equiparar os preços internos ($\neg[P_a \propto P_m]$), teria tornado a atividade industrial menos atrativa, favorecendo a migração dos agentes de uma atividade para outra e, conseqüentemente, causando o aumento de desmatamento.

Esse foi um exemplo para mostrar como as diferenças na produtividade podem levar ao aumento desproporcional da produção de um bem (a) em relação a outro (m). Trata-se de uma simplificação do modelo de Ricardo, apresentado por Feenstra (2004) e aplicado a dois setores econômicos do Brasil brasileiros (agrícola e industrial). No entanto, apesar da clareza com que o modelo de Ricardo relaciona nível tecnológico e vantagem comparativa⁸, ele não é capaz de explicar certas características atuais do comércio internacional. Na verdade, segundo Murdock (2019), os pressupostos de que o capital financeiro é fiel ao país de origem (os fatores não são móveis entre os países) e que a taxa de câmbio não teria nenhuma influência na economia, tornam o modelo inviável atualmente.

Outro modelo antigo, mas igualmente esclarecedor, é o Heckscher-Ohlin (H-O). Diferente do modelo Ricardiano, no modelo H-O não há especialização completa de um país em produzir um bem que apresente maior vantagem comparativa, o que torna o modelo mais realístico, além disso as diferenças tecnológicas são ignoradas e o foco de atenção se torna a disponibilidade de fatores produtivos em cada país.

De forma simplificada, a principal conclusão do modelo H-O é que o país com maior abundância em um determinado fator irá se especializar na produção do bem com demanda relativa maior pelo bem em abundância (FEENSTRA, 2004, p. 32). De forma mais precisa, ser abundante em um fator (ex: terra(T)) altera a forma da Fronteira de Possibilidade de Produção (PPF). Considerando uma função de utilidade homogênea entre os países, a condição de equilíbrio (oferta = demanda) e a autarquia, é possível demonstrar que o país que for abundante em terra ($\frac{T^A}{L^A} > \frac{T^B}{L^B}$) terá preços relativos menores ($\frac{P_1^A}{P_2^A} < \frac{P_1^B}{P_2^B}$) para aquele bem que for intensivo em terra (ex: bens agrícolas (1)). Isso é o mesmo que dizer que o país 'A' tem vantagem comparativa em produzir o bem (1) ao invés do bem

⁸ : O exemplo pode parecer ingênuo, no entanto, segundo Krugman (2002), o modelo Ricardiano é consideravelmente esclarecedor.

alternativo (ex: bens industriais (2)).

$$\frac{P_1^A}{P_2^A} < \frac{P_1^B}{P_2^B} < \textit{Vantagem comparativa} > \quad (3.4)$$

Ou seja, o país (A) irá especializar-se na produção de bens agrícolas pois ele tem vantagem comparativa fruto da relativa abundância do fator terra.

A implicação disso para o caso brasileiro é que, devido o país ser relativamente abundante em terras produtivas e relativamente escasso em capital fixo e mão de obra qualificada, pode-se concluir, segundo o modelo H-O, que sua vantagem comparativa está na produção de bens agrícolas e não na produção de bens mais intensivos em capital e mão de obra qualificada, tais como os bens industrializados.

Também é possível supor que, além das diferenças entre países, diferenças entre as regiões brasileiras também levam a caminhos de especializações produtivas diferentes. Exemplo disso é que, devido à abundância relativa do fator terra na região amazônica, ocorre o aumento da especialização dessa região em produzir bens agropecuários, por outro lado regiões como o sudeste brasileiro, relativamente abundante em capital fixo, se especializa na produção de bens industrializados.

Cattaneo (2008) concluiu que a região amazônica é consideravelmente diferente do restante do Brasil, principalmente por apresentar abundância do fator terra e escassez do fator mão de obra. Essa diferença levou a região a se especializar, não na produção de culturas intensivas em mão de obra e tecnologia, como a produção de culturas anuais (ex: arroz) ou perenes (ex: café), mas sim na produção pecuária que é intensiva no fator ‘terra’ mas não no fator ‘trabalho’. Nesse sentido, Cattaneo (2008) ressaltou que 25% da pecuária brasileira se concentrava na região amazônica já em 2001, e que a vantagem comparativa dessa região desempenhou papel fundamental sobre o desmatamento.

Assim como o modelo de Ricardo, o modelo H-O possui elementos que ajudam a compreender o desmatamento no Brasil. No entanto, ele também apresenta diversas limitações: premissa de mercados perfeitamente competitivos, homogeneidade de produtos e homogeneidade de preferências⁹. Modelos mais recentes, como aqueles de competição monopolística (HALES, 2015, p. 138), já consideram os retornos de escala ao explicarem o comércio internacional. No entanto, para o nosso propósito de evidenciar a relação entre tecnologia, vantagem comparativa e desmatamento, os modelos de Ricardo e Heckscher-Ohlin são suficientes.

Em resumo, a agropecuária brasileira é competitiva internacionalmente e aumenta suas exportações a cada ano, o mesmo não ocorre com outros setores como a indústria, resultando em uma atividade rural relativamente mais rentável e atrativa, em parte beneficiada por subsídios e pelas demais políticas de crédito, o que pressionaria o desmatamento. Além disso, a região amazônica apresenta abundância no fator terra, o que a torna mais

⁹ Em termos matemáticos a função de utilidade é homogênea entre os países

competitiva na produção de bens agropecuários. Por isso a relevância das pesquisas que tratem do crédito rural, não com a finalidade de limitar o progresso tecnológico no campo, mas para tornar claro as ações políticas e econômicas que estão sendo tomadas e criar base científica para melhorá-las caso necessário.

3.2 REVISÃO EMPÍRICA

As causas que levam à supressão da vegetação natural são amplamente pesquisadas, tanto teoricamente (FONTES; PALMER, 2018; MATSUYAMA, 1992; RENAUD, 1972) quanto empiricamente (FRANZONI; SEMERE, 2019; PFAFF, 1999), e tem como objeto de estudo majoritariamente as regiões que possuem extensas áreas cobertas por floresta tropical. O desmatamento de outras coberturas como os manguezais, o Cerrado brasileiro e a savana africana também são objeto de preocupação (RICHARDS; FRIESS, 2016; BEUCHLE et al., 2015; MEGEVAND et al., 2013).

A princípio, não há um único conjunto de causas que levam ao desmatamento, elas variam de acordo com o desenvolvimento tecnológico, social e econômico do país. Por exemplo, enquanto os países europeus passam pelo processo de recuperação e aumento da área florestal, os países sul-americanos apresentam taxa de desmatamento elevada devido à expansão do agronegócio. Já nos países africanos a maior parte do desmatamento ocorre devido à agricultura de subsistência. Esses são os resultados da *Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO)* para a condição das florestas ao redor do mundo entre os anos de 2000 e 2010 (FAO, 2016).

Assim como existem diferentes causas, também existem diferentes metodologias aplicadas pelos pesquisadores ao tentarem compreender o desmatamento. Dentre elas se destacam metodologias de dados em painel (HALES, 2015; PRATES; BACHA, 2012), diferenças em diferenças (ASSUNÇÃO; GANDOUR; ROCHA; ROCHA, 2013), utilização de variáveis instrumentais, sistemas de equações diferenciais (SEBASTIAN; VICTOR, 2017)¹⁰, modelos DSGE (PEREIRA; GÓES, 2019), dentre outros. Portanto, o objetivo desta revisão é identificar o conjunto de variáveis mais relevantes para explicar o desmatamento brasileiro, bem como identificar a metodologia mais adequada a ser aplicada e que tenha relação com dados em painel.

Cabe salientar que a literatura empírica sobre o tema nem sempre aponta uma única direção sobre as causas dos desmatamentos. Em alguns casos, uma mesma variável pode explicar o desmatamento em países diferentes, porém, de formas distintas. Por exemplo, a falta de estabilidade política e constantes conflitos colaboram para a 'proteção

¹⁰ Sebastian e Victor (2017) adotaram uma perspectiva diferente para compreender o efeito da tecnologia sobre o desmatamento. Ao invés de considerar a tecnologia de produção agrícola ou pecuária ele considerou a tecnologia em preservação de florestas (técnicas de reflorestamento). Além disso, sua metodologia utilizou sistema de equações diferenciais.

passiva' da floresta na Bacia do Congo (MEGEVAND et al., 2013). Por outro lado, a presença de instituições e leis bem definidas podem contribuir ou prejudicar a proteção das florestas.

Assunção, Gandoura et al. (2012) chegaram a duas conclusões principais sobre a influência das instituições e das leis sobre o desmatamento. A primeira é que o aumento do crédito rural no Brasil favorece o desmatamento. A segunda é que a resolução 3.545 do Conselho Monetário Nacional, a qual impunha restrição de crédito a quem não cumprisse os regulamentos ambientais, foi capaz de reduzir o desmatamento na Amazônia Legal. Assunção, Gandour, Rocha et al. (2015), ao tentarem explicar as causas da redução do desmatamento na Amazônia brasileira entre os anos de 2005 e 2009, concluíram que políticas de preservação ambiental adotadas durante esse período foram responsáveis por reduzir o desmatamento em 56%. Barbier (2019) analisou a questão institucional de forma mais geral. Além do Brasil, o autor considerou outros 100 países em desenvolvimento entre os anos de 1990 e 2015 e concluiu que instituições eficientes – melhor *Voice and Accountability*¹¹, existência de políticas para uso sustentável das florestas e melhor qualidade do Estado de Direito – são capazes de impor custo adicional ao agente que promove o desmatamento. As instituições também podem colaborar para que um país passe mais rapidamente da condição de desmatamento para para a condição de recuperação florestal.

Ainda com relação às instituições, Wood e Walker (2001) foram os primeiros a concluir que a segurança jurídica afeta o desmatamento. Segundo os autores, aqueles produtores que são legalmente reconhecidos como proprietários das terras tendem a investir mais na compra de fertilizantes e reduzir a extração de madeira. Probst et al. (2020), utilizando extensa base de dados, analisaram o efeito do programa Terra Legal¹² sobre o desmatamento na Amazônia. Diferente do que era esperado pelos autores, a correlação entre o programa e o desmatamento foi positiva para propriedades pequenas e médias, para grandes propriedades não foram encontradas evidências. A conclusão dos autores para explicar essa possível contradição é que, não basta uma política isolada para controlar o desmatamento da Amazônia, ou seja, o projeto de regularização fundiária deve ser implementado juntamente com outras políticas que visam melhoria do meio ambiente.

Outra variável encontrada na literatura e apontada constantemente como causa do desmatamento, independente da região em que o país esteja ou o grau de desenvolvimento de suas instituições, é a atividade agropecuária. Em 2016, o estudo bianual da FAO para monitorar a condição das florestas do mundo revelou que 73% do desmatamento nas regiões tropicais e subtropicais foi causado pela agropecuária (seja de larga escala ou de

¹¹ *Voice and Accountability* é um indicador criado pelo World Bank (2010) e que captura a liberdade de imprensa e a condição dos cidadãos em participarem do processo eleitoral e de exercerem liberdade de expressão e de associação

¹² O programa Terra Legal trata-se de um esforço de regularização fundiária de terras ocupadas na Amazônia legal. O título de posse é concedido ao agente regular, o que lhe garante segurança jurídica.

subsistência)(FAO, 2016).

Não existem dados sobre o tamanho da área desmatada por cultura agrícola no Brasil. No entanto, devido ao caráter extensivo da cultura da soja e, levando em consideração que ela ocupou 47,36% da área plantada no Brasil em 2019(IBGE, 2019b), é de se supor que a soja seja uma das culturas com maior relação com as áreas desmatadas. Porém isso não é verdade para todos os demais países com extensa cobertura florestal. Como exemplo, na Indonésia as principais atividades relacionadas ao desmatamento são a produção de óleo de palma e a silvicultura (AUSTIN et al., 2019) na Bacia do Congo são as culturas de subsistência (além da coleta de madeira para servir de combustível)(MEGEVAND et al., 2013), na Colômbia é a criação de gado e o cultivo de lavouras ilegais (ARMENTERAS et al., 2006) e na Índia é a agricultura (REDDY et al., 2015) representada principalmente pela produção de arroz e trigo. Isso reforça a ideia de que as causas do desmatamento variam entre países, mas elas estão constantemente relacionadas à agropecuária. Sendo assim, o conhecimento da dinâmica dessas culturas pode trazer ganhos ao entendimento das causas do desmatamento. Para isso basta imaginar a criação de híbridos de milho mais precoces e com maior resistência à deficiência hídrica. Tal tecnologia, em tese, permitiria o plantio de duas safras em determinadas regiões do Brasil, o que reduziria a demanda por terra¹³. É por isso que as técnicas de produção agropecuárias são consideradas por alguns autores ao elaborarem estratégias para explicar o desmatamento (ASSUNÇÃO; GANDOUR; ROCHA et al., 2015; LANDHOLM et al., 2019).

É possível notar que, além das variáveis, as metodologias utilizadas na literatura empírica sobre desmatamento também variam. Além da abordagem institucional(BARBIER, 2019; FRANZONI; SEMERE, 2019; ASSUNÇÃO; GANDOURA et al., 2012; HARGRAVE; KIS-KATOS, 2013), da abordagem tecnológica (SEBASTIAN; VICTOR, 2017; BUSTOS; CAPRETTINI; PONTICELLI, 2016; VILLORIA; BYERLEE; STEVENSON, 2014) e da abordagem econômica (HALES, 2015; ASSUNÇÃO; GANDOURA et al., 2012; PROBST et al., 2020)¹⁴, existem pesquisas que consideram a perspectiva social-econômica ao tentarem explicar o desmatamento no Brasil e tratam o problema como uma questão multidimensional, ou seja, algo que deve ser analisado através de diferentes abordagens simultaneamente. Nesse sentido, Faria, Junior e Montenegro (2019) consideraram aspectos econômico e sociais e concluíram que a agricultura familiar está relacionada a um menor desmatamento da região amazônica.

Sendo assim, existe ampla literatura sobre desmatamento, inclusive abordando o efeito do crédito rural e do subsídio em diferentes regiões com cobertura florestal.

¹³ Atualmente existem diversos híbridos de milho e a segunda safra de milho já superou a primeira em termos de produção (CONAB, 2020a). No entanto, essa tecnologia é indicada a certas regiões do país com limitações hídricas menos graves nos meses de março e abril. Em boa parte da Bahia, por exemplo, ainda não é possível a produção de milho safrinha.

¹⁴ Parte dos trabalhos de cunho institucional tratam da ‘moratória da soja’ e do projeto ‘Terra Legal’.

Segundo Hales (2015), o primeiro economista a tratar da relação entre crédito rural e desmatamento na Amazônia brasileira foi Binswanger (1991). Binswanger (1991) afirma que o sistema de crédito rural, a taxa de juros, a forma de tributação e as regras de alocação de terra aceleram o desmatamento na Amazônia. Além disso, o subsídio ao produtor rural aumentaria o investimento além do nível ótimo, uma vez que produtores ineficientes permaneceriam na atividade.

Os trabalhos de Andersen (1996) e Pfaff (1999) tentaram, através de modelos econométricos, esclarecer a relação construída por Binswanger (1991) entre crédito e desmatamento na Amazônia. Ambos os autores concluem que há relação positiva entre crédito e desmatamento. Cabe ressaltar que o ponto fraco de tais trabalhos é a ausência de dados sobre o crédito rural, o que forçou a utilizar proxies. Andersen (1996) utiliza o número de empréstimos concedidos e o crescimento econômico do município como proxies para incentivo fiscal. Segundo o autor, municípios em crescimento recebem incentivos fiscais. Pfaff (1999) utilizou como proxy a densidade bancária.

Trabalhos recentes (PRATES, 2008; PRATES; BACHA, 2012; ASSUNÇÃO; GANDOUR; ROCHA; ROCHA, 2013; HARGRAVE; KIS-KATOS, 2013) já não utilizam proxies para representar o crédito rural. Entre os anos de 2000 e 2004, a partir de dados do Bacen, Prates (2008) concluiu haver correlação positiva entre volume de crédito e desmatamento na Amazônia. De forma similar, Prates e Bacha (2012) também encontraram correlação positiva ao analisarem 782 municípios da Amazônia legal. .

Assunção, Gandour, Rocha e Rocha (2013) mostraram que a restrição de crédito rural, condição imposta a quem não cumprisse as regras ambientais a partir de 2008, em um primeiro momento reduziu de forma mais expressiva o crédito destinado à pecuária, e que, seguido a isso, houve redução da área desmatada na Amazônia. Concluiu também que essa redução concentrou-se entre médios e grandes produtores. Hargrave e Kis-Katos (2013) analisaram 663 municípios na região Amazônica entre os anos de 2002 e 2009 e também concluíram que o aumento do crédito rural e do subsídio leva ao aumento do desmatamento. Também notaram que a ação de controle do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (IBAMA) teve efeito significativo e corroborou para a redução do desmatamento.

Por fim, Hales (2015) analisou 741 municípios entre 2000 e 2010 e mostrou a existência de casos em que o aumento de crédito rural não estaria relacionado ao aumento do desmatamento. De acordo com esse estudo, em municípios com elevada densidade populacional na zona rural, parte maior do crédito é destinado ao aumento da produção daquelas áreas já desmatadas. A explicação para isso é que esses municípios estariam aumentando o investimento em técnicas mais produtivas. Por fim, cabe reforçar que todos os trabalhos tiveram de lidar com o problema da endogeneidade em seus modelos, porém esse tema será abordado na parte metodológica.

Apesar da extensa literatura sobre desmatamento do Brasil, nenhuma delas, até o momento, levou em consideração o desmatamento específico para a atividade pecuária, o crédito rural por hectare (em contraposição ao crédito por município) e a diferença entre os biomas, por exemplo. Esse tipo de análise se tornou mais viável, ao menos para o caso brasileiro, após o projeto MapBioma. A sistematização das imagens de satélite e a criação de bases de dados que contemplam as diferentes causas do desmatamento (pecuária, agricultura, uso misto, mineração, etc.), tornou possível que pesquisadores de outras áreas manipulem dados oriundos de geoprocessamento.

Os trabalhos realizados até então consideraram o valor agregado do desmatamento, sem distinguir sua finalidade. O diferencial do nosso trabalho frente aos demais é que consideramos a motivação do desmatamento em nossas análises (atividade pecuária). Além disso, consideramos a heterogeneidade entre os biomas e trabalhamos com o crédito rural por hectare de pasto. O crédito rural também foi considerado em sua forma desagregada, segundo suas diferentes finalidade, principais programas e tipo de taxa de juros.

4 METODOLOGIA

Objetivo é utilizar a metodologia de regressão linear para identificar as relações empíricas entre o desmatamento, específico para produção pecuária, e políticas de crédito rural no Brasil. Portanto, a variável dependente do modelo econométrico é a área (ha) desmatada por município brasileiro (D_i) e que deu origem a novas áreas de pastagem. Já as variáveis explicativas foram escolhidas com base na revisão teórica e empírica e na descrição do SNCR. Também serão inseridas no modelo aquelas variáveis que permitam controlar o efeito fixo dos municípios, ou seja, controlar as características próprias de cada município que podem afetar o desmatamento (ex: aptidão do solo, bioma a que pertence). A seguir serão detalhadas todas as variáveis e a construção do modelo.

4.1 ESPECIFICAÇÃO DO MODELO

O modelo econométrico proposto é constituído por três grupos de variáveis explicativas: os efeitos fixos, as variáveis apontadas pela revisão teórica e empírica como relevantes e, por último, as variáveis do SNCR que permitem relacionar desmatamento e políticas de crédito rural. Esse modelo pode ser apresentado na forma matricial:

$$\begin{aligned} \underline{D}_{t,i} &= \underline{X}_{\sim t,i} \underline{\beta}_{t,i} + \underline{e}_{t,i} \\ \underline{e}_{t,i} &= +\underline{v}_t + \underline{\alpha}_i + \underline{u}_{t,i} \end{aligned} \quad (4.1)$$

A matriz $\underline{X}_{\sim t,i}$ representa as variáveis explicativas do modelo, $\underline{\beta}_{t,i}$ o vetor de coeficientes e $\underline{e}_{t,i}$ o termo de erro. A tabela 4 apresenta a relação de todas as variáveis utilizadas no modelo.

