**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Custo de oportunidade da Reserva Legal do Código Florestal entre 1995/1996
e 2006 e seus determinantes**

Samuel Alex Coelho Campos

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Economia Aplicada

**Piracicaba
2015**

Samuel Alex Coelho Campos
Bacharel em Gestão do Agronegócio

Custo de oportunidade da Reserva Legal do Código Florestal entre 1995/1996 e 2006 e seus determinantes

Orientador:
Prof. Dr. **CARLOS JOSE CAETANO BACHA**

Tese apresentada para obtenção do título Doutor em Ciências.
Área de concentração: Economia Aplicada

**Piracicaba
2015**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Campos, Samuel Alex Coelho

Custo de oportunidade da Reserva Legal do Código Florestal entre 1995/1996 e 2006 e seus determinantes / Samuel Alex Coelho Campos. - - Piracicaba, 2015.
162 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Custo de oportunidade 2. Reserva Legal 3. São Paulo 4. Mato Grosso
5. Determinantes 6. Análise espacial I. Título

CDD 634.9026
C198c

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

AGRADECIMENTOS

À Deus, que me acompanha em todos os meus momentos. Aos meus pais, que sempre estiveram ao meu lado, me apoiando, com paciência e compreensão e pelo trabalho árduo e incansável para que todas as melhores oportunidades fossem dadas a mim. Ao meu irmão, que está sempre ao meu lado, me apoiando, me escutando e pela paciência por todos esses anos. À Elizama, pelo amor, carinho, compreensão e apoio, que me ajudou nos momentos difíceis.

A todos os professores pelo aprendizado por todos esses anos. Aos professores Humberto Spolador, Joaquim Bento e Mirian Bacchi pelas considerações e sugestões no meu exame de qualificação. Em especial, agradeço ao professor Carlos José Caetano Bacha, pela orientação em todas as fases desse trabalho, desde a concepção do projeto à tese em sua versão final, pela paciência, pelo tempo disponibilizado e por todos os bons conselhos.

Ao Programa de Doutorado em Economia Aplicada do Departamento de Economia, Administração e Sociologia da ESALQ/USP e a todos os funcionários da ESALQ/USP, em especial à Maelli.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES – pela concessão da bolsa de estudos nos primeiros meses do curso de doutorado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP pelo financiamento do projeto de pesquisa, tornando possível a produção desta tese.

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	9
LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE TABELAS	13
1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Objetivos.....	19
1.1.1 Objetivo geral.....	20
1.1.2 Objetivos específicos.....	20
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
3 ARCABOUÇO TEÓRICO.....	29
3.1 Tecnologia de produção incorporando desmatamento	32
4 METODOLOGIA.....	37
4.1 Medida de desempenho baseada nas folgas e cálculo do custo de oportunidade.....	37
4.2 Modelo de painel de dados espacial	44
4.3 Fonte e tratamento dos dados	55
4.3.1 Custo de oportunidade.....	57
4.3.2 Determinantes do custo de oportunidade.....	59
5 EVOLUÇÃO DA AGROPECUÁRIA DE SÃO PAULO E MATO GROSSO	65
5.1. Características edafoclimáticas.....	65
5.2 Presença do Estado, legislação e atividades de apoio à produção agropecuária	68
5.2.1 Legislação	68
5.2.2 Infraestrutura	71
5.2.3 Cursos de ciências agrárias e instituições de pesquisa	73

5.2.4 Rede bancária pública e crédito rural	74
5.3 Produção agropecuária	76
6 EFICIÊNCIA TÉCNICA, TÉCNICA AMBIENTAL E CUSTO DE OPORTUNIDADE DO CÓDIGO FLORESTAL ENTRE 1995 E 2006	85
6.1 Compatibilização e organização dos dados	85
6.2 Estatísticas descritivas por unidade da federação e ano analisado.....	86
6.3. Eficiência técnica, técnica ambiental e custo de oportunidade	88
6.3.1 Distribuição geográfica dos municípios quanto aos níveis de eficiência.	95
6.3.2 Comparação dos produtores eficientes e ineficientes quanto ao uso de insumos, receita agropecuária obtida e desmatamento.	98
6.3.3 Custo de oportunidade da reserva legal	103
7 DETERMINANTES DA EFICIÊNCIA E DO CUSTO DE OPORTUNIDADE DO CÓDIGO FLORESTAL ENTRE 1995 E 2006.....	113
7.1 Organização dos dados espaciais.	113
7.2 Estatísticas descritivas e análise exploratória dos dados espaciais	114
7.3. Especificação e estimação.....	122
8 CONCLUSÕES	139
REFERÊNCIAS	145
ANEXOS	157

RESUMO

Custo de oportunidade do Código Florestal entre 1995/1996 e 2006, sua evolução e seus determinantes

A produção agropecuária está sujeita a diversas restrições, como as restrições legais impostas pelo Código Florestal, o qual restringe a área utilizada para a produção agropecuária dentro do imóvel rural, o que implica em custo para os produtores agropecuários e que é representado pela renda renunciada e aumento dos custos pela alocação dos insumos de forma a reduzir a necessidade da área que deve ser mantida com florestas nativas. Esse custo pode variar entre os produtores em razão das características da propriedade e do produtor. Neste contexto, o objetivo desse estudo é mensurar o custo de oportunidade da área ocupada com Reserva Legal e seus determinantes, confrontando os produtores representativos do estado de São Paulo e do Mato Grosso nos anos de 1995 e 2006. O produtor representativo foi obtido dividindo o valor total das variáveis em nível municipal pelo número de estabelecimentos. O custo de oportunidade foi estimado utilizando a metodologia proposta por Zhou, Ang e Poh (2006) e os seus determinantes foram estimados por meio de um modelo de econometria espacial. Os resultados indicaram que a eficiência técnica e a eficiência técnica ambiental dos produtores foram pequenas nos anos analisados em ambos os estados considerados. Um produtor é eficiente tecnicamente se ele obtém o máximo de produção possível dado os insumos utilizados. A eficiência ambiental também objetiva minimizar o desmatamento. O estado do Mato Grosso destacou-se pela baixa eficiência produtiva em 1995/96, em que nenhum produtor médio foi eficiente. A análise da receita, do uso de insumos e do desmatamento indicou que os produtores ineficientes não necessariamente utilizam mais de todos os insumos para obter uma produção menor. Contudo, os produtores ineficientes possuíam um maior rebanho bovino, maior área destinada à produção agropecuária e maior área da Reserva Legal incorporada ao processo produtivo. Destaca-se que os produtores eficientes tecnicamente obtiveram maior receita agropecuária mas utilizaram maior área da Reserva Legal quando comparados aos produtores eficientes técnica ambientalmente. Esse resultado aponta para a existência de custo de oportunidade. As estimativas indicaram que o estado do Mato Grosso foi aquele que apresentou o maior custo total por estabelecimento (R\$ 48.353.000 em 2006), embora o estado de São Paulo tenha apresentado o maior custo por hectare (R\$ 412,62). Os resultados indicaram que há transbordamentos espaciais entre os produtores, de forma que o custo de oportunidade dos produtores seria determinado conjuntamente. Entretanto, os transbordamentos espaciais atenuariam os efeitos das variáveis explicativas sobre o custo de oportunidade. No Mato Grosso, a área e o custo apresentaram relação positiva, sendo que os menores produtores arcariam com um custo proporcionalmente maior dos que os maiores produtores. Para São Paulo, a área está associada a uma redução do custo de oportunidade a taxas crescentes. Os resultados econométricos indicaram a necessidade de considerar as peculiaridades entre os produtores na análise do custo de oportunidade, bem como os transbordamentos espaciais.

Palavras-chave: Custo de oportunidade; Reserva Legal; São Paulo; Mato Grosso; Determinantes; Análise espacial

ABSTRACT

The Forest Code opportunity cost between 1995/1996 and 2006, its evolution and its determinants

Agricultural production is subject to various restrictions, such as the legal restrictions imposed by the Forest Code. This restricts the area used for agricultural production, which implies cost to agricultural producers. However, this cost can vary between manufacturers because of the features of the property and producer. In this context, the aim of this study is to estimate the opportunity cost of the area occupied by the Legal Reserve and its determinants. To do this, the producers of São Paulo and Mato Grosso were confronted in the years 1995/1996 and 2006. The opportunity cost was estimated using the methodology proposed by Zhou, and Ang Poh (2006) and the determinants of opportunity cost was estimated through a spatial econometric model. The results indicated that the technical efficiency and environmental technical efficiency of producers were small in this period in both states. The state of Mato Grosso stood out for its low production efficiency in 1995/96, in which no producer was efficient. Both states showed improvement when considering the environmental performance, highlighting Mato Grosso. This state increased its efficiency by 13 percentage points on average. However, it also showed the lowest performance compared to São Paulo. The analysis of income, use of inputs and deforestation indicated that inefficient producers do not necessarily use more of all inputs for lower production. However, inefficient producers had a larger cattle herd, the largest area for agricultural production and larger area of Legal Reserve incorporated into the production process. It is noteworthy that the technically efficient producers achieve higher agricultural income but used larger area of legal reserve, when compared to producing environmentally efficient technique. This result indicates the existence of opportunity cost. Estimates indicated that the state of Mato Grosso was the one who had the highest total cost (R \$ 48.353 million in 2006), although the state of São Paulo has presented the higher cost per hectare (R \$ 412.62). The analysis of the opportunity cost indicated that producers with high (low) opportunity costs tend to be close, forming spatial groups. This indicated the need to incorporate the spatial element in the estimation. The results indicated the existence of different effects between the states as the determinants of opportunity cost. In Mato Grosso, the area and the cost had positive relationship, and the smaller producers would bear a proportionately higher cost of the larger producers. For São Paulo, the area is associated with a reduction in the opportunity cost at increasing rates. The results also indicated that agricultural production in Mato Grosso would be more sensitive to changes in financing and investment. Analysis of the indirect effects indicated the existence of spatial spillovers, highlighting the use of terraces, population density, courses, existence of settlements in the counties and most important of temporary crops in the occupied area.

Keywords: Opportunity cost; Legal Reserve; São Paulo; Mato Grosso; Determinants; Spatial analysis

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Renda agropecuária e florestal e desmatamento.....	31
Figura 2 - Representação gráfica da fronteira de produção (convexa polangular-linear) ambiental	33
Figura 3 - Representação das folgas e firmas eficientes.....	38
Figura 4 - Efeito da restrição ambiental sobre possibilidade de produção	43
Figura 5. Rodovias estaduais e federais, hidrovias e capacidade estática de armazenamento (julho de 2014), Mato Grosso.....	73
Figura 6 - Número de agências bancárias e valor do crédito rural, em bilhões de Reais de julho 2014, Mato Grosso.....	75
Figura 7 - Número de agências bancárias e valor do crédito rural, em bilhões de Reais de 2013, São Paulo.	76
Figura 8 - Histograma para a eficiência técnica, por Unidade da Federação e período	92
Figura 9 - Eficiência técnica para os municípios mato-grossenses por quartis e para 1995 e 2006	96
Figura 10 - Eficiência técnica para os municípios paulistas por quantis e para 1995 e 2006. .	96
Figura 11 - Eficiência ambiental para os municípios mato-grossenses por quartis e para 1995 e 2006	97
Figura 12 - Eficiência ambiental para os municípios paulistas por quartis e para 1995 e 2006	97
Figura 13 - Histograma para o Índice de Eficiência Baseado nas Folgas (SBEI) por Unidade da Federação e período	105
Figura 14 - Índice de Eficiência Baseado nas Folgas (SBEI) para os municípios mato-grossenses, por quartis e para 1995 e 2006.....	107
Figura 15. Índice de Eficiência Baseado nas Folgas (SBEI) para os municípios paulistas, por quartis e para 1995 e 2006.....	107
Figura 16 - Custo de oportunidade de manter a reserva legal para os municípios mato-grossenses, em Reais por hectare, por quartis e para 1995 e 2006	110
Figura 17 - Custo de oportunidade de manter a reserva legal para os municípios paulistas, em Reais por hectare, por quartis e para 1995 e 2006.....	110

Figura 18 - Diagrama de dispersão de Moran para o custo de oportunidade, 1995.....	119
Figura 19 - Diagrama de dispersão de Moran para o custo de oportunidade, 2006.....	120
Figura 20 - Evolução da área plantada com soja no estado do Mato Grosso entre 1995 e 2006 por microrregiões.....	122
Figura 21 - Agrupamentos LISA para o custo de oportunidade, Mato Grosso, 1995 e 2006.	121
Figura 22 - Agrupamentos LISA para o custo de oportunidade, São Paulo, 1995 e 2006	121
Figura 23 - Relação estimada entre área média dos estabelecimentos, em hectares, e o custo de oportunidade estimado em função da área, São Paulo e Mato Grosso, 1995 e 2006	131

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Percentual do valor da produção agropecuária, por grupos e período de análise para São Paulo e Mato Grosso.....	79
Tabela 2 - Indicadores censitários da evolução da agropecuária de São Paulo e Mato Grosso, 1995/96 e 2006	80
Tabela 3 - Evolução da utilização da área no Mato Grosso e São Paulo, em percentual, 1995/96 e 2006	82
Tabela 4 - Comparativo do uso de insumos e receitas para São Paulo e Mato Grosso, 1995/96 e 2006.	83
Tabela 5 - Estatísticas descritivas para as variáveis utilizadas na Análise Envoltória de Dados, por estado e período de análise	87
Tabela 6 - Estatísticas descritivas para as estimativas de eficiência técnica, técnica ambiental e SBEI por Unidade da Federação e período.....	89
Tabela 7- Comparação dos resultados médios entre o modelo de Tone (2001) e CCR/CRS considerando única fronteira para São Paulo e Mato Grosso para 1995 e 2006 ...	93
Tabela 8 - Comparação entre produtores eficientes e ineficientes tecnicamente quanto à receita, insumos e desmatamento, em valores médios, São Paulo e Mato Grosso, 1995/96 e 2006	99
Tabela 9 - Comparação entre produtores eficientes e ineficientes tecnicamente quanto à receita, insumos e desmatamento, Mato Grosso, 1995/96 e 2006	99
Tabela 10 - Comparação entre produtores eficientes e ineficientes tecnicamente quanto à receita, insumos e desmatamento, São Paulo, 1995/96 e 2006	100
Tabela 11 - Receita, uso de insumos e desmatamento para produtores eficientes e ineficientes ambientalmente, em valores médios, São Paulo e Mato Grosso, 1995/96 e 2006	101
Tabela 12 - Comparação entre produtores eficientes e ineficientes ambientalmente quanto à receita, insumos e desmatamento, Mato Grosso, 1995/96 e 2006.....	102
Tabela 13 - Comparação entre produtores eficientes e ineficientes ambientalmente quanto à receita, insumos e desmatamento, São Paulo, 1995/96 e 2006	103
Tabela 14 - Redução percentual média da receita agropecuária para os municípios advinda da Reserva Legal, por Unidade da Federação e período de análise	105

Tabela 15 - Custo médio por estabelecimento agropecuário da Reserva Legal em Reais de dezembro de 2006, Unidade da Federação e período	108
Tabela 16 - Custo médio da Reserva Legal, por hectare, em Reais de dezembro de 2006, Unidade da Federação e período	108
Tabela 17 - Estatísticas descritivas para as variáveis determinantes do custo de oportunidade para o estado de Mato Grosso para 1995 e 2006	114
Tabela 17 - Estatísticas descritivas para as variáveis determinantes do custo de oportunidade para o estado de Mato Grosso para 1995 e 2006	115
Tabela 18 - Estatísticas descritivas para as variáveis determinantes do custo de oportunidade para o estado de São Paulo para 1995 e 2006	116
Tabela 18 - Estatísticas descritivas para as variáveis determinantes do custo de oportunidade para o estado de São Paulo para 1995 e 2006	117
Tabela 19 - Estatística I de Moran para o custo de oportunidade, 1995 e 2006	117
Tabela 20 - Diagnóstico para autocorrelação espacial, Mato Grosso e São Paulo, 1995 e 2006	123
Tabela 21 - Critérios de informação Akaike e Bayesiano para os modelos	124
Tabela 22 - Estatística I de Moran os resíduos das regressões espaciais em painel do custo de oportunidade, 1995 e 2006, por modelo	125
Tabela 23 - Estimativas para os determinantes do custo de oportunidade, efeitos fixos para São Paulo e Mato Grosso, 1995 e 2006	126
Tabela 24 - Efeito marginal total das variáveis explicativas sobre o custo de oportunidade no modelo SAR para São Paulo e Mato Grosso, 1995 e 2006	128

1 INTRODUÇÃO

A produção agropecuária pode ser considerada como um conjunto de técnicas e processos utilizados pelos produtores para transformar um conjunto de insumos em produtos agropecuários. A escolha do que produzir e como produzir é determinada pela tecnologia de produção, pelas estratégias e nos objetivos pessoais, os quais são delimitados por um conjunto de restrições ecológicas, sociais e econômicas às quais o sistema agrícola está inserido (GIAMPIETRO, 1997).

As restrições edafoclimáticas exercem uma forte influência na escolha das atividades agropecuárias, no sentido de determinar o que pode ser produzido em função da característica de solo, pluviosidade, tempo de insolação e outras características ecológicas e climáticas. As restrições sociais e econômicas influenciam a produção via demanda de modo que, por exemplo, não será produzido algo para o qual não há mercado ou que a população acredite que possa trazer prejuízos à saúde se ingerido.

Esses fatores, conjuntamente, influenciam como se produzir e outras decisões também precisam ser previamente tomadas, tais como: a produção será de subsistência ou voltada para o mercado? Será utilizada tecnologia moderna de produção ou não? O sistema será de monocultura ou não? Será intensivo em mão de obra e/ou em capital? Será almejado o máximo lucro ou o mínimo risco? Haverá preocupação com a degradação ambiental advinda da produção agropecuária ou não? Entre outras decisões.

Diversas outras características de infraestrutura e de apoio à produção capazes de incentivar a produção agropecuária devem ser observadas, sejam essas presentes em cada município ou no entorno deste. Podemos considerar a presença de escolas, universidades e institutos de pesquisa agropecuária, que estimulam o aumento da produtividade e do capital, da qualidade do produto e reduzem os custos; a presença de infraestrutura de comercialização e apoio como a presença de bancos e cooperativas agropecuárias; a logística local de escoamento e armazenamento da produção, entre outras. Essas variáveis podem agir ou concentrando ou dispersando a produção agropecuária ao longo dos estados. Esse efeito de concentração ou dispersão pode ser decorrente da ação de duas forças, as centrípetas e as centrífugas. As forças centrípetas são aquelas que promovem a concentração geográfica, enquanto as forças centrífugas promovem a dispersão das atividades no espaço (KRUGMAN, 1998). Esses conceitos derivam

da Nova Geografia Econômica, que objetiva descrever o processo de aglomeração espacial das atividades econômicas ou da população.

Por outro lado, algumas restrições expressas na legislação – como aquelas impostas pela Legislação Ambiental, especificamente, pelo Código Florestal, objetivando ao desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2012b) – limitam a utilização da área rural nos estabelecimentos agropecuários, ou seja, restringem o uso de pelo menos um dos insumos necessários à produção agropecuária e de elevada importância, que é a terra.

A limitação no uso do solo estabelecida pelo Código Florestal se dá, principalmente, pela imposição de áreas que devem ser conservadas, tais como a Área de Preservação Permanente (APP) e a Reserva Legal. A APP é uma “área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas”. Já a Reserva Legal (RL) é definida como sendo “a área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural (delimitada conforme percentuais mínimos de acordo com a região do país), com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção de fauna silvestre e da flora nativa” (BRASIL, 2012a).

É importante destacar que o Novo Código Florestal, Lei nº 12.727 (BRASIL, 2012b), manteve a obrigação de áreas protegidas dentro das propriedades rurais (Reserva Legal e Áreas de Preservação Permanente) que estavam presentes no Código Florestal de 1965, Lei nº 4.771/65 (BRASIL, 1965), e suas alterações. Dentre as principais mudanças presentes no Novo Código Florestal destacam-se: (1) o conceito de áreas consolidadas (que são áreas ocupadas com atividades agropecuárias antes de 22 de junho de 2008 e onde o Código Florestal de 1965 vedava seu uso); (2) permite-se, em alguns casos, que a área da APP seja contabilizada na área de RL; e (3) flexibilizou a recomposição de áreas de APP, sendo que essas duas últimas mudanças estão condicionadas ao tamanho dos estabelecimentos¹. Por fim, dado o período de análise do presente estudo, anterior ao Novo Código Florestal, serão considerados os percentuais anteriormente

¹ Para uma maior discussão quanto às modificações do Novo Código Florestal e as diversas modificações do Código Florestal por meio de medidas provisórias, consultar Bacha (2012) e Campos e Bacha (2013).

estipulados no Código Florestal para a Reserva Legal, que entretanto não sofreram modificação no Novo Código Florestal.

O Código Florestal é uma ferramenta do tipo “comando-e-controle”, que pode acarretar em um custo de oportunidade aos produtores agropecuários, podendo este custo corresponder ao, definido como sendo o valor de uso do solo no seu melhor uso alternativo por cada produtor rural (RICHARD; LEFTWICH, 1970) ou ao valor da produção renunciada (SIPILÄINEN; HUHTALA, 2013). O custo de oportunidade pode ser representado tanto pela perda de renda pelo produtor rural ao não utilizar uma área para produção (por meio da comercialização da madeira e a produção agropecuária) e mantê-la com reserva legal, como pela perda do valor potencial da terra arável ou pelos custos necessários em investimento para adotar uma tecnologia de produção que gere menor desmatamento (ZOFÍO; PRIETO, 2001).

Nesta tese, o custo de oportunidade será calculado como sendo a perda da produção ocasionada pela mudança na combinação dos insumos necessária para a redução do impacto ambiental, tal como Zhou, Ang e Poh (2006). Essa forma de cálculo do custo de oportunidade permite assumir que os produtores são diferentes na forma como os insumos são utilizados na produção, obtendo assim, custos de oportunidade diferenciados para cada produtor². Assim, esse custo está essencialmente ligado à utilização alternativa da terra, à tecnologia empregada e, portanto, às características e aos sistemas de produção do produtor, e à habilidade do produtor em transformar insumos em produtos (eficiência técnica). Desse modo, as características dos produtores, municípios e estados influenciam a forma como a restrição ao uso da terra será processada nos estabelecimentos agropecuários: se haverá super utilização dos demais insumos e desperdícios (ineficiência) ou se o produtor conseguirá alocar corretamente os insumos, evitando desperdícios no uso dos demais insumos no processo produtivo.

Nesse sentido, a motivação de não manter a Reserva Legal de modo a ter o uso desta área para a produção agropecuária deve estar associada ao custo de oportunidade do cumprimento desta parte da legislação florestal, uma vez que essa área poderia ser incorporada no processo produtivo agropecuário e gerar renda para o agropecuarista, por exemplo. Entretanto, esse custo deve ser influenciado pelas peculiaridades de cada estabelecimento produtivo bem como ser , determinados pelo ambiente físico, econômico e social no qual o estabelecimento está inserido.

² Para maiores detalhes ver Revisão bibliográfica, capítulo 2.

Dado o acima exposto, é interessante relacionar o padrão e a evolução da produção agropecuária entre aqueles estados de produção agropecuária consolidada, como São Paulo, aos estados de fronteira agrícola, como o Mato Grosso, e o desmatamento em cada um, uma vez que cada estágio de desenvolvimento da produção agropecuária submete a produção a restrições ambientais, sociais, econômicas e produtivas diferenciadas.

São Paulo é o estado mais populoso do Brasil, possuindo 22% da população brasileira (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2014g) e que gera a maior parcela do PIB brasileiro (32,6% em 2011) segundo o Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas – IPEA (2014a). A agropecuária representou 2,1% do PIB paulista em 2011 e a agropecuária desse estado participou com 12,1% no Valor Adicionado Bruto da agropecuária do Brasil em 2011 (FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS –SEADE, 2014b). De outro lado, Mato Grosso manteve sua participação no Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro em aproximadamente 2% entre 2000 a 2011, mas elevou sua participação no PIB da agropecuária brasileira. Esse estado saltou da 9ª posição em 2000 (4,3% do PIB da agropecuária nacional) para a 4ª em 2009 (9,3% do PIB da agropecuária do Brasil).

A diferença na dinâmica da agropecuária entre esses estados pode ser percebida entre os anos³ de 1970 e 2006, no qual a área total dos estabelecimentos agropecuários em São Paulo diminuiu à taxa de 0,08% ao ano, enquanto a área de matas naturais cresceu à taxa de 0,07% a.a. Para o estado de Mato Grosso, a área total dos estabelecimentos e a área de matas naturais cresceram, aproximadamente, 0,25% e 0,31% ao ano, respectivamente. Assim, o percentual da área total dos estabelecimentos agropecuários ocupada com matas naturais cresceu de 7,2% para 11% para o estado de São Paulo, enquanto no estado de Mato Grosso esse percentual cresceu de 32,4% para 38,9%, entre 1975 a 2006.

Entretanto, se for considerado o período recente, a partir de 1995/96, o estado do Mato Grosso tem apresentado tendência de redução do percentual da área total dos estabelecimentos ocupada com matas nativas. Em 1995/96, o percentual de matas naturais atingiu o pico de 43%, reduzindo-se para 38,9% em 2006. Destaca-se que a área dos estabelecimentos agropecuários

³ Os cálculos deste parágrafo foram realizados utilizando os dados dos Censos Agropecuários para 1975, 1985, 1995/1996 e 2006, de forma a manter a periodicidade de aproximadamente 10 anos. Então, a taxa para 10 anos foi calculada por meio da seguinte equação: $\ln(\text{área produtiva}) = b_0 + b_1 t$, em que b_1 é a taxa geométrica de crescimento para uma década. Então, a taxa anual i pode ser calculada como $i = \sqrt[10]{(b_1 + 1)} - 1$.

ocupada com florestas naturais deveria representar, no mínimo, 20% e 63,5%⁴ da área total dos estabelecimentos agropecuários de São Paulo e Mato Grosso, respectivamente, se fossem seguidas as normas sobre a reserva legal (não incluindo nesses percentuais as Áreas de Preservação Permanentes, as APPs). Destaca-se que, dentro de cada estado, também há uma elevada heterogeneidade entre seus municípios quanto ao percentual da área ocupada com florestas e matas naturais.

Esses comportamentos divergentes no cumprimento da legislação florestal podem ser associados às formas de produção, à produtividade, à tecnologia, à infraestrutura e outros fatores que divergem entre os estados e seus municípios e que interferem ou determinam a lucratividade da produção agropecuária. Esses fatores também levam a custos diferentes de oportunidade no cumprimento do Código Florestal entre os produtores em cada estado e seus municípios. Ademais, destaca-se que os municípios que estão próximos entre si podem compartilhar algumas características semelhantes quanto ao clima, infraestrutura, capital humano, atividades econômicas, por exemplo – apresentando efeito espacial de transbordamento em suas atividades agropecuárias.

Pelo exposto anteriormente, emergem as seguintes indagações: qual é o custo de oportunidade arcado por cada produtor rural com a manutenção de áreas destinadas à Reserva Legal imposto pelo Código Florestal? Como esse custo varia em função das características de cada sistema de produção, tecnologia (representada pela forma de utilização dos insumos), condições climáticas e aos demais fatores sociais, econômicos e ambientais? Como esse custo varia ao longo do tempo? Quais seriam as características de um sistema produtivo de menor custo de oportunidade ao se manter a reserva legal? A busca de respostas a essas indagações motivou a realização desta tese.

1.1 Objetivos

⁴ A área do estado de Mato Grosso coberta pelo bioma Amazônico, Cerrado e Pantanal representam 53,6%, 39,6% e 6,8%, respectivamente. Tanto o Código Florestal (Lei Ordinária nº 4.771/1965) e suas modificações, como o Novo Código Florestal (Lei Ordinária 12.651/2012) estabelecem que a área destinada à reserva legal nesses biomas deve ser de 80% e 35%, sendo que a legislação para o Pantanal (Código Estadual do Meio Ambiente (artigo 62, LC nº 38/1995 e alterações) e Política Estadual de Gestão e Proteção à Bacia do Alto Paraguai no Estado de Mato Grosso (artigo 9º, LC nº 8.830/2008)) não permite a retirada das matas, exceto para subsistência.

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral da tese é mensurar o custo de oportunidade dos fazendeiros em cumprirem com a obrigação de manutenção da reserva legal e estimar os principais determinantes desses custos. Para tanto, a análise basear-se-á em dados dos municípios de São Paulo e Mato Grosso, procurando identificar diferenças regionais desse custo de oportunidade entre e dentro dos estados citados. Os cálculos de eficiência consideraram a média dos produtores agregados por município.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos da tese são:

- Calcular a eficiência técnica e a eficiência ambiental da produção agropecuária para os municípios paulistas e mato-grossenses nos anos de 1995/96 e 2006;
- Estimar o custo de oportunidade para a produção agropecuária advindo do cumprimento da Reserva Legal por meio da eficiência técnica e da eficiência ambiental;
- Analisar os determinantes do custo de oportunidade do cumprimento da Reserva Legal, utilizando modelos de econometria espacial.

Entende-se como eficiência técnica a relação entre as quantidades utilizadas de insumos e as quantidades produzidas. Um produtor será eficiente tecnicamente se obter a maior produção, tecnologicamente possível, utilizando a menor quantidade de insumos possível. A tecnologia é representada pela fronteira de produção. A eficiência técnica ambiental incorpora a quantidade desmatada na análise, relacionando a quantidade de desmatamento, de insumos utilizados e a quantidade produzida. Um produtor será eficiente ambientalmente se, relativamente, atingir a maior produção, utilizando a menor quantidade de insumos e incorporar a menor área de Reserva Legal ao processo produtivo.

Essas medidas estão relacionadas à capacidade dos produtores em converter os insumos produtivos em produção agropecuária. Entretanto, essa conversão dependerá de diversas características dos produtores bem como das características edafoclimáticas e econômicas da região, em que se localiza esses produtores. Essas características podem levar à aglomeração de produtores de maior/menor eficiência no espaço. Algumas regiões, municípios, produtores agropecuários podem apresentar maior eficiência produtiva do que seus pares em razão de vantagens advindas da maior fertilidade do solo, clima mais favorável, facilidades de transporte

da produção via transporte pluvial ou fluvial, etc. Essas variáveis podem ser classificadas como de primeira natureza, considerando a Nova Geografia Econômica⁵. Variáveis de primeira natureza são aquelas que decorrem das condições naturais da região onde a firma está localizada (SCHMUTZLER, 1997). Por outro lado, mesmo regiões que não apresentam condições naturais favoráveis podem apresentar concentração de atividades produtivas dinâmicas. Isso pode ser explicado por um processo de retroalimentação. Segundo Schmutzler (1997), uma vez que uma região alcança um elevado percentual da produção total essa região torna-se atraente para empresas pelo fato de que muitas empresas já estão localizadas naquela região (e não por causa da dotação de recursos). Essa concentração de agentes produtivos leva a retornos crescentes de escala, à redução do custo de transporte dos insumos e da produção à medida que produtores e consumidores (tanto finais como intermediários) se concentram, e à concentração de fatores produtivos móveis (como a mão de obra). Esse aumento da densidade da mão de obra aumenta a demanda, e também leva a melhorias nas possibilidades de consumo. Esse crescimento da produção em um polo também pode incentivar à adoção de políticas públicas de apoio/incentivo à produção. Assim, esse processo leva à retroalimentação. Esses fatores podem ser classificados como forças centrípetas, na medida em que agem como forças de atração, favorecendo a concentração das atividades produtivas. Contrário a essa força, tem-se as forças centrífugas (KRUGMAN, 1998) que tendem a promover a dispersão das atividades agropecuárias e advém essencialmente da imobilidade da produção agropecuária, que é dependente da terra. Ademais, a concentração de atividades econômicas pode aumentar a demanda por insumos (terra, mão de obra e capital), elevar o seu custo, elevando, conseqüentemente o custo de oportunidade de terra. Desta forma, os produtores podem ser incentivados a buscar novas áreas de menor custo da terra, por exemplo. Ademais, a elevada concentração da produção agropecuária pode ocasionar em deseconomias de escala, como por exemplo, capacidade de armazenamento da produção insuficiente na região, desgaste das estradas pelo fluxo intenso de caminhões para escoar a produção, etc.

Ao se analisar os determinantes do custo de oportunidade do cumprimento da reserva legal se atentara às variáveis de primeira e segunda natureza (definidas pela NGE) e da possível formação de aglomerações de produtores com similaridades nesse custo de oportunidade.

⁵ Para maiores detalhes sobre a Nova Geografia Econômica, consultar Fujita e Krugman (2004), Krugman (1998), Schmutzler (1997).

Esta tese é composta, além dessa introdução, por mais 6 capítulos e as conclusões. O segundo capítulo apresenta a revisão bibliográfica sobre as abordagens utilizadas para a estimação do custo de oportunidade da área ocupada com florestas nativas. O capítulo 3 apresenta o arcabouço teórico utilizado para a fundamentação da análise das forças que levam os produtores a incorporar as áreas de reserva legal que deveriam ser conservadas no processo de produção agropecuária. O quarto capítulo apresenta a Análise Envoltória de Dados, que é a metodologia utilizada para a estimação do custo de oportunidade dos produtores agropecuários, e o modelo de painel de dados com dependência espacial, utilizado na análise dos determinantes do custo de oportunidade. O quinto capítulo contextualiza o leitor quanto às características dos estados analisados (São Paulo e Mato Grosso) no que diz respeito à sua infraestrutura, características edafoclimáticas e agropecuária. O sexto capítulo apresenta as estimativas dos custos de oportunidade de cada estado. No sétimo capítulo os determinantes desses custos de oportunidades são analisados. Por último, as conclusões são apresentadas no oitavo capítulo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A produção de bens e serviços eminentemente gera resíduos indesejáveis, como poluentes e desmatamento, por exemplo. Nesse sentido, são utilizados diversos instrumentos para disciplinar e limitar a produção e o descarte de bens e serviços. Entretanto, esses instrumentos acarretam alguns custos ao processo produtivo. Desta forma, diversos são os estudos que analisam essa questão nas mais diversas áreas e usando distintas metodologias.

Considerando, principalmente, a produção agropecuária, pode-se destacar duas metodologias, em que: (i) utilizam indicadores de lucratividade e comparam a rentabilidade da produção agropecuária quando a propriedade conserva a Reserva Legal e essa não apresenta uso econômico, ou comparam propriedades que praticam o manejo sustentável a propriedades que utilizam toda a área do estabelecimento para produção agropecuária (sem ter reserva legal) ou apresentam área de reserva legal menor do que o exigido em lei (AZZONI; ISAI, 1994; BACHA, 2005; CAMPOS; BACHA, 2013; CARNEIRO, 2005; IGARI; TAMBOSI; PIVELLO, 2009; FASIABEN et al., 2011); (ii) estimam o custo de oportunidade de ter a reserva legal por meio de uma função distância, considerando a perda da produção ocasionada pela mudança na combinação dos insumos necessária para a redução do impacto ambiental e incorporam desperdícios no uso dos insumos por parte dos produtores (COELLI; LAUWERS; HUYLENBROECK, 2007; HUHTALA; MARKLUND, 2008; SIPILÄINEN; HUHTALA, 2013; ZHOU; ANG; POH, 2006).

Dentre os estudos que utilizaram indicadores de lucratividade, destaca-se a análise regional ou a focada em alguns produtos, sendo o estudo de Igari, Tambosi e Pivello (2009) o mais amplo. Esses autores investigaram a efetividade da legislação da reserva legal nos municípios paulistas e consideraram que os produtores arcam com todo o custo da legislação. Nessas condições, a rentabilidade da terra e o valor potencial do preço da terra arada deveriam ser menores. Também em sua análise, os autores consideram que a escolha entre expandir a produção agrícola e preservar áreas naturais é definida pela relação entre a renda adicional da produção agropecuária (da área que deveria ser conservada) e o valor das multas pelo não cumprimento da legislação florestal. Os autores tomam como caso de estudo os municípios paulistas em que pelo menos 10% de sua área está inserida no Bioma Cerrado. Os resultados indicaram que o maior custo imposto pela legislação florestal aos produtores é representado pela

redução do valor da terra arada. Ademais, a rentabilidade seria menor que o valor das multas, entretanto, apenas 1,4% dos municípios estaria em acordo com a legislação florestal. Esse resultado contraditório foi explicado pelos autores pela falta de vigilância, e os autores destacaram, ainda, que seria socialmente injusto apenas os produtores arcarem com todo o custo da conservação dos recursos florestais.

Analisando o custo em termos da redução do Produto Interno Bruto (PIB) para os municípios paulistas advindo das áreas ocupadas com estações ecológicas, áreas de proteção e outras, Azzoni e Isai (1994) consideraram dois cenários: (i) toda a área é imediatamente destinada para a proteção no momento de sua criação; (ii) a área preservada aumenta gradativamente até o limite da exigência legal. Esses autores consideram que a primeira forma apresentaria um custo maior para o município pela produção perdida, muito embora os autores destacam que a área de proteção pode tornar a região mais atrativa ao turismo, mas também reduzir o investimento e a ocupação nas áreas vizinhas pelo receio dessas áreas também serem transformadas no futuro em áreas de proteção. Ademais, esses autores destacaram que as áreas mais protegidas são aquelas de difícil acesso e apresentam baixo potencial de utilização produtiva, muito embora tenham assumido no estudo que a produtividade da terra seja a mesma para todas as áreas e invariante no tempo. Os resultados indicaram que protegendo 7,68% do estado, o PIB total estadual de 1990 reduziria em 0,05% e 0,03% para os cenários i e ii, respectivamente.

Analisando a eficácia da reserva legal, Bacha (2005) tomou a bacia do rio Piracicaba (dando ênfase na parte situada em São Paulo) como estudo de caso e analisou a redução da lucratividade para as culturas de cana-de-açúcar e laranja conduzidas nessa região. O autor comparou três situações: (i) propriedade sem reserva legal; (ii) propriedade com reserva legal dentro do estabelecimento; (iii) propriedade com reserva legal fora da propriedade, mas na mesma bacia hidrográfica. Os custos de reconstituição da reserva legal não foram considerados, pois assumiu-se ocorrer sua regeneração natural. O autor verificou que a manutenção com áreas destinadas à reserva legal seria viável desde que sejam ocupadas aquelas áreas inaproveitáveis para a agricultura ou áreas pouco produtivas, mas, mesmo assim, a reposição da reserva legal implicaria redução da lucratividade da agropecuária.