Tabela 4 – Variáveis do modelo de regressão linear

Efeito Fixo	Variáveis do SNCR	Variáveis consideradas por outros trabalhos
Floresta remanescente (PF)	Gastos com investimento (F_{inv})	Preço do Boi gordo (P^{boi})
Infraestrutura (PI)	Gastos com custeio (F_{cus})	Nível tecnológico (TEC)
Recurso hídrico (PH)	Gastos com comercialização (F_{com})	
Área de pasto (PP)	Gastos com industrialização (F_{ind})	
Unidades de preservação (UP)	Programa de financiamento (P_k)	
Bioma	Tipo de taxa de juros (T_l)	
Aptidão do solo (N)	Subsídio (Δr)	
Pluviosidade (PLU)		
Distância do município (DIST)		

Fonte: Elaboração própria.

A equação 4.2 apresenta o modelo em sua forma não-matricial.

$$\begin{aligned} \log(D_{t,i}) = & [\sum_n \beta_n \log(EF)_{2013,i,n}] + [\sum_j \beta_j \log(F_{t,i,j})] + \\ & \beta_1 \log(\Delta r_t) + [\sum_k (\beta_k \log(P_{t,i,k}))] + [\sum_l (\beta_l \log(T_{t,i,l}))] + \\ & [\sum_m (\beta_m \text{Bioma}_i)] + \beta_2 \log(N_i) + \beta_3 \log(TEC_{t,i}) + \\ & \beta_4 (P_{t,Campinas-sp}^{boi}) + \beta_5 \log(UP_i) + \beta_6 \log(PLU_i) \end{aligned}$$

onde :

$$n = PF, PI, PH, PP \tag{4.2}$$

$$j = inv, cus, com, ind$$

$$k = Pronamp, Pronaf, PNCF, Sem Programa$$

$$l = taxa livre, taxa fixa$$

$$m = Amazônia, Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal$$

A primeira fonte de heterogeneidade entre os municípios a ser apresentada diz respeito ao estágio recente de supressão da formação florestal (FF) em que cada um deles se encontra. Municípios com pouca FF remanescente podem apresentar pouco incremento de área desmatada por ano, enquanto municípios com extensa FF podem apresentar maior incremento¹. Comparar a área desmatada entre esses municípios de forma absoluta pode não revelar a verdadeira propensão de cada um em desmatar.

Portanto, o desmatamento que ocorre no município está em função da proporção inicial de floresta que ainda compõe o município ($D_{t,i}(\cdot, PF_{2013,i})$) o que, nesse caso, é considerado como efeito fixo (sem variação ao longo do tempo). Obviamente a proporção de floresta remanescente no município (PF) não é um efeito estritamente fixo no tempo. À medida que o desmatamento progride com os anos a PF tende a cair caso não haja recuperação de áreas já desmatadas (o que é o caso brasileiro). No entanto, o período de análise é reduzido (6 anos) ao ponto do incremento anual de área desmatada não prejudicar a hipótese de que a PF é fixa no tempo. Além disso, essa variável se mostrou extremamente útil para a modelagem e obtenção de coeficientes consistentes.

Utilizando essa mesma lógica, outros efeitos fixos (EF) foram adicionados ao modelo (Equação 4.2), são eles: proporção de infraestrutura urbana ($PI = \frac{(\text{área infraestrutura urbana})_{2013,i}}{\text{área total município}_i}$), proporção de recursos hídricos ($PH = \frac{(\text{área de Corpo D'água})_{2013,i}}{\text{área total município}_i}$) e proporção inicial de áreas de pasto ($PP = \frac{(\text{área de pasto})_{2013,i}}{\text{área total município}_i}$). Nesse caso, a área de pasto capta a aptidão inicial do município para a atividade pecuária, o que, em termos econômicos, pode ser entendido

¹ Esse argumento foi utilizado por Angelsen (2007, p. 197) para considerar o desmatamento uma variável não linear.

como a dotação inicial do município. Outra razão para tratar a proporção de pasto inicial no município como sendo um efeito fixo, ano de referência 2013, é que a produção pecuária pode ser tradicional em determinados municípios. Mesmo que haja uma atividade rural mais rentável do que a pecuária, a tendência socio-cultural dos agentes pode impedir que a transição ocorra rapidamente.

Nem toda a área de floresta do município é passível de ser desmatada (Figura 6). Segundo Pacheco, Neves e Fernandes (2018), em 2017, haviam 2.251 unidades de conservação (UC's) em todo o Brasil, com área total de 1,54 milhões de Km² e cobrindo 16,6% do território continental nacional. Além das UC's também existem os territórios indígenas (TI's) que cobrem 1,176 milhões km² e ocupam 13,81% do território brasileiro (PACHECO; NEVES; FERNANDES, 2018). O ideal, portanto, é considerar tais áreas ao estimar o modelo.

Considerou-se que todas as áreas de preservação (UP = UC's + TI's) estavam situadas dentro do tipo de vegetação floresta (F), ou seja: $F \cup UP = F$ (Figura 6). Isso não está totalmente correto pois algumas áreas de preservação são desmatadas ilegalmente. No entanto, essa consideração se trata de uma aproximação razoável da realidade, uma vez que esse nível de desmatamento pode ser considerado baixo, ao menos nas TI (ISA, 2016).

Figura 6 - Distribuição de áreas indígenas e áreas de conservação no município de Altamira - PA



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Funai (2020)

A principal variável de interesse para tentar explicar a relação entre desmatamento e política de crédito é o valor concedido pelo SNCR e dividido entre quatro finalidades (F): investimento (inv), custeio (cus), comercialização (com) e industrialização (ind). Na Equação 4.2, o termo 'j' representa as diferentes finalidades. De antemão, cabe ressaltar que essas variáveis foram expressas em valores por hectare de pasto (BRL/ha). Esse é um avanço para a literatura que trata sobre o crédito rural e o desmatamento. Até então o crédito era tratado em sua forma agregada. Essa informação será melhor detalhada posteriormente.

Espera-se que, quanto mais fácil for o acesso a recursos maior será o nível de desmatamento esperado (ANGELSEN; KAIMOWITZ, 2001b, p. 10). O subsídio seria melhor representado pelos gastos com equalização do que pela diferença entre taxa livre e controlada (Δr), mas apenas se fosse considerado o desmatamento total, e não aquele provocado apenas pela atividade pecuária. A razão disso é que o valor das equalizações fornecido pelo Tesouro Nacional não distingue entre agricultura e pecuária.

Em contrapartida, as taxas de juros subsidiadas são iguais entre as atividades (pecuária, agricultura ou piscicultura), distinguindo apenas entre programas (Pronaf, Pronamp, dentre outros).

O SNCR é operacionalizado na forma de programas, portanto, o valor total concedido pelo SNCR é igual à soma de valores menores destinados a programas específicos. De acordo com as preferências do formulador de políticas os recursos do SNCR são alocados entre diferentes programas, por isso existem programas para beneficiar segmentos específicos como o cafeeiro, a produção de etanol ou a produção de borracha. Também existem programas para beneficiar grupos específicos de agricultores, que é o caso de agricultores familiares, médios, grandes e agroindústrias. Espera-se que grupos distintos tenham propensões distintas a desmatarem, até pela própria natureza da atividade que desempenham. Agroindústrias podem exigir recursos elevados, no entanto, o investimento em ampliação de fábricas e contratação de funcionários não causa o mesmo nível de desmatamento causado por agricultores médios que desejam ampliar a área de plantio.

Baseado nas informações da Tabela 2 foram considerados quatro programas ao descrever o comportamento do desmatamento, são eles: ‘Pronamp’ representando os pecuaristas de médio porte, ‘Pronaf’ representando a produção da pecuária familiar e o ‘PNCF’ representando a produção oriunda de reforma agrária. Na equação 4.2, $P_{t,i,k}$ representa o valor do SNCR destinado à atividade pecuária e ao programa ‘k’, no ano ‘t’ e para o município ‘i’. Já foi exposto na parte introdutória que os recursos do SNCR emprestados a taxas livres (não controlados) não necessitam de vistoria prévia, medição ou mesmo fiscalização, salvo aqueles recursos destinados ao Proagro. Esse é um argumento suficiente para incluir no modelo uma variável que capte o tipo de taxa praticada: fixa ou livre. Espera-se que a taxa livre esteja relacionada positivamente com o desmatamento. Vale lembrar que as LCA’s, título amplamente negociado no mercado financeiro brasileiro, compõe a fonte de recurso não controlado, mas passou a integrar o SNCR apenas em 2015. Na Equação 4.2, $T_{t,i,l}$ representa o valor do SNCR destinado à atividade pecuária para o município ‘i’ no ano ‘t’ e com o tipo de taxa ‘l’.

Outra variável utilizada para modelar o nível de desmatamento por município é o bioma ao qual ele pertence, uma vez que diferentes biomas suportam diferentes taxas de desmatamento. Não por acaso é exigido que 15% da área total de imóveis rurais no bioma Cerrado sejam destinados à preservação permanente, enquanto no bioma amazônico esse número é de 50%². Em 2006, os exportadores de soja brasileiros assinaram um acordo de não comercialização de soja proveniente de área de desmatamento no bioma amazônico, o que pode ter contribuído para a redução do desmatamento (RODRIGUES et al., 2017). Também é de se supor que, dependendo do tipo de cobertura vegetal, o custo para o desmatamento varia (ex: alguns estados como o Rio Grande do Sul possuem pastagens

² Regras sobre proporção de Áreas de Preservação Permanente (APP) por bioma e sobre reservas legais compõem o Código Florestal brasileiro.

nativas). Sendo assim, deve existir uma relação entre o nível de subsídio, facilidade em tomada de crédito, e o desmatamento por bioma. Por isso foi introduzido ao modelo o bioma a que pertence o município na forma de variável explicativa.

A aptidão da área para a pecuária, ou seja, se o local é propício ou não para a implementação da atividade pecuária e todas as suas exigências, é uma variável que deve ser considerada no momento de decisão sobre o desmatamento. De forma mais específica, a aptidão é um conjunto de características, tais como fertilidade, tipo de solo, pluviosidade, temperatura, relevo, etc, que tornam a área mais ou menos favorável para a formação de pasto e criação de gado. Algumas dessas características não variam no tempo (ex: tipo de solo, relevo, clima) e, portanto, são consideradas efeitos fixos sobre o desmatamento. Dentre essas variáveis o tipo de solo se destaca, pois está correlacionado tanto com o clima quanto com o relevo de cada região³, e, por isso, foi escolhida para representar esse conjunto de efeitos fixos.

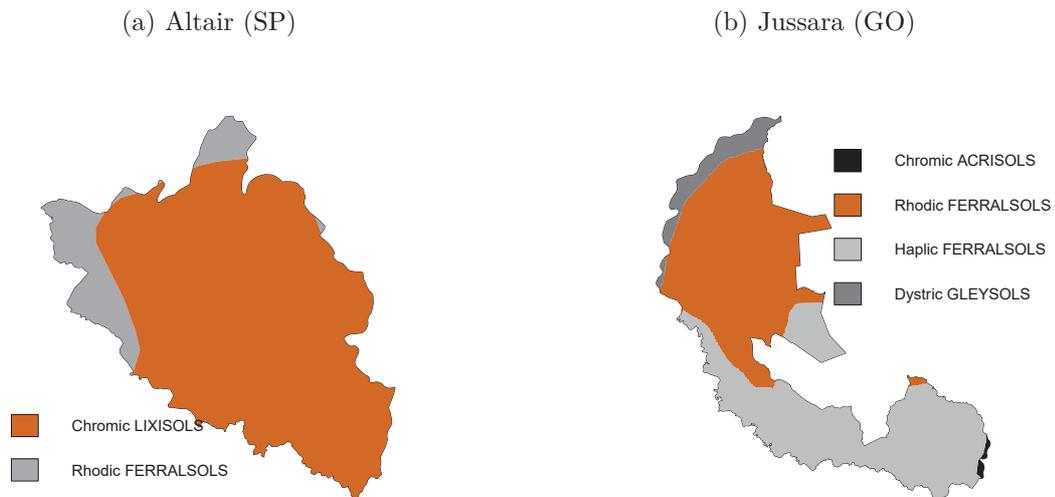
WITCOVER et al. (2006) citam que o nível de aptidão do solo, mesmo não tendo elevado grau de precisão, é utilizado pelas autoridades regionais para criação de políticas. Esses autores também encontraram relação entre aptidão do solo e desmatamento na Amazônia.

Para cada município calculou-se a porcentagem de cada tipo de solo presente (Figura 7). Em seguida esses solos foram classificados entre aptos, aptos com ressalvas e não aptos para a prática da pecuária. Cada tipo de solo recebeu um peso de acordo com sua classificação (Anexo A). Por fim, criou-se um índice de aptidão de solo por município igual à soma do produto das porcentagens de tipos de solo no município pelo peso de sua respectiva aptidão:

- \underline{A}_i = vetor que representa a distribuição dos tipos de solo presentes no município i
- \underline{P}_i = vetor que representa o peso, a aptidão à pecuária, dos tipos de solo presentes no município i
- $N_i = \underline{A}'_i \underline{P}_i$ = escalar que representa a aptidão aproximada do município para a prática da pecuária.

³ O tipo de solo é produto da interação entre fatores geográficos e climáticos.

Figura 7 - Tipos de solos por município.



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Bacen (2020c)

Essa não é a melhor forma de determinar a aptidão agrícola de um solo. A Embrapa possui trabalhos detalhados nesse sentido, indicando inclusive a preferência de cada área dentro os diferentes tipos de sistemas de cultivo (EMBRAPA, 2019). Porém esse detalhamento ocorre para poucos municípios e regiões do país. O intuito aqui é criar uma aproximação do que seria a aptidão dos municípios a nível nacional e utilizando a informação disponível, no caso os mapas de classificação de solo da Embrapa e os mapas dos limites dos municípios do IBGE.

Espera-se que variáveis climáticas influenciem o desmatamento. Se determinado município apresenta altos índices de pluviosidade que permitam a manutenção do pasto durante a maior parte do ano, consideradas todas as outras variáveis constantes, esse município estará mais propício ao desmatamento. Por outro lado, não é esperado que eventos ocasionais como estiagens e variações pluviométricas anuais afetem o desmatamento. Somado a isso, existem evidências de que mudanças ocasionais no nível pluviométrico afetam a produção pecuária (J. ARAUJO et al., 2018; SLOAT et al., 2018) mas não afetam o desmatamento (ARAGÃO et al., 2008)⁴. De forma mais clara, a média histórica de precipitação (PLU_i)(variável climática) pode estar relacionada com o desmatamento. Já a variação anual, ou mensal, de precipitação (variável temporal) pode estar relacionada com a produção pecuária e pouco relacionada com o desmatamento. Portanto, a média

⁴ Aragão et al. (2008) concluiu que, se por um lado as variáveis climáticas podem estar relacionadas com o desmatamento, por outro existem variáveis temporais, tais como ocorrência de estiagens, que podem ocorrer mesmo em regiões com taxas decrescentes de desmatamento. Cabe lembrar que os autores também encontraram relação positiva entre estiagem e focos de incêndio, porém, esse evento não é caracterizado como desmatamento.

histórica de pluviosidade do município entre os anos de 1984 e 2019 foi considerada como uma variável fixa no tempo.

À medida que a pecuária e a agricultura avançam sobre o interior do país, o preço das terras virgens limítrofes se valorizam. Segundo parte da *land rent theory*, isso ocorre devido à redução da distância entre as terras produtivas e os centros comerciais (PARK, 2014 apud VON THÜNEN, 1910). Outra explicação é o processo de especulação⁵. No entanto, não existe base contínua de dados sobre preço da terra para o caso brasileiro⁶. Por isso, foi introduzido ao modelo apenas a distância euclidiana do município até o centro comercial mais próximo (cidade com mais de 100 mil habitantes) ($DIST_i$). Por fim, foram incorporadas ao modelo o número de cabeças de gado por ha por município ($\frac{cb_{t,i}}{pasto_{t,i}} = TEC_{t,i}$) como proxy para a variável tecnologia e o preço da arroba do boi gordo com referência em Campinas-SP ($P_{t,Campinas-SP}^{BOI}$).

Como já apresentado (Equação 4.1), a matriz $\tilde{X}_{t,i}$ representa as variáveis explicativas do modelo, $\underline{\beta}_{t,i}$ o vetor de coeficientes e $\underline{e}_{t,i}$ o termo de erro. O termo de erro é dividido em três partes, a primeira representa a parte do erro que não varia com relação aos municípios (\underline{v}_t), a segunda representa a parte que não varia em relação ao tempo ($\underline{\alpha}_i$), melhor conhecida como heterogeneidade não observada, e a terceira parte representa o componente idiosincrático do erro, o qual varia tanto em relação à *cross-section* quanto em relação ao tempo ($\underline{u}_{t,i}$). A variação do componente \underline{v}_t será reduzida (controlada) utilizando variáveis *dummy*, onde, para cada ano, será considerada uma *dummy* diferente. Isso irá permitir reduzir a correlação contemporânea ($cov(\underline{e}_{t,i}, \tilde{X}_{t,i}) = 0$ ou $E[\tilde{X}'_{t,i} \underline{e}_{t,i}] = \underline{0}$) (CROISSANT; MILLO, 2019, p. 133). Já a componente $\underline{\alpha}_i$ será controlada a partir de *dummies* já inseridas no modelo (biomas, estados, aptidão do solo, distância até centro comercial, unidade de preservação e cobertura florestal inicial), uma vez que o efeito individual não observado ($\underline{\alpha}_i$), caso não controlado, gera endogeneidade (BALTAGI, 2005, p. 125).

A solução desse modelo linear, ou seja, a definição dos coeficientes $\underline{\beta}_{t,i}$ que minimizam o termo de erro $\underline{v}_{t,i}$, poderia se dar através do *Pooled Ordinary Least Square (POLS)*. No entanto, não se espera que os coeficientes sejam constantes entre os municípios e ao longo do tempo ($\beta_{t,i} \neq \beta$). Além disso, espera-se que os termos de erro não sejam cons-

⁵ Especulação aqui significa compra e desmatamento de área com expectativa de valorização no curto prazo.

⁶ Até 2014 a Fundação Getúlio Vargas (FGV) dispunha da mais longa série de preços de terra. Os preços eram agregados por estado, a série anual começava 1974 e, para a maioria dos estados, possuía dados até 2014. No entanto, por motivos orçamentários, a série foi descontinuada. Atualmente, a fim de subsidiar as decisões sobre reforma agrária, o INCRA possui um departamento específico para acompanhar o preço da terra (Divisão de Análise e Estudo do Mercado de Terras). Apesar dessa série ser agregada por município e, portanto, possuir uma escala maior do que a série da FGV, ela começa apenas no ano de 2015. Por fim, a companhia 'IHS Markit' possui uma série detalhada de preços de terra no Brasil, no entanto, são dados privados.

tantes⁷, ou seja, que o modelo apresente heteroscedasticidade. Nesse caso os coeficientes seriam melhor estimados através do modelo *Feasible Generalized Least Squares (FGLS)* a fim de que a condição de eficiência (variância mínima) dos coeficientes seja mantida. O problema é que, havendo correlação entre o termo de erro fixo no tempo (efeito fixo) e as variáveis explicativas, ou seja, $cov(\underline{\alpha}_i, X_{\sim t,i} \neq 0)$, os coeficientes estimados ($\underline{\beta}_{FGLS}$) não seriam consistentes⁸.