Os impactos socioeconômicos da implantação da reserva legal foram avaliados por Carneiro (2005) por meio de um estudo de caso para quatro propriedades rurais familiares de produção de grãos na região de Londrina, PR, considerando três opções de implantação da

reserva legal: (i) implantação da reserva legal de forma parcelada; (ii) implantação da reserva legal de uma só vez, composta por 20% de espécies nativas e 80% por eucaliptos e considerando a receita do cultivo do eucalipto; e (iii) simulando a aquisição de uma nova área para compensar a reserva legal. O autor analisou também a rentabilidade da propriedade sem reserva legal. Os resultados indicaram que a manutenção da área com reserva legal reduziria a rentabilidade das propriedades de 3,17% a 14,23%, (segundo os cenários propostos) muito embora a produção tenha se mantido viável economicamente.

O custo da reserva legal foi analisado por Fasiaben et al. (2011) por meio de estudo de caso para a microbacia do Rio Oriçanga e parte da bacia dos Rios Mogi Guaçu e Pardo no estado de São Paulo, comparando a rentabilidade da produção das propriedades com reserva legal manejada, propriedades sem exploração econômica da reserva legal e propriedades sem reserva legal, considerando dois tipos de unidades de produção: citricultores e pequenos produtores tecnificados. O estudo indicou que é mais vantajoso para os citricultores compensar a reserva legal em outra área de menor aptidão agrícola, enquanto que, para os pequenos produtores, o manejo sustentável da reserva legal, com espécies nativas, seria uma alternativa econômica.

Campos e Bacha (2013) analisaram a queda da rentabilidade advinda da RL nas principais atividades agrícolas dos estados de Paraná, São Paulo, Mato Grosso e Goiás. Esses autores tomaram como casos de estudo as culturas da laranjeira e da cana-de-açúcar, para o estado de São Paulo; e as culturas do milho e da soja para Goiás, Mato Grosso e Paraná. O custo de oportunidade da reserva legal foi calculado considerando a redução da rentabilidade advinda do custo adicional com terra, uma vez que, a cada hectare cultivado, 0,25 ha deverá ser mantido como reserva legal. Os autores concluíram que a reserva legal apresenta custo diferenciado conforme a cultura e que os custos podem atingir a cifra de bilhões, como no cultivo do milho na safra 2012 – 2013, no qual a reposição da RL teria custo (com regeneração natural) de R\$ 1 bilhão.

Os estudos que estimaram e analisaram a queda da rentabilidade da atividade agropecuária advinda da restrição no uso da área assumiram que todos os produtores utilizam a mesma tecnologia, representada pelas estimativas dos fluxos de caixa, e/ou desconsideraram que, mesmo que os produtores utilizem uma mesma tecnologia, a produção por hectare desmatado (e o custo de oportunidade) pode diferir significativamente em virtude da eficiência de produção, conforme destacado por Lee, Park e Kim (2002) e Sipiläinen e Huhtala (2013). Ademais, o valor

do custo de oportunidade também é sensível à taxa de retorno considerada (IGARI; TAMBOSI; PIVELLO, 2009). Destarte, as firmas podem utilizar uma tecnologia de produção mais extensiva em terra, pela ausência de motivação interna que proporcione a internalização dos custos ambientais o que, conseqüentemente, resulta em maior necessidade de desmatamento (FÄRE; GROSSKOPF; TYTECA, 1996).

Acrescenta-se que, devido à informação assimétrica, o regulador não necessariamente conhece o custo de conservação dos fazendeiros advindo das diversas políticas ambientais (SIPILÄINEN; HUHTALA, 2013). Assim, o padrão de regulação final é fortemente influenciado pelos limites experimentais (ZOFÍO; PRIETO, 2001). Desta forma, os estudos que analisam o custo de oportunidade do cumprimento da legislação, incorporando a ineficiência produtiva por meio da estimação da fronteira de possibilidades de produção e o desvio do produtor dessa fronteira, tomando como melhor tecnologia aquela efetivamente adotada pelos produtores (da amostra), apresentam menor restrição quanto à tecnologia, permitem que as firmas sejam heterogêneas, apresentam custos de oportunidade diferentes por unidade produzida e permitem a identificação de fazendas *benchmarks*, que podem ser utilizadas como padrão para seus pares.

Dentre os estudos que utilizaram essa abordagem, Zhou, Ang e Poh (2006) desenvolveram uma medida de eficiência ambiental, que consideram as folgas nos insumos e produtos⁶. Os modelos de análise envoltória de dados (DEA) desenvolvidos por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) e Banker, Charnes e Cooper (1984) consideram uma firma como eficiente, mesmo se houver folgas no uso dos insumos (excesso) e/ou produtos (possibilidade de elevação da produção). Utilizando o modelo inicialmente desenvolvido por Tone (2001), e adicionando algumas modificações a esse, o trabalho de Zhou, Ang e Poh (2006) calculou o custo da restrição ambiental sobre a produção via a redução da eficiência técnica. Essa forma de cálculo considera uma firma ou um conjunto de firmas já existentes como alvo ou objetivo a ser atingido pelas demais, o que indica que o resultado a ser alcançado, *a priori*, é mais factível.

Outra abordagem de análise foi proposta por Coelli, Lauwers e Huylenbroeck (2007), que incorporaram o balanço de materiais no cálculo do custo da adequação ambiental. A abordagem desse trabalho foi exemplificada com um estudo de caso sobre a emissão de fósforo

⁶ A existência de folgas no uso dos insumos indica a existência de uso excessivo dos insumos, enquanto a folga do produto representa a existência de um déficit na produção, tomando como referência a fronteira de possibilidade de produção para ambas as medidas (COOPER; SEIFORD; TONE, 2007, p. 94-95).

em fazendas produtoras de suínos na Bélgica e utilizando a análise envoltória de dados. Essa metodologia foi posteriormente utilizada por Ramilan, Scrimgeour e Marsh (2011).

Analizando o custo da regulação ambiental para produtores de aves e suínos na Finlândia e considerando produtores tradicionais e orgânicos, Huhtala e Marklund (2008) utilizaram o modelo de mínimos quadrados ordinários corrigidos (COLS) para calcular a eficiência e, posteriormente, o custo da regulamentação. Esses autores destacaram que, se há ineficiências na produção, os custos da regulação poderiam ser reduzidos por meio da correção dessas e, dessa forma, o custo de oportunidade (na forma de produto renunciado) poderia ser menor.

Em outra abordagem, Sipiläinen e Huhtala (2013) calcularam o custo para os produtores finlandeses da diversificação produtiva, tanto para o cultivo convencional como para o orgânico, no período de 1994 a 2002. Esses autores consideraram o valor estético de uma paisagem agrícola diversificada como sendo o valor não mercado a ser mensurado utilizando análise envoltória de dados. Ademais, esses autores, ao contrário dos anteriores, analisaram alguns aspectos das propriedades e que estão relacionados à elevação ou redução dos custos de diversificação. Para tanto, o método dos mínimos quadrados ordinários foi utilizado, tomando o custo como variável dependente e algumas variáveis explanatórias como a região (mensurada como uma *dummy* utilizada para capturar as diferenças climáticas), tamanho do estabelecimento produtivo (mensurada como uma *dummy*), intensidade no uso do trabalho e do capital, número de culturas diferentes, a proporção da produção de trigo na produção total (buscando capturar a especialização da produção agropecuária) e variáveis de interação entre as *dummies* de tamanho, número de culturas na propriedade e região. Os resultados indicaram a existência de heterogeneidade de custos e a importância do tamanho das propriedades sobre o custo de diversificação.

A despeito de muitos modelos que incorporaram as ineficiências produtivas terem utilizado apenas a Análise Envoltória de Dados (DEA), a Análise da Fronteira Estocástica (SFA) também pode ser utilizada. Sipiläinen e Huhtala (2013) afirmaram que a DEA apresenta como benefício a não utilização de uma forma funcional, embora atribua todo o desvio da produção da fronteira de possibilidades de produção à ineficiência, não permitindo variações aleatórias da produção. A SFA permite que a produção desvie da fronteira de produção em razão de variações aleatórias por meio da incorporação de um termo de erro, entretanto o uso da SFA necessita de pressuposições quanto à forma funcional e distribuição da eficiência.

Não obstante, DEA e SFA apresentam diversas similaridades, quanto ao ranqueamento das firmas (FERRIER; LOVELL, 1990; REINHARD; KNOX; LOVELL, 2000), muito embora a DEA tenha apresentado uma fronteira suficientemente flexível, que melhor ajustou aos dados do que uma fronteira translog no estudo de Ferrier e Lovell (1990). Ademais, o estudo de Liu, Laporte e Ferguson (2008) indicou que a SFA pode ser muito sensível à especificação correta da forma funcional, e mesmo a DEA sendo melhor que a SFA em muitos aspectos analisados no estudo, a DEA tem a tendência de identificar firmas ineficientes como sendo eficientes. Segundo esses autores, essa tendência seria consequência da fronteira de produção poliangular estimada, que permitiria que uma firma com folga no uso dos insumos poderia ser classificada como eficiente sobre seguimentos horizontais ou verticais na fronteira. Assim, essa tendência seria maior nos modelos propostos por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) ou Banker, Charnes e Cooper (1984)⁷. Com efeito, o Modelo de Eficiência com Medidas Baseada nas Folgas proposto por Tone (2001) considera explicitamente a existência de folgas no uso dos insumos e da produção no cálculo de eficiência sendo, portanto, um modelo com maior capacidade de discriminação entre firmas eficientes e ineficientes.

Dado o acima exposto, a presente tese utilizará como base o modelo DEA proposto por Tone (2001), que apresenta uma maior discriminação das firmas, reduzindo a probabilidade de identificar os produtores ineficientes como sendo eficientes. Ademais, o modelo DEA apresenta a vantagem de ser mais flexível que a SFA, que necessita de uma função explicitamente definida. Para as estimativas do modelo DEA serão considerados os dados médios por município, tendo o chamado estabelecimento agropecuário médio do município⁸.

⁷ O modelo DEA proposto por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) pressupõem retornos constantes à escala e ficou conhecido como CCR/CRS, em razão do nome dos autores e da pressuposição de retornos (*Constant Returns to Scale*) enquanto o modelo DEA proposto por Banker, Charnes e Cooper (1984) pressupõem retornos variáveis à escala e ficou conhecido como BCC/VRS, assim com anteriormente, pelo nome dos autores que o propuseram e à pressuposição de retornos à escala (*Variable Returns to Scale*).

⁸ Ver seção 4.3.1 Custo de oportunidade para mais detalhes.

3 ARCABOUÇO TEÓRICO

Dentre as causas do desmatamento, Kanninen et al. (2007) citam as diretas (expansão agrícola, exploração florestal e construção de infraestrutura) e as indiretas (fatores macroeconômicos⁹, governamentais, dentre outros), destacando, dentre elas, a expansão agrícola como a principal causa do desmatamento.

Entretanto, para analisar o desmatamento, Angelsen e Kaimowitz (1999) sugerem que sejam considerados três níveis de causas: fontes do desmatamento ou agentes; causas imediatas; e causas subjacentes. Assim, primeiramente, devem ser identificados os agentes (pequenos agricultores, pecuaristas, madeireiros ou companhias) e sua importância para o desmatamento. As ações desses agentes são a fonte do desmatamento. Posteriormente, as causas imediatas do desmatamento, como as características internas do estabelecimento produtor (experiências, preferências e recursos) e externas (mercado, acesso a novas informações, infraestrutura e serviços, condições agroecológicas e instituições) devem ser analisadas. Conjuntamente, esses fatores determinam o conjunto de alternativas disponíveis e os incentivos para os produtores expandirem a produção agropecuária ou conservar a cobertura florestal. Por fim, o terceiro nível compreende as causas subjacentes, tais como as condições macroeconômicas nacionais e internacionais, demografia e a política agropecuária.

O modelo microeconômico de uso da terra pode ser apresentado considerando o primeiro e segundo níveis de causas do desmatamento descritos acima (agentes e causas imediatas). Definindo que a terra seja alocada para o uso de maior geração de renda e que essa possa ter apenas dois usos (agricultura e floresta), tal como em Angelsen (2010), a renda agropecuária e da floresta são representadas, respectivamente, por:

$$r^a = p^a y^a - w l^a - q k^a - v^a d - m^a r \quad (1)$$

⁹ Segundo Kanninen et al. (2007), os fatores macroeconômicos incluem a dívida externa e a política comercial. Segundo esses autores, a agropecuária expandirá para novas áreas (distantes) quanto maior for a rentabilidade dessa atividade. Essa maior rentabilidade pode ser dada via desvalorização da moeda, políticas públicas ou ações que reduzam o desempenho da economia urbana (incentivando o deslocamento das pessoas para a fronteira agrícola em busca de melhores salários), subsídios aos combustíveis fósseis (que reduziriam os custos de transporte das áreas afastadas até o mercado), entre outros fatores.

e

$$r^f = (p^t y^t - w l^t - q k^t - v^t d - m^t r) + p^l y^l + p^g y^g \quad (2)$$

em que r^a e r^f são a renda agropecuária e da floresta, respectivamente; p^a , p^t , p^l e p^g são, respectivamente, os preços de venda dos produtos agropecuários, da madeira, o valor local das amenidades florestais e o valor global das amenidades florestais¹⁰; y^a , y^t , y^l e y^g são, respectivamente, o produto da agropecuária, da extração florestal, dos serviços (amenidades) locais e globais da floresta; w é o preço do trabalho e q é o preço do capital; l^a e l^t são as quantidades necessárias de mão de obra na agropecuária e no corte da madeira, respectivamente; k^a e k^t são as quantidades de capital necessárias para a agropecuária e para o corte da madeira, respectivamente; v^a e v^t são os custos do transporte para os produtos agropecuários e florestais, respectivamente; d é a distância da fazenda ao mercado; m^a e m^f são os valores das multas para os produtores agropecuários, para a área desmatada, e para os produtores florestais, respectivamente; e r representa o total desmatado da reserva legal.

O produtor irá desmatar até o ponto em que $r^a = r^f$. Assim, se o produtor não atribuir nenhuma renda à floresta ($r^f = 0$), essa será substituída pela produção agrícola até que $r^a = 0$, representado pelo ponto D na Figura 1. Se o produtor atribui algum benefício privado à floresta, o desmatamento será menor, como representado pelo ponto C. Esse desmatamento será tanto menor quanto maior o benefício que o produtor atribuir à floresta ou à medida que o produtor agropecuário for remunerado por esses benefícios. O menor desmatamento será obtido no ponto A (Figura 1), em que o produtor é remunerado ou atribui à floresta benefícios privados, locais e globais. Observa-se que, pela perspectiva social, não é desejável que o desmatamento seja nulo, uma vez que ele é necessário para a produção agropecuária e a consequente alimentação da sociedade, conforme ressalta Perman et al. (2003).

¹⁰Benefícios ou amenidades privadas: formação de solos, controle da erosão, manutenção da fertilidade do solo, proteção contra pestes agrícolas, etc; Benefícios locais: valores culturais e espirituais, proteção contra extremos climáticos, quantidade e qualidade da água, etc; Benefícios globais: proteção de recursos genéticos, mitigação das mudanças climáticas, beleza cênica, conservação da biodiversidade, etc.

Figura 1- Renda agropecuária e florestal e desmatamento

Fonte: Angelsen (2010).

Ademais, é possível que a área desmatada seja excessiva¹¹, uma vez que os benefícios e serviços ambientais proporcionados pelas florestas têm características de bens públicos (não é possível ou os custos de exclusão de alguém do consumo são proibitivamente caros). Para os bens públicos, consumidores que deles beneficiam não pagam, enquanto os produtores não recebem para produzi-los. Essa falha de mercado leva ao sobre uso do recurso terra e ao consequente desmatamento excessivo.

Para contornar esse problema podem ser utilizados alguns instrumentos, que podem ser divididos em: arranjos institucionais que facilitem a internalização das externalidades; instrumentos de comando e controle; e instrumentos econômicos (PERMAN et al., 2003). Destes será dada ênfase aos instrumentos do tipo comando e controle, como o Código Florestal Brasileiro, que é um exemplo desses instrumentos e é o foco desta tese.

Instrumentos do tipo comando e controle são instrumentos regulatórios que determinam e exigem parâmetros técnicos mínimos ou máximos para as atividades produtivas, sendo que seu não cumprimento acarreta, normalmente, em sanções aos infratores. Nesse sentido, o Código Florestal é um instrumento que determina, por exemplo, o padrão técnico mínimo referente à área ocupada com floresta destinada à reserva legal.

¹¹ Da perspectiva do bem-estar não é desejável que não haja desmatamento, uma vez que o desmatamento é necessário para haver a produção agropecuária e, consequentemente, alimentação da população. Para maiores detalhes ver Perman et al (2003), capítulo 5.

Esses instrumentos apresentam diversas falhas e podem acarretar em custos maiores que o mínimo possível. Uma das principais críticas se refere à desconsideração das diferenças entre as firmas quanto à forma e tecnologia de produção, acesso ao mercado e dos custos incorridos por cada uma para cumprir a legislação (CHOMITZ, 2004; FÄRE; GROSSKOPF; TYTECA., 1996). Uma característica importante refere-se ao desperdício de insumos por parte do produtor (ineficiência), que pode fazer com que o produto por unidade de insumo e/ou área desmatada seja significativamente diferente entre produtores (LEE; PARK; KIM, 2002). A incorporação das características dos produtores quanto à forma de utilização dos insumos e geração de produtos agropecuários e desmatamento, na análise, é apresentada na próxima seção.

3.1 Tecnologia de produção incorporando desmatamento

Uma tecnologia ambiental de produção pode ser utilizada como estratégia para introduzir as diferenças entre os produtores quanto à forma como eles empregam uma combinação de insumos para a geração de produtos agropecuários e desmatamento (considerado como produto indesejável), incorpora o desperdício no uso dos insumos e suas implicações para o custo de oportunidade de se cumprir a legislação quanto à reserva legal (ZHOU; ANG; POH, 2006).

Para tal, considere a existência de K DMUs¹² (unidades tomadoras de decisão) que utilizam N insumos $x \in R_+^n$ para produzir um vetor de produtos desejáveis $y^g \in R_+^{s_1}$ (receita agropecuária) e um vetor de produtos indesejáveis $y^b \in R_+^{s_2}$ (que é o desmatamento que surge quando a área da reserva legal é ocupada pela produção agropecuária), produzido simultaneamente com y^g . Essa tecnologia de produção pode ser representada por (CHUNG; FÄRE; GROSSKOPF, 1997):

$$P(x) = \{(y^g, y^b) : x \text{ pode produzir } (y^g, y^b)\} \quad (3)$$

¹² DMUs é um termo utilizado na literatura de produtividade e é a abreviatura de *Decision Making Units* ou, em português, Unidades Tomadoras de Decisão. Essas DMUs podem ser tanto o fazendeiro individual, um município ou a média dos fazendeiros agregados por município, entre outros. Nesta tese, a DMU será a média dos fazendeiros agregados por município dos estados de São Paulo e Mato Grosso.

A equação (3) indica que a fronteira de possibilidades de produção $P(x)$ é formada pelos vetores de produtos (y^g, y^b) , produzidos conjuntamente por meio da utilização do vetor de insumos x . Assim como em Färe et al. (2005), assume-se que nessa tecnologia de produção a redução dos produtos indesejáveis não é livre. Uma redução proporcional no produto indesejável implica redução proporcional do produto desejável – produtos desejáveis e indesejáveis são conjunta e fracamente descartáveis (*weakly disposable*). Ademais, considere que o produto indesejável é necessariamente produzido quando há produção do produto desejável (hipótese da nulidade conjunta). Entretanto, é possível que haja alguma produção de y^b mesmo que y^g não seja produzido e que o produto desejável pode ser reduzido sem alterar o produto indesejável (o produto desejável é fortemente ou livremente descartável). Essa situação ocorre quando o proprietário rural faz o corte raso da área mas não utiliza essa área para a produção agropecuária. Isso ocorreu no Brasil para garantir a posse da terra. Considere também que quantidades finitas de insumos podem produzir apenas quantidades finitas de produtos e que os insumos são fortemente ou livremente descartáveis (*strongly* ou *freely disposables*), de forma que o aumento no uso dos insumos não reduz o produto, embora não necessariamente o aumente.

A forma como a fronteira de possibilidades de produção (equação 3) é construída segundo essas pressuposições é ilustrada por meio Figura 2.

Figura 2 - Representação gráfica da fronteira de produção (convexa poliangular-linear) ambiental
Fonte: Adaptado de Zhou, Ang e Poh (2006).

A Figura 2 assume a presença de três firmas que usam o mesmo vetor de insumos (x), mas que produzem combinações diferentes de produtos desejáveis e indesejáveis, denotadas pelos pontos A, B e C. A fronteira de produção linear por partes (convexa poliangular-linear) para a tecnologia fracamente descartável está representada por $P^w(x)$. A origem é incluída em $P^w(x)$ e o segmento $\overline{OE}$ não é incluído, uma vez que, sobre a pressuposição de descartabilidade fraca, não é possível que y^s seja produzido sem haver a produção de y^b , ou seja, sobre essa pressuposição não poderia haver produção agropecuária sem que haja, também, o desmatamento.

O segmento $\overline{CD}$ é resultado da pressuposição de descartabilidade forte do produto desejável, ou seja, a firma pode reduzir o produto desejável, caminhando em direção ao ponto D e manter o produto indesejável constante. Esse é o caso em que o fazendeiro deixa de produzir, mas já tendo desmatado a reserva legal. Se permitirmos forte descartabilidade para ambos os produtos (conjuntamente), a fronteira de produção muda para OEBCD, representada por $P^s(x)$. A hipótese de nulidade conjunta é violada e a produção do produto desejável pode ocorrer sem a produção do produto indesejável, ponto E (o que não é a realidade da produção agropecuária).

Essa tecnologia de produção (ambiental) pode ser representada por meio da especificação não paramétrica (Análise Envolória de Dados) com retornos constantes à escala (CRS), assumindo a existência de K DMUs, tal que $k=1,2, \dots, K$. Ao modelar essa tecnologia, devemos assumir que cada produtor rural tenha desmatado parte da reserva legal, ou seja, o desmatamento deve ser maior do que zero. Assumindo o caso geral, em que haja J produtos indesejáveis, representa-se essa pressuposição como $\sum_{j=1}^J y_{jk}^b > 0$ ($k=1,2,\dots,K$)¹³, ou seja, o somatório de cada produto indesejável em cada DMU (produtor) deve ser não nulo e positivo. Também não deve ser incluído no modelo um produto indesejável que tenha um valor nulo para todas as DMUs. No caso geral, assume-se que não haja um produto indesejável no vetor de produtos indesejáveis y^b que seja nulo para todas as DMUs, $\sum_{k=1}^K y_{jk}^b > 0$ ($j=1,2,\dots,J$). As restrições $\sum_{j=1}^J y_{jk}^b > 0$ ($k=1,2,\dots,K$) e $\sum_{k=1}^K y_{jk}^b > 0$ ($j=1,2,\dots,J$) implicam também que o produto indesejável deve ser positivo.

¹³ Para facilitar a análise, as letras maiúsculas são utilizadas para todo o conjunto considerado e as minúsculas para um conjunto específico. Exemplo: quando for utilizado “K” (letra maiúscula) estar-se-á referindo a todas as DMUs, entretanto, quando for utilizado “k” (letra minúscula), estar-se-á referindo a uma DMU específica. O mesmo se aplica para “j” e “J”, “m” e “M”, “n” e “N” que se referem aos produtos indesejáveis, produtos desejáveis e insumos, respectivamente.

No modelo geral, os insumos, produtos desejáveis e produtos indesejáveis são representados por vetores. O vetor de insumos $x_k = (x_{1k}, x_{2k}, \dots, x_{Nk})$ representa todos os N insumos utilizados por uma firma k, sendo esses insumos representados por 1, 2, ... N. O vetor $y_k^g = (y_{1k}^g, y_{2k}^g, \dots, y_{Mk}^g)$ representa todos os M produtos desejáveis produzidos por cada firma k e o vetor $y_k^b = (y_{1k}^b, y_{2k}^b, \dots, y_{Jk}^b)$ representa todos os J produtos indesejáveis produzidos por cada firma¹⁴ k.

Assim, modelando para uma DMU k-ésima qualquer, com o vetor de insumos, produtos desejáveis e produtos indesejáveis representados por, respectivamente, $x_k = (x_{1k}, x_{2k}, \dots, x_{Nk})$, $y_k^g = (y_{1k}^g, y_{2k}^g, \dots, y_{Mk}^g)$ e $y_k^b = (y_{1k}^b, y_{2k}^b, \dots, y_{Jk}^b)$ e $\sum_{j=1}^J y_{jk}^b > 0$ ($k=1, 2, \dots, K$) e $\sum_{k=1}^K y_{jk}^b > 0$ ($j=1, 2, \dots, J$), temos, na forma geral (ZHOU; ANG; POH, 2008):

$$\begin{aligned}
 P(x) = \{ (y^g, y^b) : & \sum_{k=1}^K \lambda_k x_{nk} \leq x_n, n=1, 2, \dots, N \quad (1^a \text{ restrição}) \\
 & \sum_{k=1}^K \lambda_k y_{mk}^g \geq y_m^g, m=1, 2, \dots, M \quad (2^a \text{ restrição}) \\
 & \sum_{k=1}^K \lambda_k y_{jk}^b = y_j^b, j=1, 2, \dots, J \quad (3^a \text{ restrição}) \\
 & \lambda_k \geq 0, k=1, 2, \dots, K \} \quad (4^a \text{ restrição})
 \end{aligned} \tag{4}$$

em que λ_k , tal que $k = 1, \dots, K$, são variáveis de intensidade de uso dos insumos e produção, assumindo que $x_k > 0$, $y_k^g > 0$ e $y_k^b > 0$. Note que, pela equação (4), os insumos e os produtos desejáveis são *freely disposable* devido à desigualdade (1ª e 2ª linha da equação 4, respectivamente), enquanto os produtos indesejáveis não são necessariamente *freely disposable* devido à igualdade expressa na 3ª linha da equação. Por fim, as variáveis de intensidade devem ser não negativas (4ª linha). A pressuposição de CRS é atendida pela restrição implícita

¹⁴ Nessa tese, os vetores de produtos indesejáveis e desejáveis incluem apenas um produto indesejável (corte raso da reserva legal) e um produto desejável (receita agropecuária), respectivamente.

$\sum_{k=1}^K \lambda_k \geq 0$. Para representar a tecnologia $P(x)$ sobre a pressuposição de retornos variáveis basta adicionar a restrição $\sum_{k=1}^K \lambda_k = 1$.

Nesse estudo serão estimadas duas equações pressupondo retornos variáveis à escala. A primeira equação ignora a terceira restrição da equação (4), ou seja, desconsidera o conjunto de restrições para o produto indesejável. A segunda estimação calcula a eficiência técnica ambiental representada pela equação (4) acima, incluindo todas as suas restrições.

4 METODOLOGIA

Inicialmente será calculada a eficiência técnica, ambiental e o custo de oportunidade da reserva legal por meio do modelo de eficiência baseado nas folgas proposto por Zhou, Ang e Poh (2006). Essa metodologia permite o cálculo comparativo do desempenho dos produtores, considerando o desmatamento e a relação entre produtos desejáveis, produtos indesejáveis e insumos. Consideram-se várias dimensões e não apenas uma razão simples entre um produto indesejável, um produto desejável ou um insumo. Posteriormente, será utilizado um modelo espacial como forma de analisar a relação entre as características das propriedades agropecuárias e o custo de conservação da reserva legal¹⁵.

4.1 Medida de desempenho baseada nas folgas e cálculo do custo de oportunidade

Conforme Tone (2001), pode-se representar uma DMU_o específica, com produção y_o e um vetor de insumos x_o , tal que:

$$x_o = X\lambda + s^- \quad (5)$$

$$y_o^g = Y^g \lambda - s^+ \quad (6)$$

sendo os vetores $\lambda \geq 0$, $s^+ \geq 0$, $s^- \geq 0$ e as matrizes $X = (x_k) \in R_+^{n \times k}$ e $Y^g = (y_k^g) \in R_+^{m \times k}$. Os vetores $s^- \in R^n$ e $s^+ \in R^m$ representam o excesso no uso dos insumos e o déficit do produto, respectivamente, e são chamados de folgas (*slacks*). Essa folga indica que o uso de um dado insumo pode ser reduzido sem que a produção reduza. Uma folga na produção indica que, para o uso atual de insumos, o produto está abaixo do eficiente tecnicamente. É importante destacar que a existência das folgas toma como base a existência na amostra (as matrizes X e Y^g nas equações 5 e 6) de firmas que efetivamente utilizam, proporcionalmente, uma menor quantidade de um

¹⁵ Destaca-se que os dados utilizados são agregados a nível municipal e não a nível de propriedades rurais. Essa forma de estimação tem sido largamente utilizada na literatura de produtividade, como por exemplo Almeida (2012b), Helfand e Levine (2004), Nogueira (2005) e Campos, Coelho e Gomes (2012), dada a indisponibilidade de dados por propriedade agropecuária.

dado insumo e/ou operam com maior nível de produção. Essa relação está ilustrada por meio da Figura 3.

Figura 3 - Representação das folgas e firmas eficientes

Fonte: Adaptado de Cooper, Seiford e Tone (2007).

Nessa figura, estão representadas 5 firmas (A, B, C, D, e E) utilizando apenas um insumo x para produzir y . A fronteira eficiente é representada por BCDE. Suponha que a eficiência da firma A esteja sendo analisada. Como está representado na Figura 3, utilizando a mesma quantidade de insumo x_A , essa firma poderia alcançar a fronteira no ponto E. Fica claro que a firma E utiliza a mesma quantidade de insumo que a firma A mas essa obtém uma produção superior àquela (a firma E). Assim, a firma A é ineficiente e poderia alcançar o mesmo nível de produção que E se eliminar essa ineficiência na produção, ou seja, se eliminar déficit ou folga na produção (s_A^+). De forma equivalente, a firma A poderia manter o nível de produção em y'_A , mas deveria eliminar a folga no uso dos insumos (s_A^-) para ser eficiente e alcançar a fronteira de produção. A maior redução conjunta em s_A^+ e s_A^- é obtida no ponto D. O ponto que o modelo indicará que a firma deverá operar será dado então por (x_A'', y_A'') . Fica claro que esse modelo considera, então, uma redução simultânea das folgas, tanto dos insumos como dos produtos.

O escore de eficiência para a específica DMU_o pode ser calculado. Assumindo $X > 0$ e $\lambda \geq 0$, temos que $x_o \geq s^-$. Usando s^- e s^+ pode ser definido um índice p , sendo $0 < p \leq 1$ (que

representa a eficiência técnica de uma DMUo qualquer) e o programa fracionário em λ , s^- e s^+ que permite estimar a eficiência para (x_o, y_o^g) , tal como em Tone (2001):

$$\min p = \frac{1 - (1/n) \sum_{n=1}^N s_n^- / x_{no}}{1 - (1/m) \sum_{m=1}^M s_m^+ / y_{mo}^g} \quad (7)$$

$$s.a. \ x_o = X\lambda + s^-,$$

$$y_o^g = Y^g \lambda - s^+,$$

$$\lambda \geq 0, s^- \geq 0, s^+ \geq 0,$$

Multiplicando tanto o numerador como o denominador da equação (7) por um escalar t ($t > 0$) e ajustando t de tal forma que o denominador seja igual a 1, podemos reescrever o modelo como:

$$\begin{aligned} \min \tau_1 &= t - (1/n) \sum_{n=1}^N ts_n^- / x_{no} \\ s.a. \ 1 &= t + (1/m) \sum_{m=1}^M ts_m^+ / y_{mo}^g \\ x_o &= X\lambda + s^-, \\ y_o^g &= Y^g \lambda - s^+, \\ \lambda &\geq 0, s^- \geq 0, s^+ \geq 0, \end{aligned} \quad (8)$$

em que τ_1 é a eficiência técnica. A equação (8) do problema de minimização é não linear em ts_m^+ .

Essa equação pode ser linearizada fazendo $\Delta = t\lambda$, $S^- = ts^-$ e $S^+ = ts^+$, conforme Tone (2001)¹⁶:

$$\begin{aligned} \min \tau_1 &= t - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m s_i^- / x_{io} \\ s.a. \\ 1 &= t + \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s s_r^+ / y_{ro} \\ tx_o &= X\Delta + S^- \end{aligned} \quad (9)$$

¹⁶ A equação (9) será utilizada na estimação da eficiência técnica no capítulo 6.

$$ty_o^g = Y^g \Delta - S^+$$

$$\Delta \geq 0, S^- \geq 0, S^+ \geq 0 \text{ e } t > 0$$

O termo “X” denota a matriz de insumos; “Y^g”, a matriz de produtos (desejáveis); e “s⁻” e “s⁺” indicam o excesso no uso dos insumos e o déficit da produção, respectivamente, “λ” é o vetor de intensidade, “t” é um escalar positivo e “τ₁” é o vetor dos escores de eficiência técnica calculado para cada DMU, que assume valores entre 0 e 1. A solução ótima do problema de programação linear (9) será (τ*, t*, Δ*, S^{-*}, S⁺*), em que τ* = ρ* do problema fracionário (7).

Na equação (9), a função objetivo, 1ª linha, permite obter o parâmetro de eficiência por meio das demais restrições. A primeira restrição (2ª linha) é gerada pela linearização do problema primal, originalmente utilizada para obter a razão entre as folgas dos insumos e produtos. A segunda restrição (3ª linha) permite obter a folga no uso dos insumos e a terceira restrição (4ª linha) calcula o déficit ou folga do produto (conforme descrito anteriormente). A segunda e terceira restrições, conjuntamente, permitem calcular a intensidade de uso dos insumos e produtos, o quanto os insumos e produtos podem ser reduzidos e elevados, respectivamente, com a correção da ineficiência em seu uso. Assim, a equação (9) combina a folga dos insumos e produtos com as ineficiências (ou distância) do processo produtivo no uso dos insumos e geração do produto.

Quando uma DMU utiliza mais recursos para produzir uma quantidade menor ou igual de produto em relação a outra DMU, a primeira DMU é tida como ineficiente e $0 < \tau_1 < 1$ pela equação (9). Existe a possibilidade de redução no uso de recursos e/ou o aumento da produção se a fonte de ineficiência for corrigida, como ilustrado na Figura 3. Para uma DMU eficiente tem-se $\tau_1 = 1$ e o uso dos insumos não pode ser reduzido e/ou a produção acrescida sem que isso reduza a produção ou necessite de mais insumos, respectivamente. Esse modelo considera que as firmas não sofrem restrições ambientais regulatórias e não há custo associado à produção de produtos indesejáveis (PICAZO-TADEO; REIG-MARTÍNEZ; HERNÁNDEZ-SANCHO, 2005).

Como forma de incorporar os produtos indesejáveis no cálculo da eficiência técnica, Zhou, Ang e Poh (2006) modificaram o modelo (7) originalmente proposto por Tone (2001), incorporando uma restrição para os produtos indesejáveis ($y_o^b = Y^b \lambda$):

$$\begin{aligned}
\min p &= \frac{1 - (1/n) \sum_{n=1}^N s_n^- / x_{no}}{1 - (1/m) \sum_{m=1}^M s_m^+ / y_{mo}^g} \\
\text{s.a. } x_o &= X\lambda + s^-, \\
y_o^g &= Y^g \lambda - s^+, \\
y_o^b &= Y^b \lambda, \\
\lambda \geq 0, s^- \geq 0, s^+ &\geq 0,
\end{aligned} \tag{10}$$

Aplicando as mesmas manipulações à equação (10) que aquelas aplicadas ao modelo (7) e posteriormente (8), a equação (10)¹⁷ pode ser reescrita como:

$$\begin{aligned}
\min \tau_2 &= t - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m s_i^- / x_{io} \\
\text{s.a. } & \\
1 &= t + \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s s_r^+ / y_{ro} \\
tx_o &= X\Delta + S^- \\
ty_o^g &= Y^g \Delta - S^+ \\
ty_o^b &= Y^b \Delta \\
\Delta \geq 0, S^- \geq 0, S^+ \geq 0 & \text{ e } t > 0
\end{aligned} \tag{11}$$

em que Δ, S^-, S^+, t, Y e X são tais como descritos anteriormente. O termo Y^b é a matriz de produtos indesejáveis (por exemplo, o desmatamento das áreas de reserva legal dentro dos estabelecimentos agropecuários) sendo $Y^b = (y_k^b) \in R_+^{j \times k}$; e τ_2 é o vetor de eficiência técnica ambiental, calculado para cada DMU (que pode ser a média dos fazendeiros de cada município) e que assume valores entre 0 e 1. A restrição $ty_o^b = Y^b \Delta$ altera a escolha no uso de insumos e produção, podendo restringir o uso dos insumos, direcionando parte dos esforços produtivos para

¹⁷ A equação (11) será utilizada para a estimação da eficiência técnica ambiental no capítulo 6.

reduzir os produtos indesejáveis, como o desmatamento das reservas legais dentro do estabelecimento. As equações (7) a (11) estimam a eficiência sobre a pressuposição de retornos constantes à escala. Para estimar a eficiência sobre a pressuposição de retornos variáveis à escala basta adicionar a restrição $\sum_{k=1}^K \lambda_k = 1$ à equação desejada.

Se uma DMU utiliza mais recursos para produzir uma quantidade menor ou igual de produto desejável e uma quantidade de produto indesejável maior ou igual a outra DMU, a primeira é tida como ineficiente técnica ambientalmente e $0 < \tau_2 < 1$. Existe a possibilidade dela reduzir a produção de produtos indesejáveis e do uso de insumos e de aumentar os produtos desejáveis se a fonte de ineficiência for corrigida. Para uma DMU eficiente é necessário que $\tau_2 = 1$.

Convém destacar que τ_1 mensura a eficiência técnica, desconsiderando o desmatamento, ou seja, uma firma será eficiente tecnicamente somente se não for possível aumentar a quantidade produzida e/ou reduzir a quantidade de insumos utilizados, dada a fronteira de produção. Por outro lado, τ_2 mensura a eficiência técnica ambiental. O termo “técnico” indica que a medida de eficiência está analisando a relação entre as quantidades produzidas e as quantidades utilizadas de insumos. O termo “ambiental” indica que foi incorporado na análise a quantidade de desmatamento da reserva legal como produto indesejável. Assim, uma firma terá eficiência técnica ambiental somente se não for possível aumentar a quantidade produzida e/ou reduzir a quantidade de insumos utilizados bem como o desmatamento da reserva legal, dada a tecnologia mais eficiente técnica ambientalmente.

Por meio de τ_1 e τ_2 , Zhou, Ang e Poh (2006) definem um Índice de Eficiência Baseada nas Folgas (*Slacks Based Efficiency Index* – SBEI) para modelar o impacto econômico da regulação ambiental como sendo:

$$SBEI = \tau_1 / \tau_2 \quad (12)$$

Se $SBEI = 1$, a restrição ambiental não implica custo produtivo, enquanto se $SBEI < 1$ há indicação de que a regulação ambiental não permite a utilização produtiva de todos os insumos na quantidade adequada, comprometendo a capacidade da firma em transformar insumos em produtos (surgindo custo de oportunidade associado à regulação). Os recursos produtivos que

poderiam ser utilizados na produção “desejável” devem ter seu uso desviado para reduzir ou eliminar a produção “indesejável” (PICAZO-TADEO; REIG-MARTÍNEZ; HERNÁNDEZ-SANCHO, 2005).

O efeito da restrição ambiental pode ser representado intuitivamente por meio da Figura 4. Essa figura considera apenas um insumo e um produto e apresenta duas fronteiras de produção, F1 e F2. A fronteira F1 é a fronteira de produção calculada sem considerar a restrição que a legislação ambiental impõe sobre a produção agropecuária. A fronteira de produção F2 considera a restrição que a legislação impõe sobre o processo produtivo, ou seja, uma mesma firma poderá ter uma produção menor quando a restrição sobre o processo produtivo advinda da legislação ambiental é incorporada à produção. O modelo considera que possa haver folgas tanto para o insumo como para o produto. Como anteriormente, a folga do insumo é representado por s^- e a folga do produto é representado por s^+ .

Figura 4 - Efeito da restrição ambiental sobre possibilidade de produção

Fonte: Adaptado de Cooper, Seiford e Tone (2007)

O exemplo considera dois produtores ineficientes, “D” e “E”. O produtor “D” apresenta custo advindo da legislação representado pela redução na sua produção potencial de y_D para y'_D . Ademais, sobre a restrição ambiental, esse produtor necessitaria de uma maior quantidade de insumo x'_D do que quando ele não incorpora essa restrição sobre o processo produtivo, representado por x_D . Pode ser citado, como exemplo, um produtor que utilizava parte da área de

reserva legal na produção de alguma cultura agrícola e que tenha sido obrigado a recuperá-la. Como forma de compensar a área perdida, a redução da produção e da receita, esse produtor pode utilizar uma maior quantidade adubos buscando uma maior produção, entretanto, esse aumento na adubação não compensaria a perda da produção advinda de redução da área utilizada no cultivo agrícola. O produtor “E”, por sua vez, não apresenta custo advindo da legislação. Sua fronteira de produção potencial não mudaria com a imposição da legislação ambiental. Nesse exemplo, a quantidade eficiente do insumo seria dada por x_E e a produção eficiente seria y_E . Esse pode ser o caso de um produtor que não utiliza a área de reserva legal para a produção agropecuária e apresenta, apenas, ineficiência na produção agropecuária.

Quantitativamente, o custo da regulamentação ambiental¹⁸ pode ser calculado como:

$$\text{Custo de oportunidade de manter a RL} = (1 - \text{SBEI}) * \text{receita agropecuária} \quad (13)$$

Assim, se houver custo de oportunidade, não será possível reduzir o produto indesejável (desmatamento da reserva legal) sem que o produto desejável (receita agropecuária) seja reduzido. Desta forma, a regulação (Código Florestal) restringe o processo produtivo, forçando a redução do produto desejável pela firma para o cumprimento da legislação – Reserva Legal (ZOFÍO; PRIETO, 2001). Ademais, a restrição ambiental pode resultar em ineficiência produtiva: uma firma pode ser ineficiente tecnicamente por utilizar mais insumos por unidade de produto (desejável) como forma de reduzir o impacto ambiental (BOYD; McCLELLAND, 1999)

4.2 Modelo de painel de dados com dependência espacial

O custo de oportunidade de cada produtor em manter a reserva legal no estabelecimento agropecuário (equação 13, a ser calculada pela média dos estabelecimentos agropecuários em cada município dos estados de São Paulo e Mato Grosso) pode estar associado a diversas características dos estabelecimentos agropecuários e dos produtores, tais como: tipo de atividade produtiva, infraestrutura do município, características econômicas, geográficas e sociais da região, dos municípios e dos produtores.

¹⁸ Essa equação será utilizada na estimação do custo de oportunidade no capítulo 6

Entretanto, algumas das características dos estabelecimentos agropecuários não podem ser modificadas e também apresentam uma relação espacial com seus vizinhos devido a compartilharem características edafoclimáticas, sociais e econômicas similares. Desta forma, o método dos Mínimos Quadrados Ordinários não é adequado no estudo da relação entre características dos produtores (tomados pelas médias nos municípios) e o custo de oportunidade da reserva legal, devendo então se utilizar modelos de econometria espacial, que incorporam esta distribuição espacial na estimação dos parâmetros.

Ademais, quando observações *cross-section* estão disponíveis para alguns períodos de tempo, estimar o modelo usando dados em painel permite uma maior variância e menor colinearidade entre as variáveis, maior grau de liberdade, ganhos de eficiência e maior capacidade de modelar o complexo comportamento humano, incluindo efeitos que não podem ser analisados apenas por meio de dados *cross-section* (ELHORST, 2010; HSIAO, 2005; MILLO; PIRAS, 2012).

Assim, considerando um painel balanceado¹⁹, pode-se representar um modelo geral de dados em painel com dependência espacial, que inclui a defasagem espacial da variável dependente e o distúrbio autorregressivo espacial (MULT; PFAFFERMAYR, 2011):

$$y_{it,N} = \lambda \sum_{j=1}^N w_{ij,N} y_{jt,N} + \mathbf{x}_{it,N} \boldsymbol{\beta} + \mathbf{d}_{i,N} \boldsymbol{\gamma} + u_{it,N} \quad (14)$$

em que os índices $i = 1, \dots, N$ (número de produtores, considerando a média por município) e $t = 1, \dots, T$ (anos analisados) denotam a seção *cross-sectional* e a dimensão temporal do painel, respectivamente. Esse modelo assume que T é fixo, com análise assintótica referindo-se a N . A variável dependente é denotada por $y_{it,N}$ (o custo de oportunidade de manter a reserva legal, dado pela equação (13)) sendo que $\sum_{j=1}^N w_{ij,N} y_{jt,N}$ é a variável dependente espacialmente defasada, na qual $w_{ij,N}$ são os pesos espaciais não estocásticos e λ o respectivo parâmetro associado. O vetor $1 \times (K-1)$ de variáveis exógenas que variam no tempo é denotado por $\mathbf{x}_{it,N}$ e o vetor $(K-1) \times 1$ de

¹⁹ Um painel balanceado é aquele em que o número de unidades *cross-sections* é igual em todos os períodos considerados.

parâmetros correspondentes por β . $\mathbf{d}_{i,N}$ é um vetor (1xL) de variáveis invariantes no tempo, que inclui a constante, e γ é o vetor (Lx1) de parâmetros correspondentes. Por fim, $u_{it,N}$ é o termo de erro composto por (KAPOOR.; KELEJIAN; PRUCHA, 2007)²⁰:

$$\mu_{it,N} = \rho \sum_{j=1}^N w_{ij,N} u_{jt,N} + \varepsilon_{it,N} \quad (15)$$

ou seja, os erros estão correlacionados espacialmente, sendo que ρ é o parâmetro espacial do erro autorregressivo²¹. O termo do erro $\varepsilon_{it,N}$ possui a seguinte estrutura (KAPOOR; KELEJIAN; PRUCHA, 2007; MULT; PFAFFERMAYR, 2011):

$$\varepsilon_{it,N} = \mu_{i,N} + v_{it,N} \quad (16)$$

em que os erros independentes e identicamente distribuídos são representados por $v_{it,N} \sim IID(0, \sigma_v^2)$; e $\mu_{i,N}$ são os efeitos individuais não observados, que podem ser tratados como fixos ou aleatórios (MILO; PIRAS, 2012; MULT; PFAFFERMAYR, 2011). Conforme Kapoor, Kelejian e Prucha (2007), o erro composto representado pela Equação (16) é semelhante àquele apresentado na literatura de dados em painel, entretanto, os dados são agrupados por período de tempo e não por indivíduos, uma vez que, segundo esses autores, é mais conveniente para modelar a correlação espacial²². Assim, organizando os dados para i e t e empilhando o modelo, as Equações (14) a (16) podem ser reescritas como (MULT; PFAFFERMAYR, 2011)²³:

$$\mathbf{y}_{t,N} = \lambda \mathbf{W}_N \mathbf{y}_{t,N} + \mathbf{X}_{t,N} \boldsymbol{\beta} + \mathbf{D}_N \boldsymbol{\gamma} + \mathbf{u}_{t,N}$$

²⁰ A matriz de pesos espaciais da Equação (15) não necessariamente necessita ser a mesma que a da Equação (14), conforme aprestado por Mult e Pfaffermayr (2011). Entretanto, como esse estudo utilizará uma única matriz de pesos espaciais em ambas as equações, foi utilizada a mesma notação para essa matriz. Para o modelo geral, ver Mult e Pfaffermayr (2011).

²¹ Conforme Almeida (2012a) e Elhost (2010), a estacionariedade requer $|\rho| < 1$ e $|\lambda| < 1$.

²² A diferença pode ser percebida comparando as Equações (17) e (18) à Equação (2.4) de Baltagi (2005), página 11.

²³ Para diferenciar entre escalares, matrizes e vetores, as matrizes e vetores estão destacadas em negrito. Assim, $\mathbf{u}_{t,N}$ denota um vetor composto de $u_{1t,N}$ até $u_{Nt,N}$, conforme equação (18).

$$\mathbf{u}_{t,N} = \rho \mathbf{W}_N \mathbf{u}_{t,N} + \boldsymbol{\varepsilon}_{t,N} \quad (17)$$

$$\boldsymbol{\varepsilon}_{t,N} = \boldsymbol{\mu}_N + \mathbf{v}_{t,N}$$

em que:

$$\mathbf{y}_{t,N} = \begin{bmatrix} y_{1t,N} \\ \vdots \\ y_{Nt,N} \end{bmatrix}, \mathbf{X}_{t,N} = \begin{bmatrix} x_{1t,N} \\ \vdots \\ x_{Nt,N} \end{bmatrix}, \mathbf{D}_{t,N} = \begin{bmatrix} \mathbf{d}_{1,N} \\ \vdots \\ \mathbf{d}_{N,N} \end{bmatrix}, \mathbf{u}_{t,N} = \begin{bmatrix} u_{1t,N} \\ \vdots \\ u_{Nt,N} \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{\varepsilon}_{t,N} = \begin{bmatrix} \varepsilon_{1t,N} \\ \vdots \\ \varepsilon_{Nt,N} \end{bmatrix}, \mathbf{v}_{t,N} = \begin{bmatrix} v_{1t,N} \\ \vdots \\ v_{Nt,N} \end{bmatrix}, \boldsymbol{\mu}_{t,N} = \begin{bmatrix} \mu_{1,N} \\ \vdots \\ \mu_{N,N} \end{bmatrix}, \quad (18)$$

$$\mathbf{W}_N = \begin{bmatrix} w_{11,N} & \cdots & w_{1N,N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{N1,N} & \cdots & w_{NN,N} \end{bmatrix}$$

Empilhando todos os períodos de tempo, o modelo pode ser reescrito como (MULT; PFAFFERMAYR, 2011):

$$\mathbf{y}_N = \lambda \mathbf{W}_N \mathbf{y}_N + \mathbf{X}_N \boldsymbol{\beta} + \mathbf{D}_N \boldsymbol{\gamma} + \mathbf{u}_N = \mathbf{Z}_N \boldsymbol{\delta} + \mathbf{u}_N$$

$$\mathbf{u}_N = \rho \mathbf{W}_N \mathbf{u}_N + \boldsymbol{\varepsilon}_N \quad (19)$$

$$\boldsymbol{\varepsilon}_N = (\iota_T \otimes I_N) \boldsymbol{\mu}_N + \mathbf{v}_N$$

em que $\mathbf{W}_N = (I_T \otimes \mathbf{W}_N)$, $\mathbf{D}_N = (\iota_T \otimes \mathbf{D}_N)$, $\mathbf{Z} = (\mathbf{D}_N, \mathbf{W}_N \mathbf{y}_N, \mathbf{X}_N)$, $\boldsymbol{\delta} = (\boldsymbol{\gamma}', \lambda, \boldsymbol{\beta}')$,

$$\mathbf{y}_N = \begin{bmatrix} \mathbf{y}_{1,N} \\ \vdots \\ \mathbf{y}_{T,N} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{X}_N = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_{1,N} \\ \vdots \\ \mathbf{x}_{T,N} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{u}_N = \begin{bmatrix} u_{1,N} \\ \vdots \\ u_{T,N} \end{bmatrix}, \quad \boldsymbol{\varepsilon}_N = \begin{bmatrix} \boldsymbol{\varepsilon}_{1,N} \\ \vdots \\ \boldsymbol{\varepsilon}_{T,N} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{v}_N = \begin{bmatrix} \mathbf{v}_{1,N} \\ \vdots \\ \mathbf{v}_{T,N} \end{bmatrix} \quad (20)$$

O modelo retratado pela equação (19) é denominado como modelo de defasagem espacial com erro autorregressivo espacial ou SARAR²⁴. Na literatura de modelos espaciais, dois modelos advindos da equação (19) são mais utilizados: o modelo de defasagem espacial (SAR²⁵) e o modelo de erro autorregressivo espacial (SEM²⁶). O modelo de defasagem espacial assume que $\rho = 0$ na Equação (19). Reescrevendo a Equação (19), o modelo SAR pode ser representado como:

$$\mathbf{y}_N = \lambda \mathbf{W}_N \mathbf{y}_N + \mathbf{X}_N \boldsymbol{\beta} + \mathbf{D}_N \boldsymbol{\gamma} + \boldsymbol{\varepsilon}_N = \mathbf{Z}_N \boldsymbol{\delta} + \boldsymbol{\varepsilon}_N \quad (21)$$

$$\boldsymbol{\varepsilon}_N = (\mathbf{I}_T \otimes \mathbf{I}_N) \boldsymbol{\mu}_N + \mathbf{v}_N$$

O modelo SEM assume que $\lambda = 0$. Reescrevendo a Equação (19) para o modelo do erro autorregressivo espacial tem-se:

$$\mathbf{y}_N = \mathbf{X}_N \boldsymbol{\beta} + \mathbf{D}_N \boldsymbol{\gamma} + \mathbf{u}_N = \mathbf{Z}_N \boldsymbol{\delta} + \mathbf{u}_N$$

$$\mathbf{u}_N = \rho \mathbf{W}_N \mathbf{u}_N + \boldsymbol{\varepsilon}_N \quad (22)$$

$$\boldsymbol{\varepsilon}_N = (\mathbf{I}_T \otimes \mathbf{I}_N) \boldsymbol{\mu}_N + \mathbf{v}_N$$

²⁴ *Spatial autoregressive model with autoregressive disturbances*, segundo Kelejian e Pruncha (2010), abreviando como SARAR(1, 1) para denotar que o modelo refere-se à primeira defasagem do erro e à primeira defasagem da variável dependente.

²⁵ SAR - *Spatial Auto Rregressive*

²⁶ SEM – *Spatial Error Model*

Os modelos de dados em painel podem ser estimados por efeitos fixos ou efeitos aleatórios. Todavia, inicialmente deve-se determinar se os efeitos individuais estão presentes no modelo analisado, ou seja, se o painel deve ser estimado apenas empilhando os dados ou se os efeitos individuais devem ser considerados (casos do modelo de efeitos fixos ou aleatórios). Nesse sentido, Almeida (2010a) sugere utilizar o teste de Breusch e Pagan (1980). Esse é um teste do tipo Multiplicador de Lagrange, que tem como hipótese nula de que não há efeitos individuais ($H_o : \sigma_\mu^2 = 0$) e segue distribuição assintótica χ^2 com 1 grau de liberdade.

Posteriormente, para determinar qual estimador deve ser utilizado (efeitos fixos ou efeitos aleatórios) será utilizado o teste de Hausman para dados espaciais em painel, conforme proposto por Mult e Pfaffermayr (2011). O modelo de efeitos aleatórios será inconsistente se $E[\mu_N | \mathbf{X}_N] \neq 0$, ou seja, se os efeitos individuais não observados forem correlacionados às variáveis explicativas. Entretanto, se a pressuposição $E[\mu_N | \mathbf{X}_N] = 0$ for verdadeira, o estimador de efeitos aleatórios é mais eficiente que o estimador de efeitos fixos. A estatística para o teste de Hausman para dados espaciais em painel é calculada por (MULT; PFAFFERMAYR, 2011):

$$H = NT(\hat{\theta}_{GLS,N} - \hat{\theta}_{W,N})^T (\hat{\Sigma}_W - \hat{\Sigma}_{GLS})^{-1} (\hat{\theta}_{GLS,N} - \hat{\theta}_{W,N}) \quad (23)$$

em que $\hat{\theta}_{GLS,N}$ e $\hat{\theta}_{W,N}$ são, respectivamente, os estimadores espaciais de efeitos aleatórios e efeitos fixos, e $\hat{\Sigma}_{GLS}$ e $\hat{\Sigma}_W$ são as respectivas matrizes de variância-covariância. H é tem distribuição assintótica χ^2 com k graus de liberdade, sendo que k é o número de regressores do modelo.

Por fim, para estimar a equação espacial (19, 21 ou 22) é necessário calcular a matriz de pesos espaciais de forma que o máximo de autocorrelação seja incorporada ao modelo. De forma geral, pode-se assumir que produtores mais próximos apresentam características como clima, solo, econômicas, sociais, e outras, mais semelhantes do que os produtores distantes ou menos conectados. Assim, conforme Almeida (2012a), podemos definir a matriz W_N para os k-vizinhos mais próximos:

$$w_{ij}(k) = \begin{cases} 1 & \text{se } d_{ij} \leq d_i(k) \\ 0 & \text{se } d_{ij} > d_i(k) \end{cases} \quad (24)$$

em que $d_i(k)$ é a menor distância para a qual os produtores i e j sejam considerados vizinhos, de forma que o produtor i tenha k vizinhos. A distância de corte varia entre os produtores. Essa matriz apresenta como benefício o fato de que todo produtor terá k vizinhos.

A matriz W_N pode ser padronizada na linha, tendo como benefício a incorporação de assimetria entre os produtores, de forma que o efeito do produtor i sobre o produtor j será diferente do efeito de j sobre i (ALMEIDA, 2012a). A matriz W representada pela equação (24) pode ser normalizada na linha por meio da equação (25)

$$w_{ij}^*(k) = w_{ij}(k) / \sum_j w_{ij}(k) \quad (25)$$

Utilizando a matriz W_N^* normalizada na linha, a presença de autocorrelação espacial para o custo de oportunidade de manter a reserva legal será analisada, inicialmente, por meio do teste “ I ” de Moran Global (GETIS, 2010) dado por:

$$I = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}^*} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - \bar{y}) - (y_j - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad i \neq j \quad (26)$$

em que “ n ” é o número total de produtores representativos médios em cada período da análise, “ y_i ” e “ y_j ” são o custo de oportunidade da Reserva Legal para o produtor i e j , respectivamente, sendo $-1 \leq I \leq 1$. A hipótese nula do teste é que o custo de oportunidade distribui-se aleatoriamente, ou seja, não há autocorrelação espacial para o custo de oportunidade. O valor esperado da estatística “ I ” é $E(I) = -1/(n-1)$. Segundo Getis (2010), a estatística “ I ” também pode ser calculada por:

$$I = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}^*} \frac{\varepsilon^T W \varepsilon}{\varepsilon^T \varepsilon} \quad (27)$$

em que ε é um vetor de resíduos de mínimos quadrados ordinários e ε^T é o vetor ε transposto. A estatística “ I ” indica, quando estatisticamente significativa, se a correlação espacial é positiva ou negativa e sua magnitude (GETIS, 2010). Um valor positivo para a equação (26) ou (27) indica similaridade, ou seja, um produtor representativo com elevado (baixo) custo de oportunidade tende a estar envolvido por produtores representativos médios dos municípios vizinhos com elevado (baixo) custo de oportunidade. Por outro lado, valores negativos indicam dissimilaridade, ou seja, um produtor representativo com elevado (baixo) custo de oportunidade tende a estar envolvido por produtores representativos com baixo (elevado) custo de oportunidade.

A estatística “ I ” de Moran também pode ser utilizada para auxiliar a escolha da matriz “ W ” a ser utilizada, de forma que essa capture o máximo de autocorrelação espacial (ALMEIDA, 2012a). Conforme tratado por Baumont (2009), a escolha da matriz W pode ser feita por meio dos seguintes passos: (i) estimar o modelo por mínimos quadrados ordinários; (ii) testar os resíduos por autocorrelação espacial para um conjunto de matrizes W ; (iii) selecionar aquela matriz W com o maior valor para o “ I ” de Moran significativo²⁷.

Posteriormente, se esta autocorrelação espacial estiver presente, a escolha da especificação a ser utilizada será determinada por meio do teste do Multiplicador de Lagrange para modelos em painel empilhado (*pooled*), conforme proposto por Anselin, Le Gallo e Jayet (2008) e Elhorst (2010) e por meio dos critérios de informação de Akaike e Baysiano, seguindo Almeida (2010a).

O multiplicador de Lagrange para detectar a defasagem espacial da variável dependente e para detectar o erro autorregressivo, segundo Anselin, Le Gallo e Jayet (2008), são respectivamente²⁸:

$$LM_{lag} = LM_{\lambda} = \frac{[e^T (I_T \otimes W) Y / \hat{\sigma}^2]^2}{J} \text{ e } LM_{erro} = LM_{\rho} = \frac{[e^T (I_T \otimes W) e / \hat{\sigma}^2]^2}{T \times T_w} \quad (28)$$

²⁷ Isto foi feito na Tabela 19 da página 114.

²⁸ Esses testes estão apresentados na Tabela 20 da página 119.

em que e denota o vetor de resíduos da regressão com os dados empilhados sem efeitos espaciais, W é a matriz de k -vizinhos, Y a variável dependente (no presente estudo, custo de oportunidade), e $\hat{\sigma}^2 = (e^T e) / NT$ a variância em que N denota o número de indivíduos ou número de unidades *cross-section* e T o número de períodos de tempo considerados. Por sua vez, J e TW são calculados como:

$$J = \frac{1}{\hat{\sigma}^2} \left[\left((I_T \otimes W) X \hat{\beta} \right)^T \left(I_{NT} - X (X^T X)^{-1} X^T \right) (I_T \otimes W) X \hat{\beta} + TTW \hat{\sigma}^2 \right] \quad (29)$$

e

$$TW = \text{tr}(WW + W^T W) \quad (30)$$

Os testes de Multiplicador de Lagrange são testes que tem como hipótese nula o modelo restrito e hipótese alternativa o modelo irrestrito. O modelo restrito é aquele em que a autocorrelação espacial não é incorporada (Florax et al. 2003). Reescrevendo a Equação (19) na forma do modelo restrito ($\lambda = 0$ e $\rho = 0$) tem-se:

$$\mathbf{y}_N = \mathbf{X}_N \boldsymbol{\beta} + \mathbf{D}_N \boldsymbol{\gamma} + \mathbf{u}_N = \mathbf{Z}_N \boldsymbol{\delta} + \mathbf{u}_N \quad (31)$$

$$\boldsymbol{\varepsilon}_N = (I_T \otimes I_N) \boldsymbol{\mu}_N + \mathbf{v}_N$$

O teste LM_λ testa a hipótese nula contra a hipótese alternativa de que $\lambda \neq 0$, ou seja, a defasagem espacial da variável dependente deve ser incluída no modelo. O teste LM_ρ testa a hipótese nula contra a hipótese alternativa de que $\rho \neq 0$ – implicando que o erro autorregressivo espacial deve ser incluído no modelo, se for possível rejeitar a hipótese nula. Conforme Florax et al. (2003), se ambos os testes não forem significativos, o modelo deve ser estimado como retrato na Equação (31). Se apenas a estimativa LM_λ for significativa, estima-se a Equação (21). Por

outro lado, se apenas LM_ρ for significativa, estima-se (22). Se ambas forem significativas, devem ser estimadas a versão robusta desses testes. A respectiva versão robusta para o testes LM_λ e LM_ρ para dados em painel, proposta por Debarsy e Ertur (2010), é estimada, respectivamente, por meio da Equação²⁹ (32) e (33).

$$LM_{\lambda}robusto = \frac{\left[e^T (I_T \otimes W) Y / \hat{\sigma}^2 - e^T (I_T \otimes W) e / \hat{\sigma}^2 \right]^2}{J - TT_w} \quad (32)$$

$$LM_{\rho}robusto = \frac{\left[e^T (I_T \otimes W) e / \hat{\sigma}^2 - TT_w / J \times e^T (I_T \otimes W) Y / \hat{\sigma}^2 \right]^2}{J - TT_w} \quad (33)$$

A diferença entre os testes ML representados por (28) e sua respectiva versão robusta (Equações 32 e 33) é que o primeiro é baseado nos resíduos do modelo sem efeitos espaciais, enquanto o segundo toma os resíduos do modelo de defasagem espacial ou do modelo do erro autorregressivo espacial (ELHORST, 2014). Deve ser utilizado aquele modelo que apresentar o maior valor significativo para este teste em sua versão robusta.

Para auxiliar na escolha entre os modelos SARAR, SEM e SAR, Elhorst (2014) sugere utilizar também a razão de máxima verossimilhança (*log-likelihood ratio* – LR). Esse teste pode ser representado por:

$$LR = -2(L_{Restrito} - L_{Irrestrito}) \quad (34)$$

em que $L_{Restrito}$ a função de verossimilhança do modelo irrestrito (modelo SARAR) no ponto de máximo e $L_{Irrestrito}$ é o valor da função de verossimilhança do modelo restrito (modelos SEM ou SAR) no ponto de máximo. Esse teste tem distribuição χ^2 com graus de liberdade igual ao número de restrições impostas. Na presente tese será considerada apenas uma restrição ao testar o modelo SEM contra o SARAR e o modelo SAR contra o modelo SARAR.

²⁹ Esses testes estão apresentados na Tabela 20 na página 119.

Por fim, a interpretação dos efeitos marginais nos modelos (19) e (21) deve considerar o efeito feedback entre os produtores, uma vez que a introdução da variável dependente defasada espacialmente ($\mathbf{W}_N \mathbf{y}_N$) implica que a variação do custo de oportunidade de um produtor (observação) pode potencialmente afetar o custo de oportunidade dos produtores vizinhos, segundo LeSage e Pace (2009). Assim, se uma variável de um produtor agropecuário sofrer alguma variação, não apenas seu próprio custo de oportunidade deve mudar em razão da variação dessa dada variável (efeito direto), mas também pelo efeito indireto advindo da interação entre os produtores. Considere que uma variável exógena x_k de um produtor i sofra alguma variação. A variável dependente y_i do produtor i deve sofrer alguma alteração em virtude da mudança da sua própria variável x_k (efeito direto). Entretanto, a mudança da variável y_i do produtor i altera a variável dependente dos produtores vizinhos, como por exemplo um produtor j . Como i é vizinho de j , j também é vizinho de i e a mudança na variável dependente em j altera a variável dependente do produtor i novamente (efeito indireto).

Assim, conforme Elhorst (2014), a equação genérica (19) pode ser reescrita como

$$\mathbf{y}_N - \lambda \mathbf{W}_N \mathbf{y}_N = \mathbf{X}_N \boldsymbol{\beta} + \mathbf{D}_N \boldsymbol{\gamma} + \boldsymbol{\varepsilon}_N \quad (35)$$

colocando y em evidência:

$$(\mathbf{I}_N - \lambda \mathbf{W}_N) \mathbf{y}_N = \mathbf{X}_N \boldsymbol{\beta} + \mathbf{D}_N \boldsymbol{\gamma} + \boldsymbol{\varepsilon}_N \quad (36)$$

multiplicando tudo por

$$(\mathbf{I}_N - \lambda \mathbf{W}_N)^{-1} \quad (37)$$

tem-se que:

$$\mathbf{y}_N = (\mathbf{I}_N - \lambda \mathbf{W}_N)^{-1} [\mathbf{X}_N \boldsymbol{\beta} + \mathbf{D}_N \boldsymbol{\gamma} + \boldsymbol{\varepsilon}_N] \quad (38)$$

e calculando o efeito marginal das k-ésimas³⁰ variáveis explicativas:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial E(\mathbf{y}_N)}{\partial x_{1k}} & \dots & \frac{\partial E(\mathbf{y}_N)}{\partial x_{Nk}} \end{bmatrix} = (\mathbf{I}_N - \lambda \mathbf{W}_N)^{-1} \begin{bmatrix} \frac{\partial E(y_1)}{\partial x_{1k}} & \dots & \frac{\partial E(y_1)}{\partial x_{Nk}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial E(y_N)}{\partial x_{1k}} & \dots & \frac{\partial E(y_N)}{\partial x_{Nk}} \end{bmatrix} \quad (39)$$

$$= (\mathbf{I}_N - \lambda \mathbf{W}_N)^{-1} \begin{bmatrix} \beta_k & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \beta_k \end{bmatrix}$$

Os elementos da diagonal principal da matriz de derivadas parciais representam os efeitos diretos e os elementos fora da diagonal principal representam os efeitos indiretos (ELHORST, 2014). Como, de forma geral, os efeitos diretos e indiretos são diferentes entre todas as regiões, Pace e LeSage (2006) sugerem calcular o Impacto Direto Médio tomando a média da diagonal principal de (38) e o Impacto Indireto Médio por meio do cálculo da média dos elementos fora da diagonal principal. O Efeito Total Médio é igual à média de todas as derivadas de y_i em relação a x_{jk} para todo i e j .

4.3 Fonte e tratamento dos dados

Esta seção descreve as variáveis utilizadas³¹, a fonte de dados e os procedimentos para o tratamento dos dados. Inicialmente são detalhados os dados utilizados para o cálculo do custo de oportunidade e, posteriormente, as variáveis utilizadas na análise dos determinantes do custo de oportunidade da reserva legal entre os municípios e estados.

Os valores monetários foram corrigidos para dezembro de 2006, sendo utilizado o índice de preços recebidos pelos agricultores por unidade da federação (FUNDAÇÃO GETÚLIO

³⁰ Isso foi feito na Tabela 24 da página 124.

³¹ As variáveis utilizadas nesse estudo são semelhantes àquelas utilizadas na literatura, como, por exemplo, nos trabalhos de Helfand e Levine (2004), Nogueira (2005), Wilson, Hadley e Asby (2001), Huhtala e Marklund (2008), Cabrera, Solís e Corral (2010), Almeida (2012b), Campos, Coelho e Gomes (2012) e Sipiläinen e Huhtala (2013).

VARGAS – FVG, 1996; 2007) para a receita agropecuária e o índice de preços pagos pelos agricultores por unidade da federação (FVG, 1996; 2007) para os insumos agropecuários e o índice geral de preços – disponibilidade interna, para investimentos e financiamentos (FVG, 2014a). Esse procedimento objetivou permitir variações nos termos de troca e entre os estados em análise. Ademais, a utilização de diferentes índices que melhor captem a mudança nos valores da variável ao longo do tempo permite um melhor ajustamento, conforme enfatizado por Coelli et al. (2005).

Os dados utilizados foram obtidos nos Censos Agropecuários de 1995/1996 e de 2006, para todos os municípios paulistas e mato-grossenses. O Censo Agropecuário de 1995 – 1996 tiveram como período de referência 1º de agosto de 1995 a 31 de julho de 1996, sendo que os dados de área e pessoal ocupado têm como base o dia de 31 de dezembro de 1995; os efetivos da pecuária e os efetivos da lavoura permanente e da silvicultura têm como base 31 de julho de 1996; e os valores dispendidos em investimento, financiamentos, despesas, receitas, produção e outros ligados ao movimento dos estabelecimentos agropecuários compreendem o período de referência do Censo (IBGE, 1998). Os dados do Censo Agropecuário de 2006 teve período de referência de 1º de janeiro a 31 de dezembro e como data de referência das variáveis estoque o dia 31 de dezembro de 2006 (IBGE, 2009).

Os dados foram então compatibilizados conforme metodologia proposta por Paiva (2007; 2008), uma vez que foram criados novos municípios no período em análise. Esse procedimento consiste em imputar os valores absolutos das variáveis dos novos municípios criados após a 1995 aos municípios que os originou, proporcionalmente à área cedida por cada município. Essa metodologia permite que o número de municípios seja igual ao ano base de 1995, o que não ocorre quando se utiliza as Áreas Mínimas Comparáveis. Por exemplo, o município de Bom Jesus do Araguaia foi criado entre 1995 e 2006 no Mato Grosso. Esse município teve 70% de sua área originada do município de Alto Boa Vista e 30% do município de Ribeirão Castanheira. Assim, 70% da receita agropecuária do município de Bom Jesus do Araguaia será acrescentada à receita agropecuária do município de Alto Boa Vista em 2006 de forma a reconstituir a receita agropecuária para 2006 que seja compatível com aquela desse município em 1995/96. O restante da receita agropecuária (30%) do município de Bom Jesus do Araguaia será adicionado à receita agropecuária do município de Ribeirão Castanheira. Esse procedimento foi aplicado às demais

variáveis do estudo e para os demais municípios³², tanto para o estado do Mato Grosso como para o de São Paulo. Desta forma, o estado de São Paulo e Mato Grosso apresentarão, respectivamente, com 625 e 117 municípios em cada período, o mesmo número de municípios no período base de 1995.

Ademais, aqueles municípios em que não for possível obter alguma das variáveis por sigilo dos dados (o Censo agropecuário omite os dados para os municípios que possuem menos de 3 estabelecimentos agropecuários, os apresentando como valor “X” para evitar a individualização da informação) ou que apresentaram receita agropecuária igual a zero não resultante de arredondamento (representada por “-”), em apenas um período ou em ambos, foram retirados da análise em ambos os períodos (1995/96 e 2006), uma vez que busca-se analisar a evolução dos estados analisados e seus municípios.

4.3.1 Custo de oportunidade

Inicialmente, foram calculadas a eficiência técnica (equação 9) e a eficiência ambiental (equação 11) por meio do suplemento OpenSolver 2.1 do Microsoft Office³³, para cada período (1995/96 e 2006). As variáveis utilizadas nessas estimações consideram como unidade de análise o produtor representativo médio de cada município, obtido pela divisão do valor total das variáveis de produto, insumo e produto indesejável de cada município pelo seu respectivo número de estabelecimentos. Posteriormente, foi estimada, então, uma única fronteira de produção em cada equação, ou seja, os modelos foram estimados com os dados agrupados ou empilhados.

Para o cálculo da equação (9) serão utilizadas as seguintes variáveis, obtidas do Censo Agropecuário de 1995/1996 e 2006, para cada município:

³² A evolução da divisão territorial do Brasil a nível municipal, a genealogia e a alteração de nome e grafia, com indicação dos respectivos códigos foi obtida de IBGE (2011). A área dos municípios anterior aos desmembramentos foi obtida junto ao IPEA (2014b), enquanto a área atual dos municípios foi obtida junto ao IBGE (2014a). Ver Anexo A para todos os municípios originados no período e sua genealogia considerados no estudo.

³³ Esse suplemento do Microsoft Excel por ser baixado gratuitamente em <http://opensolver.org/installing-opensolver>. O Microsoft Excel possui o suplemento Solver padrão que, entretanto, está limitado a 200 variáveis de decisão. O suplemento OpenSolver 2.1 não possui nenhuma restrição artificial e também pode ser automatizado por meio de Macros introduzidas no editor do Visual Basic (VBA), permitindo calcular automaticamente os modelos DEA. Ver Anexo C para Macro utilizada na estimação. Para explicação detalhada dos procedimentos de automatização consultar Ferreira e Gomes (2009).

Receita agropecuária (produto desejável): somatória das receitas dos estabelecimentos agropecuários com a venda de produtos vegetais; animais e seus produtos; animais criados em cativeiros (jacaré, escargô, capivara e outros); húmus; esterco; e produtos da indústria rural, em mil Reais de dezembro de 2006/Número de estabelecimentos agropecuários do município. Este é o Y^g da Equação (9)

O vetor X da Equação (9) é composto por³⁴:

- (i) **área produtiva:** área total dos estabelecimentos menos a área com matas e florestas naturais, menos a área com terras produtivas não utilizadas e terras inaproveitáveis para o período 1995/1996. Para 2006 também será subtraída a área com matas e florestas naturais destinadas à preservação permanente ou reserva legal, matas e florestas naturais (exceto aquelas destinadas à preservação permanente e aquelas em sistemas agroflorestais) e as áreas de tanques, lagos, açudes, áreas de águas públicas para exploração de aquicultura³⁵, terras degradadas (erodidas, desertificadas, salinizadas, etc.) e terras inaproveitáveis à agricultura ou pecuária (pântanos, areais, pedreiras, etc.) para permitir a comparação entre os períodos/número de estabelecimentos agropecuários do município;
- (ii) **mão de obra:** compreenderá o total do pessoal ocupado em estabelecimentos agropecuários em 31/12 para 1995 e em 31/12 para 2006/número de estabelecimentos agropecuários do município;
- (iii) **bovinos:** efetivo de bovinos nos estabelecimentos agropecuários, em cabeças – essa variável será utilizada como *proxy* para o estoque de capital na produção animal/número de estabelecimentos agropecuários do município;
- (iv) **defensivos:** compreendendo as despesas com fertilizantes, pesticidas e herbicidas, combustível, sementes e alimentos e medicamentos para os bovinos, em Reais de dezembro de 2006/número de estabelecimentos agropecuários do município; e
- (v) **tratores:** número de tratores existentes nos estabelecimentos agropecuários/número de estabelecimentos agropecuários do município.

³⁴ A área produtiva e mão de obra para o ano de 2006 foram compatibilizadas conforme instruções das notas técnicas do Censo Agropecuário de 2006 IBGE (2009).

³⁵ No Censo Agropecuário de 1995/96, as áreas ocupadas com tanques, lagos, açudes, áreas de águas públicas para exploração de aquicultura são classificadas como “inaproveitáveis para lavoura e pecuária”, segundo IBGE (2009)

Para o cálculo da equação (11) serão utilizadas as variáveis utilizadas na equação (9), acrescentando a variável “**desmatamento da reserva legal**” (produto indesejável): calculada como a área utilizada para a agropecuária acima do percentual de 65% para a região do MT coberta com cerrado, 20% para região de floresta no MT e 80% para o restante (desconsiderando o Pantanal). Para São Paulo será considerado o percentual de 80%.