Nesse ponto, aplicar o modelo econométrico de efeitos fixos (FE) ou o modelo de primeira diferença (FD) eliminaria a heterogeneidade não observada ($\underline{\alpha}_i$). No entanto, outras variáveis fixas no tempo, mas que são relevantes para o modelo, também seriam excluídas. A alternativa é aplicar o teste de Hausman e, se possível, utilizar o modelo de efeitos randômicos (RE). Quando o teste de Hausman não é significativo, teoricamente isso significa que os dois modelos comparados (FE e RE) são diferentes (CROISSANT; MILLO, 2019). Na prática, isso quer dizer que apenas os coeficientes do modelo FE devem ser considerados, pois os coeficientes do modelo RE não seriam consistentes devido à presença correlação entre as variáveis explicativas e a heterogeneidade não observada do modelo (WOOLDRIDGE, 2010, p. 288).

O problema dessa interpretação sobre o teste de Hausman é que, ocorrendo a rejeição da hipótese nula, boa parte das variáveis utilizadas no modelo proposto (ex: aptidão do solo, área de preservação, precipitação) não poderiam ser analisadas. Segundo Bell e Jones (2014), o modelo FE, quando comparado com o modelo RE, perde em poder de explicação pois simplesmente elimina os efeitos fixos, o que pode levar a interpretações erradas. Bell, Fairbrother e Jones (2018) afirmam que é preciso ter cautela ao analisar o teste de Hausman.

O modelo FE pode não apresenta endogeneidade provocada pela correlação entre as variáveis e a heterogeneidade não observada, mas irá depender da existência de uma amostra grande o suficiente para reduzir a variância dos coeficientes estimados. Em contrapartida, o modelo RE poderá apresentar endogeneidade, mas, quando comparado com o modelo FE equivalente, os seus coeficientes apresentam menor variância. Sendo assim, o pesquisador deve levar em consideração a relação de troca entre variância e endogeneidade ao escolher entre FE e RE (CLARK; LINZER, 2014).

Segundo Clark e Linzer (2014), não é verdade que qualquer nível de endogeneidade no modelo RE faça com que o modelo FE seja preferível. É importante analisar o nível de endogeneidade, algo que o teste de Hausman não permite fazer. Nesse sentido, Clark e

⁷ a amostra compõe municípios bastante distintos, em regiões com clima, bioma e políticas ambientais diferentes. Isso quer dizer que algumas variáveis adicionais estarão explicando o comportamento do desmatamento em determinados municípios, mas não em outros. Elas também não serão observadas (por isso irão compor o termo de erro). Consequência disso é que o termo de erro entre os municípios pode não ser constante.

⁸ Consistência é a condição onde o coeficiente estimado tende em probabilidade ao coeficiente real quando o tamanho da amostra tende ao infinito.

Linzer (2014) utilizam experimentos de Monte Carlo para comparar a performance dos modelos FE e RE e derivam algumas regras básicas para que o pesquisador possa escolher entre um dos dois: (1) a ausência de correlação entre as variáveis explicativas do modelo e a heterogeneidade não observada é uma condição não necessária para escolher entre os modelos FE e RE, (2) modelos com reduzido número de unidades (ex: períodos) e com baixa correlação entre as variáveis explicativas e a heterogeneidade não observada, geram coeficientes melhores quando estimados por RE.

O trabalho irá considerar tanto o teste de Hausman quanto as regras derivadas do trabalho de Clark e Linzer (2014) para decidir qual dos modelos (FE ou RE) será analisado. Cabe enfatizar a existência de trabalhos sobre o tema 'FE versus RE' que vão além da criação de regras de decisão. Bell e Jones (2014) propuseram um modelo com efeitos aleatórios (REWB) estimado através da estratégia *Within-Between* e que permite remover a correlação entre as variáveis e a heterogeneidade não observada, isso sem eliminar as variáveis fixas no tempo. Isso torna o modelo REWB tão endógeno quanto o modelo FE. Dessa forma, o teste de Hausman se torna desnecessário para escolher entre os dois modelos. Isso permitiu a Bell e Jones (2014) concluir que um modelo de efeitos aleatórios estimado por REWB e bem especificado é quase sempre melhor do que um modelo FE.

Segundo Bell, Fairbrother e Jones (2018), o teste de Hausman não deve ser usado como critério de escolha entre os modelos RE e FE. Na verdade, o teste deve ser empregado para concluir se o modelo FE com efeito *Within* é diferente do modelo FE com efeito *Between*⁹. Havendo distinção, o modelo REWB pode ser empregado para investigar qual modelo é melhor (*Within* ou *Between*).

O nosso modelo de efeitos aleatórios buscou considerar todas as fontes de explicação para o desmatamento provocado pela pecuária e que fossem relevantes. Algumas variáveis de difícil construção (ex: aptidão do solo) foram incorporadas no modelo com êxito. Somando isso à adoção do embasamento teórico e empírico para a escolha das variáveis, é possível considerar que o modelo foi bem especificado. E, como ressaltado por Bell e Jones (2014), um modelo RE bem especificado, que deliberadamente explicita a heterogeneidade fixa no tempo, pode trazer um poder de explicação maior do que o modelo FE, que simplesmente controla os efeitos fixos a partir de sua eliminação, o que pode gerar interpretações erradas.

Por fim, apesar das variáveis explicativas do modelo serem relevantes, ainda não é possível isolar o efeito das LCA's sobre o desmatamento, isso porque a variável entrou para a composição do SNCR apenas em 2015. Essa será uma análise interessante a ser feita futuramente, quando a base de dados estiver maior e garantir a consistência dos modelos

⁹ *Within* e *Between* são formas diferentes de se considerar as variáveis do modelo (CROISSANT; MILLO, 2019, p 27) e que ambas podem ser consideradas para construir o modelo de efeitos fixos.

de regressão. Por isso, neste trabalho analisou-se o efeito do crédito não controlado de forma geral, agregando o valor proveniente das LCA's às outras fontes de recurso não controladas.

Foram selecionados 5.007, dos 5.570, municípios brasileiros, pois alguns deles não recorrem ao SNCR ou não possuíam atividade pecuária.

4.2 ENDOGENEIDADE

Com base na revisão de literatura, serão abordadas as principais variáveis que possam apresentar problemas de endogeneidade. Primeiro será abordado o caso das *commodities* agrícolas, em seguida o caso das unidades de preservação e, por último, será defendida a exogeneidade do crédito rural.

Hargrave e Kis-Katos (2013) enunciaram que, tanto o nível de preço das *commodities* explica parte do desmatamento, em específico na floresta amazônica, quanto o desmatamento explica parte do comportamento dos preços. O aumento do preço de produtos como a soja (P^s) e a carne (P^m) pressionam o desmatamento (D) que, por sua vez, reduz o preço da madeira (P^w). Em contrapartida, o aumento do desmatamento provoca o aumento da oferta de alimentos (S^s, S^m), ao menos localmente, que, por sua vez, reduziria o preço praticado. Essa dinâmica evidencia endogeneidade do tipo simultânea¹⁰ e, nesse caso, diz-se que os preços são endógenos.

Devido à similaridade entre o preço que foi considerado em nosso modelo (preço do boi gordo em Campinas) e os preços considerados por Hargrave e Kis-Katos (2013), é possível adotar solução similar para o problema de endogeneidade. A distância temporal entre o preço percebido para as *commodities* ($P_t^{s,m,w}$) e o início do desmatamento ($D_{t+\alpha}(\cdot; P_t^{s,m,w})$) pode atenuar o efeito de simultaneidade. Em outras palavras, o desmatamento no período t é função do preço 'defasado' ($D_t(\cdot; P_{t-\alpha}^{s,m,w})$). Caso seja adotado o preço corrente como variável explicativa ($D_t(\cdot; P_t)$) o problema de viés causado por essa variável é reduzido.

Ao considerar o preço do boi gordo na praça de Campinas, ao invés de considerá-lo para cada município específico, a condição endógena dessa variável é novamente atenuada. Por fim, o preço do boi é tratado como variável endógena e instrumentalizado no modelo pela sua variável defasada em um período.

Hargrave e Kis-Katos (2013) utilizou os preços da soja, da carne e da madeira como variáveis explicativas para o desmatamento em geral da Amazônia. Além disso, tratou apenas o preço da madeira como sendo endógeno devido aos motivos já mencionados. Como nosso trabalho trata especificamente do desmatamento causado pela atividade pecuária, não foi considerado o preço da soja, o preço do boi gordo foi instrumentalizado da forma já mencionada.

¹⁰ Existe uma função ($D(\cdot, P)$) que descreve o comportamento do desmatamento (D), e outra função ($P(\cdot, D)$) que descreve os preços (P).

Quanto às unidades de preservação (UP), elas se concentram na região da Amazônia Legal e alguns autores ressaltam a participação delas em reduzir o desmatamento (PFAFF; ROBALINO; HERRERA, 2011; SOARES-FILHO et al., 2010). Porém uma questão a ser levantada diz respeito ao problema de causalidade entre UP e desmatamento. Tais unidades, depois de criadas, reduzem o desmatamento? Ou elas foram criadas justamente em áreas que já vinham apresentando risco de desmatamento?

Os agentes públicos federais estão mais alheios às pressões regionais, isso permite a eles tomarem decisões, tal como a criação das unidades federais de conservação, de forma mais isenta com relação às pressões econômicas dos municípios. Isso não ocorreria para os agentes estaduais, os quais sofreriam maior pressão ao proporem a criação de unidades de conservação estaduais. Com relação às terras indígenas, a delimitação estaria atrelada a fatores exógenos, à presença de populações indígenas. Esses três argumentos foram utilizados por Pfaff, Robalino e Herrera (2011) para mostrar que existe uma maior relação das unidades de conservação estaduais e das terras indígenas em reduzir o desmatamento. A partir disso, pode-se perceber que a variável UP apresenta um componente endógeno proveniente das unidades estaduais de preservação, mas que é atenuado pelo componente exógeno das unidades de conservação federais e das terras indígenas.

A variação do crédito rural para a pecuária (CR_t^p) não é endógena, ao menos por motivo de simultaneidade. É razoável supor que o desmatamento (D) esteja em função do crédito rural ($D_t(\cdot; CR_t^p)$), a razão disso são os argumentos já expostos e os trabalhos empíricos apresentados na revisão bibliográfica. No entanto, não é razoável supor o contrário, ou seja, que o crédito rural esteja em função do desmatamento ($CR_t^p(\cdot; D_t)$).

A princípio, maior nível de desmatamento, de ampliação de área de pastagem sobre vegetação nativa, causaria maior demanda por crédito. No entanto, como estamos considerando apenas o crédito proveniente do SNCR, cabe ressaltar que o fornecimento de crédito por esse sistema não está, ao menos em sua maioria, baseado na demanda por parte dos pecuaristas. A justificativa é simples: a maior parte do crédito disponibilizado (69%)¹¹ não está relacionada diretamente com a demanda por crédito pelos pecuaristas, mas sim com o volume de depósitos à vista feitos na economia e com depósitos na poupança rural (BACEN, 2020c). Entre 2013 e 2018, 36% do crédito do SNCR destinado aos pecuaristas foram provenientes da poupança rural e 33% foram provenientes dos depósitos à vista¹², esse último representado na Tabela 3 como "Obrigatórios".

Em resumo, são dois os fatores que permitem concluir que não há simultaneidade entre desmatamento e crédito rural. Primeiro porque considerou-se apenas valores referentes

¹¹ Tal valor refere-se à informação entre os anos de 2013 e 2018 disponibilizada pela Matriz de Dados de Crédito Rural (MDCR)(BACEN, 2020c)

¹² Segundo o Manual de Crédito Rural, capítulo 6 e seções 2 e 4, 27,5% do valor sujeito a recolhimento(VSR) dos depósitos à vista e 59% do VSR da Poupança Rural deve ser destinados ao crédito rural através do SNCR(BACEN, 2020b)

ao SNCR, segundo porque esses valores estão atrelados à poupança rural e aos depósitos à vista. Sendo assim, o desmatamento não determina o valor de crédito do SNCR, uma vez que esse valor é majoritariamente controlado pelos Depósitos à Vista e pela Poupança Rural, o que reduz risco de endogeneidade do tipo simultânea. No entanto, apenas isso não garante que a variável crédito seja exógena. É possível que exista uma terceira variável não observada, 'P' por exemplo, que determina tanto o nível de crédito rural quanto o desmatamento. Porém, esse problema também é atenuado quando se considera o crédito dividido entre diferentes finalidades (investimento, custeio, comercialização e industrialização), ou mesmo entre recursos emprestados a taxas fixas (controlados) ou a taxas livres (não controlados). Não por acaso, as variáveis que representam a finalidade do crédito e o tipo de taxa foram inseridas no modelo em suas formas proporcionais.

Cabe enfatizar que não existe unanimidade na literatura sobre a forma como deve ser tratada a endogeneidade em modelos que abordam o desmatamento, assim como não há consenso sobre quais variáveis são endógenas ou não (HALES, 2015, p. 13). Além disso, as particularidades do SNCR brasileiro e o número reduzido de pesquisas que o envolvem, exige esforço maior ao lidar com o problema da endogeneidade.

Assunção, Gandour, Rocha e Rocha (2019) discordam da exogeneidade da variável 'crédito rural'. Segundo eles, municípios com maior potencialidade para a atividade rural recebem mais recursos dos agentes financeiros. Ou seja, o volume de crédito em um determinado município (CR_i) depende de suas características econômicas ($CR_i(a_i)$). Essas características não observadas entre os municípios compõem o termo de erro ($e_i(a_i)$), o que gera problema de endogeneidade.

Também é possível descrever esse problema tornando explícito a variável 'produtividade rural' do município (P_i). A grosso modo, seria como considerar tal variável como uma proxy para as características econômicas do município ($P_i \propto a_i$). Segundo Assunção, Gandour, Rocha e Rocha (2019), o crédito rural afeta a produtividade do município e o inverso também seria verdadeiro, quanto mais produtivo o município, mais crédito ele atrairia dos agentes financeiros. Como o desmatamento (D_i) está em função da produtividade, isso gera uma endogeneidade do tipo causalidade reversa. Para os autores, a produtividade é uma variável que relaciona crédito e uso da terra por meio de duas vias distintas.

Aparentemente os argumentos dos autores estão corretos, no entanto, para que a conclusão esteja correta, é obrigatório que haja restrição de crédito. Caso exista tal restrição, os agentes financeiros iriam destinar o crédito disponível para aqueles municípios mais produtivos, em detrimento dos demais. Assunção, Gandour, Rocha e Rocha (2019) utilizam basicamente dois argumentos para defender a restrição de crédito: (i) existe uma rigidez dos agentes em mudarem de agência financiadora (banco) e, (ii) o recurso que chega aos bancos depende de um sistema complexo de captação de recursos. Baseados

nessas duas hipóteses os autores criam a variável instrumental necessária para corrigir a endogeneidade da variável crédito rural.

A forma como Assunção, Gandour, Rocha e Rocha (2019) criam a variável instrumental não está bastante clara. Portanto, a seguir será apresentada a lógica utilizada pelos autores de forma mais reduzida e utilizando declarações lógicas:

-
- Θ_1 : um conjunto de bancos ($b \in \underline{B}_i$) atua em um determinado município ($i \in \underline{I}$)
- Θ_2 : O valor total financiado por cada banco ($CR_{b,i}$) depende das fontes de recurso disponíveis ($CR_{b,i}(\underline{R})$). A Tabela 3 deste trabalho apresenta um resumo das fontes de recurso (Poupança Rural, LCA, Obrigatórios, etc).
- Θ_3 : Variações em \underline{R} afetam $CR_{b,i}$, ou seja, afetam a disponibilidade de crédito para determinado município ($\Delta \underline{R} \Rightarrow \Delta CR_{b,i}$).
- Θ_4 : Além das fontes de recurso (\underline{R}), o conjunto de bancos presentes em um determinado município (\underline{B}_i) afeta a oferta de crédito. Por exemplo, um banco b_j reduz a oferta de crédito e outro banco $b_i | i \neq j$ aumenta a oferta de crédito. Havendo resistência dos agentes migrarem de um banco para outro, o crédito rural disponível para a cidade é reduzido $\downarrow CR_i$.
- Θ_5 : por Θ_3 e Θ_4 , o crédito para determinado município depende da estrutura bancária ali presente (\underline{B}_i) e da capacidade dos bancos fornecerem crédito, o que, por sua vez, depende das fontes de recurso (\underline{R}). Portanto:
 $CR_i(\underline{B}_i, \Delta \underline{R})$
- Θ_6 : $\Delta \underline{R}$, \underline{B}_i Se comportam de forma aleatória, ou seja, não estão relacionados ao desmatamento. De forma mais clara, a estruturação do SNCR é complexa, existem diversas formas para captar e distribuir os recursos entre os produtores. O que Assunção, Gandour, Rocha e Rocha (2019) dizem é que essa complexidade gera aleatoriedade, e que, portanto, a relação entre $\Delta \underline{R}$ e \underline{B}_i dificilmente afetaria o uso da terra. Isso possibilitaria a criação de um instrumento para corrigir a endogeneidade da variável crédito rural.
-

A construção dos autores aparentemente está correta, no entanto, ela depende fortemente da existência de restrição de crédito aos produtores rurais. Afirmar que existe tal restrição baseado na complexidade com que o SNCR em arrecadar e distribuir recursos não parece estar correto, ao menos para a atividade pecuária. Como já foi demonstrado anteriormente neste trabalho, a arrecadação de recursos se baseia em duas fontes principais, a poupança rural e os depósitos à vista, o que reduz a complexidade do sistema. A forma de distribuição dos recursos, aparentemente complexa, também se concentra (em termos de volume financeiro) em apenas dois programas, o Pronaf e o Pronamp (Tabela 2). O argumento de que existe rigidez dos agentes em mudar de fonte financiadora parece mais

plausível, porém, a concentração bancária no Brasil enfraquece esse argumento que também carece de provas empíricas.

Outras fontes de restrição não foram abordadas pelos autores. As agências financiadoras poderiam limitar o crédito para aqueles que não atendem às exigências dos programas. Porém, mesmo esse argumento encontra problemas quando se trata exclusivamente da atividade pecuária. Já foi apresentado que a maior parte dos recursos emprestados não fazem parte de nenhum programa. Além disso, existem programas com taxas de financiamento mais elevadas e que não exigem contrapartidas quanto à aplicação do recurso.

Neste trabalho o crédito rural será tratado com uma variável exógena quando considerado em sua forma fracionada ($CR = inv + cus + com + ind$). Se existem características que tornam um município mais propenso a atrair agentes financiadores, essas características foram controladas pela variável 'produtividade' do município. Lembrando que não existe consenso na literatura sobre o assunto, que essa interessante questão ainda está aberta para discussão e que o trabalho de Assunção, Gandour, Rocha e Rocha (2019) apresenta relevante contribuição.

4.3 DEPENDÊNCIA LINEAR

Baseado na tabela de correlações (Tabela 5) observa-se elevada correlação entre algumas variáveis do modelo. Para evitar o problema de dependência linear (multicolinearidade) algumas dessas variáveis foram alteradas e uma delas teve de ser excluída do modelo.