4.3.2 Determinantes do custo de oportunidade

Uma vez definida a forma a ser utilizada na estimação espacial (equação 19, 21 ou 22) serão utilizadas as seguintes variáveis, sendo AE, a área total dos estabelecimentos, em hectares, e NE, o número total de estabelecimentos. As variáveis explicativas foram agrupadas em variáveis de primeira e segunda natureza, segundo a Nova Geografia Econômica

Variável Dependente: Custo de manutenção da reserva legal médio dos produtores agropecuários em Reais de 2006, obtida por meio da equação (13). Esse custo pode ser interpretado como o custo de oportunidade do produtor representativo médio do respectivo município.

Variáveis explicativas³⁶:

Primeira Natureza:

Altitude: altitude média da sede do município, em metros;

Cerrado: variável binário que recebe valor 1 para o município que tem mais de 60% de sua área coberta pelo bioma cerrado, 0 caso contrário;

Mata atlântica: variável binário que recebe valor 1 para o município que tem mais de 60% de sua área coberta pela mata atlântica, 0 caso contrário;

Floresta amazônica: variável binário que recebe valor 1 para o município que tem mais de 60% de sua área coberta pela floresta amazônica, 0 caso contrário;

Af: variável binária que recebe valor 1 se o clima predominante no município for Clima equatorial (Af), 0 caso contrário;

³⁶ A inclusão das variáveis explicativas dos escores de eficiência e custo de oportunidade se pautou nos argumentos de Banker e Natarajan (2008). Segundo esses autores é necessário que o vetor de variáveis incluídas como insumos no modelo DEA e o vetor de variáveis incluídas como explicativas dos escores de eficiência sejam distribuídos independentemente entre eles para que os estimadores sejam consistentes.

Am: variável binária que recebe valor 1 se o clima predominante no município for Clima de monções (Am), 0 caso contrário;

Aw: variável binária que recebe valor 1 se o clima predominante no município for Clima tropical de savana, com estação seca no inverno (Aw), 0 caso contrário;

As: variável binária que recebe valor 1 se o clima predominante no município for Clima tropical de savana, com estação seca no verão (As), 0 caso contrário;

Cwa: variável binária que recebe valor 1 se o clima predominante no município for Clima subtropical húmido, com inverno seco e verão quente (Cwa), 0 caso contrário;

Cwb: variável binária que recebe valor 1 se o clima predominante no município for Clima subtropical húmido, com inverno seco e verão temperado (Cwb), 0 caso contrário;

Cfa: variável binária que recebe valor 1 se o clima predominante no município for Clima oceânico, com verão quente (Cfa), 0 caso contrário;

Cfb: variável binária que recebe valor 1 se o clima predominante no município for verão temperado (Cfb), 0 caso contrário;

Mato Grosso: variável binária que recebe valor 1 se o município está localizado no estado do Mato Grosso, 0 caso contrário;

Fronteira.MT: variável binária que recebe valor 1 se o município está localizado no estado do Mato Grosso e faz fronteira com outro estado, 0 caso contrário; e

Fronteira.SP: variável binária que recebe valor 1 se o município está localizado no estado de São Paulo e faz fronteira com outro estado, 0 caso contrário;

Segunda Natureza

Assistência: Percentual dos estabelecimentos que receberam assistência técnica;

Adubação: Percentual de estabelecimentos que utilizaram adubos e corretivos do solo;

Plantio em nível: Percentual de estabelecimentos que utilizaram o plantio em nível;

Terraços: Porcentual de estabelecimentos que utilizaram terraços;

Eletricidade: Percentual dos estabelecimentos agropecuários que informaram utilizar energia elétrica;

Irrigação: Percentual da área dos estabelecimentos irrigada;

Área: área média dos estabelecimentos;

Área2: área média dos estabelecimentos ao quadrado, em hectares. As variáveis para a área buscam captar ganhos de escala e economias de tamanho e seus efeitos sobre o custo de oportunidade, que podem ser não lineares, conforme Helfand e Levine (2004);

Tratores: Número de tratores, em unidades/AE, utilizada como proxy para o capital dos estabelecimentos agropecuários;

Financiamento: Valor dos financiamentos recebidos pelos estabelecimentos agropecuários em Reais de dezembro de 2006 /NE;

Investimento: Valor dos investimentos realizados pelos estabelecimentos agropecuários em Reais de dezembro de 2006 /NE;

Demografia: Número de pessoas por quilometro quadrado, adicionada como forma de contornar os efeitos da concentração populacional do município, valorização das terras, custo da reserva legal e rentabilidade da produção agropecuária, pela proximidade do mercado consumidor;

Cursos ciências agrárias: Número de cursos na área de ciências agrárias em universidades³⁷;

Assentamento: variável binária que recebe o valor 1 se há assentamentos no município, 0 caso contrário;

IDH-M educação: Indicador que capta o acesso ao conhecimento;

IDH-M longevidade: Indicador que capta a saúde e longevidade da população;

IDH-M renda: Indicador que capta o nível de renda dos municípios;

Agências bancárias: número de agências bancárias (públicas e privadas) no município do estabelecimento agropecuário;

Permanentes: variável binária que recebe valor 1 se a maior parte da área do município está ocupada com culturas permanentes, 0 caso contrário;

Temporária: variável binária que recebe valor 1 se a maior parte da área do município está ocupada com culturas temporárias, 0 caso contrário;

³⁷ Foram considerados os curso de Administração em Agro-Negócios, Administração Rural, Agronomia, Superior em Tecnologia Ambiental, Superior de Tecnologia em Agricultura Sustentável, Superior de Tecnologia em Agronegócios, Superior de Tecnologia em Gestão de Agronegócios, Superior de Tecnologia em Gestão de Agronegócios e Mercado de Commodities, Superior de Tecnologia em Processos Sucroalcooleiro, Superior de Tecnologia em Produção Sucroalcooleira, Superior de Tecnologia em Zootecnia, Engenharia Agrícola, Engenharia Agrícola e Ambiental, Engenharia Agrônômica, Engenharia de Produção Agroindustrial, Engenharia Florestal, Gestão Ambiental, Medicina Veterinária e Zootecnia.

Pastagem natural: variável binária que recebe valor 1 se a maior parte da área do município está ocupada com pastagens naturais, 0 caso contrário;

Pastagem plantada: variável binária que recebe valor 1 se a maior parte da área do município está ocupada com pastagens plantadas, 0 caso contrário;

Mata natural: variável binária que recebe valor 1 se a maior parte da área do município está ocupada com matas naturais, 0 caso contrário;

Mata plantada: variável binária que recebe valor 1 se a maior parte da área do município está ocupada com matas plantadas, 0 caso contrário;

Inaproveitável: variável binária que recebe valor 1 se a maior parte da área do município corresponde à área não aproveitáveis para a agropecuária, 0 caso contrário; e

Tendência: variável binária que recebe valor 1 para o ano de 2006 e 0 para 1995.

As variáveis de boas práticas agrícolas ("Plantio em nível" e "Terraços") foram adicionadas como forma de capturar a conservação ambiental. A forma quadrática foi adicionada como forma de captar efeitos não lineares. A variável "Financiamento" foi adicionada buscando captar o efeito do acesso ao crédito e a capacidade de adoção de novas tecnologias, modernização dos equipamentos e substituição de equipamentos depreciados/sucateados sobre o custo de oportunidade. Uma parte do valor financiado por não ser investido e utilizado para outros objetivos, nesse sentido foi adicionada a variável "Investimentos" para capturar o efeito do que é efetivamente investido.

A variável "assentamentos" busca captar o efeito sobre a forma de ocupação e projetos de colonização (importante para o estado do Mato Grosso). Conforme apontado por Bonjour, Figueiredo e Marta (2008), os assentamentos apresentariam um padrão de ocupação dos lotes, que apresentaria baixa produtividade, baseado na retirada da mata, plantio de arroz e braquiária, posteriormente, ocupada pela a atividade pecuária. Segundo esses autores, esse processo poderia reduzir a produtividade das pastagens. Assim, o custo de oportunidade de manter as áreas com Reserva Legal pode ser maior nos assentamentos quando se considera o tipo de tecnologia de produção, baseada na produção extensiva de baixa produtividade. A presença de assentamentos rurais de reforma agrária também pode estar associada ao aumento do custo de oportunidade por meio da insegurança e receio de ocupações de áreas não efetivamente incorporadas no processo produtivo – ocupadas com a Reserva Legal. Os dados quando aos assentamentos em cada município foram obtidos junto a BRASIL (2014a).

O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) foi obtido do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD (2015) para os períodos de 1991 e 2000 e foi incorporado à análise desagregado em suas 3 dimensões: longevidade, educação e renda. A dimensão para a renda foi utilizada como *proxy* para a renda e o desenvolvimento de cada município, assim como Souza, Moreira e Gomes (2011). Assume-se que o aumento da renda e do desenvolvimento leve à valorização das amenidades proporcionadas pelas matas e florestas, e, assim, reduza o custo de oportunidade de se conservar a reserva legal. A dimensão educação busca analisar a relação entre educação e a forma de utilização da produção agropecuária, ou seja, o uso de tecnologias de produção que necessitam menos das áreas das Reserva Legal. A dimensão longevidade busca captar a relação entre saúde e produtividade da agropecuária, e o consequente custo de oportunidade.

As variáveis binárias para bioma (Cerrado, Floresta Atlântica e Floresta Amazônica), clima (Af, Am, Aw, As, Cwa, Cwb, Cfa e Cfb) permitem analisar a diferença do custo de oportunidade advindo das condições edafoclimáticas dos municípios em virtude de diferenças na produtividade e das tecnologias de produção utilizadas. As variáveis de fronteira (Fronteira.MT e Fronteira.SP) foram incorporadas à análise como forma de contornar o efeito da borda ou problema da fronteira³⁸, conforme Anselin (1988) e Griffith (1985).

As variáveis binárias³⁹ para área ocupada por atividades agropecuárias (culturas permanentes, temporárias, pastagens naturais, pastagens plantadas, matas naturais, matas plantadas e áreas inaproveitáveis para a agropecuária) buscam captar a relação entre a ocupação da área e o custo de oportunidade.

Os mapas de coordenadas dos municípios de São Paulo e Mato Grosso para o cálculo da matriz de vizinhança necessárias para a estimação espacial foram obtidos junto ao IBGE. A densidade populacional foi calculada utilizando dados da Contagem Populacional de 1996 (IBGE, 2014d) e 2007 (IBGE, 2008) (número de habitantes do município) e dados do site Cidades@ (área da unidade municipal), ambos disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. O número de bancos públicos foi obtido junto ao Banco Central do Brasil

³⁸ Segundo Anselin (1988), o problema da fronteira surge quando o valor de uma variável de uma dada unidade espacial incluída na amostra (observada) depende dos valores de outra (s) unidade espacial não incluída na amostra (não observada).

³⁹ Helfand e Levine (2004), ao analisar os determinantes da eficiência técnica no Centro Oeste utilizaram variáveis semelhantes.

e o número de cursos de ciências agrárias foi obtido por meio dos microdados do Censo da Educação Superior junto ao INEP. Para a criação e análise das matrizes de vizinhos, estimação da estatística I de Moran e estimação dos efeitos diretos, indiretos e totais foi utilizado o pacote estatístico spdep (BIVAND; PIRAS, 2015; BIVAND; HAUKE; KOSSOWSKI, 2013); para a estimação dos testes de hipóteses múltiplas (teste F) foi utilizado o pacote car (FOX; WEISBERG, 2011); para a estimação dos testes de Hausman sem efeitos espaciais e o teste de presença de efeitos individuais foi utilizado o pacote plm (CROISSANT; MILLO, 2008); e para a estimação dos do modelo espacial em painel e teste de Hausman incorporando os efeitos espaciais foi utilizado o pacote estatístico splm (MILLO; PIRAS, 2012), sendo ambos os pacotes são do programa estatístico R (R CORE TEAM, 2015).

5 EVOLUÇÃO DA AGROPECUÁRIA DE SÃO PAULO E MATO GROSSO

Este capítulo apresenta uma breve contextualização de algumas características dos estados de São Paulo e Mato Grosso a serem consideradas no modelo de programação linear e no modelo econométrico. Inicialmente, as características edafoclimáticas de cada estado são apresentadas e comparadas; posteriormente, a presença do Estado por meio da legislação florestal, a infraestrutura de transportes disponível no estado, a educação e a rede bancária (incluindo a privada) são apresentadas; e, por fim, as características e evolução da agropecuária em cada estado (São Paulo e Mato Grosso) são descritas, confrontadas e interligadas às características edafoclimáticas e à atuação do governo em cada estado.

Desta forma, este capítulo objetiva fornecer subsídios para a melhor compreensão dos resultados a serem obtidos nos próximos capítulos e que tratam da eficiência técnica, ambiental e do custo de oportunidade da reserva legal para a produção agropecuária e seus determinantes.

O período de análise neste capítulo está focado a partir da década⁴⁰ de 1990, muito embora sejam apresentados alguns antecedentes relacionados à formação de cada estado e outros dados, almejando uma visão mais ampla de suas realidades.

5.1 Características edafoclimáticas

Na análise da produção agropecuária a sua dependência em relação ao meio ambiente (solo, clima, relevo, temperatura, entre outros) deve ser considerada, uma vez que esse determina o tipo de produto possível da produção agropecuária, os diversos sistemas de produção que podem ser adotados (MARTIN, 1993) e influi diretamente na produtividade, qualidade e forma com que os insumos serão alocados.

O relevo influencia diretamente o uso de máquinas e tratores na produção agropecuária. Áreas com declividade superior a 8% apresentam algum grau de limitação; se a declividade for superior a 13%, o uso de máquinas e implementos de uso comum será inviabilizado, mas podendo-se utilizar a tração animal e máquinas especiais. Entretanto, acima de 20% de declividade, as terras serão impróprias para a mecanização. Além da declividade, o uso de

⁴⁰ Análises sobre o comportamento da agropecuária brasileira para períodos anteriores podem ser consultadas em Almeida (2012b) e Bacha (2012).

máquinas no manejo do solo também deve considerar a pedregosidade, que pode impedir a mecanização (PEREIRA; LOMBARDI NETO, 2004).

O relevo do Mato Grosso é predominantemente plano e suave ondulado (3 a 8% de declividade). Esse relevo compreende a depressão do Sul da Amazônia e Planaltos do Sul da Amazônia ao Norte do Estado. Mais ao centro do estado, tem-se o Planalto e Chapada dos Parecis e a Depressão dos Rios Araguaia/Tocantins/Xingu e ao Sul tem-se o Planalto dos Guimarães e o Pantanal Mato-Grossense e do Guaporé. Esse estado possuiu seis tipos de climas diferentes, a saber: o Clima Tropical Monçoico (AM), Clima Tropical de Savana (AW), Clima Tropical de Savana com Primavera Quente, Clima Tropical do Pantanal, Clima Tropical de Altitude, Clima Tropical com Verão Chuvoso, apresentando temperatura mínima média de 17°C, nas regiões de clima tropical de altitude, e máxima média de 32°C no Tropical do Pantanal (FERREIRA, 2001).

No estado de São Paulo atenção deve ser dada para as áreas com declividade acima de 12% e que inviabilizam a colheita mecânica da cana (MANZATTO et al., 2009). O relevo desse estado é plano e suave ondulado a oeste. À medida que se desloca para leste, o relevo se torna ondulado (8 a 20% de declividade) e montanhoso. Assim, tem-se o Planalto da Bacia do Paraná ao oeste, enquanto ao leste tem-se o Patamares da Bacia do Rio Paraná, a Depressão Paulista, o Planalto Paulistano/Paranaense, a Serra da Mantiqueira e a Serra do Mar próximas ao litoral. A quase totalidade do estado se insere na zona climática Tropical Brasil Central e uma pequena porção está na zona de clima temperado (IBGE, 2012). Utilizando a classificação climática de Koeppen- Geiger, o clima do estado de São Paulo pode ser classificado em Clima equatorial (Af), Clima de monções (Am), Clima tropical de savana, com estação seca no inverno (Aw) ou no verão (As); Clima subtropical úmido, com inverno seco e verão quente (Cwa) ou com inverno seco e verão temperado (Cwb) e Clima oceânico, com versão quente (Cfa) ou verão temperado (Cfb), conforme Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura/Universidade de Campinas – CEPAGRI/UNICAMP (2014).

Considerando os biomas, no estado do Mato Grosso podem ser encontrados os biomas Amazônico (54% da superfície do estado), Cerrado (39%) e Pantanal (7%), enquanto que no estado de São Paulo podem ser encontrados o bioma Cerrado e da Mata Atlântica, correspondendo a 32% e 68%, respectivamente, do seu território (IBGE, 2014c). O mérito em considerar o bioma está na sua definição ampla, que incorpora as condições físicas

predominantes (clima, geomorfologia, pedologia, etc.), a vegetação e biodiversidade. Deve-se distinguir o bioma Amazônico da Amazônia Legal. O primeiro é uma divisão fisiográfica, enquanto o segundo é uma divisão política definida pela Lei nº 5.173, de 27 de outubro de 1966 e Lei Complementar nº 31, de 11 de outubro de 1977. A Amazônia Legal compreende todo o estado do Mato Grosso⁴¹, enquanto o bioma Amazônico compreende 54% desse estado.

No estado do Mato Grosso, o bioma Pantanal apresenta algumas limitações para a exploração agropecuária. Segundo Brasil (2010) e IBGE (2012), a produção agrícola é desaconselhável nessa área devido às enchentes periódicas e aos solos pouco férteis. Essas características fazem com que a pecuária extensiva seja predominante nessa área. Ademais, a Lei nº 8.830/2008 no seu Artigo 9º proíbe a implantação de projetos agrícolas, exceto a atividade agrícola de subsistência e a pecuária extensiva, na Planície Alagável da Bacia do Alto Paraguai do Mato Grosso.

Analisando os solos e sua potencialidade agrícola em cada estado (fertilidade do solo e as características físicas e morfológicas) a maior parte do estado do Mato Grosso apresenta baixa fertilidade, com baixa disponibilidade de nutrientes e excesso de alumínio, mas com boas características físicas e relevo plano a suave ondulado (IBGE, 2012). Assim, segundo Castro (2014), para que a produção agropecuária apresente boa produtividade os solos da região necessitam de adubação, para melhorar a fertilidade do solo, e aplicação de calcário para reduzir a acidez do solo, melhorar a disponibilidade dos nutrientes e reduzir a disponibilidade do alumínio. Ao sul do estado, a maior proporção das áreas é desaconselhável à prática agrícola pela fertilidade muito baixa, alta salinidade, reduzida profundidade, presença de pedregosidade ou rochosidade e textura arenosa (BRASIL, 2010; IBGE, 2012).

O estado de São Paulo, por sua vez, apresenta solos de baixa disponibilidade de nutrientes e excesso de alumínio na região dos Cerrados, solos com elevada potencialidade agrícola no oeste do estado e potencialidade regular no leste do estado pelo seu relevo montanhoso e declives acentuados advindos da Serra do Mar, restrições de drenagem e excesso de alumínio (IBGE, 2012). Assim, o estado de São Paulo também demanda fertilizantes e aplicação de calcários, mas

⁴¹ Segundo Artigo 45 da Lei nº 31, de 11 de outubro de 1977 “A Amazônia, a que se refere o art. 2º da Lei nº 5.173, de 27 de outubro de 1966, compreenderá também toda a área do Estado de Mato Grosso.” (BRASIL, p. 13729, 1997).

em menor quantidade, proporcionalmente, ao estado do Mato Grosso, haja vista que o primeiro apresenta solos com fertilidade natural mais alta que o segundo.

Desta forma, o relevo permite o uso de máquinas e implementos na quase totalidade dos estados, exceção da parte Sul no Mato Grosso (Pantanal) e na porção leste de São Paulo (Serra do Mar). Ambos os estados demandam o uso de calcário e fertilizantes para que a produção alcance boa produtividade, muito embora algumas áreas no estado de São Paulo apresentem mais alta fertilidade natural, o que reduz a necessidade de fertilizantes e calcário para que a produção agropecuária tenha boa produtividade.

Essas diferenças das características edafoclimáticas de cada estado e seus municípios determinam o potencial agrícola, a gama de atividades, ora limitando as atividades ora permitindo a diversificação e dinamismo da produção agropecuária.

5.2 Presença do Estado, legislação e atividades de apoio à produção agropecuária

Esta seção descreve e discute brevemente a presença do Estado na produção agropecuária, ora restringindo as ações dos produtores agropecuários (por meio da legislação, principalmente o Código Florestal) e ora apoiando a produção agropecuária por meio da construção de infraestrutura de transportes e armazenagem, de logística de comercialização, educação, crédito rural e rede bancária.

5.2.1 Legislação

A produção agropecuária está sujeita a diversas legislações, instruções normativas, decretos e outras. Para exemplificar pode-se citar a Lei Ordinária que determina os parâmetros para que um estabelecimento seja produtivo e que trata da reforma agrária (BRASIL, 1993), o Estatuto da Terra (BRASIL, 1964), a Instrução Normativa nº 25 (BRASIL, 2011) que fixa o limite máximo de resíduos e de contaminantes tolerados em frutas, verduras e legumes, as Leis que dispõem da política agrícola (BRASIL, 1991), de programas de crédito, como o PRONAF (BRASIL, 2001), rastreabilidade da cadeia bovina e bubalina (BRASIL, 2009), especifica as técnicas que devem ser utilizadas para que um produto seja orgânico (BRASIL, 2003) e a forma como o produtor pode utilizar a propriedade, como o Código Florestal (BRASIL, 2012b).

Dentre as Leis e regulações à qual a agropecuária está sujeita, o Código Florestal apresenta destaque por determinar áreas dentro dos estabelecimentos agropecuários que tem seu uso restrito ou proibido, que são as áreas de Reserva Legal, Áreas de Preservação Permanente (APPs) e as Áreas de Uso Restrito. Essa última foi criada no Novo Código Florestal, Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012b) e modificada pela Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012. Foram classificadas como áreas de uso restrito os pantanais e planícies pantaneiras, onde foi permitida a exploração ecologicamente sustentável desde que atendendo a normas técnicas oficiais, e áreas de inclinação entre 25° e 45°. Ademais, essa legislação é aquela da qual esse trabalho se baseia.

O Novo Código Florestal substituiu o código anterior de 1965 e suas alterações (Lei nº 4.771/1965) apresentando algumas mudanças em relação ao anterior. Uma das principais modificações do Novo Código Florestal trata da criação da área consolidada, definida como “área de imóvel rural com ocupação antrópica preexistente a 22 de julho de 2008, com edificações, benfeitorias ou atividades agrossilvipastoris, admitida, neste último caso, a adoção do regime de pousio” (BRASIL, 2012b, p. 16). A medida do nível dos rios foi alterada do nível mais alto para o nível regular para fins de consideração das Áreas de Preservação Permanentes das margens dos rios.

Outro ponto importante foi a criação do Cadastro Ambiental Rural (CAR). Esse é um registro eletrônico de âmbito nacional e obrigatório para todos os imóveis rurais, que fornecerá as informações quanto às Áreas de Preservação Permanente, Reserva Legal, Áreas de Uso Restrito, as áreas consolidadas nas propriedades e posses rurais. Com a criação do CAR, deixa de ser exigido a averbação da Reserva Legal à margem da inscrição de matrícula do imóvel⁴². O CAR foi um mecanismo encontrado para a regularização das propriedades que estavam inadequadas conforme a lei florestal anterior, sendo a inscrição nesse cadastro condição obrigatória para a adesão ao Programa de Regularização Ambiental (PRA). Assim, a criação do Cadastro Ambiental Rural criou diversos benefícios aos produtores rurais, como a regularização de Áreas de Preservação Permanente e Reserva legal alteradas até 22/07/2008 no imóvel rural e a

⁴² O artigo 17, § 4º da Lei nº 12.727, de 2012 define que “O registro da Reserva Legal no CAR desobriga a averbação no Cartório de Registro de Imóveis, sendo que, no período entre a data da publicação desta Lei e o registro no CAR, o proprietário ou possuidor rural que desejar fazer a averbação terá direito à gratuidade deste ato” (BRASIL, 2012b).

suspensão de sanções pelo uso irregular até 22/07/2008 de APP, Reserva Legal e Áreas de Uso Restrito

A Lei nº 4.771/1965 no seu artigo 16, parágrafo 6º, permitia o cômputo de áreas de preservação permanente no cálculo do percentual de reserva legal, entretanto, era necessário que a soma dessas duas áreas excedesse 80%, 50% e 20% da área total das propriedades rurais localizadas na Amazônia Legal; nas demais regiões do País; e para a pequena propriedade, respectivamente. A nova legislação concedeu maior flexibilidade nesse cômputo no seu artigo 15, condicionando que o benefício não implique em conversão de novas áreas, que a área a ser computada esteja conservada ou em processo de recuperação e que a inclusão do estabelecimento rural no CAR tenha sido requerida.

Foi criado o Programa de Apoio e Incentivo à Conservação do Meio Ambiente por meio da Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012, que permite que o governo federal apoie e incentive a conservação do meio ambiente e a adoção de tecnologias e boas práticas que reduzam os impactos ambientais por meio de pagamentos a serviços ambientais ou incentivos fiscais. Estão incluídas nesse programa o sequestro de carbono, conservação da beleza cênica, biodiversidade; das águas e dos serviços hídricos, regulação do clima, entre outros. Dentre os benefícios estão incluídos a concessão de crédito rural com menores taxas de juros, melhores condições na contratação do seguro agrícola, dedução das Áreas de Preservação Permanente, de Reserva Legal e de uso restrito da base de cálculo do Imposto sobre a Propriedade Territorial Rural (ITR), isenção de impostos para insumos e equipamentos, etc. Esse programa também instituiu a Cota de Reserva Ambiental (CRA), que é um título que representa a área com vegetação nativa, existente ou em processo de recuperação sob regime de servidão ambiental e que correspondente a área da Reserva Legal que excede aos percentuais mínimos exigidos conforme o Novo Código Florestal.

O Novo Código Florestal adicionou uma série de benefícios ou mecanismos específicos para a agricultura familiar, definida pela Lei nº 11.326/2006 (BRASIL, 2006), como a adoção de planos simplificados de manejo da Reserva Legal e elaboração, análise e aprovação dos Planos de Manejo Florestal Sustentável (PMFS), priorização dos agricultores familiares no pagamento e incentivos previstos no Programa de Apoio e Incentivo à Conservação do Meio Ambiente, dispensa de que o produtor familiar realize o levantamento das coordenadas geográficas da Reserva Legal no registro do CAR, devendo o registro no CAR ser gratuito e fornecido apoio

técnico e jurídico ao produtor, dispensa de autorização para intervenções e cortes de vegetação em APP e RL para imóveis inscritos no CAR e permissão de que árvores frutíferas, ornamentais ou industriais plantadas com árvores nativas em sistemas agroflorestais possam ser contados para completar a área mínima exigida para a Reserva Legal

Por fim, cabe destacar que o Novo Código Florestal não modificou os percentuais mínimos da lei anterior estipulados para a Reserva Legal, de forma que estabelecimentos rurais localizados Amazônia Legal devem manter 80%, 35% e 20% de sua área total com RL se o imóvel estiver situado em área de florestas, cerrado e campos gerais, respectivamente. Para demais regiões do país o percentual mínimo também continuou fixado em 20% da área.

5.2.2 Infraestrutura

A infraestrutura de transportes em São Paulo e Mato Grosso apresentam algumas diferenças importantes, sendo que ela é um fator de maior restrição no estado do Mato Grosso, devido à grande produção de agropecuária, distância do mercado consumidor e portos e às condições precárias das rodovias (principal meio de escoamento da produção agropecuária do Mato Grosso).

Considerando as rodovias, mesmo o estado do Mato Grosso possuindo uma área de 903.366,192 km² (IBGE, 2014a), esse estado possuía apenas 40.778,6 km de rodovias, sendo apenas 18% pavimentadas em 2013 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT, 2014a). Enquanto isso, o estado de São Paulo possuía 195.405,3 km de rodovias, sendo 15% pavimentadas (DNIT, 2014b). Assim, o primeiro estado tem uma densidade de rodovias, em quilômetros por quilômetros quadrados da área total do estado, de apenas 0,045 km/km² enquanto o segundo, 0,787 km/km².

A elevada proporção de rodovias não pavimentadas é um maior problema no estado do Mato Grosso, onde 68,3% e 4,5% das rodovias não pavimentadas são estaduais e federais (DNIT, 2014a), respectivamente. São as rodovias com jurisdição estadual ou federal as mais necessárias para o escoamento da produção agropecuária do Mato Grosso para o restante do país ou para exportação. Para o estado de São Paulo, apesar da baixa proporção das rodovias pavimentadas, a maior parte das não pavimentadas são de jurisdição municipal 99,3% (DNIT, 2014b)

Quanto às ferrovias, segundo Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT (2014), a extensão das principais linhas e ramais da rede ferroviária concedidas em 2008

compreende apenas a 104 quilômetros no estado do Mato Grosso, enquanto em São Paulo alcança 4.706 km, a segunda maior extensão do país, perdendo apenas para Minas Gerais.

Ademais, quando se considera a baixa capacidade de armazenamento da produção no estado mato-grossense, a infraestrutura de transportes assume maior importância, haja vista que a produção deve ser escoada rapidamente após a produção para os centros consumidores. Verifica-se que a maior capacidade de armazenamento de grãos no Mato Grosso se concentra no centro do estado, que também é a região com maior densidade rodoviária (Figura 5) e de maior produção de grãos.

Entretanto, há um descompasso entre capacidade de armazenamento e produção, que pode ser percebido quando se compara a capacidade estática de armazenamento da Conab e a produção estimada no Mato Grosso. Em julho de 2014, a capacidade estática de armazenamento cadastrada na Conab era 595,5 mil toneladas (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB, 2014) enquanto a produção de cereais estimada no Mato Grosso para a safra 2013/2014 era de 13.961,7 mil toneladas⁴³ (BRASIL, 2014). A baixa capacidade de armazenamento da produção agrícola leva ao colapso o sistema de transporte na época da safra, já que a maior parte da produção deve ser escoada (MENDES; PADILHA JÚNIOR, 2007).

⁴³ Foram considerados caroço de algodão, amendoim (1ª e 2ª safras), arroz, aveia, centeio, cevada, feijão (1ª, 2ª e 3ª safras), girassol, mamona, milho (1ª e 2ª safras), soja, sorgo, trigo e triticale.

Figura 5 - Rodovias estaduais e federais, hidrovia e capacidade estática de armazenamento (julho de 2014), Mato Grosso

Fonte: Elaboração própria com dados de BRASIL (2008) e CONAB (2014).

5.2.3 Cursos de ciências agrárias e instituições de pesquisa

O capital humano é um fator importante para melhorias da produtividade, facilitando a adoção de novas tecnologias, bem como propiciando o uso de técnicas de produção adequadas. Nesse sentido, será considerado o número de cursos presenciais na área de ciências agrárias em 1995 e 2006. Ademais, a presença de instituições de ensino ligadas à área agrária pode apresentar um efeito de dispersão de novas tecnologias e melhoria de produtividade sobre os produtores agropecuários dos municípios vizinhos.

Entre 1995 e 2006, o estado do Mato Grosso apresentou substancial elevação no número de cursos presenciais na área de ciências agrárias e no número de alunos matriculados. Em 1995, esse estado contava com 676 alunos matriculados e apenas três cursos (agronomia, engenharia florestal e medicina veterinária). Por outro lado, em 2006, o estado contava com 31 cursos e 3.764 alunos matriculados (INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA – INEP, 2014). Dentre os cursos destaca-se a

preocupação com a gestão do agronegócio⁴⁴, setor responsável por elevada parcela do PIB do Mato Grosso⁴⁵, sendo que somente entre 2003 e 2006 foram criados 4 cursos.

O estado de São Paulo, por outro lado, contava com 38 cursos na área de ciências agrárias e um total de 10.195 alunos matriculados em 1995, enquanto que em 2006 eram 19.889 alunos matriculados em 86 cursos. Nesse estado também foram criados alguns cursos considerados “novos” como 3 cursos que tratam da gestão de agronegócios e 4 cursos voltados especificamente para a produção sucroalcooleira, reflexo da importância que a produção de cana apresenta nesse estado. Além desses, foram criados novos cursos de medicina veterinária, gestão ambiental, agronomia e zootecnia.

Dentre os órgãos públicos de pesquisa agropecuária no estado de São Paulo podem ser destacadas as três universidades estaduais (com seus programas de pós-graduação), a Embrapa Instrumentação, a Embrapa Monitoramento por Satélite, a Embrapa Meio Ambiente, a Agência Paulista de Tecnologia (Apta) e o Instituto Agrônomo de Campinas. No Mato Grosso pode ser destacado a unidade da Embrapa Agrossilvipastoril, criada em 7 de maio de 2009 e inaugurada em julho de 2012, bem como o Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária, a Universidade Federal do Mato Grosso e a Universidade Estadual do Mato Grosso.

5.2.4 Rede bancária pública e crédito rural

O crédito rural tem um papel importante na produção agropecuária como forma e incentivar a produção agropecuária, haja visto que o produtor agropecuário se depara com riscos elevados de preços e de produção – pragas, doenças e condições do clima (BACHA, 2012). Nesse sentido, o número de agências bancárias e o número de municípios que as possui podem ser considerados como um facilitador na obtenção do crédito rural, bem como na comercialização da produção.

A comparação entre o número de agências nos estados de Mato Grosso e São Paulo (Figura 6 e 7) indica que o segundo apresenta quantidade superior. Entretanto, São Paulo também apresenta um número maior de municípios, assim, quando se compara o número de municípios

⁴⁴ O conceito agronegócio foi proposto por John Davis e Ray Goldberg, compreendendo a produção de insumos agropecuários (antes da porteira), a produção agropecuária na fazenda (dentro da porteira), processamento e distribuição (depois da porteira).

⁴⁵ Considerando apenas a produção agropecuária, essa respondeu por 22% do PIB estadual em 2009 (IPEA, 2014b)

com agências bancárias, o percentual não apresenta diferença significativa. No ano de 1994, São Paulo e Mato Grosso possuíam agências bancárias em 64% e 54% dos municípios, respectivamente, sendo que esse percentual aumentou para 66% e 57% em 2005, respectivamente.

Mesmo que a diferença do número de municípios com agências seja pequena, a disparidade no valor do crédito rural entre os estados é substancial. Por exemplo, em 2012, o valor concedido à produção agropecuária no estado do Mato Grosso foi de R\$ 9 bilhões, enquanto São Paulo recebeu R\$ 16 bilhões (em Reais de julho de 2014). Quando se analisa o financiamento concedido por finalidade (custeio, investimento e comercialização), a diferença no montante do crédito desses estados se deve ao valor financiado com custeio e comercialização. Tomando 2012 como exemplo, novamente, o valor financiado com custeio e comercialização em São Paulo foi de R\$ 9 bilhões e R\$ 3 bilhões, em Reais de julho de 2014, respectivamente. Por outro lado, o estado do Mato Grosso obteve R\$ 5,962 bilhões, em Reais de julho de 2014, para financiamento com custeio e comercialização, respectivamente. Esse viés no Mato Grosso para obtenção de crédito de custeio pode comprometer a produtividade agropecuária e ganhos de eficiência, quando comparado a São Paulo.

Figura 6 - Número de agências bancárias e valor do crédito rural, em bilhões de Reais de julho 2014, Mato Grosso

Fonte: Banco Central do Brasil – BACEN (2014a; b).

Nota: 1 Os valores do crédito rural incluem financiamentos concedidos a produtores e cooperativas.

2 Foi utilizado o Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna (FVG, 2014a) para o deflacionamento.

Figura 7 - Número de agências bancárias e valor do crédito rural, em bilhões de Reais de 2013, São Paulo

Fonte: BACEN (2014a; b).

Nota:1 Os valores do crédito rural incluem financiamentos concedidos a produtores e cooperativas.

2 Foi utilizado o Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna (FVG, 2014a) para o deflacionamento.

5.3 Produção agropecuária

O Mato Grosso apresenta uma economia mais dependente da produção agropecuária quando comparado ao estado de São Paulo. Essa importância da agropecuária pode ser observada por meio da representatividade da agropecuária sobre o PIB total estadual. Entre 1995 e 2009, a agropecuária representou, em média, 22% e 3% do valor total do PIB estadual do Mato Grosso e de São Paulo, respectivamente (IPEA, 2014b).

A diferença desses estados quanto à importância das atividades agropecuárias para a economia se deve à forma e ao período de ocupação do território. A ação do estado após a Proclamação da República foi o que permitiu a modernização da agricultura paulista (GONÇALVES, 1993). No período anterior ao desenvolvimento da cafeicultura, a agricultura paulista era rudimentar, predominantemente voltada para a subsistência. Isso se devia ao fato da cultura da cana de açúcar não ter se adaptado bem às condições edafoclimáticas do estado na época colonial e à competição da produção do Nordeste, mais próxima dos mercados consumidores (ARAÚJO et al., 2003). No século XIX, a cultura do cafeeiro expandiu-se no estado de São Paulo, inicialmente no Vale do Paraíba, e posteriormente, no Oeste paulista.

Segundo Nicholls (1970), essa expansão do café para o Oeste paulista, resultado da busca de solos virgens, permitiu a colonização e o desenvolvimento de boa parte do estado, completando sua colonização em 1935. A cultura do café trouxe benefícios para a economia do estado, uma vez que o deslocamento do café para o Oeste incentivou a construção de ferrovias e rodovias, infraestrutura de comunicação e serviços bancários e também incentivou a diversificação e desenvolvimento de outras culturas, cultivadas entre as colheitas do café, uma vez que esse demandava considerável mão de obra na colheita, como estratégia para manter a mão de obra ocupada (ARAÚJO et al., 2003). Essas características permitiram que a agricultura paulista desenvolvesse culturas alternativas quando a produção de café entrou em declínio, como algodão, cana-de-açúcar e citros (ARAÚJO et al., 2003). O nível tecnológico de São Paulo pode ser explicado pela política pública, que remete aos anos de 1970, atribuindo a essa o papel “fundamental e decisivo para transformar a agricultura paulista na mais moderna do país” (SEADE, 2003, p 476).

A ocupação do Mato Grosso, por sua vez, ganhou impulso apenas a partir do século XX, com o estímulo à ocupação dos cerrados via políticas de crédito rural para a expansão da agricultura comercial, políticas de colonização de terras públicas e incentivos fiscais para investimentos na Amazônia Legal (SICSÚ; LIMA, 2000). A estrutura produtiva do estado de Mato Grosso, segundo Cunha (2006), se deve, em grande medida à ação estatal de incentivo à modernização da agropecuária e integração dela a outros setores. Fatores fundamentais para a expansão da agropecuária nesse estado foram os baixos preços da terra, os baixos custos de produção e a possibilidade de praticar agricultura de grande escala na região do cerrado, segundo Sicsú e Lima (2000). Ademais, destaca-se que o norte do Estado do Mato Grosso apresenta ocupação recente baseada na agropecuária, constituindo-se em nova fronteira, o que não ocorre no estado de São Paulo.