Tabela 5 – Tabela de correlações

	inv/ha	com/ha	ind/ha	cus/ha	subsídio	pronaf	pronamp	PNCF	Sem Programa	Controlado	Não Controlado	tecnologia	preço boi
inv/ha	1,000	0,020	0,079	0,424	0,010	0,088	0,007	-0,004	0,076	0,137	0,007	0,285	0,010
com/ha	0,020	1,000	0,019	0,118	-0,001	0,014	-0,008	-0,002	0,565	0,266	0,718	0,001	-0,001
ind/ha	0,079	0,019	1,000	0,208	-0,019	0,030	0,010	0,000	0,183	0,218	0,035	0,005	-0,012
cus/ha	0,424	0,118	0,208	1,000	0,008	0,104	0,019	-0,003	0,483	0,495	0,234	0,163	0,007
subsídio	0,010	-0,001	-0,019	0,008	1,000	0,013	0,001	-0,006	-0,004	0,008	-0,015	0,004	0,862
pronaf	0,088	0,014	0,030	0,104	0,013	1,000	0,370	0,015	0,178	0,399	0,041	0,016	0,022
pronamp	0,007	-0,008	0,010	0,019	0,001	0,370	1,000	-0,003	0,256	0,457	0,096	0,001	0,008
PNCF	-0,004	-0,002	0,000	-0,003	-0,006	0,015	-0,003	1,000	0,001	0,004	0,000	-0,003	0,008
sem Programa	0,076	0,565	0,183	0,483	-0,004	0,178	0,256	0,001	1,000	0,855	0,769	0,000	-0,004
Controlado	0,137	0,266	0,218	0,495	0,008	0,399	0,457	0,004	0,855	1,000	0,367	0,004	0,004
Não Controlado	0,007	0,718	0,035	0,234	-0,015	0,041	0,096	0,000	0,769	0,367	1,000	-0,001	-0,005
tecnologia	0,285	0,001	0,005	0,163	0,004	0,016	0,001	-0,003	0,000	0,004	-0,001	1,000	0,000
preço boi	0,010	-0,001	-0,012	0,007	0,862	0,022	0,008	0,008	-0,004	0,004	-0,005	0,000	1,000

^a inv/ha = Investimento por hectare de pasto (BRL/ha)

^b com/ha = comercialização por hectare de pasto (BRL/ha)

^c ind/ha = industrialização por hectare de pasto (BRL/ha)

^d cus/ha = custeio por hectare de pasto (BRL/ha)

^e subsídio = diferença entre taxa livre e controlada (%)

^f Pronaf, pronamp, PNCF e Sem programa = recurso total destinado a esses programas (BRL)

^g controlado = Recurso total com taxa controlada (BRL)

^h Não controlado = Recurso total com taxa livre (BRL)

ⁱ Tecnologia = número de animais bovinos por hectare (cb/ha)

^j preço do boi = preço da arroba (BRL/@)

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do: Bacen (2020c,a), IBGE (2019b, 2020b), Cepea (2020a) e MapBiomas (2019).

A primeira correlação elevada (0,8) é entre o preço do boi gordo e o subsídio. Para evitar esse problema o preço do boi foi considerado em diferença, ou seja, $\Delta P_t^{boi} = P_t^{boi} - P_{t-1}^{boi}$. Dessa forma, quando considerada a valorização, ou depreciação, anual do preço da arroba, evita-se o problema de multicolinearidade.

A variável com maiores problemas em termos de dependência linear é aquela que representa o recurso de crédito não vinculado a programas do SNCR. É uma variável que está correlacionada tanto com recursos não controlados (0,64) quanto com o recursos para comercialização (0,56). Ou seja, aquele recurso que não está sujeito às contrapartidas exigidas pelos diferentes programas de crédito existentes (ex: Pronamp, Pronaf, PNCF) está sendo empregado a taxas livres e na finalidade de comercialização. Essa variável permitiria concluir se os diferentes programas existentes, e, se o conjunto de regras que compõem esses programas, têm alguma relação com o desmatamento. No entanto, devido ao problema de dependência linear, tal variável teve de ser removida do modelo.

Por fim, o recurso com taxa controlada está altamente correlacionado com as finalidades de investimento (0,6), industrialização (0,47) e custeio (0,9), já o recurso com taxa livre está correlacionado com comercialização da produção (0,8). Para evitar multicolinearidade, as duas variáveis (recurso controlado e recurso não controlado) foram transformadas em uma única variável:

$$IT_{t,i} = \frac{T_{t,i,(taxa\ livre)}}{T_{t,i,(taxa\ fixa)}} \quad (4.3)$$

Dividindo o valor de recursos controlados sobre o valor de recursos não controlados criou-se um índice ($IT_{t,i}$) com baixa correlação com as demais variáveis do modelo e que, mesmo assim, permite extrair a informação de interesse, ou seja, a relação entre desmatamento e recurso a taxas de juros livres. Espera-se que quanto maior o índice maior a proporção de recursos não controlados e, portanto, maior o desmatamento. Cabe ressaltar uma última correlação: aquela entre tecnologia (número de animais por hectare) e investimento por hectare. Essa correlação, próximo de 0,3, mostrou que a escolha da forma como a variável tecnologia foi construída, assim como os dados utilizados para isso, foi correta e guarda relação com a realidade.

4.4 DADOS E ESTATÍSTICA DESCRITIVA

Os dados sobre desmatamento, mais especificamente os dados sobre transição de vegetação natural do tipo ‘Formação Florestal’ para o tipo ‘Pasto’, foram obtidos através do projeto MapBiomias (2019), entre os anos de 2013 e 2018 e para os 5.007 municípios que apresentaram atividade pecuária. Os dados estão em hectares (ha). Cabe salientar que o projeto utiliza imagens de alta resolução e os dados são gerados através do refinamento de polígonos, o que permite delimitar com maior precisão as áreas desmatadas.

O refinamento desses polígonos é feito de forma automática através de algoritmos de classificação supervisionada (*Random Forest*¹³). É utilizada a plataforma *Google Earth Engine*¹⁴ para realizar o processamento computacional. Por fim, os dados ainda passam por auditoria técnica.

Sobre os dados do Mapbiomas, cabe ressaltar duas limitações:

- 1) os dados do Mapbioma, para serem gerados, dependem de outros sistemas de detecção de desmatamento e, portanto, dependem da precisão desses outros sistemas. Como exemplo, o DETER Cerrado não detecta áreas desmatadas menores do que 1 ha, o DETER Amazônia possui precisão ainda menor, de apenas 6.25 ha. Já o GLAD, único sistema de detecção de desmatamento na Caatinga, não capta supressão de vegetação nativa no Semiárido¹⁵. Esse foi um dos motivos pelos quais não consideramos áreas de formação savânica no trabalho, pois, segundo os dados do Mapbiomas, a maior parte da formação savânica remanescente se encontra no semiárido brasileiro.
- 2) o algoritmo desenvolvido para detecção do desmatamento foi desenvolvido com base em formações florestais. Sendo assim, o sistema subestima a supressão de vegetação nativa não florestal, tal como a formação campestre. Esse foi o segundo motivo por não considerarmos a formação savânica em nossa análise¹⁶.

O projeto Mapbiomas iniciou recentemente, em 2015. No entanto, devido à originalidade dos dados e à segurança metodológica de seu sistema de identificação de desmatamento, sua base de dados tem sido utilizada por pesquisadores de centros renomados, alguns com aplicações econômicas (exemplo: (SILLS et al., 2020)). Lembrando que o programa ainda conta com o assessoramento técnico informal de órgãos como o IBAMA, Ministério Público e ICMBio.

Com o propósito de adicionar credibilidade aos dados do Mapbiomas, cabe apresentar pesquisas que atestem a confiabilidade da base de dados. Neves et al. (2017) compararam os resultados do Mapbiomas para estado do Pará com os resultados do TerraClass¹⁷. A comparação se deu pixel a pixel, e os autores concluíram haver igualdade em 89,4% dos casos e que a diferença se deveu às distintas metodologias de ambos os

¹³ Trata-se de um método de aprendizado de máquina.

¹⁴ O *Google Earth Engine*, na prática, é um conjunto de imagens de satélite em escala global, passíveis de serem processadas através de linguagem python ou Javascript e que, por serem integradas ao *Google Cloud Platform*, permite processamento rápido dos dados.

¹⁵ O Mapbiomas planeja implementar, já em 2020, um sistema que capte de forma mais precisa o desmatamento no semiárido.

¹⁶ No sentido amplo, a classificação vegetal do IBGE (2012) considera savana como formação campestre.

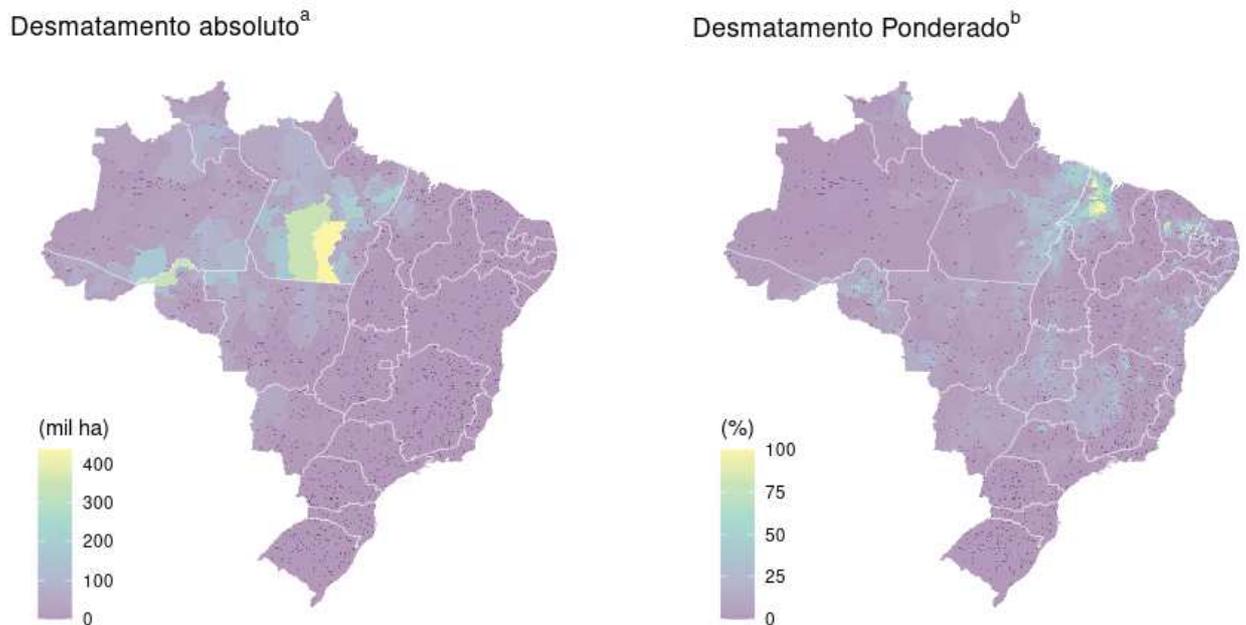
¹⁷ TerraClass é um projeto envolvendo várias instituições nacionais e responsável por qualificar o desflorestamento na Amazônia Legal Brasileira, assim como é realizado pelo projeto MapBiomas. A diferença é a metodologia utilizada e a periodicidade dos dados.

sistemas. Como o projeto Mapbiomas está em constante melhoria, em 2020, NEVES et al. (2020) estimaram que a concordância entre os dados mais recentes (Mapbiomas 3) e os dados do TerraClass concordaram em 92% dos casos. Em específico para as áreas de pasto a concordância foi de 90%.

A Figura 8 apresenta o desmatamento no Brasil entre 2013 e 2018 de duas maneiras distintas. A primeira delas através do desmatamento absoluto, ou seja, através da soma das áreas desmatadas por município ($\sum_{t=2013}^{2018} d_{i,t}$), e a segunda através da média da variação do desmatamento ponderado pela quantidade inicial de floresta no município ($\frac{1}{6} \sum_{t=2013}^{2018} (\Delta d_{i,t} \frac{1}{PF_{i,2013}})$), que, por simplicidade, será denominada apenas por desmatamento ponderado. Dessa forma, fica evidente que a maior área de desmatamento se concentra na região norte (principalmente Pará e Rondônia), no norte do Mato Grosso e do Mato Grosso do Sul e em parte do Maranhão. No entanto, se for analisado o desmatamento ponderado – essa transformação do desmatamento absoluto é interessante, pois pode ser entendida como a intensidade, ou velocidade, com que o desmatamento ocorre em cada município – observa-se que o desmatamento também ocorre com grande intensidade em regiões fora da Amazônia legal. Goiás, Minas Gerais e Bahia são exemplos de estados com baixo desmatamento absoluto mas que possuem uma elevada intensidade de desmatamento¹⁸.

¹⁸ Não por acaso o modelo econométrico considerou a área inicial de floresta em cada município.

Figura 8 - Desmatamento no Brasil entre 2013 e 2018



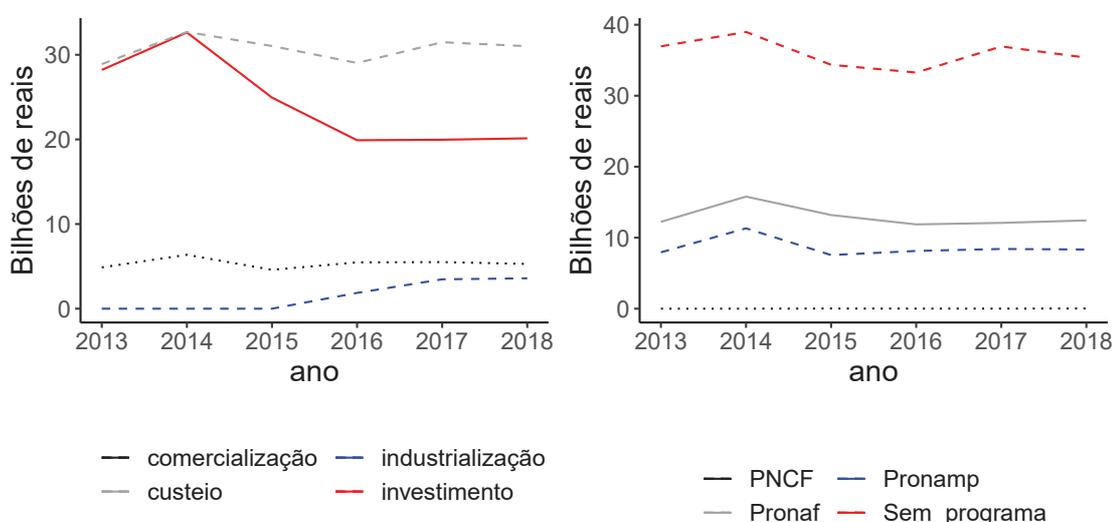
Nota – ^a soma das áreas desmatadas por município ($\sum_{t=2013}^{2018} d_{i,t}$). ^b Média da variação do desmatamento ponderado pela quantidade inicial de floresta no município ($\frac{1}{6} \sum_{t=2013}^{2018} \Delta d_{i,t} \frac{1}{PF_{i,2013}}$).

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do MapBiomas (2019).

Os dados sobre crédito rural para a atividade pecuária foram extraídos da Matriz de Dados de Crédito Rural (MDCR) mantida pelo Bacen (2020c). A periodicidade é anual, entre 2013 e 2018, com informações por município, valores separados entre programas (Pronaf, Pronamp, PNCF e indefinidos), finalidades (investimento, custeio, comercialização e industrialização) e tipo de taxa (fixa ou livre). Os valores estão em reais e foram corrigidos para valores presentes (abril de 2020) seguindo o Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA). Valores anteriores a 2013 não estão disponíveis na MDCR. Informações detalhadas sobre os valores já foram apresentadas nas tabelas 2 e 3.

A maior parte do crédito é destinado para atividades de custeio e investimento. A maioria dos recursos não foram vinculados a um programa específico de crédito e isso pode ter algum efeito sobre o desmatamento. Pela figura 9, também é possível perceber que a crise econômica Brasileira, a partir de 2014, aparentemente também afetou os investimentos no setor pecuário.

Figura 9 - Crédito do SNCR para pecuária, divisão por finalidade e programa



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Bacen (2020c).

Cabe ressaltar que o crédito para pecuária não é destinado apenas para criação de gado de corte ou de leite. A pecuária também engloba criação de frangos, suínos, caprinos, peixes e outros animais que não exigem área de pasto. Sendo assim, o crédito para pecuária deve ser entendido como uma variável proxy para o crédito do SNCR que é direcionado exclusivamente para a criação de bovinos. O que torna essa variável uma boa proxy é que a pecuária no Brasil é concentrada na criação de gado. Segundo dados do MAPA (2020), em 2018 a produção bovina correspondeu a 64% de todo o valor bruto da produção pecuária brasileira, a produção avícola correspondeu a 34%, já a produção suiná correspondeu a apenas 7%. Além disso, a criação de aves é concentrada em poucos estados¹⁹, e aproximadamente 90% da produção industrial avícola é realizada sob sistema integrado (POHLMANN et al., 2020 apud CAMPOS, 2016), o que reduz a tomada de crédito pelos produtores, ao menos a nível de custeio.

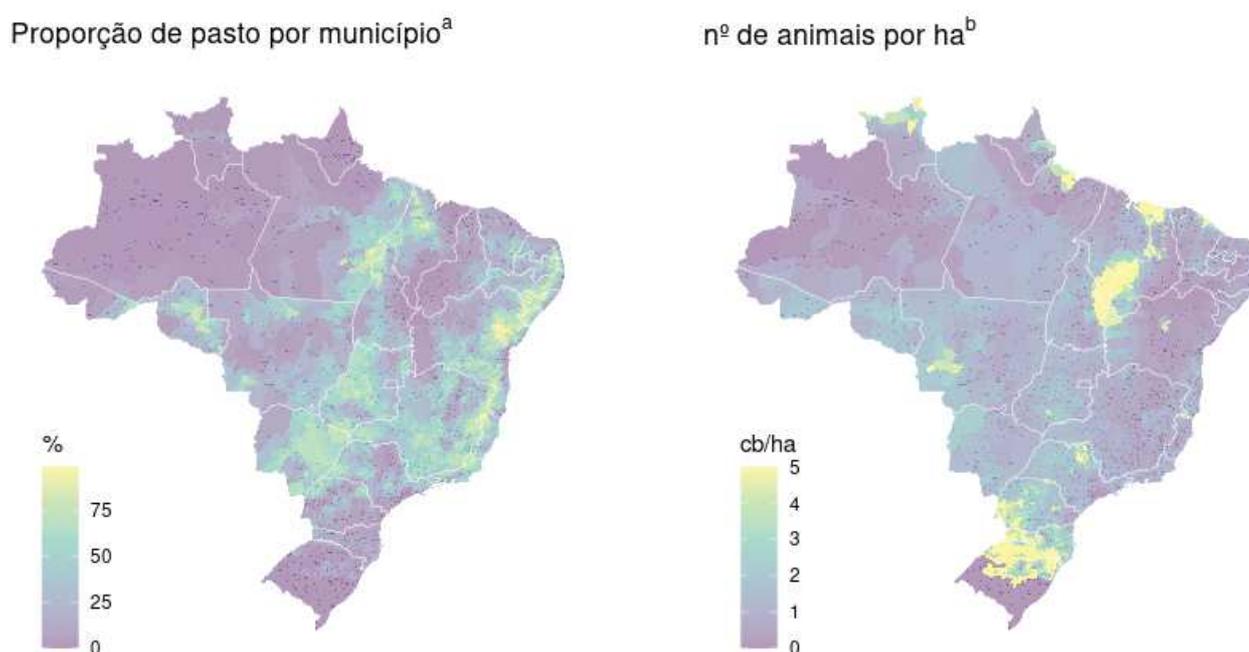
Os dados sobre subsídio são anuais e agregados para todo o país, não distinguindo entre estados e municípios. A figura 3 apresentou a diferença entre ambas as taxas. O problema em se trabalhar com o valor do subsídio diretamente, com o gasto com equalizações, é que o valor disponibilizado pelo Tesouro Nacional não distingue entre atividade agrícola ou pecuária. Portanto, como já retratado, utilizou-se a diferença entre as taxas de juros como proxy para o gastos com subsídio. Os dados foram extraídos do sistema de informação do Bacen (2020c), os valores em unidade percentual foram corrigidos pelo IPCA (abril, 2020). Cabe reforçar que ambas as taxas são referentes ao SNCR e que o Bacen as descreve da seguinte forma:

¹⁹ Dados do IBGE (2020b) mostram que, em 2018, apenas cinco estados do sudeste concentravam 69% do rebanho brasileiro de aves.