Algumas características gerais da produção agropecuária desses estados podem ser observadas agrupando o valor da produção agropecuária em produtos animais, grãos e fibras, olerícolas, frutas frescas e produtos vegetais para a indústria, conforme proposto por Tsunechiro et al. (2001) para o estado de São Paulo. Destaca-se que a formação dos grupos não considerou apenas as atividades produtivas analisadas por aqueles autores, buscando, assim, a adaptação da metodologia ao estado do Mato Grosso. Os grupos formados foram:

- a) olerícolas: Abóbora, moranga, jerimum, abobrinha, acelga, agrião, aipo, alcachofra, alface, alho, alho-porró, almeirão, batata-baroa (mandioquinha), batata-doce, batata-inglesa, berinjela, beterraba, brócolis, bucha (esponja vegetal), cebola, cebolinha, cenoura, chicória, chuchu, coentro, couve, couve-flor, erva-doce, ervilha (vagem), espinafre, gengibre, hortelã, inhame, jiló, mandioca (aipim, macaxeira), manjeriço, maxixe, mostarda (semente), nabiça, nabo, pepino, pimenta, pimentão, quiabo, rabanete, repolho, rúcula, salsa, taioba, tomate (estaqueado) e vagem (feijão vagem);
- b) produtos vegetais para indústria: borracha (látex líquido), borracha (látex coagulado), café, cana-de-açúcar, goiaba, laranja e tomate rasteiro (industrial);
- c) grãos e fibras: algodão herbáceo, amendoim em casca, arroz em casca, feijão preto em grão, feijão de cor em grão, feijão fradinho em grão, feijão verde, milho em grão, soja em grão, sorgo em grão e trigo em grão;
- d) frutas frescas: abacate, abacaxi, ameixa, banana, caqui, carambola, goiaba, jabuticaba, kiwi, laranja, lima, limão, maçã, mamão, manga, maracujá, melancia, melão, morango, nectarina, nêspira, pera, pêssgo e uva (mesa);
- e) produtos animais: animais de grande porte, médio porte, aves e pequenos animais.

A Tabela 1 apresenta a importância de cada um desses grupos sobre o valor total da produção agropecuária de São Paulo e Mato Grosso nos anos de 1995/96 e 2006.

A maior representatividade do valor da produção agropecuária no estado de São Paulo se deve aos produtos animais e aos produtos vegetais destinados à indústria. Esses resultados foram semelhantes àqueles encontrados por SEADE (2003). A importância da produção da cana de açúcar no estado sobressai-se, sendo que sua participação no valor da produção agropecuária aumentou em 18 pontos percentuais entre os dois períodos de análise.

Para o estado do Mato Grosso, destacam-se os produtos animais e grão e fibras, destacando-se que esses grupos apresentaram comportamentos divergentes. Enquanto a participação dos produtos animais caiu de 36% para 25% do valor da produção agropecuária no Mato Grosso de 1995 para 2006, respectivamente; os grãos e fibras aumentaram de 50% para 63%, respectivamente. Entretanto, esses dois grupos se destacam como os principais responsáveis pelo valor da produção agropecuária do Mato Grosso. Essa importância pode ser explicada, em parte, pelo processo de integração entre elas, em que a produção de grãos fornece alimentação a baixo custo para a produção animal, conforme apontado por Siscú e Lima (2000). Essa

justificativa é corroborada por Figueiredo, Barros e Guilhoto (2005), que calcularam o índice de Hirschman-Rasmussen que indicou que o setor de abate de bovinos apresentava a maior interligação para trás, como mercado consumidor de outros setores da economia mato-grossense (desconsiderando o setor de serviços).

Tabela 1 - Percentual do valor da produção agropecuária, por grupos e período de análise para São Paulo e Mato Grosso

Grupos de produtos / Estados e períodos	São Paulo		Mato Grosso	
	1995/96	2006	1995/96	2006
Olerícolas	5%	5%	1%	0,3%
Produtos vegetais para indústria	47%	58%	12%	12%
Cana-de-açúcar	34%	52%	10%	12%
Grãos e Fibras	9%	6%	50%	63%
Soja em grãos	0,1%	0,1%	38%	36%
Frutas frescas	12%	6%	1%	0,2%
Produtos Animais	27,1%	25%	35,9%	25%
Aves e pequenos animais	10,7%	11,7%	2,7%	1,4%
Animais de grande porte	15,4%	12%	32,0%	24%
TOTAL	100%	100%	100%	100%

Fonte: IBGE (2014b; c)

Outro ponto de distinção entre esses estados é a escala de produção. A escala de produção média é maior no estado do Mato Grosso, tomando a área média dos estabelecimentos agropecuários (Tabela 2). A área média dos estabelecimentos agropecuários foi de 431 hectares em 2006 no Mato Grosso, enquanto no estado de São Paulo ela foi de 74 hectares no mesmo ano.

Entretanto, há uma tendência de aumento do número de estabelecimentos e redução da área total (Tabela 2), tanto no Mato Grosso como em São Paulo entre 1995/96 e 2006. A redução da área total dos estabelecimentos pode ser explicada pelo aumento da área urbana das cidades e pela criação de unidades de conservação e demarcação de terra indígenas. Após 1995, essas áreas incorporaram 24,655 mil e 2,806 milhões de hectares nos estados de São Paulo e Mato Grosso, respectivamente (IBGE, 2009). A redução do tamanho médio dos estabelecimentos pode ser explicada tanto pela redução da área total como pelo aumento do número dos estabelecimentos agropecuários.

Tabela 2 - Indicadores censitários da evolução da agropecuária de São Paulo e Mato Grosso, 1995/96 e 2006

Itens / Estados / Anos	Mato Grosso		São Paulo	
	1995/96	2006	1995/96	2006
Número estabelecimentos	78.762	112.987	218.016	227.622
Área estabelecimentos (ha)	49.839.631	48.688.711	17.369.204	16.954.949
Lavouras permanentes (ha)	169.734	408.550	1.368.614	1.692.728
Lavouras temporárias (ha)	2.782.011	6.018.182	3.887.554	5.293.118
Pastagens naturais (ha)	6.189.573	4.404.283	2.006.431	2.900.859
Pastagens plantadas (ha)	15.262.488	17.658.375	7.055.823	4.075.380
Matas naturais (ha)	21.475.765	19.106.923	1.352.379	1.917.285
Matas plantadas (ha)	67.829	69.714	597.000	372.563
Área média estabelecimentos (ha)	633	431	80	74
Área utilizada	28.296.037	29.512.074	15.419.825	14.665.101
Pessoal Ocupado (unidades)	326.767	358.336	914.954	910.848
Tratores (unidades)	32.752	42.330	170.573	145.346
Bovinos (cabeças)	14.438.135	20.666.147	12.306.790	10.506.430

Fonte: IBGE (2014a; 2014b).

Nota: 1 ha – hectare.

2 Área utilizada corresponde à área total dos estabelecimentos excluindo a área coberta com matas nativas e plantadas.

Os dados apresentados para número de bovinos para o estado do Mato Grosso e sobre a área ocupada com lavouras temporárias indicam que ambos apresentaram crescimento no período de 1995/96 a 2006. Desta forma, apesar dos produtos animais terem reduzido sua contribuição percentual para o valor da produção agropecuária no período (Tabela 1), os dados indicam que essa razão da queda não é necessariamente a redução da atividade no estado, mas sim o maior crescimento do grupo de grãos e fibras, muito embora estejamos considerando apenas os bovinos (os principais responsáveis pelo valor da produção animal no Mato Grosso).

Os indicadores para uso de tratores e pessoal ocupado são substancialmente maiores para São Paulo do que para Mato Grosso, mesmo este último possuindo maior área agropecuária, aproximadamente quase três vezes maior que São Paulo. A maior utilização de mão de obra e tratores no estado de São Paulo, quando comparado ao Mato Grosso, pode ser explicado, em parte, pelas principais atividades agropecuárias em cada um desses estados. O estado do Mato Grosso apresenta uma área ocupada maior com pastagens, proporcionalmente, destinadas à produção animal, e culturas temporárias, enquanto São Paulo apresentou maior área ocupada com culturas temporárias, pastagens plantadas e culturas permanentes.

A maior mecanização e inovações tecnológicas juntamente com a introdução de novos produtos e as mudanças na legislação trabalhista contribuíram para a queda do número de pessoas empregadas na produção agropecuária (FIGUEIREDO; BARROS; GUILHOTO, 2005). Somando a esses fatores, pode ter contribuído para a queda do uso de mão de obra no período no estado de São Paulo a redução da utilização do fogo para o corte da cana-de-açúcar e a expansão da mecanização nessa cultura (STADUTO; SHIKIDA; BACHA; 2004). A redução da utilização da queima se deve à legislação paulista (Lei Estadual nº 11.241 de 19/09/2002) que estipulou cronograma de redução da área em que a palha da cana pode ser queimada, devendo ser extinta em 2021 e em 2031 para áreas mecanizáveis e não mecanizáveis, respectivamente. O impacto da cultura da cana de açúcar no estado pode ser percebido quando se considera que a área colhida com cana-de-açúcar ocupou 18% da área total dos estabelecimentos agropecuários desse estado em 2006 (IBGE; 2014c), gerando 52% do valor da produção agropecuária em 2006 (Tabela 1).

Por outro lado, o efeito das inovações tecnológicas não apresentaria grande importância na utilização de mão de obra no estado do Mato Grosso, uma vez que nesse estado a produção de grãos apresenta maior importância e – segundo Staduto, Shikida e Bacha (2004) – o setor de grãos já apresentava elevado uso da mecanização. A área colhida com milho, soja e trigo representou 10% da área total dos estabelecimentos ou 18% da área total utilizada pela agropecuária no Mato Grosso em 2006, ademais, a produção de grãos respondeu por 63% do valor da produção agropecuária nesse estado (Tabela 1).

Entre os anos de 1995 e 2006 também se destaca a expansão do rebanho bovino no estado do MT e seu baixo padrão tecnológico, conforme observado por SEADE (2014). Ademais, o elevado número de cabeças de bovinos no MT pode ser explicado pelo gado ser utilizado como forma de apropriação e legitimação da terra, conforme destacado por Bonjour, Figueiredo e Marta (2008).

Analisando a utilização das terras nos estabelecimentos agropecuários do MT e SP (Tabela 3), destaca-se a baixa utilização das terras no MT com matas plantadas e lavouras permanentes, enquanto em SP há uma menor heterogeneidade da distribuição da área utilizada, que se concentra em pastagens plantadas e lavouras temporárias.

Tabela 3 - Evolução da utilização da área no Mato Grosso e São Paulo, em percentual, 1995/96 e 2006

Itens / Estados / Anos	Mato Grosso		São Paulo	
	1995	2006	1995	2006
Área lavoura permanente /AE	0,3%	0,8%	7,9%	10,0%
Área lavouras temporária /AE	5,6%	12,4%	22,4%	31,2%
Área pastagens naturais /AE	12,4%	9,0%	11,6%	17,1%
Área pastagens plantadas /AE	30,6%	36,3%	40,6%	24,0%
Área matas naturais/AE	43,1%	39,2%	7,8%	11,3%
Área matas plantadas /AE	0,1%	0,1%	3,4%	2,2%
Áreas inaproveitáveis/AE	7,9%	2,2%	6,3%	4,2%
Total	100%	100%	100%	100%

Fonte: IBGE (2014a; 2014b).

Nota: AE – área dos estabelecimentos.

A área ocupada nos dois estados indica a predominância da porção utilizada com pastagens plantadas e lavouras temporárias e a maior importância de lavouras temporárias em relação às culturas permanentes. Essa utilização era esperada e indica a importância da produção de grãos (no Mato Grosso) e cana de açúcar (em São Paulo) e da produção de carnes, baseado em pastagens. Por sua vez, a importância da área ocupada com lavouras temporárias aumentou em ambos os estados entre 1995/96 e 2006, enquanto a área com pastagens plantadas aumentou sua importância no MT e reduziu-a em SP. Segundo Espindola et al. (2011), o aumento da área com pastagens e culturas temporárias (Tabela 2 e 3) é resultado da conversão de áreas de matas para a criação em larga escala de bovinos e posteriormente para o plantio de soja. Destaca-se que o cultivo da soja é baseado em grandes investimentos por parte dos produtores e pela pesquisa e melhoramento genético das variedades.

O aumento relativo da área com pastagens plantadas e a redução relativa na área de pastagens naturais no Mato Grosso podem ser explicados pelo aumento da produtividade da pecuária (Tabela 4). O número de cabeças de bovinos por hectare de pastagem aumentou de 0,67 para 0,94 no Mato Grosso e de 1,36 para 1,51 em São Paulo entre 1995/96 e 2006, respectivamente. Segundo Bonjour, Figueiredo e Marta (2008), esse aumento para o Mato Grosso pode ser atribuído ao aumento da eficiência dos produtores e ganhos de produtividade com utilização do confinamento e uso de biomassa.

Chama a atenção os percentuais da área dos estabelecimentos ocupadas com matas naturais, muito abaixo do legalmente estabelecido pelo código florestal, considerando apenas a

reserva legal, embora o estado de São Paulo tenha apresentado uma pequena elevação no percentual da área ocupada pelas matas naturais. O Estado de MT está inserido na Amazônia Legal, sendo permitido o corte raso de apenas 20% na área da Floresta Amazônia e 65% nas áreas de cerrado. Na região do Pantanal não é permitido o desmatamento. Desta forma, a área com florestas destinadas apenas à reserva legal seria equivalente a aproximadamente 63,5% da área total dos estabelecimentos agropecuários, enquanto o efetivamente observado foi de aproximadamente 40%. No estado de SP, a área mínima estabelecida é 20% da área total, entretanto, em 2006 representava 11,3%.

Tabela 4 - Comparativo do uso de insumos e receitas para São Paulo e Mato Grosso, 1995/96 e 2006

Itens / Estados / Anos	Mato Grosso		São Paulo	
	1995/96	2006	1995/96	2006
Pessoas ocupadas/AE (em mil ha)	6,56	7,36	52,7	53,7
Área utilizada (ha) /homem	87	82	17	16
Bovinos (cab.) /AE	0,29	0,42	0,71	0,62
Bovinos (cab.)/ Pastagens (ha)	0,67	0,94	1,36	1,51
Tratores /AE (mil ha)	0,66	0,87	9,82	8,57
Financiamento (em R\$ de 2006) /AE	10,41	51,18	111,76	228,81
Investimento (em R\$ de 2006) /AE	23,08	25,93	162,32	218,44
Defensivos (em R\$ de 2006) /área utilizada (ha)	92,05	292,88	451,66	664,46
Defensivos (em R\$ de 2006) /AE	45,07	171,37	372,33	547,17
Receitas (em R\$ de 2006) /área utilizada (ha)	196,96	368,86	1.968,60	1.806,08
Receitas (em R\$ de 2006) /AE	96,44	215,83	1.622,83	1.487,27
Receitas (em R\$ de 2006)/ Defensivos (R\$ de 2006)	2,14	1,26	4,36	2,72
Receitas (em R\$ de 2006) /trator	146.756	248.253	165.251	173.494
Receitas (em R\$ de 2006) /PO	14709,44	29325,96	30807,34	27684,81

Fonte: IBGE (2014a; 2014b).

Nota: 1 ha – hectare; AE – área dos estabelecimentos, em ha; PO – pessoas ocupadas, em unidades; cab. – cabeças.

2 A área utilizada corresponde à área total dos estabelecimentos excluindo a área coberta com matas nativas e plantadas.

3 As variáveis “Financiamentos” e “Investimento” foram deflacionados pelo Índice Geral de Preços - Disponibilidade Interna para dezembro de 2006.

4 A variável “Defensivos” corresponde ao somatório das despesas efetuadas pelos estabelecimentos em adubos, corretivos do solo, sementes e mudas, agrotóxicos, medicamentos para animais, sal e rações (industrializados ou não-industrializados), energia elétrica e combustíveis, em Reais de dezembro de 2006 deflacionado pelo índice de preços pagos pelos produtores, por estado.

5 As receitas foram deflacionadas usando o Índice de Preços Recebidos pelos Agricultores, para dezembro de 2006.

Destaca-se também que o estado do Mato Grosso apresentou uma substancial melhora na produtividade de mão de obra (a receita gerada por pessoa empregada ao ano), que aumentou de R\$ 14.709,44 para R\$ 29.325,96 (a preços de dezembro de 2006). Observa-se também que esse estado aumentou a relação receita/insumos produtivos na grande maioria, exceção à relação receita/defensivos. Ademais, os dados indicam o aumento no uso dos insumos (terra, mão de obra e defensivos).

Entretanto, há uma diferença substancial na geração de receita por hectare entre os estados. Esse resultado pode ser relacionado ao custo da terra em cada estado: em dezembro de 2006, 1 hectare de lavoura custava no Mato Grosso e São Paulo, respectivamente, R\$ 4.485,62 e R\$ 9.940,44 e um 1 hectare de pastagem custava R\$ 1.819,00 e R\$ 7.185,27, respectivamente (FGV, 2014b).

A produtividade parcial de alguns fatores no estado de São Paulo apresentou comportamento diferente quando comparado ao Mato Grosso. Apesar do primeiro apresentar maior receita por pessoa ocupada, trator, área e defensivos quando comparado ao segundo, São Paulo apresentou queda em quase todos os indicadores para a geração da receita por insumo entre 1995/96 e 2006.

Entretanto, a redução da geração da receita em relação aos insumos, em São Paulo, ou seu aumento, no estado do Mato Grosso, não permite indicar que necessariamente a eficiência produtiva e a produtividade tenham aumentado ou diminuído, o que irá depender da proporção no uso de todos os fatores, uma vez que a geração de receita por todos os fatores não apresentou queda e alguns fatores tiveram aumento na relação receita/insumo. Tão pouco é possível afirmar qual estado foi eficiente na produção agropecuária e qual foi ineficiente, uma vez que esses são conceitos que incluem todos os insumos e produtos simultaneamente. Assim, o capítulo subsequente tratará desse ponto, calculando a eficiência técnica para São Paulo e Mato Grosso para o produtor representativo em nível municipal, bem como a eficiência técnica ambiental e o custo de oportunidade da Reserva Legal (usando as equações do capítulo 4). Os determinantes do custo de oportunidade serão estudados em maiores detalhes no capítulo 7.

6 EFICIÊNCIA TÉCNICA, TÉCNICA AMBIENTAL E CUSTO DE OPORTUNIDADE DO CÓDIGO FLORESTAL ENTRE 1995 E 2006

Esse capítulo, inicialmente, apresenta os procedimentos adotados para a compatibilização e organização dos dados entre os Censos Agropecuários de 1995/96 e 2006. Posteriormente, as estatísticas descritivas dos dados utilizados são apresentadas para cada estado (Mato Grosso e São Paulo) a cada ano analisado. Subsequentemente, as estimativas da eficiência técnica, técnica ambiental e custo de oportunidade são apresentados e analisados.

6.1 Compatibilização e organização dos dados

Como mencionado anteriormente, os dados para os anos de análise foram compatibilizados segundo a metodologia proposta por Paiva (2007; 2008). Ademais, os municípios em que não foi possível obter alguma das variáveis e/ou que a receita agropecuária foi igual a zero em pelo menos um dos anos analisados foram retirados da análise. Esse procedimento implicou na retirada de 33 municípios no estado de São Paulo: Águas de São Pedro, Barueri, Bertioga, Caieiras, Campo Limpo Paulista, Carapicuíba, Cubatão, Cotia, Diadema, Embu, Ferraz de Vasconcelos, Francisco Morato, Guarujá, Ilha Comprida, Ilhabela, Itapevi, Itaquaquecetuba, Jandira, Juquitiba, Mauá, Mongaguá, Osasco, Pirapora do Bom Jesus, Praia Grande, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Santana de Parnaíba, Santos, São Caetano do Sul, São Lourenço da Serra, São Sebastião, São Vicente e Taboão da Serra.

Para o estado do Mato Grosso, os municípios que possuem parte de sua área inserida no bioma Pantanal foram retirados da análise, uma vez que esse bioma apresenta características próprias e que tornam a produção agropecuária limitada, principalmente quando se considera as enchentes periódicas⁴⁶ (BRASIL, 2010). Esses municípios retirados da análise foram: Barão de Melgaço, Cáceres, Curvelândia, Cuiabá, Figueirópolis D'Oeste, Glória D'Oeste, Itiquira, Juscimeira, Lambari D'Oeste, Mirassol d'Oeste, Nossa Senhora do Livramento, Poconé, Porto Esperidião, Santo Antônio do Leverger e Várzea Grande.

⁴⁶Como dito anteriormente, a Lei nº 8.830/2008 no seu Artigo 9º proíbe a implantação de projetos agrícolas, exceto a atividade agrícola de subsistência e a pecuária extensiva na Planície Alagável da Bacia do Alto Paraguai de Mato Grosso.

Após esses procedimentos foram totalizadas 1.390 observações e a eficiência técnica, técnica ambiental e o custo de oportunidade foram calculados utilizando, respectivamente, as equações (9), (11) e (13) apresentadas no Capítulo 4.

Para a variável “desmatamento” foi necessário utilizar um procedimento para que essa variável apresentasse valores maiores do que zero, como suposto pela função de produção (Equação 3). Essa variável apresentou valores negativos uma vez que alguns municípios, como Aripuanã – MT, apresentavam área de matas nativas superior à legalmente exigida para a Reserva Legal, o que implicou em desmatamento “negativo”.

Esse procedimento consiste em adicionar uma constante a todas as observações daquela variável que apresenta valores nulos ou negativos de forma que os novos valores dessa variável sejam positivos e maiores do que zero. Nesse sentido, foi necessário adicionar o valor de 330,750 para que variável para a Reserva Legal apresentasse valor positivo e maior do que zero. Esse método é largamente utilizado na literatura que trata da Análise Envoltória de Dados e é chamado de “*translation*”. Quando se utiliza esse procedimento é necessário atentar se o resultado ótimo não será alterado, ou seja, o resultado seja “*translation invariant*” (SHARP; MENG; LIU, 2007). Com efeito, pode ser demonstrado que a equação (10) para o modelo de produtos indesejáveis proposta por Zhou, Ang e Poh (2008) não tem seu valor ótimo alterado quanto uma constante é adicionada ao valor dos produtos indesejáveis, quando se pressupõem retornos variáveis à escala⁴⁷.

6.2 Estatísticas descritivas das variáveis analisadas por unidade da federação e ano

As estatísticas descritivas⁴⁸ dos dados utilizados para a estimação da eficiência técnica, ambiental e do custo de oportunidade estão apresentados na Tabela 5 por estado e ano analisado. Para a estimação da eficiência técnica (equação 9), o desmatamento não foi considerado, conforme descrito anteriormente. Essa variável foi acrescentada ao modelo, posteriormente, por meio de uma nova restrição, o que permitiu estimar a eficiência técnica ambiental (equação 11)

⁴⁷ Ver Anexo III para a demonstração.

⁴⁸ Conforme apresentado na seção 4.3 Fonte e tratamento dos dados, as variáveis utilizadas referem-se a um produtor representativo médio de cada município. Por exemplo, a receita agropecuária de cada produtor representativo médio para cada município foi obtida dividindo o valor total da receita agropecuária de cada município pelo seu respectivo número de estabelecimentos agropecuários.

sobre a pressuposição de descartabilidade fraca (*weak disposability*). Por fim, o índice de eficiência baseado nas folgas (*“Slacks-Based Efficiency Index”* – SBEI) – equação 12 – foi calculado.

Tabela 5 - Estatísticas descritivas para as variáveis utilizadas na Análise Envoltória de Dados, por estado e período de análise

Variáveis	Observações	1995/96			2006		
		Média	Desvio Padrão	C.V.	Média	Desvio Padrão	C.V
Mato Grosso							
Receita (em mil R\$ dez 2006)	103	99,5	161,3	1,6	150,6	296,2	2,0
Área produtiva (ha)	103	432,7	459,3	1,1	357,6	381,6	1,1
Mão de obra (un.)	103	4,7	2,6	0,5	3,4	1,6	0,5
Bovinos (cabeças)	103	223,2	155,3	0,7	223,7	191,2	0,9
Defensivos (mil R\$ dez 2006)	103	46,2	90,1	2,0	101,4	283,5	2,8
Tratores (unidades)	103	0,6	0,7	1,2	0,6	0,7	1,2
Desmatamento (ha)	103	51,7	165,6	3,2	91,8	107,8	1,2
Desmatamento2 (ha)	103	913,0	161,3	0,2	763,4	691,2	0,9
São Paulo							
Receita (mil R\$ dez 2006)	592	171,1	228,1	1,3	160,0	250,9	1,6
Área produtiva (ha)	592	88,0	81,6	0,9	86,2	94,5	1,1
Mão de obra (un.)	592	5,2	5,2	1,0	5,7	14,4	2,5
Bovinos (cabeças)	592	64,8	64,0	1,0	50,7	44,3	0,9
Defensivos (mil R\$ dez 2006)	592	39,6	60,5	1,5	60,2	349,4	5,8
Tratores (unidades)	592	0,9	0,9	1,0	0,8	0,9	1,1
Desmatamento (ha)	592	5,5	31,6	5,8	7,7	21,3	2,8
Desmatamento2 (ha)	592	2.463,7	6.704,9	2,7	2.074,6	4.464,2	2,2

Fonte: Resultados da Pesquisa

Nota: C.V. – Coeficiente de variação = (desvio padrão/média).

O estado do Mato Grosso apresentou, em média, tendência de queda no uso dos fatores de produção (excetuando-se bovinos e defensivos), aumento na receita agropecuária, desmatamento e da dispersão em torno da média entre os anos 1995 e 2006. O coeficiente de variação para a receita agropecuária do Mato Grosso aumentou de 1,6 para 2 e de 2 para 2,8 para os defensivos. O estado de São Paulo, por sua vez, apresentou tendência de queda da receita agropecuária, aumento no uso de mão de obra, desmatamento e da dispersão das variáveis para mão de obra,

defensivos e desmatamento. Desta forma, pode-se inferir que houve um aumento na heterogeneidade entre os municípios do estado de Mato Grosso quanto à receita agropecuária e uso de defensivos, enquanto para os municípios paulistas, esses apresentaram uma maior heterogeneidade no uso de defensivos, emprego de mão de obra e desmatamento.

6.3 Eficiência técnica, técnica ambiental e custo de oportunidade

Os valores médios para a eficiência técnica para os estados e por ano de análise (Tabela 6) indicam que o desempenho médio dos municípios foi baixo no período, sendo a menor média para o estado de Mato Grosso em 1995/96, de apenas 0,19 ou 19%. Haveria, assim, um desperdício de aproximadamente 81%, na média, dos recursos produtivos. Chama também a atenção que o maior escore de eficiência técnica para a produção agropecuária no Mato Grosso em 1995/96 tenha sido apenas 0,69 ou 69%, não apresentando nenhum município tecnicamente eficiente nesse período. Isso indica que nenhum dos municípios do Mato Grosso pode ser considerado como tecnicamente eficiente, resultado que pode advir do uso em excesso de insumos, baixa produção do produto desejável (receita agropecuária) ou ambos, que pode ser identificado e estimado por meio das folgas dos insumos e produtos. A ineficiência técnica pode ser atribuída à falta de treinamento quanto às técnicas de produção, como controle de pragas, doenças, plantas daninhas (KEIL, BIRNER; ZELLER, 2007) e falhas no acesso à informação (PIOT-LEPETIT; VERMERSCH, WEAVER, 1997).

A comparação feita anteriormente (Tabela 4) entre os estados para a receita e uso de insumos já havia indicado que o estado do Mato Grosso em 1995/96 apresentava um desempenho produtivo inferior que São Paulo e abaixo que o próprio estado em 2006. Ademais, a mesma comparação havia indicado uma melhoria do desempenho do MT em 2006 e uma piora de alguns indicadores no estado de SP. Entretanto, essa queda de alguns indicadores em SP não foi suficiente para reduzir sua eficiência, pelo contrário, seu desempenho melhorou no período analisado, embora essa melhoria tenha sido de apenas 3 pontos percentuais, em média, entre 1995/96 e 2006. Sua eficiência técnica média aumentou de 0,27 para 0,30.

A imposição da restrição para o desmatamento da Reserva Legal aumentou a homogeneidade dos produtores em relação à distância da fronteira de produção de forma que o escore de eficiência aumentou, 13 pontos percentuais, em média, para todos os estados. Por

exemplo, a eficiência técnica de SP em 2006 foi de 0,30, enquanto sua eficiência ambiental foi de 0,43, um aumento de 13 pontos percentuais. O maior aumento relativo foi para o estado do Mato Grosso em 1995/96 que quase dobrou sua eficiência, que aumentou de 0,19 para 0,32, muito embora esse seja o estado com menor desempenho, tanto ambiental como técnico. Esse estado também foi aquele que apresentou o maior custo de oportunidade em função da restrição ambiental no período de 1995/96 (indicado por meio da média para SBEI), ou seja, o código florestal representou uma maior restrição para a produção agropecuária em ambos os períodos no Mato Grosso. Para 1995, o código florestal representou uma queda na receita (potencial) de 31% $[(1-0,69)*100]$, permanecendo praticamente inalterada no ano de 2006 em 30% nesse estado. Observa-se que o custo de oportunidade entre os estados ficou entre 25% $[(1-0,75)*100]$ a 31% $[(1-0,69)*100]$ –para São Paulo no ano de 1995/96 e o Mato Grosso em 1995/96, respectivamente.

Tabela 6 - Estatísticas descritivas para as estimativas de eficiência técnica, técnica ambiental e SBEI por Unidade da Federação e período

Variáveis	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Mato Grosso, 1995/96					
Eficiência técnica	103	0,19	0,09	0,09	0,69
Eficiência técnica ambiental	103	0,32	0,22	0,10	1
SBEI	103	0,69	0,17	0,16	1
Mato Grosso, 2006					
Eficiência técnica	103	0,24	0,11	0,10	1
Eficiência técnica ambiental	103	0,38	0,22	0,11	1
SBEI	103	0,70	0,16	0,25	1
São Paulo, 1995/96					
Eficiência técnica	592	0,27	0,16	0,07	1
Eficiência técnica ambiental	592	0,38	0,21	0,07	1
SBEI	592	0,75	0,17	0,32	1
São Paulo, 2006					
Eficiência técnica	592	0,30	0,19	0,10	1
Eficiência técnica ambiental	592	0,43	0,23	0,10	1
SBEI	592	0,72	0,19	0,23	1

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Nota: Destaca-se que o cálculo do desempenho foi executado considerando apenas uma fronteira de produção, o que permite a comparação das estimativas.

O custo de oportunidade é consequência das técnicas de produção que se baseiam na incorporação da área da Reserva Legal no processo produtivo agropecuário, e ao consequente não cumprimento da legislação florestal. O desrespeito da legislação pode ser atribuído à fraca fiscalização e à valorização da terra, que compensaria o valor das multas (IGARI; TAMBOSI; PIVELLO, 2009). Segundo Ehlers (2003), que analisou o aumento das áreas de floresta na Mata Atlântica no estado de São Paulo, uma fiscalização mais severa e políticas para o desenvolvimento do ecoturismo seriam estratégias que incentivariam os produtores a adotar práticas de produção menos dependentes das áreas da Reserva Legal.

Os resultados indicam que o efeito da Reserva Legal (RL) sobre a rentabilidade manteve-se constante no período, sendo o custo para São Paulo pouco inferior ao do Mato Grosso, em termos percentuais. Esses resultados indicam que não houve melhoria significativa no gerenciamento da produção agropecuária, uma vez que, na média, há um elevado desperdício ou mal uso dos insumos e na geração do produto agropecuário (receita). Esses resultados também podem ser atribuídos à tecnologia de produção, ou seja, o número de produtores agropecuários que utilizam uma tecnologia inadequada e defasada com equipamentos depreciados pode ser elevado, implicando em desperdício no uso dos insumos e menor produtividade. A defasagem da tecnologia pode ser explicada pela menor proporção do crédito de investimento sobre o valor do crédito total, como apresentado no Capítulo 5, anteriormente. Entretanto, outros fatores sobre os quais o produtor não possui controle podem interferir na eficiência, tais como as características do solo, clima, infraestrutura local, qualidade da mão de obra, entre outros, conforme destacado por Campos, Coelho e Gomes (2012). Ademais, pode-se inferir que a forma como os produtores gerenciam a área de reserva legal não apresentou modificações, sendo que o sistema produtivo continuou dependente da área de Reserva Legal, de forma que a adequação à legislação florestal com a redução da utilização da área da Reserva no processo produtivo agropecuário implicaria em elevados custos para os produtores.

Comparando a diferença de desempenho dos produtores mato-grossenses no período de 1995/96 nota-se que enquanto o desempenho técnico máximo atingido pelos seus respectivos municípios nesse período foi 69%, 15 municípios atingiram a eficiência ambiental (escore de eficiência igual à unidade), havendo uma correlação de 81,89%, significativa a 1%, entre essas duas variáveis. Assim, embora o cálculo da eficiência técnica desconsiderando a RL tenha penalizado alguns produtores que apresentavam uma maior área coberta com matas mas

produziam menos, implicando em melhor cumprimento da legislação florestal, esse resultado indica uma relação positiva entre a proteção ambiental (considerando a manutenção da RL) e a eficiência técnica para esse estado em 1995/96. Essa relação também foi encontrada por Wilson, Hadley e Asby (2001), que consideraram que os produtores mais preocupados com o meio ambiente indiretamente utilizavam os insumos de forma mais eficiente, evitando desperdícios.

Para melhor visualização da dispersão dos resultados sobre a eficiência técnica, eles estão apresentados por meio de histogramas. O desempenho técnico agropecuário dos estabelecimentos agropecuários (Figura 8) foi predominantemente baixo, sendo que o desempenho dos produtores se concentra no escore de eficiência até 0,4 ou 40%. Poucos produtores foram eficientes. Somando o número de produtores eficientes em todos os períodos e estados (escore igual a 1), o percentual não ultrapassou 4% do total de produtores, o que indica a necessidade de ações de correção de desempenho da produção agropecuária dado o elevado desperdício de recursos. Esse comportamento assimétrico para os escores de eficiência tem sido apresentado em diversos estudos na literatura sobre a agropecuária (CAMPOS, COELHO; GOMES, 2012; GOMES et al., 2009a, b; HOMEM DE SOUZA, 2003; NOGUEIRA, 2005; SUN et al. 2014).

Quando se comparam os valores médios para os estados entre os períodos constata-se que São Paulo apresentou o melhor desempenho, seja técnico ou ambiental. Souza e Gomes (2015) encontraram relação semelhante ao analisar apenas a eficiência econômica dos estados brasileiros para 1995/1996 e 2006, em que o estado do Mato Grosso obteve eficiência média de 0,28, enquanto o estado de São Paulo foi eficiente em ambos os períodos. Esse estudo também indicou a melhoria no desempenho no estado do Mato Grosso, de 0,20 para 0,36.

O melhor desempenho do estado de São Paulo em relação ao Mato Grosso pode ser explicado pela pressão por eficiência advinda do maior custo dos fatores de produção em São Paulo, como a terra e mão de obra. Como apresentado anteriormente, em dezembro de 2006, 1 hectare de lavoura custava no Mato Grosso e São Paulo, respectivamente, R\$ 4.485,62 e R\$ 9.940,44 (FGV, 2014b).

Todavia, os resultados apresentados (Tabela 6 e Figura 8) indicam uma maior ineficiência quando comparados a outros estudos sobre a produção agropecuária brasileira (ALMEIDA, 2012b; NOGUEIRA, 2005; VICENTE, 2004). Contudo, é necessária cautela quando se comparam resultados entre estudos. Primeiramente, quanto maior é o número de firmas (DMUs) e menor é o número de insumos incorporadas à análise, menor tende a ser os escores de eficiência

(DYSON et al., 2001; ZHANG; BARTELS, 1998). Ademais, os modelos rotineiramente utilizados como CCR/CRS (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978) e BCC/VRS (BANKER; CHARNES; COOPER, 1984) obtêm escore de eficiência maior ou igual ao modelo utilizado nesse estudo (TONE, 2001).

Figura 8 - Histograma para a eficiência técnica, por Unidade da Federação e período

Fonte: Resultados da Pesquisa

Nota: Intervalo de classes de 0,03333.

Como forma de permitir a comparação dos resultados encontrados nessa tese aos estudos anteriores, os escores de eficiência técnica foram calculados utilizando o modelo BCC/VRS, orientado a insumo, e comparados aos obtidos pelo modelo de Tone (2001)⁴⁹. As estimativas

⁴⁹ Ao contrário do modelo DEA CCR/CRS no qual a estimativa de eficiência é invariante à orientação (insumo ou produto), os escores de eficiência estimados pelo modelo BCC/VRS sofrem alteração conforme a orientação estimada (FERREIRA; GOMES, 2009).

foram obtidas considerando uma única fronteira de produção para ambos os estados e períodos (Tabela 7).

De forma geral, as estimativas médias foram baixas, independentemente do modelo (Tabela 7). Como esperado, as estimativas para eficiência técnica obtidas por meio do modelo proposto por Banker, Charnes e Cooper (1984) foram superiores às aquelas do modelo de Tone (2001). Ademais, o desempenho médio não apresentou substancial melhoria quando se supõe que a tecnologia de produção mudou entre os anos de análise, ou seja, a estimativa obtida para a eficiência com os estados agrupados foi semelhante à eficiência calculada tomando cada estado separadamente.

Tabela 7- Comparação dos resultados médios entre o modelo de Tone (2001) e CCR/CRS considerando única fronteira para São Paulo e Mato Grosso para 1995 e 2006

Unidades Federativas/ Modelos	Tone (2001)		BCC/VRS	
	1995	2006	1995	2006
São Paulo	0,27	0,30	0,46	0,52
Mato Grosso	0,19	0,24	0,40	0,51
São Paulo e Mato Grosso (média geral)	0,26	0,29	0,45	0,52

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Assim, os resultados (Tabela 7) indicaram que estimar a eficiência técnica por meio do modelo proposto por Tone (2001) permite uma melhor discriminação entre produtores eficientes e ineficientes quando comparado ao modelo BCC/VRS. Ademais, o cálculo da eficiência considerando uma única fronteira de produção permite a comparação entre tecnologias e sua capacidade de transformar insumos em produtos, conforme Charnes, Cooper e Rhodes (1981)⁵⁰. Assim sendo, a opção de estimar uma única fronteira de produção se baseia na possibilidade de comparação entre as tecnologias e também se deve ao fato que, conforme descrito anteriormente, quanto menor o número de unidades de análise (produtores, municípios, etc), dado os vetores de insumos e produtos, maior tende a ser o escore de eficiência. Portanto, teoricamente, São Paulo

⁵⁰ Isso decorre do fato que os escores de eficiência podem ser diretamente comparados (GOMES; MELLO; MANGABEIRA, 2009a) uma vez que: (i) quando é estimada uma fronteira de produção para cada tecnologia, a posição relativa entre as fronteiras estimadas não é considerada, o que impede comparações sobre qual é mais eficiente; (ii) se o número de firmas em cada estimativa é diferente pode haver problemas de viés advindo do tamanho da amostra, uma vez que quanto maior é o número de firmas envolvidas no cálculo de eficiência, menor tende a ser a eficiência média (ZHANG; BARTELS, 1998).

com 592 municípios analisados apresentaria uma eficiência menor que Mato Grosso, no qual foram analisados apenas 103 municípios, pelo fator de apresentar um maior número de observações.