- 1) Crédito rural - Taxas controladas: operações alinhadas às diretrizes do CMN (as diretrizes estabelecem, entre outros parâmetros, o volume de captação e a taxa máxima de juros de cada produto), consolidadas no Manual de Crédito Rural (MCR), destinadas ao produtor rural e / ou empresas agrícolas. Essa modalidade inclui as operações de crédito rural vinculadas ao fundo constitucional de desenvolvimento regional.
- 2) Crédito Rural - Taxas de Mercado: operações alinhadas às diretrizes do CMN, consolidadas no Manual de Crédito Rural (MCR), porém contratadas a taxas de juros de mercado, destinadas a produtores rurais e empresas agrícolas. Essa modalidade inclui as operações de crédito rural vinculadas ao fundo constitucional de desenvolvimento regional. (BACEN, 2020a)

O nível tecnológico de cada município para a atividade pecuária foi estimado através do número de animais bovinos por área de pasto (ha). Ambas as informações tem periodicidade anual e são detalhadas a nível de município, a primeira fornecida pelo IBGE (2020b) e a segunda pelo MapBiomias (2019).

Figura 10 - Proporção de área de pasto por município e representação da tecnologia na pecuária (cabeças de gado por hectare)



Nota – ^aAlguns municípios do estado do Rio Grande do Sul apresentaram níveis de tecnologia próximos de zero. O motivo é que tais municípios não apresentam área de pastagem expressiva. No modelo econométrico esse problema foi resolvido considerando-se a aptidão pecuária do município, ou seja, sua proporção de área de pastagem.

^bAlguns municípios apresentaram concentrações de animais superiores a 5 cb/ha. Isso se deve à prática de confinamento ou a erros de medidas. Nesses casos se estabeleceu valor máximo de 5 cb/ha.

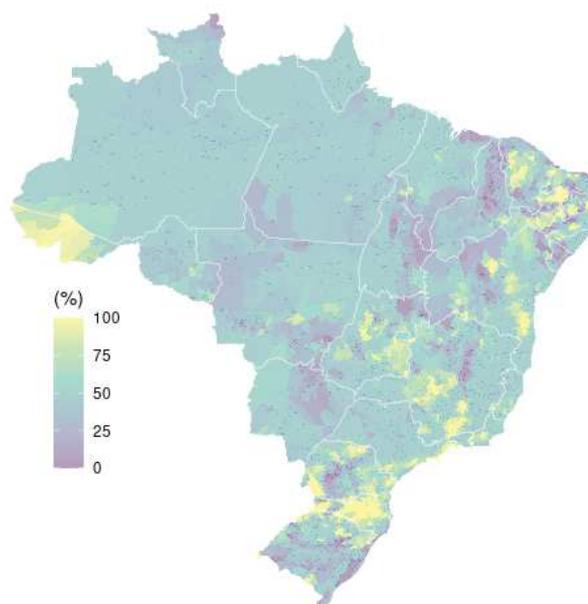
Fonte – Elaboração própria com base nos dados do MapBiomias (2019) e IBGE (2020b)

A produtividade é maior no sul do país e na região do MAPITOBA²⁰, que também apresentaram intensidades menores de desmatamento (Figura 10). Cabe ressaltar que alguns estados com intensidade elevada de desmatamento, por exemplo Minas Gerais e Bahia (Figura 10), também apresentaram índice reduzido de tecnologia.

Para estimar a aptidão do solo, utilizou-se dois arquivos do tipo *shapefile*, um contendo a delimitação dos municípios e obtido junto ao IBGE (2019a), e outro contendo informações sobre classificação de solos e obtido através da Embrapa (2020). A sobreposição desses dois arquivos permitiu identificar quais tipos de solo, assim como suas respectivas proporções, compunham cada município. Em outras palavras, um município pode ser composto por vários tipos de solo diferentes, é preciso saber a distribuição desses solos para identificar a aptidão de cada município em produzir pastagem. Cada tipo de solo recebeu uma nota para aptidão baseado nas informações da *International Soil Reference and Information Centre* (ISRIC) e presentes na Tabela 9 do anexo A. Por fim, cada município recebeu uma nota final sobre aptidão em produzir pastagem, cujo cálculo consiste da soma ponderada (pela área) da nota de cada solo que compunha o município.

Apesar dos solos na região amazônica não serem os mais propícios para a atividade pecuária, eles também não apresentam grandes limitações como na região sul do Rio Grande do Sul ou alguns estados do Nordeste (Figura 11). Por exemplo, o estado do Acre se destaca por apresentar elevada aptidão dos solos (Figura 11) e também nível elevado de desmatamento absoluto (Figura 8). O mesmo ocorre para o estado de Goiás, porém, com relação à intensidade de desmatamento. Isso traz indícios da relação entre aptidão dos solos e desmatamento, o que será abordado também através da regressão linear.

²⁰ Região entre os estados do Maranhão, Piauí, Tocantins e Bahia e que é considerada a nova fronteira agrícola do país.

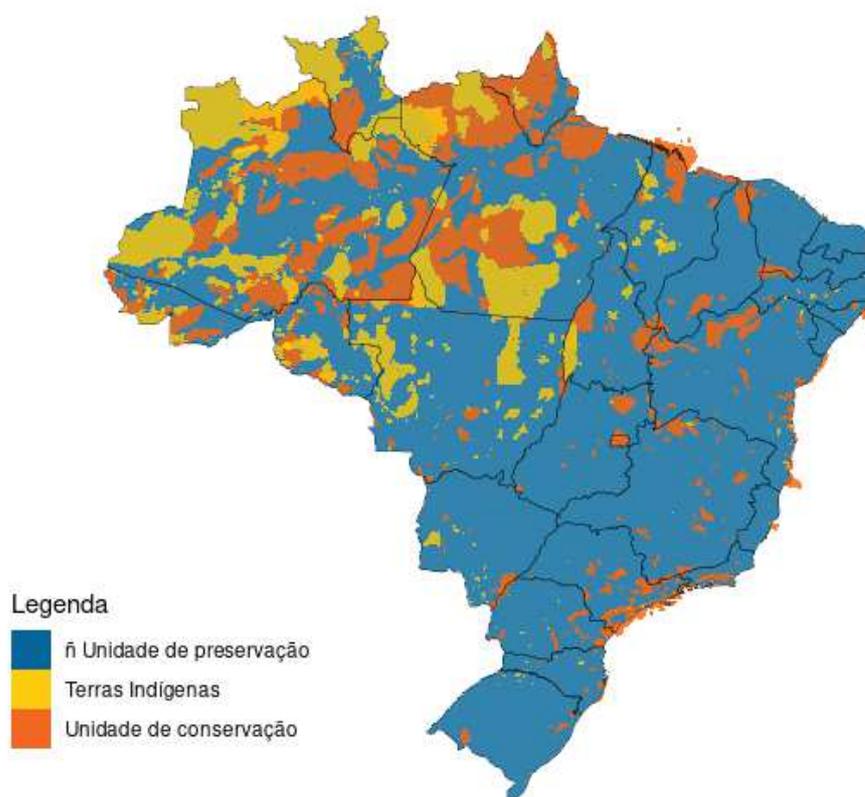
Figura 11 - Estimativa da aptidão do solo para a atividade pecuária^a

Nota – ^aEssa estimativa foi realizada com base nos mapas de solo da Embrapa (2020) e com base na classificação dos solos pela ISRIC (2020)

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Embrapa (2020) e ISRIC (2020).

A forma de construção da variável 'Área de Preservação' foi similar à construção da variável 'aptidão do solo'. Utilizou-se dois arquivos do tipo *shapefile* fornecidos pela Funai (2020), um contendo a delimitação de áreas de conservação (UC) e outro contendo a delimitação das terras indígenas (TI). Uniu-se ambos os arquivos, a fim de considerar-se a área de preservação total ($UP = UC + TI$) e, por fim, mesclou-se o *shapefile* resultante com aquele contendo a delimitação dos municípios. Como já discutido anteriormente, a maior parte das UP's se concentram na Amazônia legal (Figura 12). A demarcação das terras indígenas está relacionada a fatores exógenos, as unidades federais de conservação são criadas sem muita pressão dos setores econômicos dos municípios, o que não ocorre com as unidades estaduais.

Figura 12 - Áreas de preservação e terras indígenas no Brasil

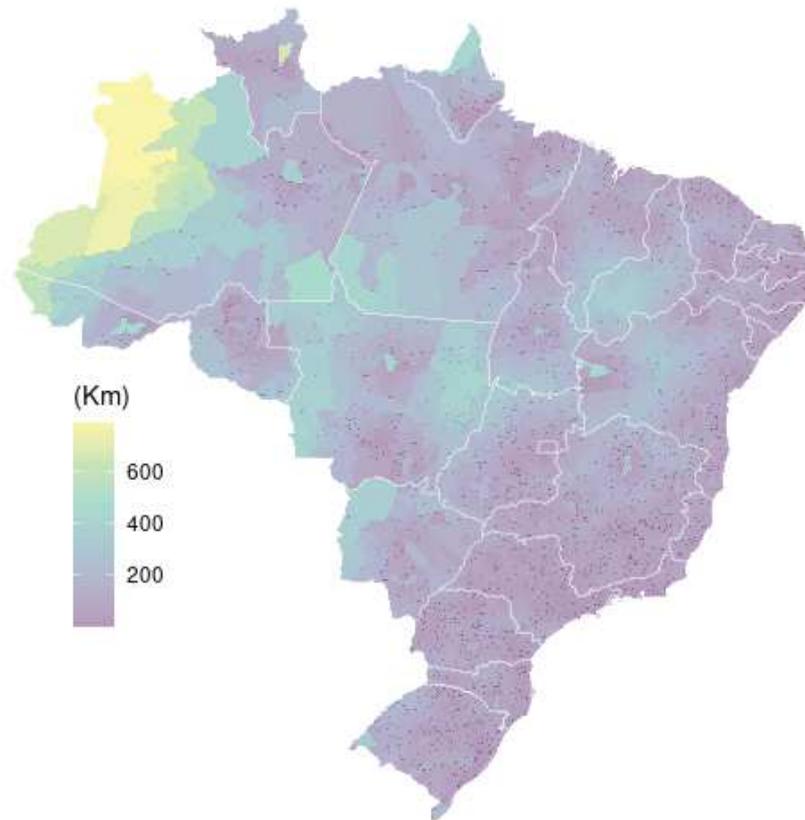


Fonte: Elaboração própria com base nos dados da Funai (2020).

Baseado nas coordenadas geográficas e na população²¹ de cada município brasileiro, foi criada a variável que representa a distância de cada município até o centro comercial mais próximo. Ambas as informações básicas foram obtidas junto ao IBGE (2020a). Calculou-se a distância de cada uma dessas cidades em relação ao centro comercial mais próximo e com população acima de 100 mil. Para municípios com população igual ou superior a 100 mil considerou-se nula a distância. Os municípios mais isolados se encontram na região Norte, Nordeste e Centro-Oeste (figura 13).

²¹ A população considerada diz respeito àquela estimada pelo IBGE (2020a)

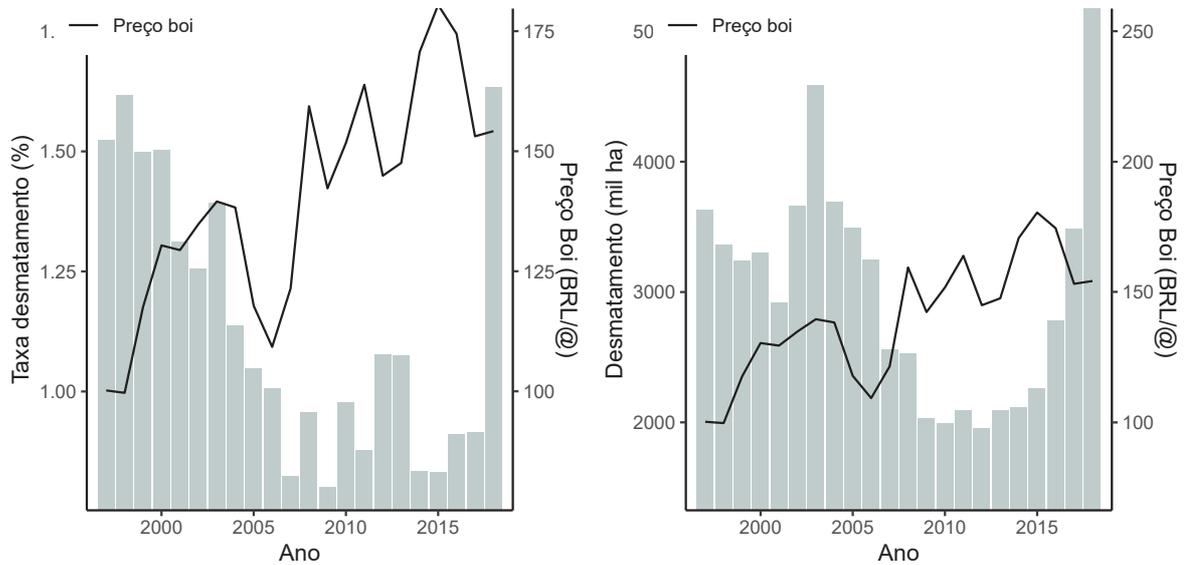
Figura 13 - Mapa de distância dos municípios até grandes centros comerciais



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do IBGE (2020a)

O preço do boi gordo, em reais por arroba (BRL/@), foi obtido junto ao Cepea (2020a) que os estima através de média ponderada entre os preços a vista praticados no estado de São Paulo. Ele foi atualizado pela inflação (IPCA, abril 2020) e teve a média anual calculada. A Figura 14 mostra a relação entre preço e desmatamento.

Figura 14 - Relação entre desmatamento^a para pecuária e preço do boi gordo

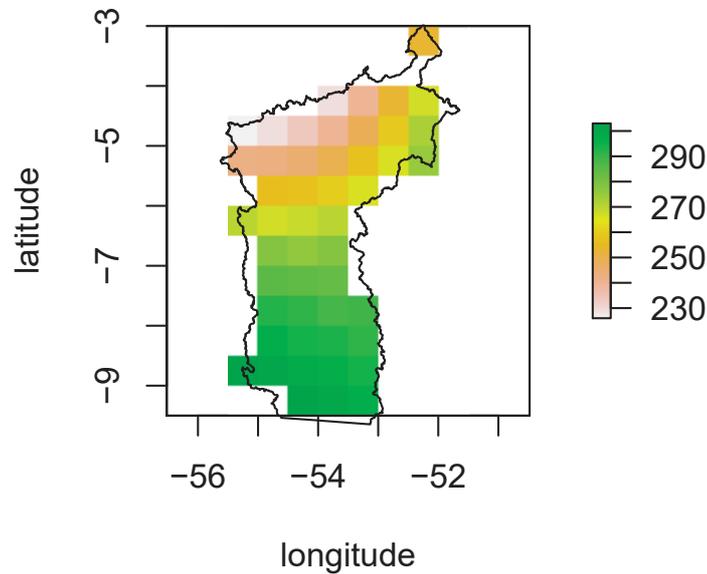


Nota – ^a O desmatamento representado na forma de porcentagem se refere à taxa média de desmatamento entre os municípios analisados.

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Cepea (2020a) e MapBiomas (2019)

Os dados sobre precipitação foram obtidos por meio do CRU TS (*Climatic Research Unit gridded Time Series*) e disponibilizados no formato NetCDF (*Network Common Data Form*). Na prática esse é um arquivo georreferenciado, que cobre todo o globo (com exceção da Antártida) e está disponibilizado na forma de quadrantes, cada um com 0,5 graus de latitude e 0,5 graus de longitude. A seguir está representada a forma como esses dados representam a precipitação para uma determinada parte do globo terrestre:

Figura 15 - Leitura de precipitação no município de Altamira - PA



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do CRU (2020)

Cada quadrado na Figura 15 representa uma leitura de precipitação para um determinado intervalo de tempo. Com essa informação, foi possível calcular a precipitação ($\frac{mm}{m^2}$) média anual por município e, posteriormente, calcular a precipitação média por município entre os anos de 1984 e 2019.

A proporção de floresta remanescente, de pasto, de recursos hídricos e de infraestrutura são informações construídas a partir de informações do projeto MapBiomas (2019) e do IBGE (2019b). Conhecendo a área de formação florestal, de pasto, de recursos hídricos (rios, lagos) e de infraestrutura urbana por município, basta dividir tais informações pela área total do município para encontrar as respectivas proporções. Como as unidades de área são iguais entre as variáveis (hectares), as proporções são adimensionais (ha/ha).

A seguir está a tabela que resume as informações sobre as variáveis.

Tabela 6 – Descrição das variáveis

Variável	fonte	escala	unidade	min	max	média
custeio	Bacen	municipal	mi BRL	0,00	2.016,37	5,77
investimento	Bacen	municipal	mi BRL	0,00	232,70	4,57
comercialização	Bacen	municipal	mi BRL	0,00	2.068,98	1,01
industrialização	Bacen	municipal	mi BRL	0,00	577,93	0,28
Pronaf	Bacen	municipal	mi BRL	0,00	97,22	2,43
Pronamp	Bacen	municipal	mi BRL	0,00	81,04	1,62
PNCF	Bacen	municipal	mi BRL	0,00	3,05	0,00
Sem Programa	Bacen	municipal	mi BRL	0,00	2.551,50	6,77
Recurso Controlado	Bacen	municipal	mi BRL	0,00	1.997,26	10,12
Recurso não Controlado	Bacen	municipal	mi BRL	0,00	1.828,27	1,51
subsídio	Bacen	país	%	3,37	11,71	7,87
preço	Cepea	país	BRL	147,60	180,52	163,45
distância	IBGE	municipal	Km	0,00	789,44	78,91
Tecnologia	IBGE/MapBiomias	municipal	cb/ha	0,00	2,28	0,04
aptidão solo	ISRIC/Embrapa	municipal	índice	0,00	1,00	0,53
cabeças de boi (cb)	IBGE	municipal	mil cb	0,00	2.948,15	2,59
área preservação	INCRA	municipal	mi ha	0,00	14,37	0,04
desmatamento	MapBiomias	municipal	mi ha	0,00	0,16	0,00
desvio desmatamento	MapBiomias	municipal	%	-1,00	260,34	0,52
Cobertura florestal (2013)	MapBiomias	municipal	mi ha	0,00	15,07	0,06
área de pasto	MapBiomias	municipal	mi ha	0,00	1,77	0,03

Nota - ^a Valores deflacionados pelo IPCA (em reais de abril de 2020)

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do: Bacen (2020c), IBGE (2019b), Cepea (2020a), Embrapa (2020), MapBiomias (2019) e ISRIC (2020).

Lembrando que a variável preço do boi está representada no modelo em primeira diferença ($\Delta P_t = P_t^{boi} - P_{t-1}^{boi}$), as variáveis investimento, custeio, comercialização e industrialização estão representadas em BRL/ha. As variáveis sobre o tipo de programa (Pronaf, Pronamp e PNCF) estão representadas na forma proporcional, ou seja, quanto do crédito destinado ao município i percentualmente advém de cada programa. O subsídio está expresso em porcentagem. A razão entre valor não controlado e controlado (variável IT_i em nosso modelo) está expressa adimensionalmente, assim como a nota de aptidão do solo (N_i). A variável distância está expressa em Km, a área de preservação em hectares e a precipitação média em $\frac{mm}{m_2}$. Todas essas variáveis, com exceção da defasagem do preço do boi, estão na forma logarítmica.

Por último, segue a Tabela 7 de correlação entre as variáveis explicativas ($X_{\sim t,i}$) e a heterogeneidade não observada (α_i). Baseado nas regras propostas por Clark e Linzer (2014), essa tabela será utilizada para decidir sobre qual modelo deve ser analisado (FE ou RE). Cabe lembrar que essa correlação é ausente no modelo FE, mas no modelo RE pode significar presença de endogeneidade caso seja elevada.

Tabela 7 – Correlação entre as variáveis explicativas do modelo e a heterogeneidade não observada.

Variável	Correlação	Variável	Correlação
Total (SNCR)	-0.288	Pronamp	0.055
Investimento	-0.271	PNCF	-0.037
Custeio	-0.136	Recurso ã controlado	0.075
Comercialização	-0.019	Distância	0.245
Industrialização	-0.036	Área de Preservação	0.263
Pronaf	-0.258	Precipitação	0.387

Fonte: Elaboração própria.

5 RESULTADOS

Trabalhos anteriores encontraram relação positiva entre crédito e desmatamento (ASSUNÇÃO; GANDOUR; ROCHA; ROCHA, 2019; PRATES; BACHA, 2012; PRATES, 2008). Já os nossos resultados mostraram relação oposta. Os resultados estão representados na Tabela 8. A explicação é que a literatura considerava valor de crédito absoluto, não distinguia entre pecuária e agricultura e abordava apenas a Amazônia legal. Nesse sentido, nosso principal diferencial é considerar o valor do crédito por hectare de pasto, ou seja, considerar a concentração do crédito e não o seu valor absoluto. Quanto maior a aplicação de recursos do SNCR por hectare, menor tende a ser o desmatamento no município. Isso para o caso da pecuária, novos estudos são necessários para analisar o caso da agricultura.

O teste Lagrange Multiplier para o modelo Pools mostrou que os dados não podem ser empilhados devido às diferenças significativas entre os municípios. O teste de Pesaran para *cross-sectional dependence* indicou a presença do problema no modelo. O teste Breusch-Godfrey/Wooldridge indicou presença de correlação serial no modelo. O teste de Breusch-Pagan indicou presença de heterocedasticidade. Com isso, utilizou-se a matriz robusta dos termos de erro.

O teste de Hausman apresentou P-valor igual a 0,47. A princípio já poderia ser considerado o modelo RE, uma vez que seus coeficientes apresentam menor variância quando comparados ao modelo FE. No entanto, como sugerido por Clark e Linzer (2014), é possível que o teste de Hausman não tenha poder estatístico suficiente para distinguir entre uma correlação nula entre a heterogeneidade não observada e as variáveis do modelo e uma correlação pequena. Para evitar esse problema utilizou-se as regras propostas por Clark e Linzer (2014) e apresentadas na metodologia do trabalho.

As correlações entre cada uma das variáveis explicativas em relação à heterogeneidade não observada foram pequenas (Tabela 7). Somando esse fato à possibilidade de estarmos diante de uma endogeneidade aceitável no modelo RE e à condição de que o modelo possui poucas observações temporais, o correto é analisar o modelo RE.

Tabela 8 – Resultados econométricos

	Variável dependente: log desmatamento (ha)					
	POLS		EFEITOS FIXOS		EFEITOS ALEATÓRIOS	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Δ Preço do boi	0,012*** (0,0004)	0,012*** (0,0004)			0,012*** (0,0003)	0,013*** (0,0003)
Total(SNCR)/ha	0,008 (0,012)		-0,063*** (0,007)		-0,072*** (0,008)	
Investimento/ha		-0,010 (0,008)		-0,037*** (0,004)		-0,042*** (0,005)
Comercialização/ha		0,065*** (0,008)		0,007 (0,005)		0,009** (0,005)
Custeio/ha		0,059*** (0,007)		0,007* (0,004)		0,005 (0,005)
Industrialização/ha		0,023* (0,013)		0,002 (0,008)		0,003 (0,008)
Δr (subsídio)	-0,431*** (0,025)	-0,389*** (0,025)			-0,436*** (0,024)	-0,410*** (0,024)
Pronaf	-1,089*** (0,066)	-0,817*** (0,065)	-0,301*** (0,038)	-0,174*** (0,037)	-0,361*** (0,040)	-0,227*** (0,039)
Pronamp	0,093 (0,076)	0,215*** (0,075)	-0,032 (0,037)	-0,010 (0,037)	-0,034 (0,039)	-0,006 (0,039)
PNCF	-0,027 (0,607)	0,153 (0,604)	-1,004*** (0,361)	-0,943*** (0,361)	-0,876** (0,373)	-0,814** (0,373)
Recurso ã controlado	0,061* (0,035)	-0,009 (0,034)	0,074*** (0,019)	0,055*** (0,019)	0,078*** (0,020)	0,052*** (0,020)
Aptidão do solo	0,061*** (0,017)	0,057*** (0,017)			0,066*** (0,018)	0,065*** (0,018)
Tecnologia(cb/ha)	-0,536*** (0,038)	-0,610*** (0,036)	0,337*** (0,079)	0,305*** (0,078)	0,245*** (0,073)	0,206*** (0,071)
Distância	0,263*** (0,021)	0,253*** (0,021)			0,271*** (0,023)	0,270*** (0,023)
Área de Preservação	0,005 (0,010)	0,004 (0,010)			0,031*** (0,011)	0,032*** (0,011)
Precipitação	0,048 (0,080)	0,036 (0,079)			-0,160* (0,092)	-0,174* (0,092)
ano	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes
bioma	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes
Estado	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes
cob vegetal	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes
cob pasto	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes
Infraestrutura	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes
Recurso Hídrico	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes
Observations	31.609	31.609	31.609	31.609	29.364	29.364
R ²	0,816	0,818	0,0002	0,0004	0,184	0,183
F Statistic	471.098***	477.489***	163.290***	172.140***	17.149***	16.920***

Note:

teste Lagrange Multiplier para o modelo POLS (P-valor): 0,00
 teste de Pesaran para cross-sectional dependence (P-valor): 0,00
 teste Breusch-Godfrey/Wooldridge para correlação serial (P-valor): 0,00
 teste de Breusch-Pagan* indicou presença de heteroscedasticidade (P-valor): 0,00
 componente theta do modelo: 0,91
 teste robusto de Hausman (P-valor): 0,467

*p<0,1; **p<0,05; ***p<0,01

Observando apenas o modelo de efeitos aleatórios da Tabela 8, o aumento de 1,0% na disponibilidade de crédito por hectare reduz em 7,2% a área desmatada no município. No entanto, quando esse crédito é analisado de forma separada, levando em consideração as distintas finalidades (investimento, custeio, comercialização e industrialização), percebe-se que cada uma dessas finalidades terá uma relação distinta (positiva ou negativa) com o desmatamento. Em outras palavras, isso quer dizer que a forma como o crédito é empregado irá influenciar o desmatamento de formas distintas, o que, de certa forma,

mostra a relevância do conjunto de regras que balizam a tomada de crédito (por exemplo, o crédito para custeio não pode ser aplicado para operações de hedge, o que é específico para o crédito de comercialização).

O trabalho evidencia que, a cada 1,0% de aumento que os agentes tomam com finalidade de aplicação em comercialização, o desmatamento no município aumentaria 0,9%. Segundo o Manual de Crédito Rural (MCR), as principais atividades discriminadas como comercialização na produção pecuária são: desconto de Duplicata Rural (DR) e de Nota Promissória Rural (NPR), empréstimos a cooperativas para adiantamentos a cooperados, estocagem e proteção de preços (hedge)¹. Como estocagem e estratégia de hedge são atividades pouco ligadas ao desmatamento, recairia sobre as outras duas atividades principais a responsabilidade sobre o desmatamento, as quais estão diretamente relacionadas com o sistema financeiro através das Letras de Crédito Rural (LCA).

O coeficiente que representa o montante do SNCR destinado ao investimento por hectare de pasto foi negativo. A cada 1,0% de aumento na tomada de crédito com essa finalidade o desmatamento no município reduz 4,2%. Porém, esperava-se uma relação positiva, principalmente no curto prazo, já que o ganho de produtividade decorrente de aumento no investimento não seria capaz de superar o efeito da abertura de novas áreas. Novamente a explicação para essa aparente contradição recai sobre as atividades passíveis de receberem recursos do SNCR. O MCR entende como investimento não apenas a atividade de desmatamento, mas também as atividades de reflorestamento, recuperação de pastagem e recuperação de solo, todas diretamente relacionadas ao não desmatamento². Isso deixa mais claro a relação entre políticas públicas, e a forma como ela é pensada, com e a redução dos níveis de desmatamento no país.

A variável tecnologia, aqui representada pelo número de animais por ha, se comportou da forma esperada para o longo prazo. Seu coeficiente foi positivo, indicando que um aumento de 1,0% na concentração dos animais por hectare aumenta o desmatamento em 20,6%. Cabe lembrar que, no curto prazo, o efeito esperado é o oposto. Trabalhos futuros considerando a não linearidade dessa variável podem elucidar melhor seu efeito. O coeficiente referente à variável 'variação anual do preço do boi gordo' também se comportou da forma esperada. Se o preço médio anual da arroba em Campinas-SP aumentar 1% e, caso as demais variáveis forem mantidas constantes (condição *Ceteris paribus*), a taxa de desmatamento irá subir 1,14%.

A diferença entre a taxa de juros de mercado (*market rates*(r_m)) e a taxa de juros subsidiada (*Earmarked rates*(r_e)) foi utilizada como proxy para o subsídio ao setor rural

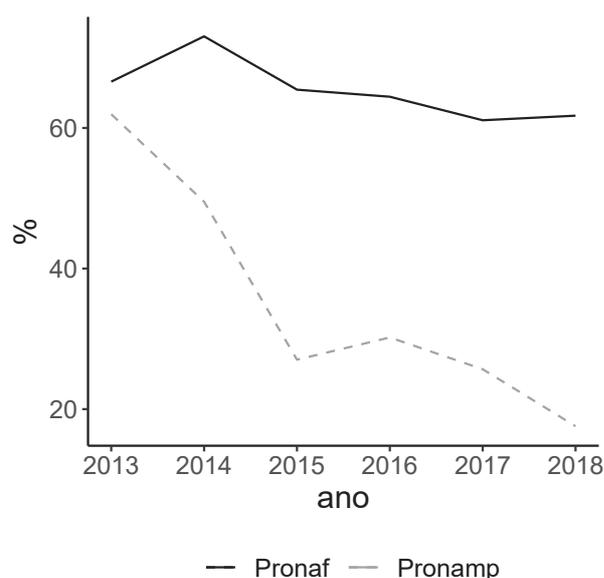
¹ Segundo o MCR, o crédito para proteção de preço e armazenamento não pode ser usado para prática de especulação.

² Também é possível supor que a maioria dos recursos para investimento são direcionados para cidades mais industrializadas, com baixo desmatamento por estarem em estágio avançado de desenvolvimento, por terem passado pelo processo de exploração natural.

(Δr). Quanto maior o subsídio maior a diferença entre taxas, maior a facilidade de acesso ao crédito e, portanto, maior o nível de desmatamento. Porém o resultado obtido divergiu do esperado, já que era esperado um coeficiente positivo para Δr (Tabela 8). A explicação talvez seja a redução na taxa Selic que ocorreu entre os anos de análise (2015 e 2018)³. A redução da Selic aproximou as duas taxas, o que pode ter reduzido o efeito do subsídio sobre o desmatamento. A lógica da relação entre maior disponibilidade de crédito e maior desmatamento parece correta quando esse crédito é disponível apenas para os produtores rurais, e não para a economia como um todo. De toda forma, novos estudos devem ser feitos para compreender melhor essas relações.

A análise mostrou que os programas Pronaf e PNCF estão relacionados negativamente com o desmatamento, diferentemente do programa Pronamp. Por exemplo, quanto maior a proporção de recurso vinculado ao programa Pronaf (+1,0%) menor a área desmatada (-22,7%). Um dos motivos é que programas como o Pronaf destinam maior parte do recurso captado à atividades de investimento (Figura 16).

Figura 16 - Proporção do empréstimo aplicado em investimento (pecuária)



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Bacen (2020c).

Parte desse resultado encontra respaldo em outros artigos empíricos. De acordo com Guedes et al. (2012), propriedades menores desmatam com maior frequência, porém, a área desmatada por elas é consideravelmente menor do que aquela desmatada por grandes propriedades (>2.000 ha). Os autores também argumentam contra os equívocos de assumir que os pequenos produtores adotam sistemas produtivos de baixa tecnologia e de assumir que eles desmatam na mesma proporção que os grandes produtores. No entanto, essa

³ A Selic apresentou queda nominal de 14,25% em 2015 para 6,5% ao ano em 2018.

literatura é recente e não há pesquisas teóricas e empíricas suficientes para explicar como diferentes programas de crédito afetam o desmatamento. Sabe-se, até então, que são programas com públicos diferentes, que trabalham em escalas produtivas diferentes. Por isso seria relevante promover pesquisas multidimensionais, que abordem as características sociais desses diferentes grupos de produtores, e que tragam novos argumentos que vão além da escala produtiva em explicar porque agentes diferentes têm propensões diferentes em desmatar. Nesse sentido, cabe reafirmar a pesquisa de Probst et al. (2020), a qual atribuiu maior desmatamento aos pequenos e médios proprietários de terra que acessaram o programa Terra Legal.

Como esperado, recursos não controlados estão relacionados positivamente com o desmatamento. Essa relação pode ser explicada ao adotar-se a ótica da economia institucional. A ausência de fiscalização do emprego desses recursos, mesmo eles sendo oriundos de fontes como o BNDES e a poupança rural, permite que eles sejam empregados de forma descompromissada em relação ao meio ambiente. Nesse ponto cabe enfatizar que, ano a ano, as LCA's têm aumentado sua participação nos recursos não controlados, que parte disso pode estar relacionado com a forma como são tomadas as decisões político-econômicas do país⁴, e que os investidores devem ter ciência de que os recursos aplicados por eles em LCA's podem ter efeitos não desejados sobre o capital natural do país.

Ainda segundo o modelo de efeitos aleatórios da Tabela 8, a variável 'distância', que representa o quão longe o município se encontra de grandes centros comerciais, não se comportou da forma esperada. Segundo o modelo de Thünen, esperava-se que, quanto maior a distância, menor o desmatamento (ANGELSEN, 2007 apud VON THÜNEN, 1910). A presença de áreas de preservação foram significativas em reduzir o desmatamento no município.

Para analisar a robustez do modelo, ou seja, analisar se os parâmetros são estáveis diante de pequenas alterações nas variáveis, estimamos os parâmetros novamente considerando apenas os municípios pertencentes à Amazônia legal. Os parâmetros significativos mantiveram seus sinais inalterados (Tabela 9), sinalizando robustez. Porém, quando analisada apenas a região do pantanal e do Cerrado (Tabela 10), os parâmetros sofreram alterações consideráveis. Mesmo assim, o modelo original (considerando todos os biomas) e o modelo para Pantanal + Cerrado apresentaram sinais iguais e valores próximos para os coeficientes que representam a tecnologia e os recursos para o PNCF. Isso significa uma correlação robusta entre essas variáveis e o desmatamento.

⁴ O governo atual, de cunho mais liberal, tenderá a optar por fontes privadas de financiamento para a agricultura ante a participação do estado.

Tabela 9 – Resultados econométricos: Amazônia Legal

	Variável dependente: log desmatamento (ha)					
	POLS		EFEITOS FIXOS		EFEITOS ALEATÓRIOS	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
ΔPreço do boi	0,003*** (0,001)	0,003*** (0,001)			0,004*** (0,001)	0,004*** (0,001)
Total(SNCR)/ha	-0,031 (0,026)		-0,049*** (0,011)		-0,045*** (0,013)	
Investimento/ha		-0,017 (0,021)		-0,033*** (0,009)		-0,035*** (0,010)
Comercialização/ha		0,036 (0,038)		-0,015 (0,016)		-0,012 (0,017)
Custeio/ha		0,064*** (0,021)		0,0003 (0,009)		0,006 (0,009)
Industrialização/ha		0,191** (0,079)		-0,005 (0,040)		-0,001 (0,040)
Δr (subsídio)	-1,615*** (0,046)	-1,556*** (0,051)			-1,628*** (0,039)	-1,614*** (0,040)
Pronaf	-0,794*** (0,146)	-0,559*** (0,146)	-0,077 (0,063)	-0,011 (0,063)	-0,046 (0,068)	0,017 (0,067)
Pronamp	0,156 (0,194)	0,152 (0,194)	-0,191** (0,075)	-0,194*** (0,075)	-0,112 (0,082)	-0,122 (0,082)
PNCF	3,067* (1,757)	3,098* (1,745)	1,052 (0,870)	1,089 (0,870)	1,083 (0,869)	1,112 (0,869)
Recurso ã controlado	-0,036 (0,098)	-0,093 (0,099)	-0,032 (0,043)	-0,045 (0,043)	-0,043 (0,045)	-0,054 (0,045)
Aptidão do solo	0,027 (0,072)	0,025 (0,072)			0,042 (0,073)	0,040 (0,073)
Técologia (cb/ha)	-0,011*** (0,004)	-0,012*** (0,004)	0,003 (0,004)	0,003 (0,004)	0,001 (0,003)	0,001 (0,003)
Distância	0,169*** (0,047)	0,163*** (0,047)			0,207*** (0,051)	0,208*** (0,051)
Área de preservação	0,097*** (0,020)	0,100*** (0,020)			0,120*** (0,022)	0,121*** (0,022)
Precipitação	-0,555** (0,231)	-0,371 (0,234)			-0,490** (0,240)	-0,459* (0,241)
ano	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes
bioma	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes
Estado	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes
cob vegetal	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes
cob pasto	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes
Infraestrutura	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes
Recurso Hídrico	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes
Observations	4,340	4,340	4,340	4,340	4,038	4,038
R ²	0,722	0,723	0,004	0,003	0,502	0,502
F Statistic	284,804,000***	286,363,000***	30,225***	25,572***	16,700,000***	16,613,000***

Nota:

*p<0,1; **p<0,05; ***p<0,01

teste Lagrange Multiplier para o modelo POLS (P-valor): 0,00

teste de Pesaran para cross-sectional dependence (P-valor): 0,00

teste Breusch-Godfrey/Wooldridge para correlação serial (P-valor): 0,00

teste de Breusch-Pagan* indicou presença de heteroscedasticidade (P-valor): 0,00

componente theta do modelo: 0.91

teste robusto de Hausman (P-valor): 0,00

Tabela 10 – Resultados econométricos: Cerrado + Pantanal

	Variável dependente: log desmatamento (ha)					
	POLS		EFEITOS FIXOS		EFEITOS ALEATÓRIOS	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Δ Preço boi	0,011*** (0,001)	0,011*** (0,001)			0,012*** (0,001)	0,012*** (0,001)
Total (SNCR)/ha	0,074** (0,032)		-0,006 (0,015)		-0,024 (0,016)	
Investimento/ha		0,053*** (0,018)		-0,001 (0,008)		-0,001 (0,009)
Comercialização/ha		0,089*** (0,021)		-0,014 (0,009)		-0,008 (0,009)
Custeio/ha		0,082*** (0,019)		-0,010 (0,009)		-0,025*** (0,009)
Industrialização/ha		0,174*** (0,049)		0,029 (0,023)		0,050** (0,024)
Δr (subsídio)	-1,560*** (0,045)	-1,542*** (0,048)			-1,663*** (0,037)	-1,670*** (0,037)
Pronaf	-1,390*** (0,171)	-1,127*** (0,170)	0,191** (0,080)	0,171** (0,079)	0,113 (0,082)	0,086 (0,080)
Pronamp	-0,085 (0,184)	-0,009 (0,181)	-0,012 (0,073)	-0,014 (0,072)	-0,024 (0,076)	0,001 (0,076)
PNCF	4,522 (3,911)	3,260 (3,835)	-3,145* (1,824)	-3,186* (1,820)	-3,408* (1,862)	-3,475* (1,856)
Recurso ñ controlado	-0,040 (0,077)	-0,155** (0,075)	0,032 (0,032)	0,039 (0,033)	0,029 (0,033)	0,031 (0,033)
Aptidão do solo	0,083 (0,051)	0,073 (0,050)			0,139** (0,055)	0,141** (0,055)
Tecnologia (cb/ha)	-0,785*** (0,090)	-0,810*** (0,082)	0,383*** (0,111)	0,373*** (0,110)	0,232** (0,109)	0,168 (0,106)
Distância	0,286*** (0,047)	0,266*** (0,046)			0,319*** (0,052)	0,315*** (0,052)
Área de preservação	-0,010 (0,022)	-0,007 (0,022)			0,001 (0,025)	0,001 (0,024)
Precipitação	0,636** (0,251)	0,537** (0,247)			0,535** (0,270)	0,604** (0,270)
ano	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes
bioma	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes
Estado	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes
cob vegetal	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes
cob pasto	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes
Infraestrutura	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes
Recurso Hídrico	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes
Observations	6,537	6,537	6,537	6,537	6,204	6,204
R ²	0,669	0,677	0,002	0,001	0,455	0,459
F Statistic	162.410***	166.822***	26.034***	30.969***	14.522***	14.627***

Nota:

*p<0,1; **p<0,05; ***p<0,01

teste Lagrange Multiplier para o modelo POLS (P-valor): 0,00
 teste de Pesaran para cross-sectional dependence (P-valor): 0,00
 teste Breusch-Godfrey/Wooldridge para correlação serial (P-valor): 0,00
 teste de Breusch-Pagan* indicou presença de hetercedasticidade (P-valor): 0,00
 componente theta do modelo: 0,90
 teste robusto de Hausman (P-valor): 0,00

6 CONCLUSÃO

O trabalho teve o objetivo de relacionar o SNCR ao desmatamento. As principais evidências empíricas encontradas indicam que a forma como o recurso é empregado afeta o nível de desmatamento nos municípios. Recursos destinados a programas como o Pronaf e o PNCF, além daqueles empregados a taxas controladas, estão relacionados com a redução do desmatamento. Em contrapartida, o recurso empregado sem fiscalização está relacionado positivamente com o aumento do desmatamento. Cabe ressaltar que só foi considerado o desmatamento pela atividade pecuária.