As estimativas para eficiência técnica calculados por meio do modelo BCC/VRS, (Tabela 7), indicam que a eficiência técnica calculada está próxima àquelas calculadas por outros autores, com por exemplo Vicente (2004) em 1995, que obteve estimativa média de 0,723 para as unidades da federação considerando retornos constantes e Nogueira (2005), que utilizando os modelos CCR e VRS e dados do Censo Agropecuário de 1995/96, estimou a eficiência média para as microrregiões brasileiras em 0,71 e 0,81, respectivamente. Assim, a menor eficiência calculada por meio do modelo de Tone (2001) se deve à sua melhor discriminação entre unidades eficientes e ineficientes.

Os resultados encontrados para a eficiência ambiental (Tabela 6) também são semelhantes a outros estudos, como Sun et al (2014), que analisou a eficiência ambiental do uso da água para 31 províncias da China entre 1997 e 2011 utilizando o modelo baseado nas folgas proposto por Tone (2004) incorporando como insumos a pegada hídrica (que reflete o consumo direto e indireto de água); o consumo total de água na agricultura, indústria e ecológico; a força de trabalho; e o investimento em ativos fixos. Como produto desejável foi utilizado o Produto Interno Bruto e como produto indesejável a pegada hídrica cinza⁵¹. As estimativas para eficiência ambiental calculadas por Sun et al. (2014) apresentaram valor médio de 0,20. As estimativas para a eficiência ambiental nesse estudo para o uso da água apresentou melhoria ao longo do período de análise. A média do escore de eficiência de apenas 0,08 em 1997 aumentou para 0,43 em 2011.

Sintetizando, os resultados indicaram um elevado desperdício de recursos produtivos em ambos os estados, tanto quando se considera a eficiência técnica como a eficiência técnica ambiental. Entretanto, o estado de São Paulo foi o que apresentou o melhor desempenho (eficiência) em ambos os períodos. Houve uma melhoria da eficiência em ambos os estados quando se comparam seus respectivos escores de eficiência de 1995 a 2006.

⁵¹ A pegada hídrica cinza é definida como a quantidade de água necessária para diluir os poluentes de forma que a qualidade da água alcance um padrão definido aceitável (SUN et al., 2014).

6.3.1 Distribuição geográfica dos municípios quanto aos níveis de eficiência

As estimativas para os escores de eficiência para cada estado foram plotadas em mapas por município, de forma a permitir a análise da distribuição espacial dos escores de eficiência. Os mapas agrupam os municípios de acordo com os quartis dos escores de eficiência, considerando cada estado e ano. A divisão por quartis permite analisar a formação de grupos de municípios mais eficientes ou ineficientes e sua evolução ao longo dos anos analisados, bem como a mudança dos municípios dos estratos mais eficientes (quartis superiores) para estratos de menor eficiência (quartis inferiores), por exemplo.

As Figuras 9 e 10 agrupam os municípios dos estados de Mato Grosso e São Paulo, respectivamente, de acordo com os quartis dos escores de eficiência. Para o estado do Mato Grosso observa-se que no ano de 1995 há uma maior concentração dos municípios mais eficientes tecnicamente no norte do estado do Mato Grosso do que em 2006, ano no qual os municípios mais eficientes estão mais dispersos nesse estado. No ano de 1995, os municípios de menor eficiência (quartis inferiores) estão mais concentrados no sul do estado. Já em 2006, esses municípios apresentam maior dispersão, embora os municípios do sul do estado continuem sendo aqueles de menor eficiência técnica. Para o estado de São Paulo, observa-se que os municípios da porção leste do estado são os mais eficientes enquanto os menos eficientes concentram-se no centro, principalmente, e no oeste do estado em ambos os anos analisados.

A eficiência ambiental mato-grossense apresenta distribuição semelhante à sua respectiva eficiência técnica (Figura 11). Os municípios mais eficientes ambientalmente se concentram no norte do estado e no ano de 2006 também há uma maior concentração dos municípios de maior eficiência no centro oeste do estado, assim como obtido para a eficiência técnica (Figura 9).

O estado de São Paulo, assim como o Mato Grosso, também apresenta distribuição semelhante dos municípios mais eficientes/ineficientes ambientalmente (Figura 12) à distribuição dos municípios eficientes tecnicamente paulistas (Figura 10)

Figura 9 - Eficiência técnica para os municípios mato-grossenses por quartis e para 1995 e 2006

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Nota: Os municípios indicados com coloração branca foram os municípios não considerados na análise

Figura 10 - Eficiência técnica para os municípios paulistas por quantis e para 1995 e 2006

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Nota: Os municípios indicados com coloração branca foram os municípios não considerados na análise

Figura 11 - Eficiência ambiental para os municípios mato-grossenses por quartis e para 1995 e 2006

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Nota: Os municípios indicados com coloração branca foram os municípios não considerados na análise

Figura 12 - Eficiência ambiental para os municípios paulistas por quartis e para 1995 e 2006

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Nota: Os municípios indicados com coloração branca foram os municípios não considerados na análise

6.3.2 Comparação dos produtores eficientes e ineficientes quanto ao uso de insumos, receita agropecuária obtida e desmatamento

Como forma de comparar e analisar os produtores eficientes e ineficientes quanto à produção (receita agropecuária), uso de insumos e desmatamento, os valores médios dessas variáveis foram comparados entre os municípios eficientes e ineficientes. Essa comparação foi feita por meio das Tabelas 8 a 12. A coluna “eficientes” apresenta o valor médio das variáveis incluídas no cálculo de eficiência para os produtores que obtiveram escore de eficiência igual à unidade. A coluna “ineficientes”, por sua vez, apresenta os valores médios para os produtores que obtiveram escore menor que a unidade. Por fim, a coluna “diferença” compara a diferença dos valores médios entre esses dois grupos, indicando em quanto a produção e uso dos produtores ineficientes se desvia do grupo dos eficientes. Essa “diferença” foi calculada pela razão do valor médio dos ineficientes sobre o valor médio dos eficientes. A análise considera, em um primeiro momento, o conjunto de municípios de São Paulo e Mato Grosso e, em seguida, para cada um desses estados, bem como distingue a avaliação de eficiência técnica e eficiência técnica ambiental.

Os resultados (Tabela 8) indicam que os produtores ineficientes obtêm uma produção menor que os eficientes, baseando sua receita agropecuária principalmente na pecuária, haja vista que seu rebanho bovino é 200% maior que o dos eficientes, e apresentam um maior desmatamento. Os produtores ineficientes alcançaram apenas 76% daquela receita obtida pelos eficientes, utilizando menos 7% da terra, 71% da mão de obra, 53% dos defensivos e 42% dos tratores que o grupo dos eficientes.

Mesmo o cálculo da eficiência técnica não incluindo o desmatamento diretamente no problema de minimização, os municípios eficientes também apresentam um menor desmatamento quanto comparado aos ineficientes (Tabela 8). Esse resultado pode indicar que, mesmo que o objetivo não seja diretamente reduzir o desmatamento, o uso racional dos insumos reduz a pressão sobre o desmatamento, ou seja, pode haver uma relação entre eficiência técnica e eficiência ambiental. Conforme Piot-Lepetit, Vermersch e Weaver (1997) e De Koeijer (2002) essa relação entre eficiência técnica e desempenho ambiental pode ser explicada pelo fato da primeira ser condição necessária para a segunda, uma vez que a eficiência técnica implicaria

menores emissões e rejeitos (incluindo emissões de nitrogênio e CO₂ advindas de fertilizantes, animais, desmatamento, etc.).

Tabela 8 - Comparação entre produtores eficientes e ineficientes tecnicamente quanto à receita, insumos e desmatamento, em valores médios, São Paulo e Mato Grosso, 1995/96 e 2006

Item	Dimensão	Grupos de municípios		Diferença (%)
		Eficientes	Ineficientes	
Receita	mil R\$	589,10	144,21	-76%
Terra	hectares	142,93	132,36	-7%
Mão de Obra	unidades	16,84	4,85	-71%
Rebanho	cabeças	28,12	84,25	200%
Defensivos	mil R\$	108,44	51,51	-53%
Tratores	unidades	1,38	0,80	-42%
Desmatamento	hectares	14,75	16,28	10%

Fonte: Resultados da pesquisa.

Comparando o uso de insumos, produção e desmatamento para cada estado separadamente (Tabela 9 e 10) observa-se que as principais diferenças entre os produtores eficientes e ineficientes estão no tamanho do rebanho e na receita obtida. Outro ponto que merece destaque é a diferença de magnitude dos insumos, receitas e desmatamento entre os estados. A receita agropecuária média dos produtores eficientes do Mato Grosso foi aproximadamente 7 vezes maior do que a dos eficientes do estado de São Paulo, por exemplo.

Tabela 9 - Comparação entre produtores eficientes e ineficientes tecnicamente quanto à receita, insumos e desmatamento, Mato Grosso, 1995/96 e 2006

Item	Dimensão	Grupos de municípios		Diferença (%)
		Eficientes	Ineficientes	
Receita	mil R\$	1.006,32	120,74	-88%
Terra	hectares	220,45	396,00	80%
Mão de Obra	unidades	7,74	4,07	-47%
Rebanho	cabeças	104,25	224,02	115%
Defensivos	mil R\$	40,99	73,97	80%
Tratores	unidades	0,59	0,59	0%
Desmatamento	hectares	140,86	71,44	-49%

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Tabela 10 - Comparação entre produtores eficientes e ineficientes tecnicamente quanto à receita, insumos e desmatamento, São Paulo, 1995/96 e 2006

Item	Dimensão	Grupos de municípios		Diferença (%)
		Eficientes	Ineficientes	
Receita	mil R\$	580,22	148,44	-74%
Terra	hectares	141,29	84,83	-40%
Mão de Obra	unidades	17,03	4,99	-71%
Rebanho	cabeças	26,50	59,05	123%
Defensivos	mil R\$	109,88	47,46	-57%
Tratores	unidades	1,40	0,84	-40%
Desmatamento	hectares	12,06	6,33	-48%

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Comparando a diferença entre os estados quanto ao uso da terra, no Mato Grosso o produtor eficiente médio utilizou 80% a mais de terra que o eficiente, enquanto que no estado de São Paulo os estabelecimentos ineficientes alocam 40% menos terra que os eficientes (observando a variável “Terra” nas Tabelas 9 e 10). Esse comportamento assimétrico pode ser observado no uso de outros insumos, comparando ineficientes e eficientes entre os estados, e que pode ser explicado pelas características produtivas de cada estado e também no custo dos fatores. Conforme apresentado anteriormente (Tabela 1), a criação de animais de grande porte e a produção de soja assumem maior importância no estado do Mato Grosso do que em São Paulo e representaram 60% do valor total da produção agropecuária do primeiro em 2006. Essas atividades são demandantes de grandes extensões de terra para serem viáveis. Assim sendo, um produtor ineficiente que produza um desses produtor puxará a média para cima.

Os valores da última linha das nas Tabelas 9 e 10 indicam que os produtores eficientes tecnicamente não necessariamente apresentam menor desmatamento, conforme seria esperado pelas considerações de Piot-Lepetit, Vermersch e Weaver (1997) e de Koeijer (2002). No entanto, esses resultados contrastam àqueles obtidos anteriormente (Tabela 8) e indicam que os estados apresentam comportamento divergente quanto ao desmatamento. Essa diferença pode ser explicada pelo processo de incorporação de novas terras à fronteira agrícola e também para garantir a posse da terra, por meio do corte raso, o estado do Mato Grosso.

Economicamente, os resultados sugerem que a maximização da produção pelo produtor, de forma eficiente, implicaria em incorporar parte da Reserva Legal no processo produtivo.

Assim, a relação entre desempenho ambiental (desmatamento da área que deveria ser reserva legal) e eficiência técnica seria conflitante conforme sugerido por Common e Perrings (1992).

Ademais, os resultados obtidos para a eficiência técnica (Tabela 8, Tabela 9, Tabela 10), que apresentaram menor desmatamento nos municípios eficientes quando comparado aos ineficientes, podem levar a uma indicação equivocada de qual seria o nível adequado de uso dos insumos da perspectiva ambiental.

Ao se comparar os resultados para a eficiência técnica e eficiência técnica ambiental (Tabelas 8 e 11) pode-se inferir que o produtor eficiente ambientalmente obtém uma menor receita, comparado àquele produtor apenas eficiente tecnicamente, e utiliza uma menor quantidade de insumos (excetuando-se o rebanho). Desse modo, para que os produtores sejam eficientes ambientalmente é necessário que parte dos insumos que seriam dedicados exclusivamente para a produção agropecuária sejam alocados de tal forma a reduzir o desmatamento, ou seja, isso implicaria em perda de eficiência técnica, da produção e de lucratividade.

Tabela 11 - Receita, uso de insumos e desmatamento para produtores eficientes e ineficientes ambientalmente, em valores médios, São Paulo e Mato Grosso, 1995/96 e 2006

Item	Dimensão	Grupos de municípios		Diferença (%)
		Eficientes	Ineficientes	
Receita	mil R\$	367,38	141,72	-61%
Terra	hectares	130,12	132,95	2%
Mão de Obra	unidades	9,44	4,90	-48%
Rebanho	cabeças	35,46	86,33	143%
Defensivos	mil R\$	88,53	50,46	-43%
Tratores	unidades	0,96	0,81	-15%
Desmatamento	hectares	3,55	17,31	388%

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Portanto, não seria adequado tomar a produção, uso de insumos e desmatamento de um produtor eficiente tecnicamente como também eficiente ambientalmente, uma vez que um produtor eficiente apenas tecnicamente apresenta maior desmatamento que aquele eficiente ambientalmente. O produtor médio eficiente tecnicamente (Tabela 8) utiliza 14,75 ha da Reserva Legal no processo produtivo, enquanto um produtor eficiente ambiental utiliza apenas 3,55 ha da

Reserva Legal no processo produtivo⁵² (Tabela 11). Ademais, a eficiência técnica nem sequer seria condição necessária uma vez que apenas 5% dos produtores mato-grossenses em 1995/96 apresentaram eficiência técnica acima de 0,50, sendo que nenhum deles foi considerado eficiente tecnicamente, entretanto 6,8% dos produtores desse estado foram eficientes ambientalmente.

Comparando a média para o uso de insumos, produção e desmatamento dos produtores eficientes tecnicamente aos eficientes ambientalmente no Mato Grosso (Tabela 9 e 12) e São Paulo (Tabela 10 e 13) observa-se, de forma geral, que a redução do desmatamento é obtida pela redução na receita e no uso dos insumos no estado de São Paulo. No estado do Mato Grosso a redução da utilização da Reserva Legal se daria com a redução da receita agropecuária e aumento no uso da terra, defensivos e tratores. Também pode-se inferir que a produção eficiente ambientalmente no estado do Mato Grosso também está baseada mais na produção agrícola do que a pecuária, uma vez que o rebanho é menor e o número de tratores e uso de defensivos é maior na produção eficiente ambientalmente do que na produção apenas eficiente tecnicamente.

Tabela 12 - Comparação entre produtores eficientes e ineficientes ambientalmente quanto à receita, insumos e desmatamento, Mato Grosso, 1995/96 e 2006

Item	Dimensão	Grupos de municípios		Diferença (%)
		Eficientes	Ineficientes	
Receita	mil R\$	392,64	104,02	-74%
Terra	hectares	378,27	396,47	5%
Mão de Obra	unidades	4,64	4,04	-13%
Rebanho	cabeças	98,00	233,29	138%
Defensivos	mil R\$	221,36	62,22	-72%
Tratores	unidades	0,86	0,56	-34%
Desmatamento	hectares	-19,62	78,96	-502%

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Assim, esse resultado indica que a manutenção de parte da área dos estabelecimentos ocupada com floresta (Reserva Legal) implicaria em redução da receita agropecuária e, assim, custo para o produtor na forma da receita renunciada. Os resultados indicam também que a pecuária implicaria em maior desmatamento no estado do Mato Grosso. Assim, pode-se inferir

⁵² Conforme apresentado no capítulo 3 ARCABOUÇO TEÓRICO, página 27, da perspectiva social, não é desejável que o desmatamento seja nulo, uma vez que esse é necessário para a produção agropecuária e consequente alimentação da sociedade, conforme ressalta Perman et al. (2003).

que a tecnologia de produção utilizada pelos produtores agropecuários é dependente dessa área para que seja utilizada de forma eficiente.

Tabela 13 - Comparação entre produtores eficientes e ineficientes ambientalmente quanto à receita, insumos e desmatamento, São Paulo, 1995/96 e 2006

Item	Dimensão	Grupos de municípios		Diferença (%)
		Eficientes	Ineficientes	
Receita	mil R\$	363,39	148,33	-59%
Terra	hectares	90,94	86,73	-5%
Mão de Obra	unidades	10,20	5,06	-50%
Rebanho	cabeças	25,59	60,56	137%
Defensivos	mil R\$	67,56	48,40	-28%
Tratores	unidades	0,97	0,85	-12%
Desmatamento	hectares	7,21	6,50	-10%

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Por fim, deve ser destacado que o valor negativo para o desmatamento médio (Tabela 12) indica que a área coberta com Reserva Legal está acima do legalmente exigido. Entretanto, como não foi possível calcular a Área de Preservação Permanente, essa área excedente e o consequente valor negativo podem ser atribuídos às áreas cobertas com matas referentes à Área de Preservação Permanente (APP). Entretanto, conforme apresentado anteriormente para as causas do desmatamento (no Arcabouço Teórico), pode-se assumir que as causas diretas e indiretas apresentariam efeito semelhante tanto sobre a área de Reserva Legal quanto sobre as APPs, e, assim, a pressão da produção agropecuária na forma de desmatamento sobre a Reserva Legal também seria semelhante àquela sobre a APP, bem como o custo de oportunidade. Todavia, diversos outros estudos têm focado apenas na Reserva Legal como Bacha (2005), Carneiro (2005) e Fasiaben et al (2011) pois todos consideram que as Áreas de APP não podem se desmatadas.

6.3.3 Custo de oportunidade da reserva legal

A diferença entre os valores médios da receita, uso de insumos e desmatamento apresentados na seção anterior indicou que o código florestal resulta em desperdício de insumos e

perda de produtos desejáveis, que aumenta à medida que uma maior área da reserva legal é mantida, ou seja, à medida que os produtores atendem às exigências da Reserva Legal presente no Código Florestal. Desta forma, essa regulação implica em custos aos produtores agropecuários.

O custo de oportunidade dos produtores agropecuários em conservar a Reserva Legal pode ser captado pelo Índice de Eficiência Baseado nas Folgas (Equação 12), que varia no intervalo de 0 a 1, sendo o intervalo aberto em 0. Valores iguais a 1 indicam que a reserva legal não implica em custo. Quanto mais próximo de 1 menor é a proporção do custo em relação à receita agropecuária e quanto mais próximo de 0 maior esse custo, proporcionalmente à receita agropecuária obtida pelo estabelecimento agropecuário.

Utilizando o SBEI, pode-se inferir que a exigência da Reserva Legal implicou em custo de oportunidade para um elevado número de produtores (Figura 13). Para o estado do Mato Grosso apenas 6% e 5% dos produtores apresentaram SBEI maior do que 96,67%, em 1995/96 e em 2006, respectivamente⁵³. Para o estado de São Paulo o número de produtores foi, proporcionalmente maior, e 16% e 15% dos produtores apresentaram estimativa para o SBEI maior do que 96,67%. De forma geral, o custo médio da regulação sobre a produção agropecuária apresentado, em termos percentuais, por meio do Índice de Eficiência Baseado nas Folgas (SBEI), indica que a regulação ocasionou em custos à produção agropecuária para 90 do total dos produtores, tanto para 1995 como para 2006.

⁵³ Como cada histograma considerou 30 classes e o escore de eficiência varia de 0 a 1, o intervalo de classes é de 0,0333. Nesse sentido, por exemplo, a última barra inclui produtores que obtiveram escore de eficiência maior do que 0,9667 [$1-(1/30)$].

Figura 13 - Histograma para o Índice de Eficiência Baseado nas Folgas (SBEI) por Unidade da Federação e período

Fonte: Resultados da pesquisa

Nota: O intervalo de classes de cada histograma foi de 0,03333.

A regulação apresentou um maior impacto para os municípios do Mato Grosso em 1995/96 e em 2006, apresentando um custo de oportunidade de 31% e 30,2% da receita agropecuária, respectivamente (Tabela 14). Esse estado foi também o que apresentou o maior número de produtores com custo de oportunidade, 96%. Quando se considera todos os produtores analisados de ambos os estados, obtém-se o percentual médio de redução da receita agropecuária de 26 e 28 para 1995 e 2006, respectivamente.

Tabela 14 - Redução percentual média da receita agropecuária para os municípios advinda da Reserva Legal, por Unidade da Federação e período de análise

UF/Período	1995/96	2006
Mato Grosso	31,0%	30,2%
São Paulo	25,1%	27,5%

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Os municípios mato-grossenses que apresentaram maior custo percentual à receita agropecuária advindo do cumprimento da reserva legal (1º quartil) estão no oeste e norte do estado em 1995, comportamento que se atenua pouco em 2006 (Figura 14). Já no estado de São Paulo, há uma concentração dos municípios com maior custo no sul, no leste e parte do oeste do estado.

Contudo, se um município apresenta baixo desempenho ambiental, não necessariamente apresentará elevado custo de oportunidade, conforme destacou Zhou, Ang e Poh (2006). Esse resultado pode ser observado quando são comparadas as Figuras 11 e 14 referentes ao desempenho ambiental e ao custo de oportunidade percentual do Mato Grosso (veja a porção leste desse estado) e as Figuras 12 e 15, referentes ao estado de São Paulo (veja o sudeste desse estado).

A correlação de Sperman⁵⁴ entre a eficiência ambiental e o SBEI foi de -0,7829, significativa a 1% para o estado do Mato Grosso em 2006. Entretanto, quando se analisa a correlação de Sperman entre a eficiência ambiental e o custo de oportunidade e o SBEI e o custo de oportunidade para o estado do Mato Grosso em 2006 obtêm-se as estimativas de -0,0720 e -0,0114, respectivamente, não significativas ao nível de significância de 10%. Tomando como exemplo Mato Grosso em 2006 (Tabela 6) constata-se que esse estado apresentou ineficiência técnica de 76% e ineficiência ambiental de 62% com o código florestal implicando em uma queda média na receita agropecuária de 30,2% (Tabela 14), ou R\$ 48.353 por produtor municipal representativo (Tabela 15).

⁵⁴ Para maiores detalhes ver Spearman (1904).

Figura 14 - Índice de Eficiência Baseado nas Folgas (SBEI) para os municípios mato-grossenses, por quartis e para 1995 e 2006

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Figura 15. Índice de Eficiência Baseado nas Folgas (SBEI) para os municípios paulistas, por quartis e para 1995 e 2006

Fonte: Resultados da Pesquisa.

O estado do Mato Grosso apresentou o maior valor para o custo de oportunidade quando se considera a área total do estado do que o estado de São Paulo (Tabela 15), entretanto, esse

valor pode ser maior pelo fato da área total dos estabelecimentos no primeiro estado também ser maior do que a área utilizada na agropecuária no estado de São Paulo (Tabela 2).

Tabela 15 - Custo médio por estabelecimento agropecuário da Reserva Legal em Reais de dezembro de 2006, Unidade da Federação e período

UF/Período	1995/96	2006
Mato Grosso	R\$ 27.177	R\$ 48.353
São Paulo	R\$ 26.389	R\$ 23.878

Fonte: Resultados da Pesquisa

Como forma de contornar essa limitação, o custo de oportunidade da Reserva Legal por hectare utilizado na produção agropecuária foi calculado (Tabela 16 e Figuras 16 e 17). Os resultados indicam que o custo é maior para São Paulo do que para o Mato Grosso. Essa relação já era esperada, visto o que foi discutido sobre o valor de cada hectare de terra em 2006 ser maior para São Paulo do que para Mato Grosso – o valor do hectare em SP foi 2,22 vezes maior do que do MT.

Tabela 16 - Custo médio da Reserva Legal, por hectare, em Reais de dezembro de 2006, Unidade da Federação e período

Unidade da Federação (Ano)	Média	Desvio Padrão	C.V.	Mínimo	Máximo
Mato Grosso (1995/96)	56,19	63,07	1,122	0,00	495,73
Mato Grosso (2006)	117,16	205,86	1,757	0,00	1.404,99
São Paulo (1995/96)	484,36	887,47	1,832	0,00	12.255,49
São Paulo (2006)	412,62	492,49	1,194	0,00	4.609,65

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Nota: C.V.- Coeficiente de Variação = (desvio padrão / média).

Os resultados também indicam que o custo de oportunidade médio dos produtores de São Paulo reduziu-se no período analisado de R\$ 484,36 para R\$ 412,62 sendo que o valor máximo também reduziu de R\$ 12 mil para R\$ 4 mil por hectare. Esse comportamento é indicativo que os produtores de São Paulo estão adaptando sua tecnologia de produção de forma a ser menos dependentes da área de Reserva Legal. Segundo Ehlers (2003), isso pode ser explicado pela fiscalização mais severa, projetos de reflorestamento, retração das atividades agropecuárias; aumento da pressão ambiental advinda da sociedade, desenvolvimento da consciência da

importância do meio ambiente pelos produtores rurais e desenvolvimento de atividades demandantes das matas, como o ecoturismo.

No estado do Mato Grosso, por meio das Figura 11 e Figura 16, pode-se observar que os municípios que apresentaram o maior custo de oportunidade por hectare em 1995 também foram aqueles que apresentaram a menor eficiência ambiental⁵⁵ enquanto que para o estado de São Paulo, visualmente, não se pode inferir uma relação entre a eficiência ambiental e o custo de oportunidade por hectare, haja vista a grande quantidade de municípios desse estado. Entretanto, a correlação de Spearman entre essas variáveis para São Paulo em 1995 e 2006 foi estimada em, respectivamente, 0,160, e 0,089, ambas significativas ao nível de significância de 5%.

Observa-se também que o custo de oportunidade é menor quanto mais ao norte o município está localizado no estado do Mato Grosso, que pode ser explicado pelo maior custo de transporte da produção até os centros consumidores. Entretanto, o custo de oportunidade dos municípios localizados no norte do estado aumentou entre 1995 e 2006. Isso pode ser explicado pela expansão da fronteira agrícola nesse estado. Resultado semelhante foi obtido por Young, MacKnight e Meireles (2007) que analisaram o custo de oportunidade da terra no Mato Grosso considerando o cultivo de soja, que assumiram ser o cultivo mais rentável no estado. No estado de São Paulo, municípios localizados no litoral ou oeste do estado apresentaram menor custo de oportunidade. Para o litoral do estado de São Paulo esse comportamento pode ser explicado pelo ecoturismo nessa região ao observar-se a concentração de polos eco turísticos no litoral do estado⁵⁶ (EHLERS, 2003).

O próximo capítulo permitirá a análise estatística da concentração e/ou formação de grupos de municípios semelhantes quanto ao custo de oportunidade, como por exemplo, municípios de elevado custo de oportunidade rodeados por outros municípios de elevado custo, ou mesmo municípios com alto custo de oportunidade rodeados por outros municípios com baixo custo, ou virse versa, utilizando do instrumental da econometria espacial, como por exemplo a estatística I de Moran.

⁵⁵ A correlação de Spearman entre a eficiência ambiental e o custo de oportunidade para o estado do Mato Grosso em 1995 e 2006 foi estimada, respectivamente, em -0,3554, significativa ao nível de significância de 1% e -0,0720, não significativa ao nível de significância de 10%.

⁵⁶ Ver mapas para o estado de São Paulo das estâncias turísticas, climáticas, hidrominerais e balneárias (página 208) e polos eco turísticos (página 211) em Ehlers (2003).

Figura 16 - Custo de oportunidade de manter a reserva legal para os municípios mato-grossenses, em Reais por hectare, por quartis e para 1995 e 2006

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Figura 17 - Custo de oportunidade de manter a reserva legal para os municípios paulistas, em Reais por hectare, por quartis e para 1995 e 2006

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Contudo, os resultados dessa seção permitem afirmar que a perda de desempenho dos produtores e o consequente custo de oportunidade advindo da legislação florestal não necessariamente apresentaria alto custo para aqueles produtores que já apresentam baixo

desempenho técnico⁵⁷. Ilustrativamente, o município paulista de Alumínio em 1995 obteve o escore de eficiência técnica de apenas 0,06, o menor escore dentre todos os municípios e anos analisados, e eficiência ambiental de 0,07. Todavia, o seu Índice de Eficiência Ambiental Baseado nas Folgas (SBEI) foi de 0,87, que indica que sua receita agropecuária deveria reduzir em 13% $[(1-0,87)*100]$ ou em R\$ 26,94 por hectare ao se reduzir a área da área de reserva legal utilizada no processo produtivo agropecuário. Assim, apesar do menor escore de eficiência técnica esse município não possui o maior custo de oportunidade, tanto percentualmente à receita, como em Reais por hectare. Entretanto, o município mato-grossense de Sorriso em 2006 apresentou eficiência técnica de 0,20 e eficiência ambiental de 0,78 mas apresentou SBEI de apenas 0,25, que indica que o aumento em um hectare na área da reserva legal reduziria sua receita agropecuária em 75% $[1-0,25)*100]$.

Esses resultados contrastam com outros estudos que não incorporaram a ineficiência técnica dos produtores e, assim, não permitiram que o custo de oportunidade apresentasse variações entre os produtores em virtude do seu respectivo nível de eficiência técnica (AZZONI; ISAI, 1994; BACHA; 2005; CAMPOS; BACHA, 2013; IGARATI, TAMBOSI; PIVELLO, 2009). Nesse sentido, os resultados dessa tese indicam que para alguns produtores o custo da ineficiência técnica da produção é mais importante do que de custo de oportunidade da reserva legal. Ademais, os resultados (Tabela 16) indicam a elevada dispersão do custo de oportunidade, ou seja, esse custo não é constante entre os produtores, como os estudos anteriores assumiram.

Por fim, é importante considerar que a Reserva Legal apresentou um custo implícito aos produtores não desprezível e, mesmo o estado do Mato Grosso apresentando o menor custo por hectare cultivado, esse estado é aquele que apresenta as maiores dificuldades de escoamento da produção. Nesse sentido, é necessário que esse custo não seja arcado apenas pelo produtor, mas sim por toda a sociedade. Essa deve remunerar o produtor em pelo menos os benefícios locais e globais que ela (a sociedade) obtém da manutenção da área com Reserva Legal, como controle da erosão, manutenção e/ou melhoria da qualidade e quantidade de água, mitigação das mudanças climáticas e proteção contra extremos climáticos, proteção dos recursos genéticos, entre outros apresentados no Arcabouço Teórico.

⁵⁷ A correlação de Spearman entre eficiência técnica e custo de oportunidade para cada estado e ano analisado não foi estatisticamente significativa ao nível de significância de 10%.

7 DETERMINANTES DA EFICIÊNCIA E DO CUSTO DE OPORTUNIDADE DO CÓDIGO FLORESTAL ENTRE 1995 E 2006

Este capítulo apresenta os determinantes do custo de oportunidade do código florestal. Inicialmente, a primeira seção apresenta alguns procedimentos utilizados na organização dos dados. A segunda seção apresenta as estatísticas descritivas das variáveis utilizadas e a análise exploratória de dados espaciais (AEDE), feita como forma de auxiliar na especificação do modelo, bem como identificar *outliers* espaciais. A próxima seção especifica e estima o modelo que analisa os determinantes do custo de oportunidade do código florestal, conforme indicações da seção que trata da análise exploratória de dados espaciais.

7.1 Organização dos dados espaciais.

Inicialmente, os dados foram organizados de forma a assegurar um painel balanceado, já que essa é uma exigência da metodologia utilizada para estimar o modelo de regressão espacial com dados em painel. Assim, o município em que apresentou algum valor faltante (*missing value*) em pelo menos uma variável em pelo menos um ano analisado foi retirado da análise. Os dados totais totalizaram 1258 observações, sendo 629 municípios para cada ano analisado⁵⁸.

⁵⁸ No estado do Mato Grosso foram retirados os seguintes municípios da análise (incluindo aqueles retirados anteriormente no cálculo do custo de oportunidade: Alto Garças, Alto Taquari, Apiacás, Araguaína, Barão de Melgaço, Cáceres, Cuiabá, Figueirópolis d'Oeste, Glória d'Oeste, Indiavaí, Itaúba, Itiquira, Juscimeira, Lambari d'Oeste, Luciara, Mirassol d'Oeste, Nossa Senhora do Livramento, Nova Bandeirantes, Nova Mutum, Poconé, Porto dos Gaúchos, Porto Esperidião, Ribeirãozinho, Rio Branco, Santo Antônio do Leverger, São José do Xingú, Várzea Grande e Vila Rica. No estado de São Paulo foram removidos da base de dados os seguintes municípios: Águas de Lindoia, Águas de São Pedro, Americana, Américo Brasiliense, Aparecida, Araçariguama, Areias, Areiopolis, Auriflama, Balbinos, Barra Bonita, Barueri, Bertioga, Bom Jesus dos Perdões, Bom Sucesso de Itararé, Bora, Borebi, Caieiras, Campo Limpo Paulista, Campos do Jordão, Cananeia, Canitar, Carapicuíba, Catiguá, Cotia, Cruzália, Cubatão, Diadema, Dobrada, Embu, Embu-Guaçu, Ferraz de Vasconcelos, Flora Rica, Florínia, Francisco Morato, Guarujá, Hortolândia, Igaratá, Ilha Comprida, Ilhabela, Iracemápolis, Itanhaém, Itaoca, Itapevi, Itapirapuã Paulista, Itapurã, Itaquaquecetuba, Itirapuã, Jandira, Jquitiba, Lagoinha, Laranjal Paulista, Lavrinhas, Mairiporã, Mauá, Mira Estrela, Mongaguá, Nova Europa, Nova Lusitânia, Novais, Osasco, Pirapora do Bom Jesus, Poá, Praia Grande, Quatá, Queiroz, Queluz, Quintana, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Santa Gertrudes, Santa Lúcia, Santa Maria da Serra, Santana de Parnaíba, Santos, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul, São Lourenço da Serra, São Sebastião, São Vicente, Taboão da Serra, Torre de Pedra, Ubatuba, Várzea Paulista e Votorantim.

7.2 Estatísticas descritivas e análise exploratória dos dados espaciais

As estatísticas descritivas das variáveis utilizadas na estimação, descritas na seção “4.3.2 Determinantes do custo de oportunidade”, estão apresentadas nas Tabelas 17 e 18 para o estado de Mato Grosso e São Paulo, respectivamente. Inicialmente, podem ser observadas algumas semelhanças e discordâncias entre essas variáveis para os estados analisados quanto à evolução das variáveis determinantes do custo de oportunidade dos produtores.

Tabela 17 - Estatísticas descritivas para as variáveis determinantes do custo de oportunidade para o estado de Mato Grosso para 1995 e 2006 (continua)

Variáveis	1995		2006	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
	Mato Grosso			
Custo de Oportunidade (em R\$)	28354,17	96320,40	49185,66	147770,50
Assistência (Proporção de estabelecimentos)	0,34	0,25	0,29	0,16
Adução (Proporção de estabelecimentos)	16509,17	44557,70	52407,53	195884,90
Plantio em Nível (Proporção de estabelecimentos)	0,08	0,13	0,13	0,15
Terraços (Proporção de estabelecimentos)	0,05	0,12	0,03	0,07
Irrigação (Percentual da área irrigada)	0,02	0,02	0,04	0,05
Área média (em hectares)	836,33	838,01	549,40	591,36
(Área média) ²	836,33	838,01	549,40	591,36
Trator, em unidades	0,59	0,71	0,53	0,64
Financiamento, em Reais	10550,09	22987,46	12911,68	11761,98
Investimento, em Reais	18267,96	17571,57	34022,20	121378,90
Demografia, pessoas/km ²	6,35	22,91	5,23	7,78
Agências bancárias, em unidades	1,48	1,19	1,48	1,69
Nº de cursos em Ciências Agrárias	0,00	0,00	0,22	0,73
Assentamento (dummy)	0,47	0,50	0,92	0,27
Altitude	332,78	124,57	332,78	124,57
Floresta Amazônica (dummy)	0,52	0,50	0,52	0,50
Cerrado (dummy)	0,47	0,50	0,47	0,50

Tabela 17 - Estatísticas descritivas para as variáveis determinantes do custo de oportunidade para o estado de Mato Grosso para 1995 e 2006 (conclusão)

Variáveis	1995		2006	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
Mato Grosso				
am (<i>dummy</i>)	0,01	0,11	0,01	0,11
cfb (<i>dummy</i>)	0,00	0,00	0,00	0,00
Cwa (<i>dummy</i>)	0,00	0,00	0,00	0,00
Af (<i>dummy</i>)	0,00	0,00	0,00	0,00
Aw (<i>dummy</i>)	0,99	0,11	0,99	0,11
Cfa (<i>dummy</i>)	0,00	0,00	0,00	0,00
idhm renda	0,58	0,06	0,64	0,05
idhm longevidade	0,66	0,04	0,74	0,03
idhm educação	0,16	0,06	0,35	0,07
Permanentes (<i>dummy</i>)	0,00	0,00	0,00	0,00
Temporária (<i>dummy</i>)	0,03	0,18	0,10	0,30
Pastagem natural (<i>dummy</i>)	0,06	0,23	0,02	0,15
Pastagem plantada (<i>dummy</i>)	0,48	0,50	0,61	0,49
Matas naturais (<i>dummy</i>)	0,43	0,50	0,27	0,45
Matas plantadas (<i>dummy</i>)	0,00	0,00	0,00	0,00
Inaproveitável (<i>dummy</i>)	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Resultados da Pesquisa

Inicialmente, ambos os estados apresentam um aumento no dispêndio com adubos, redução da área média dos estabelecimentos agropecuários, aumento dos dispêndios em financiamento e investimento e uma queda na densidade demográfica. Entretanto, a magnitude de variação de cada uma dessas variáveis entre os estados apresenta diferença. Um ponto também que se destaca é a diferença na proporção do financiamento no investimento dos produtores entre os estados. No estado do São Paulo, apesar do investimento ser superior ao financiamento, a diferença é pequena entre eles. No estado do Mato Grosso a diferença é considerável. Em 1995, o financiamento representou apenas aproximadamente 58% do valor total investido pelos produtores do Mato Grosso, enquanto em 2006 essa proporção reduziu para 38%. A concentração demográfica também apresenta uma diferença substancial. Em 2006 Mato Grosso apresentou 5,23 pessoas por km² enquanto São Paulo apresentava 232,34 pessoas/km². O valor do custo de oportunidade foi semelhante entre os estados analisados.