Quando levada em consideração a finalidade do crédito, seja ele controlado ou não, a forma como ele é empregado (inv, cus, com, ind) tem efeito diferente sobre o desmatamento. Os resultados mostraram que recursos destinados à comercialização tem efeito positivo sobre o desmatamento, o oposto foi observado para o investimento e não foi encontrada relação significativa entre aplicações em custeio e industrialização e o desmatamento. Aparentemente a maneira como os agentes privados estão alocando seus recursos interfere no nível de capital natural do Brasil.

O trabalho também contribuiu para consolidar variáveis teóricas como fonte de explicação para o desmatamento ('distância até centros comerciais' proposta por Trünen), para aplicação de novas variáveis ('aptidão do solo' baseado em mapas da Embrapa) e encontrou novas formas de tratar a endogeneidade de modelos que consideram o desmatamento e o SNCR. São quatro os pontos principais que tornam o trabalho relevante para a literatura: i) desagregar a variável crédito e considerá-la em sua forma ponderada (por área de pasto); ii) considerar a finalidade do crédito (inv, cus, com, ind) e se existe algum controle institucional sobre o seu emprego; iii) aprofundar o conhecimento sobre as regras do MCR e considerar as normas que regem a utilização do crédito rural; ii) Construir variáveis para o modelo que permitam captar a influência do subsídio sobre o desmatamento e a influência das regras institucionais.

A literatura tratava o crédito rural de forma absoluta (valores por município). Em contrapartida, o nosso trabalho considerou a concentração de crédito (valores por ha de pasto) e mostrou que é possível ter resultados consistentes quando se trabalha dessa forma. Essa mudança enriqueceu a compreensão dos efeitos do crédito sobre o desmatamento. O aumento do crédito pode provocar aumento do desmatamento, mas o aumento de sua concentração por área de pasto tem efeito oposto. Portanto, saber quanto de crédito foi destinado a um município não é suficiente para compreender seu efeito sobre o desmatamento. É preciso ponderar esse valor pela área de pasto existente. Foi isso que permitiu uma interpretação mais precisa sobre a relação entre crédito rural e desmatamento. Obviamente que esse progresso só foi possível devido a disponibilização de novos dados sobre a área de pasto no Brasil.

Cabe chamar atenção novamente para a possível relação entre o mercado financeiro e o desmatamento. A negociação de Letras de Crédito Agrícola na bolsa de valores brasileira (B3) tem aumentado. Por sua vez, os recursos provenientes dessas negociações têm representado maior participação percentual no SNCR. A questão é que esses recursos não são controlados e, de acordo com nossos resultados, recursos dessa natureza pressionam o desmatamento. Uma recomendação de trabalho futuro seria abordar especificamente o efeito das LCA's sobre o desmatamento. A hipótese é que: municípios com proporção maior de recursos provenientes de LCA's apresentam maior área de desmatamento para pasto. Esse efeito talvez fosse agravado em governos de cunho mais liberal.

Os resultados chamam atenção para a relevância das regras criadas pelo Banco Central. A relação positiva entre investimento e redução do desmatamento só pode ser compreendida a partir dessas regras. Na prática, isso quer dizer que as restrições de aplicação do crédito impostas pelo Banco Central têm efeito sobre o desmatamento. Isso ficou mais evidente quando analisado o impacto negativo do crédito não controlado sobre o aumento do desmatamento. Atualmente a proporção de crédito controlado é maior do que a proporção de crédito não controlado, porém, nos próximos anos talvez o Banco Central deva pensar qual a razão ótima entre crédito controlado e não controlado que minimize os danos ambientais.

O aumento da participação do Pronaf no recurso destinado a um determinado município pode provocar redução do desmatamento. Provavelmente isso está relacionado ao maior gasto em investimento por parte dos agricultores familiares, o que, por sua vez, pode estar ligado à escala e às técnicas de produção adotadas. Portanto, esse pode ser um indicador para monitorar se o programa está cumprindo seus objetivos em fortalecer a agricultura familiar sem causar grandes pressões ambientais.

Por fim, gostaria de destacar que a forma como o SNCR distribui seus recursos tem relação com o desmatamento, que ajustes podem ser feitos para maximizar o emprego do mesmo, e que o subsídio deve ser pensado com cautela, pois, se por um lado ele beneficia a pecuária, por outro ele pode prejudicar o capital natural do país. Como sugestão de trabalhos futuros, seria interessante considerar o número de queimadas em substituição à área desmatada. O projeto MapBiomas, em sua versão mais recente, disponibilizou dados de transição entre floresta e cultura da soja, os quais também poderiam ser utilizados em novas pesquisas (MAPBIOMAS, 2020).

7 REFERÊNCIAS

- ANDERSEN, Lykke E. The causes of deforestation in the Brazilian Amazon. **The Journal of Environment & Development**, Sage Publications Sage CA: Thousand Oaks, CA, v. 5, n. 3, p. 309–328, 1996.
- ANGELSEN, Arild. **Forest cover change in space and time: combining the von Thunen and forest transition theories**. The World Bank, 2007.
- ANGELSEN, Arild; KAIMOWITZ, David. **Agricultural technologies and tropical deforestation**. CABI, 2001a.
- _____. Introduction: The role of agricultural technologies in tropical deforestation. **Agricultural technologies and tropical deforestation**, p. 1–18, 2001b.
- ARAGÃO, Luiz Eduardo O.C et al. Interactions between rainfall, deforestation and fires during recent years in the Brazilian Amazonia. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, The Royal Society, v. 363, n. 1498, p. 1779–1785, fev. 2008.
- ARMENTERAS, Dolores et al. Patterns and causes of deforestation in the Colombian Amazon. **Ecological Indicators**, Elsevier BV, v. 6, n. 2, p. 353–368, abr. 2006.
- ASSUNÇÃO, Juliano; GANDOUR, Clarissa; ROCHA, Romero; ROCHA, Rudi. Does credit affect deforestation? Evidence from a rural credit policy in the Brazilian Amazon. **Climate Policy Initiative, Rio de Janeiro, Brazil**, 2013.
- _____. The Effect of Rural Credit on Deforestation: Evidence from the Brazilian Amazon. **The Economic Journal**, Oxford University Press (OUP), v. 130, n. 626, p. 290–330, nov. 2019.
- ASSUNÇÃO, Juliano; GANDOUR, Clarissa; ROCHA, Rudi et al. Deforestation slowdown in the Brazilian Amazon: prices or policies. **Environment and Development Economics**, Cambridge University Press, v. 20, n. 6, p. 697–722, 2015.
- ASSUNÇÃO, Juliano; GANDOURA, Clarissa et al. Deforestation Slowdown and Rural Credit Policies in the Brazilian Amazon. In: 34^o Meeting of the Brazilian Econometric Society. 2012.
- AUSTIN, Kemen G et al. What causes deforestation in Indonesia? **Environmental Research Letters**, IOP Publishing, v. 14, n. 2, p. 024007, fev. 2019.
- BACEN, Banco Central do Brasi. **Dados Abertos – BCB - Banco Central**. 2020a. Disponível em: <<https://dadosabertos.bcb.gov.br/organization/dstat>>. Acesso em: 30 out. 2020.
- _____. **MCR – Manual do Crédito Rural**. 2020b. Disponível em: <<https://www3.bcb.gov.br/mcr/completo>>. Acesso em: 30 out. 2020.

- BACEN, Banco Central do Brasil. **MDCR – Matriz de dados do crédito rural**. 2020c. Disponível em: <<https://dadosabertos.bcb.gov.br/dataset/matrizdadoscreditorural>>. Acesso em: 30 out. 2020.
- BALTAGI, Badi. **Econometric analysis of panel data**. 3. ed.: John Wiley & Sons, 2005.
- BARBIER, Edward B. The concept of natural capital. **Oxford Review of Economic Policy**, Oxford University Press (OUP), v. 35, n. 1, p. 14–36, 2019.
- BELL, Andrew; FAIRBROTHER, Malcolm; JONES, Kelvyn. Fixed and random effects models: making an informed choice. **Quality & Quantity**, Springer Science e Business Media LLC, v. 53, n. 2, p. 1051–1074, ago. 2018.
- BELL, Andrew; JONES, Kelvyn. Explaining Fixed Effects: Random Effects Modeling of Time-Series Cross-Sectional and Panel Data. **Political Science Research and Methods**, Cambridge University Press (CUP), v. 3, n. 1, p. 133–153, mai. 2014.
- BEUCHLE, René et al. Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. **Applied Geography**, Elsevier BV, v. 58, p. 116–127, mar. 2015.
- BINSWANGER, Hans P. Brazilian policies that encourage deforestation in the Amazon. **World Development**, Elsevier, v. 19, n. 7, p. 821–829, 1991.
- BRAGAGNOLO, Cassiano; CAMARGO BARROS, Geraldo Sant’Ana de. Impactos Dinâmicos dos Fatores de Produção e da Produtividade sobre a Função de Produção Agrícola. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, FapUNIFESP (SciELO), v. 53, n. 1, p. 31–50, mar. 2015.
- BUSTOS, Paula; CAPRETTINI, Bruno; PONTICELLI, Jacopo. Agricultural Productivity and Structural Transformation: Evidence from Brazil. **American Economic Review**, American Economic Association, v. 106, n. 6, p. 1320–1365, jun. 2016.
- CAMPOS, A. ‘Brazil’s poultry industry’. **Monitor**, v. 2, p. 3–18, 2016.
- CARDOSO, Débora Freire et al. Efeitos da política de equalização das taxas de juros do crédito rural nas regiões brasileiras. Universidade Federal de Viçosa, 2011.
- CARDOSO, Débora Freire et al. Intervenção governamental, crescimento e bem-estar: efeitos da política de Equalização das Taxas de Juros do crédito rural nas regiões brasileiras. **Nova Economia**, FapUNIFESP (SciELO), v. 24, n. 2, p. 363–388, ago. 2014.
- CASTRO, Nicole Rennó. **Two essays assessing the agribusiness labor market**. 2018. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.

- CATTANEO, Andrea. A general equilibrium analysis of technology, migration and deforestation in the Brazilian Amazon. **Agricultural technologies and tropical deforestation**, CABI Publishing Wallingford,, UK, p. 69–90, 2001.
- _____. Regional Comparative Advantage, Location of Agriculture, and Deforestation in Brazil. **Journal of Sustainable Forestry**, Informa UK Limited, v. 27, n. 1-2, p. 25–42, set. 2008.
- CEPEA, Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **Indicadores do Boi Gordo Cepea/B3**. 2020a. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/indicador/boi-gordo.aspx>>. Acesso em: 30 out. 2020.
- _____. **PIBAGRO –Brasil**. 2020b. Disponível em: <<http://cepea.esalq.usp.br/pib/>>. Acesso em: 30 out. 2020.
- CLARK, Tom S.; LINZER, Drew A. Should I Use Fixed or Random Effects? **Political Science Research and Methods**, Cambridge University Press (CUP), v. 3, n. 2, p. 399–408, nov. 2014.
- CNA, confederação nacional da agricultura. **PIB do Agronegócio**. 2020. Disponível em: <https://www.cnabrasil.org.br/assets/arquivos/boletins/sut.pib_dez_2020.5mar2020vf.pdf>. Acesso em: 30 out. 2020.
- CNI, Confederação Nacional da Indústria. **Coeficiente de Abertura Comercial**. 2016. Disponível em: <https://bucket-gw-cni-static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/filer_public/f9/88/f988fca0-903a-4ae9-8e03-66d0183c37b2/coeficientedeaberturacomercial_metodologia_versao_4-0.pdf>. Acesso em: 30 out. 2020.
- COMBES, Jean-Louis et al. Public spending, credit and natural capital: Does access to capital foster deforestation? **Economic Modelling**, Elsevier BV, v. 73, p. 306–316, jun. 2018.
- CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Estimativas - Produção e Balanço de Oferta e Demanda**. 2020a. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: 30 out. 2020.
- _____. **Monitoramento agrícola Safra 2019/20: comp. safra bras. grãos, v. 7 Safra 2019/20 -Décimolevanteamento**. 2020b. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: 30 out. 2020.
- COSTA, Carlos da et al. O princípio do poluidor-pagador: da eficiência econômica à realização da justiça. **Revista de Direito da Cidade**, v. 4, n. 2, p. 111–128, 2012.
- CROISSANT, Yves; MILLO, Giovanni. **Panel data econometrics with R**. Wiley Online Library, 2019.

- CRU, Climatic Research Unit. **Time-Series of High-Resolution Gridded Data of Month-by-month Variation in Climate**. 2020. Disponível em: <<https://catalogue.ceda.ac.uk/uuid/7ad889f2cc1647efba7e6a356098e4f3?jump=related-docs-anchor>>. Acesso em: 30 nov. 2020.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **A geopolítica da soja na Amazônia**. Belém, Brasil: MuseuParaense Emílio Goeldi, 2005.
- _____. **Dados geoespaciais em formato de vetor ou raster publicados pela Embrapa e parceiros**. 2020. Disponível em: <http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%5C%3Asoles_br5m_2011_lat_long_wgs84>. Acesso em: 6 mai. 2020.
- _____. **Evolução da Política de Crédito Rural Brasileira**. 2010. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/77790/1/doc-292.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2020.
- _____. **Mapa de aptidão agrícola das terras do Triângulo Mineiro**. 2019. Disponível em: <http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%5C%3Aaptidao_agricola_triangulo_mineiro_lat_long_sirgas2000>. Acesso em: 30 out. 2020.
- FAO. **State of the Worlds Forests 2016 fao**. Rome: FAO, 2016.
- FARIA, Weslem Rodrigues; JUNIOR, Admir Antonio Betarelli; MONTENEGRO, Rosa Livia Gonçalves. Multidimensional characteristics and deforestation: an analysis for the Brazilian Legal Amazon. **Quality & Quantity**, Springer Science e Business Media LLC, v. 53, n. 4, p. 1959–1979, mar. 2019.
- FEENSTRA, Robert C. **Advanced international trade: theory and evidence**. Princeton university press, 2004.
- FONTES, Francisco; PALMER, Charles. “Land Sparing” in a von Thünen Framework: Theory and Evidence from Brazil. **Land Economics**, University of Wisconsin Press, v. 94, n. 4, p. 556–576, 2018.
- FORTES, Fellipe Cianca; BASSOLI, Marlene Kempfer. O regime jurídico tributário-ambiental a partir da Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. **Revista Facnopar**, v. 2, n. 1, 2010.
- FRANZONI, Federico; SEMERE, Solomon Amanuel. **Deforestation in Brazil: an empirical evaluation on the effectiveness of the Soy Moratorium**. 2019. Diss. (Mestrado).
- FUNAI, Brazilian Indian Foundation. **Dados geográficos**. 2020. Disponível em: <<http://www.funai.gov.br/index.php/shape>>. Acesso em: 6 mai. 2020.

- GRAMKOW, Camila. Fiscal policy towards green growth in emerging economies: the case of Brazil. In: **THIRD Annual Conference, Fiscal Policies and the Green Economy Transition: Generating Knowledge—Creating Impact**. 2015.
- GUEDES, Gilvan R et al. Poverty and inequality in the rural Brazilian Amazon: a multidimensional approach. **Human ecology**, Springer, v. 40, n. 1, p. 41–57, 2012.
- HALES, Essence. **Three Essays on Environmental Issues in Brazil**. 2015. Tese (Doutorado) – The Ohio State University.
- HARGRAVE, Jorge; KIS-KATOS, Krisztina. Economic causes of deforestation in the Brazilian Amazon: a panel data analysis for the 2000s. **Environmental and Resource Economics**, Springer, v. 54, n. 4, p. 471–494, 2013.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativa Populacional 2019**. 2020a. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 30 nov. 2020.
- _____. **Malha Municipal**. 2019a. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/15774-malhas.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 6 mai. 2020.
- _____. **Manual técnico da vegetação brasileira**. IBGE Rio de Janeiro, 2012.
- _____. **Tabela 1612 – Área plantada, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras temporárias**. 2019b. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612>>. Acesso em: 30 out. 2020.
- _____. **Tabela 3939 – Efetivo dos rebanhos, por tipo de rebanho**. 2020b. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3939>>. Acesso em: 30 out. 2020.
- IMEA, Instituto Matogrossense de Economia Agropecuária. **Composição do fundingdo custeio da soja para safra 2018/19em Mato Grosso**. Cuiabá, Brasil: Imea, 2018.
- ISA, Instituto Socioambiental. Desmatamento em Terras Indígenas na Amazônia já é o triplo do registrado em 2015. **ISA**, 6 nov. 2016.
- ISRIC, International Soil Reference and Information Centre. **World Soil Information**. 2020. Disponível em: <<https://www.isric.org/>>. Acesso em: 30 nov. 2020.
- J. ARAUJO, Ana Gabriela de et al. Relationships between variability in precipitation, river levels, and beef cattle production in the Brazilian Pantanal. **Wetlands Ecology and Management**, Springer Science e Business Media LLC, v. 26, n. 5, p. 829–848, jun. 2018.

- JÚNIOR, Admir Antônio Betarelli; FARIA, Weslem Rodrigues; ALBUQUERQUE, Diego Perovani Esposito Medeiros de. Crédito rural, tipos de financiamentos e efeitos econômicos: o caso dos recursos equalizáveis de juros para o investimento e custeio agropecuário no Brasil (2012). **Planejamento e Políticas Públicas**, n. 52, 2019.
- KRUGMAN, Paul. Ricardo's difficult idea: why intellectuals don't understand comparative advantage. In: THE economics and politics of international trade. Routledge, 2002. P. 40–54.
- LANDHOLM, David M et al. Reducing deforestation and improving livestock productivity: greenhouse gas mitigation potential of silvopastoral systems in Caquetá. **Environmental Research Letters**, IOP Publishing, v. 14, n. 11, p. 114007, out. 2019.
- LOPES, Desirée; LOWERY, Sarah; PEROBA, Tiago Luiz Cabral. Crédito rural no Brasil: desafios e oportunidades para a promoção da agropecuária sustentável. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, v. 1, n. 45, p. 155–196, jan. 2016.
- MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Valor Bruto da Produção Agropecuária (VBP)**. 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/valor-bruto-da-producao-agropecuaria-vbp>>. Acesso em: 30 out. 2020.
- MAPBIOMAS. **MapBiomass Brasil**. 2020. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/>>. Acesso em: 4 jan. 2021.
- _____. **oleção 4.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasi**. 2019. Disponível em: <<http://mapbiomas.org/>>. Acesso em: 15 set. 2020.
- MATSUYAMA, Kiminori. Agricultural productivity, comparative advantage, and economic growth. **Journal of economic theory**, Elsevier, v. 58, n. 2, p. 317–334, 1992.
- MEGEVAND, Carole et al. **Deforestation trends in the Congo Basin: reconciling economic growth and forest protection**. The World Bank, 2013.
- MURDOCK, Charles W. Why Ricardo's Theory of Comparative Advantage Regarding Foreign Trade Doesn't Work in Today's Global Economy: Labor Arbitrage, Disloyal Capital, WTO Violations and National Security Implications. **SSRN Electronic Journal**, Elsevier BV, 2019.
- NEVES, Alana Kasahara et al. Assessment of TerraClass and MapBiomass data on legend and map agreement for the Brazilian Amazon biome. **Acta Amazonica**, FapUNIFESP (SciELO), v. 50, n. 2, p. 170–182, jun. 2020.
- NEVES, Alana Kasahara et al. TerraClass x MapBiomass: Comparative assessment of legend and mapping agreement analysis. In: GEOINFO. 2017. P. 295–300.

- PACHECO, André A; NEVES, Ana Carolina O; FERNANDES, G Wilson. Uneven conservation efforts compromise Brazil to meet the Target 11 of Convention on Biological Diversity. **Perspectives in Ecology and Conservation**, Elsevier, v. 16, n. 1, p. 43–48, 2018.
- PARK, Joon. Land Rent Theory Revisited. **Science & Society**, Guilford Publications, v. 78, n. 1, p. 88–109, jan. 2014.
- PEREIRA, Rodrigo Mendes; GÓES, Geraldo Sandoval. Deforestation and environmental policy: a DSGE approach. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), v. 1, n. 247, p. 1–26, jan. 2019.
- PFAFF, A; ROBALINO, J; HERRERA, D. Decentralization given environment-development tradeoffs: Federal versus state conservation and impacts on Amazon deforestation. In: ASSOCIATION of Environmental and Resource Economists (AERE), Summer Conference. 2011.
- PFAFF, Alexander SP. What drives deforestation in the Brazilian Amazon?: Evidence from satellite and socioeconomic data. **Journal of environmental economics and management**, Elsevier, v. 37, n. 1, p. 26–43, 1999.
- POHLMANN, Christopher Rosa et al. The role of the focal company in sustainable development goals: A Brazilian food poultry supply chain case study. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier BV, v. 245, p. 118798, fev. 2020.
- PRATES, Rodolfo; BACHA, Carlos. An Econometric Study Of Deforestation In The Brazil's Amazonian Municipalities. Louvain-la-Neuve: European Regional Science Association (ERSA), 2012.
- PRATES, Rodolfo Coelho. **O desmatamento desigual na Amazônia brasileira: sua evolução, suas causas e conseqüências sobre o bem-estar**. 2008. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.
- PROBST, Benedict et al. Impacts of a large-scale titling initiative on deforestation in the Brazilian Amazon. **Nature Sustainability**, Springer Science e Business Media LLC, mai. 2020.
- RADA, Nicholas; VALDES, Constanza. Policy, technology, and efficiency of Brazilian agriculture. **USDA-ERS Economic Research Report**, n. 137, 2012.
- REDDY, C. Sudhakar et al. Quantification and monitoring of deforestation in India over eight decades (1930–2013). **Biodiversity and Conservation**, Springer Science e Business Media LLC, v. 25, n. 1, p. 93–116, dez. 2015.
- REIMER, Jeffrey J; WEERASOORIYA, Senal. Macroeconomic Impacts of US Farm and Nutrition Programs. **Journal of Agricultural and Resource Economics**, v. 44, n. 3, p. 624–645, 2019.

- RENAUD, Bertrand M. On a Neoclassical Model of Land Use. **The Swedish Journal of Economics**, JSTOR, p. 400–404, 1972.
- RICHARDS, Daniel R; FRIESS, Daniel A. Rates and drivers of mangrove deforestation in Southeast Asia, 2000–2012. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, National Acad Sciences, v. 113, n. 2, p. 344–349, 2016.
- RODRIGUES, Marcos et al. The role of market institutions in reducing Amazon deforestation: the case of the soy moratorium. **Economic Analysis of Law Review**, v. 8, n. 1, p. 248–263, 2017.
- SANTANA, Carlos Augusto M; NASCIMENTO, José Rente. Public policies and agricultural investment in Brazil. FAO, 2012.
- SEBASTIAN, Elizabeth; VICTOR, Preethi. A Mathematical Model on Deforestation Due to Human Population and Its Effect on Farm Fields: Role of Technology in Its Conservation. In: SMART Computing and Informatics. Springer Singapore, out. 2017. P. 425–432.
- SECEX, Secretaria Comércio Exterior. **Estatísticas de Comércio Exterior**. 2020. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/comercio-exterior/estatisticas-de-comercio-exterior/>>. Acesso em: 30 nov. 2020.
- SILLS, Erin et al. Investing in local capacity to respond to a federal environmental mandate: Forest & economic impacts of the Green Municipality Program in the Brazilian Amazon. **World Development**, Elsevier BV, v. 129, p. 104891, mai. 2020.
- SIQUEIRA, Leandro de Castro. Política ambiental para quem? **Ambiente & Sociedade**, SciELO Brasil, v. 11, n. 2, p. 425–437, 2008.
- SLOAT, Lindsey L et al. Increasing importance of precipitation variability on global livestock grazing lands. **Nature Climate Change**, Nature Publishing Group, v. 8, n. 3, p. 214–218, 2018.
- SOARES-FILHO, Britaldo et al. Role of Brazilian Amazon protected areas in climate change mitigation. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, National Acad Sciences, v. 107, n. 24, p. 10821–10826, 2010.
- TESOURO, Ministério da Fazenda: Secretaria do Tesouro Nacional. **Demonstrativo de benefícios financeiros e creditícios 2017**. Brasília, Brasil: Tesouro Nacional, 2018.
- TOMAN, Michael. Why not to calculate the value of the world’s ecosystem services and natural capital. **Ecological economics**, Citeseer, v. 25, n. 1, p. 57–60, 1998.
- TRASE, Transparency for Sustainable Economies. **Bulk supply chain data - Brazil Soy**. 2020. Disponível em: <<https://trase.earth/data>>. Acesso em: 30 nov. 2020.

- VIEIRA FILHO, José Eustáquio Ribeiro. A fronteira agropecuária brasileira: redistribuição produtiva, efeito poupa-terra e desafios estruturais logísticos. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2016.
- VILLORIA, Nelson B.; BYERLEE, Derek; STEVENSON, James. The Effects of Agricultural Technological Progress on Deforestation: What Do We Really Know? **Applied Economic Perspectives and Policy**, Wiley, v. 36, n. 2, p. 211–237, mai. 2014.
- VON THÜNEN, Johann Heinrich. **Der isolierte staat in beziehung auf landwirtschaft und nationalökonomie**. G Fischer, 1910. v. 13.
- WITCOVER, JULIE et al. Impacts of soil quality differences on deforestation, use of cleared land, and farm income. **Environment and Development Economics**, Cambridge University Press (CUP), v. 11, n. 3, p. 343–370, mai. 2006.
- WOOD, Charles H; WALKER, Robert. Land titles, tenure security and resource use among small farmers in the Brazilian Amazon. **Paper in S**, v. 67, 2001.
- WOOLDRIDGE, Jeffrey M. **Econometric analysis of cross section and panel data**. MIT press, 2010.
- WORLD BANK, World Bank Group. **Worldwide Governance Indicator**. Washington, D.C: World Bank, 2010.

ANEXO A – APTIDÃO DOS SOLOS

Tabela 11 – Tipo de solo e nota de aptidão à pecuária

Soil Group	ISRIC ^a use definition	note ^b
ACRISOLS	"a general paucity of plant nutrients, aluminium toxicity, strong phosphorus sorption, slaking/crust-ing and high susceptibility to erosion impose severe restrictions on arable land uses. Large areas of Ac-risols are used for subsistence farming, partly in a system of shifting cultivation. By and large, Acrisols are not very productive soils; they perform best under undemanding, acidity-tolerant crops such as pine-apple, cashew, oil palm or rubber. "	0.5
CAMBISOLS	"a wide variety of agricultural uses; climate, topography, shallowness, stoniness, or low base status may pose restrictions on land use. In steep lands mainly used for grazing and/or forestry. "	1
FERRALSOLS	"Ferralsols have good physical properties but are chemically poor. Their low natural fertility and tendency to fix phosphates are serious limitations. In natural systems, the limited stock of plant nutrients is in a constant process of cycling with most nutrients contained in the biomass. Many Ferralsols are (still) used for shifting cultivation. Liming and full fertilization are required for sustainable sedentary agriculture. "	0.5
GLEYSOLS	"wetness is the main limitation of virgin Gleysols; these are covered with natural swamp vegetation and lie idle or are used for extensive grazing. Artificially drained Gleysols are used for arable cropping, dairy farming and horticulture. Gleysols in the tropics and subtropics are widely planted to rice. "	0.5
LEPTOSOLS	"unattractive soils for arable cropping; limited potential for tree crop production or extensive grazing. Leptosols are best kept under forest. "	0
LIXISOLS	"most unreclaimed Lixisols are under savannah or open woodland vegetation. Such areas are often used for low volume grazing. Perennial crops or forestry are suitable land uses; arable farming requires recurrent inputs of fertilizers and/or lime. The unstable surface soil structure makes Lixisols prone to slaking and erosion in sloping land. "	0.5
PLINTHOSOLS	"mostly low volume grazing. Arable cropping is hindered by poor rooting conditions associated with frequent water logging and/or excessive stoniness and low chemical soil fertility. "	0.5
NITISOLS	"Nitisols are planted to farm and plantation crops. They are generally considered to be fertile soils in spite of their low level of available phosphorus and their normally low base status. Nitisols are deep, stable soils with favourable physical properties. "	1
FLUVISOLS	"Fluvisols are planted to food crops and orchards and many are used for grazing. Flood control, drainage and/or irrigation is normally required. Thionic Fluvisols suffer from severe soil acidity and high levels of noxious Al-ions. "	1
PODZOLS	"severe acidity, high Al-levels, low chemical fertility and unfavourable physical properties make most Podzols unsuitable for arable cropping, unless improved, e.g. by deep-plowing and fertilization. Podzols have some potential for forestry and extensive grazing. "	0.5
LUVISOLS	"Luvisols with a good internal drainage are potentially suitable for a wide range of agricultural uses because of their moderate stage of weathering and high base saturation. "	1
ALISOLS	"Alisols contain low levels of plant nutrients (except for Mg ²⁺ in some cases) whereas soluble inorganic Al is present in toxic quantities. If liming and full fertilization is no option, use of these soils is generally restricted to crops, which accommodate with low nutrient contents and tolerate high levels of free Al. Alisols are traditionally used in shifting cultivation and for low volume production of undemanding crops. In the past decades, Alisols have increasingly been planted to Al-tolerant estate crops such as tea and rubber, and also to oil palm. "	0.5
PLANOSOLS	"Planosols are poor soils. In regions with a warm summer season they are mostly under wetland rice. Elsewhere, Planosols are sown to dryland (e.g. fodder) crops or used for extensive grazing. Many Planosols are not used for agriculture "	0.5
PHAEOZEMS	"Untouched Phaeozems (of which there are few left) carry a grass or forest vegetation. Phaeozems are fertile soils; they are planted to irrigated cereals and pulses or are used for cattle rearing and fattening on improved pastures. Periodic drought and wind and water erosion are the main limitations. "	1
VERTISOLS	"Vertisols become very hard in the dry season and are sticky in the wet season. Tillage is difficult, except for a short period at the transition between the wet and dry seasons. Vertisols are productive soils if properly managed. "	1
REGOSOLS	"land use and management vary widely. Some Regosols are used for capital-intensive irrigated farming but the most common land use is low volume grazing. Regosols in mountain areas are best left under forest. "	1
HISTOSOLS	"Sustainable use of peat lands is limited to extensive forms of forestry or grazing. If carefully managed, Histosols can be very productive under capital-intensive forms of arable cropping/horticulture, at the cost of sharply increased mineralization losses. Deep peat formations and peat in northern regions are best left untouched. In places, peat bogs are mined, e.g. for production of growth substrate for horticulture, or to fuel power stations. "	0.5

^a A descrição de uso por tipo de solo foi integralmente retirada da International Soil Reference and Information Centre (ISRIC).

Essa descrição foi utilizada para criar um índice de aptidão do solo nos municípios brasileiros.

^b 0: impossível; 0.5: possível mas custoso (drenagem, fertilidade, correção); 1: possível (pouca correção e pouca adubação)

ANEXO B – RESULTADOS ECONOMETRICOS ADICIONAIS

Tabela 12 – Resultados econométricos: todas as regiões e considerando o desmatamento agrícola

	Variável dependente: log desmatamento (ha)					
	POLS		EFEITOS FIXOS		EFEITOS ALEATÓRIOS	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Desmatamento p/ agri	-0.0003*** (0.00002)	-0.0003*** (0.00002)	-0.003*** (0.001)	-0.003*** (0.001)	-0.004*** (0.001)	-0.004*** (0.001)
Δ Preço boi	0.014*** (0.002)	0.014*** (0.002)			0.021* (0.012)	0.019* (0.011)
total/ha (SNCR)	0.001 (0.003)		-0.049*** (0.011)		-0.027** (0.012)	
investimento/ha		0.003 (0.003)		-0.030*** (0.007)		-0.016** (0.008)
comercialização/ha		0.007*** (0.002)		0.009 (0.006)		0.012* (0.007)
custeio/ha		-0.001 (0.002)		0.018*** (0.007)		0.020*** (0.007)
industrialização/ha		0.006 (0.005)		-0.014 (0.011)		-0.015 (0.011)
Δ r(subsídio)	-0.567*** (0.090)	-0.574*** (0.090)			0.241 (0.680)	0.147 (0.670)
Pronaf	-0.075*** (0.017)	-0.069*** (0.018)	-0.311*** (0.051)	-0.180*** (0.050)	-0.271*** (0.058)	-0.167*** (0.056)
Pronamp	0.004 (0.025)	0.018 (0.025)	-0.060 (0.050)	-0.046 (0.052)	-0.059 (0.058)	-0.046 (0.058)
PNCF	-1.176*** (0.336)	-1.178*** (0.336)	-0.866* (0.498)	-0.797 (0.512)	-0.980* (0.562)	-0.938* (0.567)
Recurso ã Controlado	0.012 (0.015)	0.004 (0.015)	0.055** (0.027)	0.036 (0.027)	0.032 (0.030)	0.017 (0.030)
Aptidão do solo	-0.009*** (0.003)	-0.008*** (0.003)			0.040* (0.021)	0.037* (0.021)
tecnologia (cb/ha)	0.024*** (0.008)	0.021** (0.008)	0.272*** (0.102)	0.250** (0.102)	0.188** (0.084)	0.165** (0.082)
distância	0.008*** (0.003)	0.008*** (0.003)			0.094*** (0.021)	0.090*** (0.021)
areá preservação	0.004*** (0.001)	0.004*** (0.001)			0.042*** (0.005)	0.042*** (0.005)
precipitação	0.150*** (0.014)	0.151*** (0.014)			-0.047 (0.102)	-0.060 (0.102)
Path dependency	0.964*** (0.003)	0.963*** (0.003)	0.068 (0.067)	0.087 (0.069)	0.427*** (0.059)	0.453*** (0.059)
ano	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes
bioma	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes
Estado	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes
cob vegetal	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes
cob pasto	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes
Infraestrutura	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes
Recurso Hídrico	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes
Observations	31,737	31,737	31,737	31,737	30,042	30,042
R ²	0.934	0.935	0.017	0.016	0.044	0.047
F Statistic	1,367,600***	1,368,576***	100.630***	100.940***	14,077***	14,470***

Note: *p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01
 teste Lagrange Multiplier para o modelo Pools (P-valor): 0.00
 teste de Pesaran para cross-sectional dependence (P-valor): 0.00
 teste Breusch-Godfrey/Wooldridge para correlação serial (P-valor): 0.00
 teste de Breusch-Pagan* indicou presença de heteroscedasticidade (P-valor): 0
 componente teta do modelo: 0.88
 teste robusto de Hausman (P-valor): 0.00

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 13 – Resultados econométricos: todas as regiões e considerando o desmatamento agrícola e produtividade da soja

	Variável dependente: log desmatamento (ha)					
	POLS		EFEITOS FIXOS		EFEITOS ALEATÓRIOS	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
deslatamento p/ agri	-0.100*** (0.004)	-0.016*** (0.004)	0.012 (0.062)	-1.923 (1.305)	-0.173** (0.069)	-0.213*** (0.060)
Preço boi	0.005*** (0.002)	0.022*** (0.002)			0.044*** (0.013)	0.030*** (0.011)
total (SNCR)/ha	0.001 (0.003)		-0.049*** (0.007)		-0.050*** (0.008)	
investimento/ha		0.0004 (0.003)		-0.037** (0.016)		-0.026*** (0.005)
comercialização/ha		0.015*** (0.003)		0.022 (0.018)		0.011** (0.005)
custeio/ha		0.005** (0.002)		0.117 (0.075)		0.016*** (0.006)
industrialização/ha		0.008 (0.005)		-0.076 (0.059)		-0.003 (0.008)
r(subsídio)	-0.965*** (0.108)	-0.037 (0.122)			1.660** (0.718)	0.899 (0.594)
Pronaf	-0.118*** (0.019)	-0.151*** (0.020)	-0.241*** (0.037)	-0.039 (0.126)	-0.293*** (0.042)	-0.191*** (0.039)
Pronamp	0.010 (0.027)	0.053** (0.026)	-0.036 (0.036)	-0.102 (0.130)	-0.047 (0.041)	-0.021 (0.041)
PNCF	-1.244*** (0.349)	-1.040*** (0.328)	-1.082*** (0.348)	-1.011 (1.256)	-0.923** (0.398)	-0.908** (0.403)
Recurso ã Controlado	0.007 (0.016)	-0.001 (0.015)	0.054*** (0.018)	-0.064 (0.091)	0.040* (0.021)	0.015 (0.021)
Aptidão do solo	-0.006* (0.003)	-0.00004 (0.004)			0.054*** (0.017)	0.049*** (0.015)
tecnologia boi (cb/ha)	0.025*** (0.009)	-0.067*** (0.010)	0.356*** (0.078)	-0.587 (0.663)	0.191** (0.076)	0.022 (0.055)
tecnologia soja (kg/ha)	0.018*** (0.001)	0.016*** (0.001)	0.065*** (0.010)	0.065** (0.030)	0.065*** (0.009)	0.063*** (0.008)
distância	0.004 (0.003)	0.022*** (0.004)			0.084*** (0.016)	0.075*** (0.014)
área preservação	0.005*** (0.001)	0.007*** (0.001)			0.038*** (0.004)	0.033*** (0.003)
precipitação	0.158*** (0.016)	0.098*** (0.019)			-0.221** (0.096)	-0.126 (0.079)
anoa	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes
bioma	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes
Estado	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes
cob vegetal	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes
cob pasto	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes
Infraestrutura	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes
Recurso Hídrico	Yes	Yes	No	No	Yes	Yes
Path Dependence	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Observations	31,578	31,578	31,578	31,578	29,196	29,196
R ²	0.931	0.941	0.035	0.076	0.122	0.289
Adjusted R ²	0.931	0.940	-0.166	-0.116	0.121	0.288
F Statistic	1,293,663***	1,526,573***	354.860***	135.520***	18,056***	49,768***

Note:

*p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01

teste Lagrange Multiplier para o modelo Pools (P-valor): 0.00

teste de Pesaran para cross-sectional dependence (P-valor): 0.00

teste Breusch-Godfrey/Wooldridge para correlação serial (P-valor): 0.00

teste de Breusch-Pagan* indicou presença de hetercedasticidade (P-valor): 0.00

componente theta do modelo: 0.84

teste robusto de Hausman (P-valor): 0.002

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).