Tabela 18 - Estatísticas descritivas para as variáveis determinantes do custo de oportunidade para o estado de São Paulo para 1995 e 2006 (continua)

Variáveis	1995		2006	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
São Paulo				
Custo de Oportunidade (em R\$)	27966,17	40068,85	25554,13	31642,36
Assistência (Proporção de estabelecimentos)	0,51	0,23	0,49	0,18
Adubação (Proporção de estabelecimentos)	10641,63	19661,00	22668,49	128399,10
Plantio em Nível (Proporção de estabelecimentos)	0,49	0,25	0,47	0,21
Terraços (Proporção de estabelecimentos)	0,11	0,14	0,12	0,13
Irrigação (Percentual da área irrigada)	0,13	0,15	0,12	0,13
Área média (em hectares)	98,46	101,88	93,99	97,98
(Área média) ²	0,00	0,00	0,00	0,00
Trator, em unidades	0,90	0,78	0,77	0,56
Financiamento, em Reais	13821,65	58585,80	21811,70	175008,00
Investimento, em Reais	15836,05	22973,39	22425,08	126676,60
Demografia, pessoas/km ²	249,58	1061,33	232,34	989,95
Agências bancárias, em unidades	3,29	28,30	5,60	57,80
Nº de cursos em Ciências Agrárias	0,04	0,19	0,15	0,71
Assentamento (<i>dummy</i>)	0,00	0,00	0,11	0,32
Altitude	556,96	171,04	556,96	171,04
Floresta Amazônica (<i>dummy</i>)	0,72	0,45	0,72	0,45
Cerrado (<i>dummy</i>)	0,28	0,45	0,28	0,45
am (<i>dummy</i>)	0,00	0,00	0,00	0,00
cfb (<i>dummy</i>)	0,03	0,18	0,03	0,18
cwa (<i>dummy</i>)	0,01	0,12	0,01	0,12
af (<i>dummy</i>)	0,01	0,07	0,01	0,07
aw (<i>dummy</i>)	0,51	0,50	0,51	0,50
cfa (<i>dummy</i>)	0,44	0,50	0,44	0,50
idhm renda	0,63	0,05	0,67	0,05
idhm longevidade	0,72	0,03	0,78	0,03
idhm educação	0,28	0,07	0,51	0,07

Tabela 18 - Estatísticas descritivas para as variáveis determinantes do custo de oportunidade para o estado de São Paulo para 1995 e 2006 (conclusão)

Variáveis	1995		2006	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
São Paulo				
Permanentes (<i>dummy</i>)	0,07	0,25	0,08	0,27
Temporária (<i>dummy</i>)	0,25	0,44	0,34	0,48
Pastagem natural (<i>dummy</i>)	0,11	0,31	0,16	0,36
Pastagem plantada (<i>dummy</i>)	0,51	0,50	0,27	0,45
Matas naturais (<i>dummy</i>)	0,06	0,23	0,06	0,24
Matas plantadas (<i>dummy</i>)	0,01	0,10	0,00	0,00
Inaproveitável (<i>dummy</i>)	0,00	0,00	0,09	0,28

Fonte: Resultados da Pesquisa

Como forma de analisar se o custo de oportunidade de manter a reserva legal distribui-se aleatoriamente pelo espaço, ou seja, se essa variável não apresenta autocorrelação espacial, foi utilizado o teste I de Moran (Tabela 19).

Tabela 19 - Estatística I de Moran para o custo de oportunidade, 1995 e 2006

Ano	Nº de vizinhos	Estimativa I	P valor	Ano	Nº de vizinhos	Estimativa I	P valor
1995	5	0,068	0,00	2006	5	0,073	0,00
1995	6	0,070	0,00	2006	6	0,066	0,00
1995	7	0,065	0,00	2006	7	0,061	0,00
1995	8	0,075	0,00	2006	8	0,074	0,00
1995	9	0,074	0,00	2006	9	0,064	0,00
1995	10	0,071	0,00	2006	10	0,062	0,00
1995	11	0,073	0,00	2006	11	0,056	0,00
1995	12	0,070	0,00	2006	12	0,055	0,00
1995	13	0,066	0,00	2006	13	0,050	0,00
1995	14	0,063	0,00	2006	14	0,046	0,00
1995	15	0,058	0,00	2006	15	0,041	0,00

Fonte: Resultados da Pesquisa

Essa estatística também foi utilizada para determinar o número ideal de vizinhos que permitem capturar o máximo de autocorrelação espacial, conforme apresentado na seção “4.2 Modelo de painel de dados com dependência espacial”. Segundo a abordagem, o maior valor significativo para a estatística I indica o número de vizinhos que deve ser utilizado. Desta forma, a estatística indicou como 8 o número de vizinhos que devem ser utilizados na construção da matriz de pesos espaciais a ser utilizada na estimação do modelo de regressão.

Os resultados para a estatística I foram positivos e significativos indicando uma relação de similaridade (alto-alto ou baixo-baixo), ou seja, o custo de oportunidade de produtores mais próximos é mais similar do que se o custo estivesse distribuído aleatoriamente pelo espaço. Nesse sentido, produtores com elevado (baixo) custo de oportunidade tendem a estarem agrupados nos estados analisados.

Posteriormente, os diagramas de dispersão de Moran considerando 8 vizinhos foram construídos para os anos de 1995 e 2006 (Figura 18 e 19, respectivamente) e os *outliers* espaciais e pontos de alavancagem foram identificados conforme Almeida (2012), Bivand, Pebesma e Gómez-Rubio (2008) e Plant (2012). Os valores máximos (pontos extremos localizados no quadrante superior esquerdo e inferior direito) da defasagem do custo de oportunidade são considerados *outliers* ao passo que elevados valores para o custo de oportunidade (pontos localizados nos extremos do quadrante superior direito e inferior esquerdo) são considerados pontos de alavancagem por apresentarem influência mais que proporcional sobre a tendência central.

Apenas esses pontos estão identificados nas figuras pelos respectivos nomes dos municípios. Os municípios que não foram considerados *outliers* ou pontos de alavancagem não estão identificados pelo nome nas figuras. Foi, então, criada uma variável binária⁵⁹ (denominada como *outliers*) a ser utilizada na estimação dos determinantes do custo de oportunidade que recebeu valor 1 caso o município é um *outlier* ou ponto de alavancagem, 0 caso contrário, como forma de controlar o efeitos desses municípios sobre as estimativas.

⁵⁹ Rigorosamente, os *outliers* e pontos de alavancagem foram identificados por meio das estatísticas hii – o valor da diagonal da matriz $H=X(X'X)^{-1}X'$, razão de covariância, dfbetas, dfits, e distância de Cook. O município foi considerado *outlier* ou ponto de alavancagem se pelo menos um desses testes indicou que aquela observação era um *outlier* ou ponto de alavancagem. Para maiores detalhes ver Plant (2012, p. 566 – 571) e R Core Team (2015).

Figura 18 - Diagrama de dispersão de Moran para o custo de oportunidade, 1995

Fonte: Resultado da pesquisa

Os mapas de clusters dos Indicadores Locais de Associação Espacial⁶⁰ (*Local Indicator of Spatial Association – LISA*) para o Mato Grosso (Figura 20) e São Paulo (Figura 21) foram construídos combinando as informações do diagrama de dispersão de Moran à significância da associação local nos anos de 1995 e 2006. Os Indicadores Locais de Associação Espacial permitem analisar diferenças na estrutura da autocorrelação espacial local, uma vez que, conforme Plant (2012), a estrutura espacial local pode ser diferente da autocorrelação espacial global⁶¹, caracterizada por apenas uma estatística (o I de Moran).

⁶⁰ Foram utilizadas 999 permutações para o cálculo da significância da estatística local.

⁶¹ Destaca-se que os indicadores LISA tem a propriedade de que tomando a soma do seu valor para todas as observações obtêm-se o seu valor global. Nessa tese, o valor global da autocorrelação espacial foi analisado pelo I de Moran. Nesse sentido, a maior predominância de algum tipo de agrupamento espacial não necessariamente indica a natureza da autocorrelação global, haja vista que essa depende da magnitude das estatísticas LISA e não do número de observações em cada agrupamento, propriamente.

Figura 19 - Diagrama de dispersão de Moran para o custo de oportunidade, 2006

Fonte: Resultado da pesquisa

Para o estado do Mato Grosso pode-se observar o aumento no número de agrupamentos do tipo alto-alto entre 1995 e 2006. Em 1995 a maior parte dos municípios foram enquadrados como baixo-baixo. Em 2006, o número de municípios de elevado custo de oportunidade advindo da manutenção da área ocupada com a Reserva Legal aumentou, principalmente no centro do estado, na região de Sinop e Sorriso, região essa de elevada produção de soja. Esse padrão de agrupamento pode ser associado ao avanço da produção de soja no estado do Mato Grosso (Figura 22). Esse comportamento ao longo do tempo pode ser explicado pela expansão da produção de soja no estado do Mato Grosso. A quantidade colhida de soja colhida entre 1995 e 2006 no estado do Mato Grosso aumentou de 4 milhões de toneladas para 11 milhões de toneladas⁶² (IBGE 1998; 2009).

No estado de São Paulo, por sua vez, observa-se o aumento dos municípios do grupo baixo-baixo na porção leste do estado, bem como uma redução dos municípios nos agrupamentos alto-alto da porção norte do estado, entre 1995 e 2006. Os municípios que não foram enquadrados em nenhum agrupamento e estão identificadas como “não significativo” são aqueles em que o valor do custo de oportunidade do código florestal não é diferente, em termos estatísticos, da

⁶² O rendimento médio da produção de soja aumentou de 2.333,67 para 2.583,18 quilogramas por hectare entre 1995 e 2006 (IBGE 1998; 2009).

média de todos os municípios, conforme Almeida (2012). Assim sendo, esses resultados indicam que há uma dinâmica nos estados quanto à distribuição dos custos de oportunidade. Essa dinâmica está representada pelo aumento dos agrupamentos alto-alto e baixo-baixo no MT e na porção leste de São Paulo, respectivamente.

Figura 20 - Agrupamentos LISA para o custo de oportunidade, Mato Grosso, 1995 e 2006
Fonte: Resultado da pesquisa

Figura 21 - Agrupamentos LISA para o custo de oportunidade, São Paulo, 1995 e 2006
Fonte: Resultado da pesquisa

Figura 22 - Evolução da área plantada com soja no estado do Mato Grosso entre 1995 e 2006 por municípios

Fonte: IBGE (1998; 2009).

7.3 Especificação e estimação

A especificação do modelo de regressão espacial para dados em painel foi baseada nos procedimentos sugeridos por Almeida (2012a). Inicialmente, foram utilizados o teste de Breusch e Pagan e o teste F de forma a avaliar se os efeitos individuais não observados são relevantes. A estatística χ^2 , com 1 grau de liberdade, foi estimada em 36,14 com nível de significância ao 1% e o teste F (com 628 e 603 graus de liberdade no numerador e denominador, respectivamente) foi estimado em 2,97, significativo ao nível de 1%. Esses resultados indicam que os efeitos individuais são importantes e devem ser considerados na estimação.

Assim, deve-se optar entre utilização do modelo de efeitos fixos ou efeitos aleatórios. Para esse fim, foi utilizado o teste de Hausman proposto por Mutl e Pfaffermayr (2011) para dados espaciais em painel (Equação 23). O valor estimado para a estatística foi de $\chi^2_{19 g.l.} = 217,73$, significativo ao nível de significância de 1%. O teste de Hausman convencional (não incorporando a autocorrelação espacial à análise) também indicou que o modelo de efeitos aleatórios seria viesado, obtendo a estimativa de 522,01 para o χ^2 , significativa ao nível de 1%.

O teste de Hausman indicou que os efeitos individuais não observados são correlacionados às variáveis explicativas, de forma que o modelo de efeitos aleatórios seria viesado, devendo ser utilizado, portanto, o modelo de efeitos fixos. O próximo passo consistiu em estimar o modelo de efeitos fixos e obter os respectivos resíduos. Esses resíduos foram, então, testados quanto à presença de autocorrelação espacial por meio da estatística de I de Moran

(Equação 27), que foi estimada como $I = -0,072$, significativa ao nível de 1%. Nesse sentido, após remover os efeitos das variáveis explicativas sobre o valor do custo de oportunidade, ainda há autocorrelação espacial. O valor estimado de $-0,072$ indica que há dissimilaridade, ou seja, produtores com elevados valores para o custo de oportunidade tendem a estar próximos de produtores de baixo custo de oportunidade e, portanto, a análise dos determinantes do custo de oportunidade deve considerar que o custo de oportunidade em manter a área de reserva legal com matas e florestas não se distribui aleatoriamente no espaço.

Por fim, para auxiliar na escolha do modelo a ser utilizado na estimação dos determinantes do custo de oportunidade foram calculados os critérios de informação de Akaike (AIC) e Bayesiano (BIC), a Razão de Máxima Verossimilhança (Equação 34), conforme sugerido por Elhorst, 2014, a estatística I de Moran e os testes de Multiplicador de Lagrange (Equação 28) para dados espaciais em painel empilhados propostos por Anselin et al. (2008). Posteriormente, Debarsy e Ertur (2010) propuseram a versão robusta desses testes (Equações 32 e 33). Utilizando a abordagem de Florax et al. (2003), a hipótese de ausência de autocorrelação espacial advinda de uma defasagem espacial omitida e a hipótese de omissão de erro autorregressivo espacial foram testadas respectivamente por meio de LMerro e LMlag (Equação 28).

Ambas as estatísticas LMerro e LMlag foram significativas (Tabela 20). Isso leva que as mesmas devem ser estimadas na sua respectiva versão robusta, RLMerro e RLMLag (Equação 32), conforme Florax et al. (2003). Novamente, ambas as estimativas robustas foram significativas ao nível de 5%. Entretanto, a estatística robusta para o modelo do erro espacial autorregressivo foi a que apresentou a maior significância, bem como o maior valor para a estimativa do χ^2_{1gl} .

Tabela 20 - Diagnóstico para autocorrelação espacial, Mato Grosso e São Paulo, 1995 e 2006

Estatística	Estimativa (χ^2_{1gl})	Significância
LMlag	20,61	0,00
LMerro	15,65	0,00
RLMLag	5,55	0,01
RLMerro	28,52	0,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

Nota: A matriz de vizinhança considerada foi a de k-vizinhos, sendo k=8, conforme o teste de I Moran indicou anteriormente.

As estatísticas LR para o teste do modelo do erro (Equação 22) contra o modelo SARAR (Equação 19) e do modelo da defasagem espacial (Equação 21) contra o modelo SARAR foram significativas ao nível de 1%. As respectivas estimativas foram 4541, 67 e 4564, 27 com distribuição χ^2 com 1 grau de liberdade. Assim, essa estatística indica que o modelo SARAR é preferível ao modelo SAR e SEM. Entretanto, os critérios de informação AIC e BIC para os modelos SARAR, SEM e SAR indicaram que o modelo mais adequado seria o modelo do erro (Tabela 21), muito embora os valores apresentados sejam próximos.

Tabela 21 - Critérios de informação Akaike e Bayesiano para os modelos

Modelo	AIC	BIC
SARAR	28.094,77	28.197,51
Erro – SEM	28.143,53	28.241,14
Defasagem – SAR	28.022,10	28.119,71

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Nota: AIC – Critério de Informação de Akaike; BIC – Critério de Informação Bayesiano

Dado que as estatísticas anteriores foram inconclusivas, os modelos SARAR, do erro e da defasagem foram estimados e seus resíduos foram testados por meio da estatística I de Moran de forma a analisar se os modelos foram capazes de remover a autocorrelação espacial, conforme proposto por Almeida (2012a). Os resultados indicam que apenas o modelo da defasagem espacial foi capaz de controlar a autocorrelação espacial ao nível de significância de 5%. Isso pode ser observado na Tabela 22, onde apenas no modelo de defasagem espacial não foi possível rejeitar a hipótese nula de que os resíduos da estimação estão distribuídos aleatoriamente no espaço. Assim sendo, foi utilizado o modelo da defasagem espacial para a análise dos determinantes do custo de oportunidade da área da reserva legal (Tabela 23). Os efeitos diretos e indiretos foram posteriormente estimados conforme Equação (39).

O modelo SAR incorpora a variável dependente espacialmente defasada como variável explicativa. Essa variável captura o efeito de interação endógeno, tipicamente considerado como resultante de um processo de equilíbrio espacial, em que o valor da variável dependente de um agente é determinado conjuntamente à de seus vizinhos (ELHORST, 2014). Nesse sentido, o custo de oportunidade de um produtor representativo depende e é determinado conjuntamente ao

custo de oportunidade de seus vizinhos. Essa relação é esperada, uma vez que produtores vizinhos tendem a apresentar eficiência técnica, culturas agropecuárias e comportamento semelhante quanto ao tratamento dado à Reserva Legal – desmatando ou não.

Tabela 22 - Estatística I de Moran os resíduos das regressões espaciais em painel do custo de oportunidade, 1995 e 2006, por modelo

Modelo	Estimativa I	P valor
SARAR	-0,09	0,00
Erro – SEM	-0,12	0,00
Defasagem – SAR	-0,04	0,05

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Como o modelo foi estimado por efeitos fixos, todas as variáveis que eram constantes ao longo do tempo para os produtores rurais foram removidas, tais como as variáveis indicativas de clima, bioma e altitude (ver Tabela 23). Posteriormente, buscando um melhor ajustamento do modelo, as variáveis para curvas de nível, eletricidade, irrigação e as dimensões para educação e renda do IDH-M foram removidas⁶³ do modelo. Essas variáveis não foram estatisticamente significativas tanto individualmente (teste t) como conjuntamente (teste F) ao nível de significância de 10%. Ademais, variáveis interativas foram adicionadas buscando captar diferenças na relação entre as variáveis explicativas e o custo de oportunidade entre os estados. Foram adicionadas as variáveis *Adubação.Mato Grosso* obtida pela multiplicação entre adubação e a variável binária para o Mato Grosso. Procedimento semelhante foi adotado para *Terraços.Mato Grosso*, *Financiamento.Mato Grosso*, *Investimento.Mato Grosso*, *Demografia.Mato Grosso*, *Area.Mato Grosso* e *Área².Mato Grosso*. A variável *Outliers* foi calculada conforme descrita na seção “7.2 Estatísticas descritivas e análise exploratória dos dados espaciais”.

⁶³ A escolha das variáveis a serem retiradas do modelo ou incluídas também considerou a sensibilidade da variação dos parâmetros estimados à sua retirada do modelo de regressão. Conforme Wooldridge (2006), a inclusão de variáveis irrelevantes ao modelo não cria viés, podendo implicar em multicolinearidade e maior variância aos parâmetros estimados, enquanto a exclusão de variáveis relevantes comumente gera viés às estimativas. Assim, a retirada de variáveis não relevantes não deve apresentar mudança perceptível nos parâmetros estimados, podendo reduzir, entretanto, a variância estimada de todos os parâmetros e aumentar a significância das estimativas.

Tabela 23 - Estimativas para os determinantes do custo de oportunidade, efeitos fixos para São Paulo e Mato Grosso, 1995 e 2006

Variável	Estimativa	Desvio Padrão	Estatística t	P valor
Lambda (λ)	-0,06	0,01	-9,33	0,00
Adubação (Proporção de estabelecimentos)	-0,04	0,01	-4,30	0,00
Adubação * <i>dummy</i> para Mato Grosso	0,18	0,03	6,02	0,00
Terraços (Proporção de estabelecimentos)	-8.276,90	7.382,30	-1,12	0,26
Terraços * <i>dummy</i> para Mato Grosso	-282.980,00	26.162,00	-10,82	0,00
Área média, em hectares	-38,31	24,40	-1,57	0,12
(Área média) ²	0,02	0,02	1,34	0,18
Área média * <i>dummy</i> para Mato Grosso	64,80	27,05	2,40	0,02
(Área média) ² * <i>dummy</i> para Mato Grosso	-0,03	0,02	-1,87	0,06
Trator, em unidades	-2.509,50	1.628,30	-1,54	0,12
Financiamento, em Reais	-0,01	0,01	-2,13	0,03
Financiamento * <i>dummy</i> para Mato Grosso	-0,39	0,16	-2,52	0,01
Investimento, em Reais	0,02	0,01	2,64	0,01
Investimento * <i>dummy</i> para Mato Grosso	0,10	0,03	3,18	0,00
Demografia, pessoas/km ²	-1,01	0,92	-1,10	0,27
Demografia * <i>dummy</i> para Mato Grosso	422,23	148,36	2,85	0,00
Nº de cursos (Ciências Agrárias)	-4.435,60	2.158,90	-2,05	0,04
Assentamento (<i>dummy</i>)	4814,30	2.745,00	1,75	0,08
Agências bancárias, em unidades	73,08	50,24	1,45	0,15
IDH-M longevidade	94.866,00	41.325,00	2,30	0,02
Permanentes (<i>dummy</i>)	3.908,70	4.921,70	0,79	0,43
Temporária (<i>dummy</i>)	9.298,20	4.554,50	2,04	0,04
Pastagem natural (<i>dummy</i>)	-318,30	4.648,50	-0,07	0,95
Pastagem plantada (<i>dummy</i>)	3.276,40	4.201,70	0,78	0,44
Matas plantadas (<i>dummy</i>)	598,20	10.987,00	0,05	0,96
Inaproveitável (<i>dummy</i>)	-4.405,10	5.481,60	-0,80	0,42
Tendência	-6.552,10	3.024,60	-2,17	0,03
<i>Outliers</i> (<i>dummy</i>)	84.145,00	3.536,10	23,80	0,00
Fronteira.SP (<i>dummy</i>)	-3.506,60	2.694,50	-1,30	0,19
Fronteira.MT (<i>dummy</i>)	5.505,80	4.649,30	1,18	0,24

Fonte: Resultados da pesquisa. Nota: *, ** e *** indicam significativo a 10%, 5% e 1%, respectivamente.

Destaca-se que algumas variáveis apesar de não significativas, como Área média, (Área média)², Terraços e Demografia (Tabela 23), foram mantidas na estimação de forma a facilitar a interpretação de outras variáveis, como Área média do Mato Grosso e Demografia do Mato Grosso, permitindo-os comparar diretamente aos coeficientes estimados para São Paulo, tomado base de comparação⁶⁴. Ademais, as variáveis para área foram mantidas uma vez que o teste F para significância conjunta (Área média, Área média², Área média*Mato Grosso, Área média²*Mato Grosso) indicou que essas são significativas conjuntamente ao nível de significância de 4%.

Posteriormente, as estimativas para os efeitos marginais dos determinantes do custo de oportunidade foram estimados (Equação 39). Os efeitos marginais foram separados em efeitos diretos, indiretos e totais (Tabela 24). Segundo Elhorst (2014), as estimativas dos efeitos indiretos das variáveis explicativas é um melhor indicativo da existência ou não de transbordamentos espaciais do que o coeficiente da defasagem da variável dependente (λ).

A relação negativa entre custo de oportunidade e adubação pode ser explicada pelos ganhos de produtividade por área advindo de uma produção mais intensiva. Esse resultado é corroborado por Macedo et al (2001), que afirmou que a redução do desmatamento e o aumento da produção podem ocorrer simultaneamente se as políticas de controle do desmatamento promoverem o uso eficiente das áreas já desmatadas por meio do aumento da intensidade de cultivo e ganhos de produtividade.

⁶⁴ São Paulo foi tomado como base ao se omitir a variável binária para esse estado na estimação. Nesse sentido, todas as variáveis interativas podem ser comparadas diretamente à respectiva variável não interativa (que representa a relação de uma dada variável e o custo de oportunidade para São Paulo na média), analisando se há diferença na relação entre o efeito marginal dessa variável entre Mato Grosso e São Paulo.

Tabela 24 - Efeito marginal total das variáveis explicativas sobre o custo de oportunidade no modelo SAR para São Paulo e Mato Grosso, 1995 e 2006

Variável	Efeito Direto	Efeito Indireto	Efeito Total
Adubação (Proporção de estabelecimentos)	-0,04***	0,001***	-0,03***
Adubação * <i>dummy</i> para Mato Grosso	0,18***	-0,01***	0,17***
Terraços (Proporção de estabelecimentos)	-8.279,59	499,05	-7.780,54
Terraços * <i>dummy</i> para Mato Grosso	-283.067,10 ***	17.061,68 ***	-266.005,40 ***
Área média, em hectares	-38,32	2,31	-36,01
(Área média) ²	0,02**	-0,001**	0,02**
Área média * <i>dummy</i> para Mato Grosso	64,82*	-3,91*	60,92*
(Área média) ² * <i>dummy</i> para Mato Grosso	-0,03	0,001	-0,03
Trator, em unidades	-2510,30	151,31	-2358,99
Financiamento, em Reais	-0,01**	0,0007**	-0,01**
Financiamento * <i>dummy</i> para Mato Grosso	-0,39***	0,02***	-0,37***
Investimento, em Reais	0,02***	-0,001***	0,02***
Investimento * <i>dummy</i> para Mato Grosso	0,10***	-0,01***	0,10***
Demografia, pessoas/km ²	-1,01	0,06	-0,94
Demografia * <i>dummy</i> para Mato Grosso	422,37***	-25,46***	396,91***
Nº de cursos (Ciências Agrárias)	-4.437,00**	267,44**	-4.169,56**
Assentamento (<i>dummy</i>)	4.815,82*	-290,27*	4.525,55*
Agências bancárias, em unidades	73,10	-4,41	68,70
IDH-M longevidade	94.896,73**	-5.719,84**	89.176,89**
Permanentes (<i>dummy</i>)	3.909,96	-235,67	3.674,29
Temporária (<i>dummy</i>)	9.301,17**	-560,62**	8.740,55**
Pastagem natural (<i>dummy</i>)	-318,40	19,19	-299,21
Pastagem plantada (<i>dummy</i>)	3.277,51	-197,55	3.079,96
Matas plantadas (<i>dummy</i>)	598,39	-36,07	562,33
Inaproveitável (<i>dummy</i>)	-4.406,56	265,60	-4.140,96
Tendência	-6.554,17**	395,05**	-6.159,12**
<i>Outliers</i> (<i>dummy</i>)	84.172,05***	-5.073,42***	7.9098,63***
Fronteira.SP (<i>dummy</i>)	-3.507,78	211,43	-3.296,35
Fronteira.MT (<i>dummy</i>)	5.507,59	-331,97	5175,62

Fonte: Resultados da Pesquisa. Nota: *, ** e *** indicam significativo a 10%, 5% e 1%, respectivamente.

O maior efeito marginal estimado foi aquele associado à variável de interação entre terraços e Mato Grosso. Ela indica que o aumento em um ponto percentual no número de estabelecimentos utilizando terraceamento reduz o custo de oportunidade na média para o estado do Mato Grosso em R\$ 2.913,467 para o produtor agropecuário médio representativo ($R\$ 8.279,59 \cdot 0,01 + R\$ 283.067,10 \cdot 0,01$). Como o valor médio do custo de oportunidade no estado do Mato Grosso foi de aproximadamente R\$ 28 mil e R\$ 49 mil em 1995 e 2006, respectivamente (Tabela 17), e considerando a área média de cada estabelecimento em 1995 e 2006 no Mato Grosso de 836,33 e 549,40 hectares, respectivamente, pode-se calcular que o uso de terraços no Mato Grosso está associado à redução no custo de oportunidade por hectare de apenas R\$ 3,484 ($R\$ 2.913,4669/836,33$) e 5,303 ($R\$ 2.913,4669/549,41$), respectivamente, para os anos 1995 e 2006. Cálculo semelhante para São Paulo indica que o terraceamento está associado a uma redução no custo de oportunidade de aproximadamente R\$ 30,00 por hectare tanto para 1995 e 2006, muito embora essa estatística não tenha sido estatisticamente significativa para São Paulo. Essa baixa relação entre o custo de oportunidade e o uso de terraços pode ser explicada pelo relevo plano e suave ondulado no estado do Mato Grosso (conforme seção 5.1 Características edafoclimáticas).

Entretanto, o efeito marginal negativo direto do uso de terraços sobre o custo de oportunidade é atenuado pelo efeito marginal indireto. Assim, o efeito marginal total do uso de terraços é ainda menor. O efeito indireto positivo pode ser explicado pelo fato de que se um produtor no estado do Mato Grosso possui uma área que utiliza terraços, esse mesmo produtor pode buscar áreas vizinhas de cultivo mais fácil para a produção agropecuária. Essa “saída” dos produtores do município tem como efeito aumentar a demanda de terra dos municípios vizinhos e, assim, também aumentar o custo de oportunidade das matas nos municípios vizinhos⁶⁵. Entretanto, como o custo de oportunidade nos municípios vizinhos eleva-se, os produtores que inicialmente tiveram uma redução no seu custo de oportunidade pela “saída” de alguns produtores para outros municípios enfrentam um acréscimo no seu custo, uma vez que as áreas vizinhas já não são mais tão baratas quanto antes e passam a depender mais da área de matas de dentro do seu próprio município. Esse efeito culminará em uma elevação no seu custo de

⁶⁵ Deve-se considerar que o I de Moran estimado anteriormente foi de -0,072 o que implica que há dissimilaridade na forma como o custo de oportunidade se distribui no espaço. Desse modo, produtores de maior custo de oportunidade tem como vizinhos produtores de baixo custo de oportunidade

oportunidade. Assim, esses resultados indicam a existência de transbordamentos espaciais. Nesse sentido, a interpretação e análise dos resultados será focada nos efeitos totais, a não ser que seja indicado o contrário. Ademais, o mecanismo de ajuste do novo equilíbrio do custo de oportunidade entre os produtores resultante da variação em uma variável exógena qualquer pode ser analisado de forma semelhante, atentando que variáveis não significativas estatisticamente não devem apresentar esse efeito de transbordamento da perspectiva estatística.

A área apresentou um comportamento quadrático conforme esperado. O efeito marginal total estimado para a área ao quadrado foi positivo para o estado de São Paulo e negativo para o estado do Mato Grosso (Tabela 24). A relação entre o custo de oportunidade e área são descritas por curvas de formatos diferentes (Figura 23) ⁶⁶ para cada estado. A equação para a área e custo de oportunidade para São Paulo é descrita por $0,02(\text{Área média})^2 - 36,01(\text{Área média})$, que decresce a taxas crescentes, enquanto para Mato Grosso tem-se a equação $-0,01(\text{Área média})^2 + 24,91(\text{Área média})$, que cresce a taxas decrescentes. A equação representa uma parábola em forma de U para São Paulo e em forma de U invertido para o Mato Grosso. Entretanto, como pode ser observado, a maioria das observações em São Paulo está concentrada na parte decrescente da curva, enquanto que para Mato Grosso as observações estão concentradas na porção crescente. Nesse sentido, em ambos os estados os produtores maiores arcam com um custo de oportunidade por área menor.

Assim, o custo de oportunidade para o estado do Mato Grosso inicialmente aumenta com o aumento da área para posteriormente atingir o máximo no ponto em que a área média dos estabelecimentos agropecuários é de R\$ 1.245,5 hectares. À direita desse ponto, a relação entre aumento da área e custo de oportunidade torna-se negativa, com sucessivos aumentos da área reduzindo o custo. Essa relação pode ser explicada pela área mínima necessária para utilizar a tecnologia de produção disponível. Destaca-se que apenas 5 “produtores” possuem área média maior do que R\$ 1.245,50.

⁶⁶ A Figura 23 representa a parábola obtida quando o custo de oportunidade é estimado tomando apenas a área dos estabelecimentos por meio dos parâmetros do modelo.

Figura 23 - Relação estimada entre área média dos estabelecimentos, em hectares, e o custo de oportunidade estimado em função da área, São Paulo e Mato Grosso, 1995 e 2006
Fonte: Resultados da Pesquisa.

Esse valor pode ser justificado tomando as principais atividades agropecuárias no estado de São Paulo e Mato Grosso. Mato Grosso apresenta uma área de pastagens plantadas superior ao de São Paulo (Tabela 2), ademais 65,51% da área cultivada com culturas temporárias no Mato Grosso em 2006 foi ocupada pela soja (IBGE, 2014c). Young, Mac-Knight e Meireles (2007) assumiram que o cultivo da soja é a atividade mais rentável no estado do Mato Grosso. O cultivo da soja é caracterizado por ser mecanizado e em grandes áreas. Segundo Theodoro, Leonardos e Duarte (2002), a área economicamente viável para o cultivo da soja era de 1.200 hectares por propriedade quando os primeiros cultivos começaram a ser implantados no Mato Grosso por volta da década de 1970. Ao longo do tempo, a escala na produção de soja aumentou, baseada em grandes extensões, preço barato da terra e utilização de equipamentos e máquinas de grande escala.

Assim, o valor de R\$1.245,50 pode ser interpretado como a área em que a rentabilidade de soja atingiria o maior valor em virtude da adequação da tecnologia de produção disponível à área. Esses resultados para o Mato Grosso e São Paulo são corroborados pelos argumentos de

Torinho e Passos (2006) para o Paraná, que afirmaram que na pequena propriedade a redução da área total advinda da restrição da reserva legal pode comprometer a sustentabilidade econômica. Dedução semelhante foi obtida por Pires (2012) que analisou as áreas de Reserva Legal (RL) no Município de Formosa (GO) em 2011 e concluiu que a RL é mais onerosa, proporcionalmente, para os pequenos produtores.

Conclui-se, portanto, que no Mato Grosso os menores produtores arcam com um custo de oportunidade da reserva legal proporcionalmente superior aos produtores que dispõem de uma área maior, uma vez que o custo de oportunidade cresce a taxas decrescentes em relação ao aumento da área e a maior parte dos produtores está concentrada na porção crescente da curva. No estado de São Paulo, os maiores produtores arcam com custo de oportunidade menor, tanto em termos absolutos como proporcionais, do que os menores produtores.

Essa relação para o custo de oportunidade e área é corroborada pelos resultados de Marchand (2012), que concluíram que os pequenos produtores convertem mais terras para a produção agropecuária do que os maiores produtores. Portanto, os pequenos produtores seriam mais dependentes da área da Reserva Legal para a produção agropecuária. Conforme Angelsen e Kaimowitz (2001) e Marchand (2012), pequenos produtores estão sujeitos a maiores restrições, como de capital, do que os maiores produtores e, por isso, tendem a utilizar de forma mais abundante o fator mais barato, a terra.

As variáveis Financiamento e Investimento apresentaram efeitos marginais estatisticamente significativos, mas com dimensão sem significado econômico para o estado de São Paulo quando se considera o valor médio do custo de oportunidade e o valor médio dos financiamentos e investimentos. Por exemplo, em 1995 o custo médio de oportunidade para São Paulo foi de R\$ 27.966,17, o valor dos investimentos foi de R\$ 15.836,05 e dos financiamentos foi de 13.821,65 (Tabela 18). Assim, tomando o valor médio do financiamento obtém-se uma redução no custo de oportunidade para São Paulo em 1995 de R\$ 276,43 ($0,02 \times 13.821,65$) ou 0,98% do custo de oportunidade. Entretanto, tomando o valor do financiamento médio para o Mato Grosso em 1995 de R\$ 10.550,09 e o custo de oportunidade médio de R\$ 28.354,17, o financiamento está relacionado a uma redução no custo de oportunidade de R\$ 3.798,03 ($(-0,01 - 0,37) \times 10.550,09$) ou 13,39% do custo de oportunidade. Tomando o investimento médio no ano de 1995 para Mato Grosso obtém-se um aumento no custo de oportunidade de R\$ 2.192,16 ou 7,73% do custo de oportunidade. Assim, observa-se que os efeitos marginais do investimento

sobre o custo de oportunidade são mais importantes no Mato Grosso do que em São Paulo, sendo, portanto, a produção agropecuária no primeiro estado mais sensível às variações no investimento e financiamento. Ademais, variações no financiamento seriam capazes de compensar a elevação do custo de oportunidade associada aos investimentos no estado do Mato Grosso.

A relação oposta do investimento e o financiamento em relação ao custo de oportunidade pode ser explicada pelo fato de nem todos os recursos obtidos via financiamentos serem efetivamente aplicados na produção agropecuária, conforme exposto por Nogueira (2005). Ademais, as estatísticas descritivas (Tabelas 17 e 18) indicaram que o valor do investimento é superior ao financiado. Nesse sentido, os valores financiados são aplicados no processo produtivo de forma mais adequada em relação ao custo de oportunidade do que o total do valor investido, que incorpora outras fontes, como recursos próprios, que, por apresentarem taxas menores, podem ser aplicados de forma sub ótima. Portanto, o financiamento da produção agropecuária parece estar mais diretamente relacionado à adoção de tecnologias menos dependentes das áreas ocupadas com florestas. Isso também pode ser resultado do financiamento condicionado à adoção de práticas de produção que não incorporem as áreas de florestas naturais no processo produtivo agropecuário. Esse argumento é mais importante quando se atenta que o financiamento apresentou valor economicamente significativo apenas para o estado do Mato Grosso, onde o corte raso das matas nativas é um problema importante e restrições no financiamento têm sido aplicadas às áreas com elevadas taxas de desmatamento, com por exemplo, a moratória da soja.

O efeito marginal total para o uso de tratores, apesar de apresentar uma relação economicamente relevante não foi estatisticamente significativo ao nível de significância de 10%. Da mesma forma, a presença de agências bancárias no município e as variáveis binárias para tipo de atividade agropecuária que ocupa a maior parcela da área dos estabelecimentos não foram estatisticamente significativas, com exceção do parâmetro estimado para culturas temporárias. Nesse sentido, aqueles estabelecimentos agropecuários que possuem a maior parcela da área ocupada com culturas temporárias apresentam um custo de oportunidade superior em R\$ 8.740,55 em relação àqueles estabelecimentos agropecuários no qual a maior parcela da área é coberta com matas naturais.

O efeito marginal estimado para a variável densidade populacional para São Paulo não foi estatisticamente significativo. Por sua vez, o efeito marginal que incorpora a existência de diferença de inclinação dessa variável entre São Paulo e Mato Grosso foi significativo

estatisticamente a 1%. As estimativas indicam que a densidade populacional apresenta relação positiva ao aumento do custo de oportunidade para o estado do Mato Grosso. Esse resultado pode ser associado a momentos históricos diferentes. O estado do Mato Grosso apresenta grande quantidade de áreas cobertas por florestas naturais e baixa densidade populacional (Tabela 17) de forma que o aumento da densidade populacional nos municípios mato-grossenses acresce o mercado consumidor para a produção agropecuária. O aumento da densidade também tende a estar associado a melhorias da infraestrutura de escoamento da produção. Esses fatores aumentariam a rentabilidade por área, o que aumentaria o custo de oportunidade de se manter a área com mata nativa. O efeito marginal negativo pode ser associado ao fato de à medida que a densidade populacional aumenta, a demanda aumenta, o que pode exercer uma pressão positiva sobre os preços. Os produtores rurais do município começam então a desmatar mais como resultado do aumento do custo de oportunidade medido pela perda da receita agropecuária potencial. Os produtores dos municípios vizinhos, por sua vez, percebem o aumento da demanda e dos preços e aumentam sua produção agropecuária. Esse aumento da oferta reduz os preços no primeiro município, o custo de oportunidade (efeito indireto) e a pressão sobre as florestas nativas.

O aumento no número de cursos na área de ciências agrárias apresentou relação negativa ao custo de oportunidade. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de que quanto maior o número desses cursos, maior é o efeito da universidade na região onde essa está inserida por meio da dispersão do conhecimento via ensino, pesquisa e extensão. O aumento do conhecimento poderia levar à conscientização e à adoção de práticas de produção baseadas em menor quantidade de desmatamento. Entretanto, destaca-se o efeito indireto positivo do número de cursos sobre o custo de oportunidade. Esse efeito pode ser resultado do deslocamento dos produtores, uma vez que o custo de oportunidade naquele município reduz-se, produtores rurais dos municípios vizinhos são incentivados a deslocar-se para esse município. O aumento no número de produtores rurais naquele município aumentaria a pressão sobre as florestas naturais.

A análise do efeito marginal direto para a variável assentamentos rurais de reforma agrária indicou que o custo de oportunidade de manter áreas com vegetação nativa é maior nos municípios com assentamentos de reforma agrária do que nos municípios que não possuem assentamentos. Assim, a presença de assentamentos incentivaria os produtores a adotar técnicas de produção mais dependentes das áreas de florestas pelo receio de ocupação ou invasão das

áreas de matas de suas propriedades. Para reduzir esse risco, os produtores adotariam uma forma de produção que apresentaria maiores taxas de desmatamento do que outros produtores de outros municípios sem assentamentos. Entretanto, o aumento no custo de oportunidade do produtor rural advindo da presença de assentamentos no município (efeito direto) afetaria também o custo de oportunidade dos produtores de municípios vizinhos por meio de um efeito semelhante ao descrito anteriormente para o uso de terraços, em que os produtores que tiveram um aumento no seu custo podem ser incentivados a buscar outras áreas para produzir, o que reduzirá a pressão sobre as florestas do município original. Nesse sentido, como consequência, o custo poderia reduzir em R\$ 290,27 (efeito indireto, Tabela 24). Assim, o efeito total da existência de assentamentos de reforma agrária no município resulta no acréscimo de R\$ 4.525,55 no custo de oportunidade em relação àqueles municípios que não possuem assentamentos de reforma agrária em seu território.

Destaca-se também que a relação positiva entre assentamento e o custo de oportunidade também pode ser associada diretamente aos assentamentos. Segundo Calandino, Wehrmann e Koblitz (2012) e Le Tourneau e Bursztyn (2010) a proporção do desmatamento é maior dentro dos assentamentos. Ademais, segundo Le Tourneau e Bursztyn (2010), o maior desmatamento nos assentamentos na região da Amazônia Legal é uma forma de garantir o direito de propriedade e indicar que a área está efetivamente ocupada. Segundo esses mesmos autores, o corte raso pelos assentados seria também uma alternativa às precárias condições de infraestrutura e ausência de tecnologias de produção alternativas, sendo que “a maioria dos observadores concorda que é ilusório ter uma agricultura familiar produtiva em lotes de pequeno tamanho e com reservas legais de 80%, ou mesmo de 50%” (LE TOURNEAU; BURSZTYN, 2010, p. 123).

A relação positiva (efeito marginal total) entre a longevidade e o custo de oportunidade pode ser explicado pelo aumento da produtividade dos trabalhadores em razão da melhora de suas condições de saúde. O aumento da produtividade implica que as áreas cobertas por matas nativas têm seu custo elevado, uma vez que a receita potencial a ser obtida em cada hectare ocupado por matas nativas aumenta. Entretanto, o efeito marginal indireto negativo por ser explicado, tal qual para o uso de terraços, em que o aumento do custo de oportunidade no município pode incentivar os produtores a buscar novas áreas em outros municípios, reduzindo o custo de oportunidade. Esse efeito negativo também pode ser advindo pelo fato que à medida que a longevidade aumenta (e as condições de saúde) há um efeito de atração sobre a população dos municípios vizinhos, que

migram para o primeiro município. O aumento da população reduz as condições de saúde e longevidade, por conseguinte, a produtividade da agropecuária e o custo de oportunidade das matas nativas (efeito indireto).

A relação positiva entre culturas temporárias e o custo de oportunidade pode ser explicado pelo fato dessas responderem pela maior parcela da receita da produção agropecuária em ambos os estados (Tabela 1) e apresentar a maior rentabilidade por hectare que as demais culturas consideradas haja vista que segundo Young, Mac-Knight e Meireles (2007) a soja seria a cultura mais rentável no estado do Mato Grosso e pode-se assumir que a cultura da cana de açúcar seja a cultura mais rentável no estado de São Paulo. Assim, como anteriormente, o aumento do custo de oportunidade pode resultar em “saída” de produtores para municípios de menor custo, exercendo um efeito indireto negativo sobre o custo de oportunidade. Por fim, destaca-se a tendência de redução do custo de oportunidade entre os anos analisados, sendo o custo de oportunidade de 2006 menor ao de 1995 em R\$ 6.159,12 na média.

Resumidamente, os resultados dessa seção indicaram que o custo de oportunidade não se distribui aleatoriamente no espaço. Esse apresentaria similaridade no espaço. Entretanto, após controlar pelas características dos produtores e efeitos fixos, os resultados indicaram a existência de dissimilaridade, ou seja, produtores de elevado (baixo) custo de oportunidade tendem a estar mais próximos de produtores de baixo (elevado) custo de oportunidade. Contudo, os resultados dos indicadores locais de associação espacial também indicaram que há agrupamentos locais do tipo alto-alto e baixo-baixo, ou seja, produtores de elevado (baixo) custo estão próximos a produtores de elevado (baixo) custo.

A especificação do modelo de regressão dos determinantes do custo de oportunidade indicou, por meio da inclusão da variável dependente defasada, que o custo de oportunidade é determinando em um processo de equilíbrio espacial, em que o custo de um agente qualquer determina e é determinado pelo custo de oportunidade dos seus vizinhos e pelo seu próprio custo. Esse resultado foi corroborado pelos efeitos marginais indiretos das variáveis explicativas que foram significativos para algumas variáveis, indicando a existência de transbordamentos espaciais.

A análise dos determinantes do custo de oportunidade indicaram que os produtores de menor área apresentariam os maiores custos tanto no Mato Grosso como em São Paulo, proporcionalmente ou de forma absoluta, respectivamente. Os efeitos marginais indicaram que a

produção agropecuária no estado do Mato Grosso seria mais sensível ao financiamento do que no estado de São Paulo, o qual apresentou valor economicamente não relevante. Ademais, o financiamento apresentou relação negativa ao custo de oportunidade, em detrimento do investimento, que apresentou relação positiva. Essa relação entre o financiamento e o custo de oportunidade foi atribuída às condições para a concessão do financiamento, como a não incorporação de novas áreas de mata nativa no processo produtivo agropecuário. Como exemplo pode-se citar a moratória da soja no estado do Mato Grosso. Por fim, destaca-se que as variáveis de maior relação ao custo de oportunidade, como longevidade e presença de cursos na área de ciências agrárias, não estão sobre o controle do produtor rural enquanto a área pode ser controlada pelos produtores, parcialmente, no longo prazo.

Por fim, destaca-se que o fato do custo de oportunidade decrescer à medida que a área média dos estabelecimentos aumenta corrobora a discussão do Novo Código Florestal que buscou beneficiar os produtores que dispõem de área total menor, flexibilizando as formas de computo da área da reserva legal, conforme apresentado na Seção 5.2.1.

8 CONCLUSÕES

A produção agropecuária está sujeita a restrições edafoclimáticas e legais, dentre essa última destaca-se o Código Florestal, que restringe a área utilizada para a produção agropecuária. A área de Reserva Legal deveria representar, na média, 20% da área total no estado de São Paulo e 63,5% da área total do estado do Mato Grosso, mas os produtores conservaram apenas 11% e 38,9% da área de floresta nativa nos estabelecimentos, respectivamente. Esse não cumprimento é um indicativo da existência de custos advindos da manutenção da área mínima coberta com a Reserva Legal. Entretanto, o custo da Reserva Legal pode variar entre os produtores em razão das causas de primeira natureza (altitude, condições climáticas, fertilidade natural do solo, etc) e causas de segunda natureza (culturas agrícolas exploradas na região, desempenho produtivo, capital humano e aspectos institucionais, por exemplo), conforme a Nova Geografia Econômica.

Nesse contexto, o objetivo geral da tese foi mensurar o custo de oportunidade dos fazendeiros em cumprirem com a obrigação de manutenção da reserva legal e estimar os principais determinantes desses custos. Para tanto, a análise baseou-se em dados dos municípios de São Paulo e Mato Grosso, procurando identificar diferenças regionais desse custo de oportunidade entre e dentro dos estados citados. Para tal, foram confrontados os produtores representativos do estado de São Paulo e do estado do Mato Grosso entre os anos de 1995/1996 e 2006, utilizando a metodologia proposta por Zhou, Ang e Poh (2006). Uma vez que novos municípios foram criados entre 1995 e 2006, foi utilizada a metodologia proposto por Paiva (2008; 2014). Essa metodologia consiste em atribuir os valores das variáveis analisadas dos novos municípios aos municípios que os deram origem, proporcionalmente à área cedida pelos municípios existentes em 1995 ao novo município. A análise utilizou como unidade de análise o produtor representativo médio de cada município. Esse foi obtido ao se dividir o valor total das variáveis de receita, insumos e desmatamento, a nível municipal, pelo respectivo número de estabelecimentos do município. Para a análise das variáveis relacionadas ao custo de oportunidade, foi utilizado um modelo de dados em painel com dependência espacial.

A análise das condições edafo-climáticas e econômicas dos estados de Mato Grosso e São Paulo indicou que ambos possuem relevo que propicia condições adequadas para a utilização de máquinas e equipamentos e que o segundo estado possui maior fertilidade natural do que o primeiro. A análise das condições de infraestrutura de transportes indicou que o estado de São Paulo apresenta melhores rodovias do que o estado do Mato Grosso. Contudo, rodovias em boas

condições são fatores importantes para o escoamento da produção agropecuária do Mato Grosso, uma vez que a maior parte da produção é transportada por esse meio e a capacidade de armazenagem da produção após a colheita é limitada.

A diferença do valor concedido via crédito rural entre os estados analisados foi substancial, sendo que, em 2012, por exemplo, o valor total concedido à produção agropecuária no estado de São Paulo foi 1,7 vezes superior ao valor total concedido para o estado do Mato Grosso. Essa diferença no valor financiando entre os estados se deveu à finalidade do crédito. O valor do custeio foi semelhante, entretanto, o valor concedido para investimento e comercialização foi superior no estado de São Paulo.

Apesar do estado do Mato Grosso receber uma quantidade menor de crédito rural, possuir condições de capital humano e edafoclimáticas inferiores, bem como ter maior limitação no uso do solo pela maior obrigatoriedade da parcela da área total do imóvel que deve ser mantida com a Reserva Legal quando comparado ao estado de São Paulo, Mato Grosso apresenta uma economia mais dependente da produção agropecuária. Os produtos de maior destaque no valor da produção agropecuária no estado do Mato Grosso foram os de origem animal e grão e fibras; e no estado de São Paulo, foram os produtos animais e vegetais destinados à indústria, como a cana de açúcar (Tabela 1). A maior parcela da área dos estabelecimentos agropecuários do estado do Mato Grosso em 2006 foi ocupada pelas matas naturais, pastagens plantadas e culturas temporárias, enquanto que no estado de São Paulo em 2006 as atividades agropecuárias mais importantes na área ocupada foram as culturas temporárias e pastagens plantadas (Tabela 3).

Constatou-se que a área média dos estabelecimentos agropecuários foi aproximadamente seis vezes maior no Mato Grosso (431 ha) do que no estado de São Paulo (74 ha) em 2006. Por outro lado, o uso de tratores e pessoal ocupado foram maiores em São Paulo, mesmo o Mato Grosso possuindo maior área agropecuária, aproximadamente duas vezes maior que São Paulo. Essas características foram atribuídas à produção agropecuária extensiva, que demanda menor uso de máquinas e mão de obra no estado do Mato Grosso, enquanto no estado de São Paulo a produção de produtos para a indústria é a atividade mais importante – tal como a produção da cana de açúcar, que representou 52% da receita agropecuária total de São Paulo e 33% da área total dos estabelecimentos agropecuários paulistas em 2006.

Os resultados para a eficiência técnica e eficiência técnica ambiental indicaram que São Paulo foi o estado mais eficiente para os anos analisados. Mato Grosso destacou-se pelo baixo

desempenho em 1995/96, em que nenhum produtor foi eficiente tecnicamente. O estado de São Paulo também apresentou elevada ineficiência técnica em ambos os períodos, sendo o escore médio de eficiência para 2006 em São Paulo de 0,30. O desempenho ambiental apresentou melhoria em ambos os estados ao longo do período analisado. Mato Grosso e São Paulo obtiveram o escore de eficiência ambiental de 0,32 e 0,38 em 1995, respectivamente, ao passo que esse escore aumentou para 0,38 e 0,43 em 2006, respectivamente.

A comparação do uso dos insumos entre os produtores eficientes e ineficientes tecnicamente entre os estados indicou que o maior (sobre) uso de insumos foi representado pelo rebanho bovino e pela área destinada à produção agropecuária. Contudo, para ambos os estados os produtores eficientes tecnicamente utilizaram uma maior área da Reserva Legal que os ineficientes tecnicamente e que os produtores eficientes técnica ambientalmente. Esse resultado aponta a existência de custo de oportunidade em se manter a área de Reserva Legal na propriedade conforme a legislação. De fato, o cálculo do custo de oportunidade da Reserva Legal indicou que o estado do Mato Grosso apresentou o maior custo total por estabelecimento (R\$ 48.353,00 em 2006), entretanto, o estado de São Paulo apresentou o maior custo por hectare (R\$ 484,36 em 1995).

A análise do custo de oportunidade indicou que há agrupamentos espaciais locais. Produtores de elevado (baixo) custo estavam próximos de produtores de alto (baixo) custo de oportunidade – relação de similaridade – bem como produtores de elevado (baixo) custo estariam próximos de produtores de baixo (elevado) custo – relação de dissimilaridade. Entretanto, globalmente, há uma relação de dissimilaridade entre os produtores representativos médios quanto ao custo de oportunidade de manter a área da Reserva Legal, indicando que os produtores de maior custo tendem a ter produtores vizinhos com custos baixos. Assim, a análise dos determinantes incorporou o elemento espacial por meio do custo de oportunidade espacialmente defasado ao modelo de painel com efeitos fixos.

A defasagem espacial do custo de oportunidade indica que o custo de oportunidade de um produtor representativo depende e é determinado conjuntamente ao custo de oportunidade de seus vizinhos e, indiretamente, ao seu próprio custo de oportunidade. Após a estimação do painel espacial, os respectivos efeitos marginais diretos, totais e indiretos foram estimados, uma vez que os parâmetros estimados não podem ser interpretados diretamente quando a defasagem espacial da variável dependente é incluída na estimação. Algumas variáveis não apresentaram relação

estatística significativa ao custo de oportunidade, tais como demografia, assistência técnica, utilização de curvas em nível, as dimensões educação e renda do IDH-M, além das variáveis de fronteira para o Mato Grosso e São Paulo.

Os resultados da análise dos determinantes do custo de oportunidade indicaram que os produtores de menor área apresentavam os maiores custos por hectare, tanto no Mato Grosso como em São Paulo. Destacou-se que o fato do custo de oportunidade decrescer à medida que a área média dos estabelecimentos aumenta corrobora a discussão do Novo Código Florestal que beneficiou os produtores que dispõem de área total menor, flexibilizando as formas de cômputo da área da reserva legal, conforme apresentado na Seção 5.2.1.

Os efeitos marginais indicaram que a produção agropecuária no estado do Mato Grosso seria mais sensível ao financiamento do que no estado de São Paulo. Ademais, o financiamento apresentou relação negativa ao custo de oportunidade, em detrimento do investimento, que apresentou relação positiva. Essa relação entre o financiamento e o custo de oportunidade foi atribuída às condições para a sua concessão, como a não incorporação de novas áreas de mata nativa no processo produtivo agropecuário. Como exemplo pode-se citar a moratória da soja no estado do Mato Grosso. Destacou-se também que as variáveis de maior relação ao custo de oportunidade, como longevidade e número de cursos na área de ciências agrárias, não estão sobre o controle do produtor rural enquanto a área pode ser controlada pelos produtores, parcialmente, no longo prazo.

A análise do efeito marginal direto para a variável de assentamentos rurais de reforma agrária indicou que o custo de oportunidade de manter áreas com vegetação nativa é maior nos municípios com assentamentos de reforma agrária do que nos municípios que não possuem assentamentos. Esse efeito pode ser atribuído tanto ao receio dos produtores terem a área de mata nativa de sua propriedade ocupada ou invadida como também à ação direta dos assentados em seus lotes, que derrubariam a floresta como alternativa às precárias condições de infraestrutura e ausência de tecnologias. Ambos esses efeitos levariam os produtores a adotar práticas de produção mais extensivas e dependentes da área das florestas. Por fim, destacou-se que o efeito de transbordamento espacial indicou a existência de um mecanismo de equilíbrio do custo de oportunidade entre os produtores. Esses transbordamentos atenuaram os efeitos marginais diretos das variáveis analisadas.

Os resultados indicaram que os produtores agropecuários arcam sozinhos com um custo de produção implícito, mas geram benefícios para toda a sociedade. Nesse sentido, os produtores serão incentivados a utilizar a área da Reserva Legal no processo produtivo até o ponto em que a receita agropecuária seja igual aos benefícios privados, que será menor do que o socialmente desejado. Assim, os produtores devem ser compensados economicamente, de forma a manterem a área de Reserva Legal que gere benefícios para toda a sociedade. Esse incentivo poderia se dar, por exemplo, via redução das taxas de juros do crédito rural – o que o atual Código Florestal permite.

A importância das matas para a manutenção da quantidade de água é particularmente importante no estado de São Paulo, uma vez que a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) enfrenta uma crise de abastecimento desde 2014 pela falta de chuvas. As matas contribuem para a redução da erosão por reduzir o impacto das gotas de chuva sobre o solo, apresentando, também, um obstáculo mecânico à enxurrada (VANZELA et al., 2010). As matas ciliares, em específico, oferecem proteção contra a erosão ao diminuir a velocidade do fluxo da enxurrada, favorecendo a infiltração da água, o que diminui o transporte de sedimentos até corpos de água (MACHADO et al., 2003). Ademais, convém destacar que o Novo Código Florestal permite que a APP seja contabilizada como área de reserva legal para alguns estabelecimentos agropecuários, ou seja, a reserva legal também pode compreender matas ciliares em alguns estabelecimentos agropecuários.

Nesse sentido, ações na bacia hidrográfica para a manutenção da quantidade e qualidade da água são importantes, e elas que poderiam ser alcançadas por meio de programas de Pagamento por Serviços Ambientais (HERRERO, 2014) que incentivasse o produtor a manter áreas ocupadas com matas no estabelecimento agropecuário. Assim, o Novo Código Florestal (Lei nº 12.651/2012b) ao criar o Programa de Apoio e Incentivo à Conservação do Meio Ambiente permite que o governo federal incentive a conservação das matas (entre outros) sendo que a metodologia e os resultados para o custo de oportunidade aqui apresentados podem ser utilizados na definição de programas de pagamentos por serviços ambientais que incentivem tanto a conservação bem como a produção agropecuária. Entretanto, conforme os resultados indicaram, é importante considerar que cada produtor pode ter um custo diferente e um pagamento igual para todos os produtores implicará em desperdício de recursos, uma vez que os produtores de menor custo receberão uma compensação maior que o necessário, enquanto

produtores de maior custo não serão incentivados a participar do programa uma vez que o pagamento pela conservação das matas não cobrirá seu custo de oportunidade. Ademais, os resultados também indicaram a necessidade de considerar a dependência espacial e os transbordamentos espaciais existentes entre os produtores, que podem potencializar ou atenuar os efeitos totais esperados das ações de incentivo à conservação das áreas ocupadas com matas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, E. **Econometria espacial**. Campinas: Alínea, 2012^a. 498p.
- ALMEIDA, P.N.A. **Fronteira de produção e eficiência técnica da agropecuária brasileira em 2006**. 2012. 205 p. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2012b.
- ANGELSEN, A. Policies for reduced deforestation and their impact on agricultural production. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 107, n. 46, p. 19639-19644, Nov. 2010.
- ANGELSEN, A.; KAIMOWITZ, D. Rethinking the causes of deforestation: Lessons from economic models. **The World Bank Research Observer**, Oxford, v. 14, n. 1, p. 73-98, Feb. 1, 1999.
- _____. Introduction: the role of agricultural technologies in tropical deforestation. In: ANGELSEN, A.; KAIMOWITZ, D.(Eds.). **Agricultural Technologies and tropical deforestation**. Jakarta: Center for International Forestry Research/CABI Publishing. 2001. chap. 1, p. 1 – 18.
- ANSELIN, L. **Spatial econometrics: methods and models**. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1988. 284 p.
- ANSELIN, L.; LE GALLO J.; JAYET H. Spatial panel econometrics. In: MATYAS L.; Sevestre P. (Eds). **The econometrics of panel data, fundamentals and recent developments in theory and practice**, 3 ed. Berlin: Springer-Verlag, 2008. chap. 19. p. 625 – 662.
- AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **Anuário Estatístico dos Transportes Terrestres – 2009**. Disponível em: <http://www.antt.gov.br/index.php/content/view/10868/Ano_2009.html>. Acesso em: 20 jul. 2014.
- ARAÚJO, P.F.C.; SCHUH, G.E.; BARROS, A.L.M.; SHIROTA, R.; NICOLELLA, A.C. **Contribuição da FAPESP à agricultura do estado de São Paulo**. São Paulo: FAPESP, 2003. 176 p. Relatório final do projeto contribuição da Fapesp à agricultura do Estado de São Paulo.
- AZZONI, C. R.; ISAI, J. Y. Estimating the costs of environmental protection in Brazil. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 11, n. 2, p. 127-133, Nov. 1994.
- BACHA, C.J.C Eficácia da política de reserva legal no Brasil. **Teoria e Evidência Econômica**, Passo Fundo, v. 13, n. 25, p. 9 – 27, nov. 2005.
- _____. **Economia e política agrícola no Brasil**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2012. 264 p.
- BALTAGI, B.H. **Econometric analysis of panel data**. 3 ed. Chippenham: John Wiley & Sons Ltd, 2005. 302 p.
- BALTAGI, B.H.; SONG,S.H.; KOH, W. Testing panel data regression models with spatial error correlation. **Journal of Econometrics**, Amsterdam, v. 117, n. 1, p. 123 – 150, Nov. 2003.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Anuário estatístico do crédito rural**. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/?RELRURAL>>. Acesso em: 6 ago. 2014a.

_____. **Relação de agências e postos bancários (transferência de arquivos)**. Disponível em: < <http://www.bcb.gov.br/?RELAGPAB>>. Acesso em: 6 ago 2014b.

BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis. **Management Science**, Catonsville, v. 30, n. 9, p. 1078-1092, May 1984

BANKER, R. D.; NATARAJAN, R. Evaluating contextual variables affecting productivity using Data Envelopment Analysis. **Operations Research**, Catonsville, v. 56, n. 1, p. 48–58, Jan.–Feb. 2008.

BAUMONT, C. Spatial effects of urban public policies on housing values. **Papers in Regional Science**, Hoboken, v. 88, n. 2, p. 301 – 327, June 2009.

BIVAND, R.; PIRAS, G. Comparing Implementations of Estimation Methods for Spatial Econometrics. **Journal of Statistical Software**, Alexandria, v. 63, n. 18, p. 1-36. Feb. 2015.

BIVAND, R.; HAUKE, J., KOSSOWSKI, T. Computing the Jacobian in Gaussian spatial autoregressive models: An illustrated comparison of available methods. **Geographical Analysis**, Hoboken, v.45, n. 2, p. 150-179. April 2013.

BIVAND, R.; PEBESMA, E.J.; GÓMEZ-RUBIO, V. **Applied spatial data analysis with R**. New York: Springer, 2008. 374p.

BONJOUR, S.C.M.; FIGUEIREDO, A.M.R.; MARTA, J.M.C. A pecuária de corte no estado de Mato Grosso. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 2008, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: SOBER, 2008. p. 1- 21.

BOYD, G. A.; MCCLELLAND, J. D. The impact of environmental constraints on productivity improvement in integrated paper plants. **Journal of Environmental Economics and Management**, San Diego, v. 38, n. 2, p. 121-142, Sept. 1999.

BRASIL Lei n. 4.504, de 30 de novembro de 1964. Dispõe sobre o Estatuto da Terra, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 31 nov. 1964.

_____. Lei n. 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. **Diário Oficial da União**, Brasília, 16 set. 1965. p. 9529.

_____. Lei n. 31, de 11 de outubro de 1977. Cria o Estado de Mato Grosso do Sul e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 12 out. 1977. p. 13729.

_____. Lei n. 8.171, de 17 de janeiro de 1991. Dispõe sobre a política agrícola. **Diário Oficial da União**, Brasília, 18 jan. 1991. Seção 1, p. 1330.

_____. Lei n. 8.629, de 25 de fevereiro de 1993. Dispõe sobre a regulamentação dos dispositivos constitucionais relativos à reforma agrária, previstos no Capítulo III, Título VII, da Constituição Federal. **Diário Oficial da União**, Brasília, 26 fev. 1993. Seção 1, p. 2349.

_____. Lei n. 10.186, de 12 de fevereiro de 2001. Dispõe sobre a realização de contratos de financiamento do Programa de Fortalecimento da Agricultura Familiar - PRONAF, e de projetos de estruturação dos assentados e colonos nos programas oficiais de assentamento, colonização e reforma agrária, aprovados pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA, bem como dos beneficiários do Fundo de Terras e da Reforma Agrária - Banco da Terra, com risco para o Tesouro Nacional ou para os Fundos Constitucionais das Regiões Norte, Nordeste e

Centro-Oeste, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 14 fev. 2001. Seção 1, p. 3.

_____. Lei n. 10.831, de 23 de dezembro de 2003. Dispõe sobre a agricultura orgânica e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 24 dez. 2003. Seção 1, p. 8.

_____. Lei n. 11.326, de 24 de julho de 2006. Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. **Diário Oficial da União**, Brasília, 25 jul. 2006. Seção 1, p. 124.

_____. Lei n. 12.097, de 24 de novembro de 2009. Dispõe sobre o conceito e a aplicação de rastreabilidade na cadeia produtiva das carnes de bovinos e de búfalos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 25 nov. 2009. Seção 1, p. 2.

_____. Ministério Da Pecuária, Agricultura e Abastecimento. Instrução normativa n. 25, de 9 de agosto de 2011. **Diário Oficial da União**, Brasília, 12 ago. 2011. 2011. Seção 1, p. 2 – 15.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite**: Monitoramento do bioma Pantanal, 2002 a 2008. Brasília: Centro de Informação, Documentação Ambiental e Editoração Luís Eduardo Magalhães, 2010. 30p.

_____. Lei n. 12.651/2012, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências **Diário Oficial da União**, Brasília, 25 maio. 2012a. p. 16, col. 1.

_____. Lei n. 12.727/2012, de 17 de outubro de 2012 Altera a Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; e revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001, o item 22 do inciso II do art. 167 da Lei no 6.015, de 31 de dezembro de 1973, e o § 2o do art. 4o da Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012. **Diário Oficial da União**, Brasília, 18 outubro 2012b. p. 1, col. 1.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Estatísticas e dados básicos de economia agrícola**. Brasília, 2014a. 54p.

_____. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. **Painel dos assentamentos**. Disponível em: <<http://painel.incra.gov.br/sistemas/index.php>>. Acesso em: 5 nov. 2014b.

_____. Ministério dos Transportes. **Plano Nacional de Logística e Transportes**, 2008. Disponível em <<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>>. Acesso em: 22 mar. 15.

BREUSCH, T. S.; PAGAN, A. R. A Simple test for heteroscedasticity and random coefficient variation. **Econometrica**, Evanston, v. 47, n. 5, p. 1287-1294, Sept. 1979.

CABRERA, V.E.; SOLÍS, D.; CORRAL, J. Determinants of technical efficiency among dairy farms in Wisconsin. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 93, n. 1, p. 387 - 393, Jan. 2010.

CALANDINO, D.; WEHRMANN, M.; KOBLITZ, R. Contribuição dos assentamentos rurais no desmatamento da Amazônia: um olhar sobre o Estado do Pará. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 26, n. 2, p. 161-170, jul./dez. 2012.

CAMPOS, S.A.C.; BACHA, C.J.C. O custo privado da Reserva Legal. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v. 22, n.2, p. 85 – 104, abr./maio/jun. 2013.

CAMPOS, S.A.C.; COELHO, A.B.; GOMES, A.P. Influência das condições ambientais e ação antrópica sobre a eficiência produtiva agropecuária em Minas Gerais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v. 50, n. 3, p. 563-576, jul./set. 2012.

CARNEIRO, S. L. **Estudo prospectivo da implantação da reserva legal em propriedades rurais familiares representativas de sistemas de produção de grãos na região de Londrina - estado do Paraná**. 2005. 209 p. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade Estadual de Londrina e Universidade Estadual de Maringá, Londrina. 2005

CASTRO, C.N. **A agropecuária na região Centro-Oeste: Limitações ao desenvolvimento e desafios futuros**. Rio de Janeiro: IPEA, 2014. 41p. (Texto para Discussão, 1923)

CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA/UNICAMP. **Clima dos municípios paulistas**. 2014. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>>. Acesso em: 10 jun. 2014.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 2, n. 6, p. 429-444, Nov. 1978.

_____. Evaluating program and managerial efficiency: an application of data envelopment analysis to program follow through. **Management Science**, Catonsville, v. 27, n 6, p 668–697, June 1981.

CHOMITZ, K. M. Transferable Development Rights and Forest Protection: An Exploratory Analysis. **International Regional Science Review**, Thousand Oaks v. 27, n. 3, p. 348-373, July 2004.

CHUNG, Y. H.; FÄRE, R.; GROSSKOPF, S. Productivity and undesirable outputs: A directional distance function approach. **Journal of Environmental Management**, London, v. 51, n. 3, p. 229-240, Nov. 1997

COELLI, T.J.; LAUWERS, L.; HUYLENBROECK, G. Environmental efficiency measurement and the materials balance condition. **Journal of Productivity Analysis**, Houston, v. 28, n. 1-2, p. 3-12, Oct. 2007.

COELLI, T.J.; RAO, D.S.P.; O'DONNELL, C.J.; BATESSE, G.E. **An introduction to efficiency and productivity analysis**. 2nd. New York: Springer, 2005. 348 p.

COMMON, M.; PERRINGS, G. Towards and ecological economics sustainability. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 6, n. 1, p. 7 – 34, July 1992.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Capacidade estática de armazenagem cadastrada**. Disponível em: <<http://consultaweb.conab.gov.br/consultas/consultaArmazem.do?method=acaoCarregarConsulta>>. Acesso em: 25 jul. 2014.

CONTE, L. **Economia de escala e substituição de fatores na produção de soja no Brasil**. 2006. 115 f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/Universidade de São Paulo. 2006.

- COOPER, W.W.; SEIFORD, L.M.; TONE, K. Alternative DEA models. In: COOPER, W.W. **Data Envelopment Analysis: A comprehensive text with models, applications, references and DEA-Solver software**. 2ª ed. New York: Springer, 2007. chap. 4, p. 87-130.
- CUNHA, J. M. P. D. Dinâmica migratória e o processo de ocupação do Centro-Oeste brasileiro: o caso de Mato Grosso. **Revista Brasileira de Estudos de População**, Campinas, v. 23, p. 87-107, jan./ju. 2006.
- DE KOEIJER, T. J.; WOSSINKB, G.A.A.; STRUIKA, P.C.; RENKEMAC, J.A. Measuring agricultural sustainability in terms of efficiency: the case of Dutch sugar beet growers. **Journal of Environmental Management**, London, v. 66, n. 1, p. 9-17, Sept. 2002.
- DEBARSY N.; ERTUR C. Testing for spatial autocorrelation in a fixed effects panel data model. **Regional Science and Urban Economics**, Amsterdam, v. 40, n.6, p. 453–470, Nov. 2010.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURAS DE TRANSPORTES. **Relatório dos levantamentos funcionais das rodovias federais: Mato Grosso**. Brasília: DNIT/SGP, 2013. 32p. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/planejamento-e-pesquisa/planejamento/evolucao-da-malha-rodoviaria/relatorio-sgp-2012-2013-mt.pdf>>. Acesso em: 21 jul. 2014a.
- _____. **Relatório dos levantamentos funcionais das rodovias federais: São Paulo**. Brasília: DNIT/SGP, 2013. 32p. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/planejamento-e-pesquisa/planejamento/evolucao-da-malha-rodoviaria/relatorio-sgp-2012-2013-sp.pdf>>. Acesso em: 21 jul. 2014b.
- DYSON, R.G.; ALLEN, R.; CAMANHO, A.S.; PODINOVSKI, V.V.; SARRICO, C.S.; SHALE, E.A. Pitfalls and protocols in DEA. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 132, n. 2, p. 245–259, July 2001.
- EHLERS, E.M. **Determinantes da recuperação da mata atlântica no estado de São Paulo**. 2003. 351 p. Tese (Doutorado em em Ciência Ambiental), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003
- ELHORST, J.P. Spatial Panel Data Models. In: FISCHER, M.M.; GETIS, A. (Eds.). **Handbook of Applied Spatial Analysis: Software Tools, Methods and Applications**. Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. chap. C2, p. 377–407.
- _____. **Spatial Econometrics From Cross-Sectional Data to Spatial Panels**. Berlin: Springer-Verlag, 2014. 119p.
- ESPINDOLA, G.M. de; AGUIAR, A.P.D. de; PEBESMA, E.; CÂMARA, G.; FONSECA, L. Agricultural land use dynamics in the Brazilian Amazon based on remote sensing and census data. **Applied Geography**, Oxford, v. 32, n. 2, p. 240–252, Mar. 2011.
- FÄRE, R.; GROSSKOPFA, S.; NOHB, D.W.; WEBER, W. Characteristics of a polluting technology: theory and practice. **Journal of Econometrics**, Amsterdam, v. 126, n. 2, p. 469–492, June. 2005.
- FÄRE, R.; GROSSKOPFA, S.; TYTECA, D. An activity analysis model of the environmental performance of firms—application to fossil-fuel-fired electric utilities. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 18, n. 2, p. 161–175, Aug. 1996.

FASIABEN, M. D. C. R.; ROMEIRO, A.R.; PERES, F.C.; MAIA, A.G.. Impacto econômico da reserva legal sobre diferentes tipos de unidades de produção agropecuária. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v. 49, p. 1051-1096, out./dez. 2011.

FERREIRA, J. C. V. **Mato Grosso e seus municípios**. Cuiabá: Secretaria de Estado de Educação, 2001. 64 p.

FERRIER, G. D.; LOVELL, C. A. K. Measuring cost efficiency in banking: Econometric and linear programming evidence. **Journal of Econometrics**, Amsterdam, v. 46, n. 1–2, p. 229-245, Oct.–Nov. 1990.

FERREIRA, C.M.C.; GOMES, A.P. **Introdução à análise envoltória de dados – Teoria, modelo e aplicações**. Viçosa: UFV, 2009. 389p.

FIGUEIREDO, M.G.; BARROS, A.L.M.; GUILHOTO, J.J.M. Relação econômica dos setores agrícolas do Estado do Mato Grosso com os demais setores pertencentes tanto ao Estado quanto ao restante do Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v.43, n.3, p. 557-575, jul./set. 2005.

FLORAX, R. J. G. M.; FOLMER, H.; REY, S. J. Specification searches in spatial econometrics: the relevance of Hendry's methodology. **Regional Science and Urban Economics**, Amsterdam, v. 33, n. 5, p. 557-579, Sept. 2003.

FOX, J.; WEISBERG, S. **An {R} Companion to Applied Regression**. 2 ed. Thousand Oaks CA: SAGE Publications, 2011. 472 p.

FUJITA, M.; KRUGMAN, P. The new economic geography: Past, present and the future. **Papers in Regional Science**, Hoboken, v. 83, n. 1, p. 139–164, Jan. 2004.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. Índices econômicos. **Revista Conjuntura Econômica**, Rio de Janeiro, v.50, n. 12, p. 58 – 59, dez. 1996.

_____. Índices Econômicos. **Revista Conjuntura Econômica**, Rio de Janeiro, v.61, n. 6, p. 87, jun. 2007.

_____. **Índice Geral de Preços - Disponibilidade Interna**. Disponível em: < http://www14.fgv.br/novo_fgvdados>. Acesso em: 26 fev. 2014a.

_____. **Preços Agropecuários**. Disponível em: < http://www.antigofgvdados.fgv.br/dsp_gratuitas.asp>. Acesso em: 26 fev. 2014b.

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. **Estudo de mercado de trabalho como subsídio para a reforma da educação profissional no estado de São Paulo**. São Paulo: SEADE, 2003. 530 p.

_____. **Pesquisa da Atividade Econômica Regional – Mato Grosso – Agropecuária**. Disponível em: < http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf/agropec_mt.pdf >. Acesso em: 12 mar 2014.

_____. **Produto Interno Bruto – PIB**. Disponível em < <http://produtos.seade.gov.br/produtos/pib/> >. Acesso em 3 dez. 2014b.

GETIS, A. Spatial Autocorrelation. In: FISCHER, M.M.; GETIS, A. (Ed). **Handbook of Applied Spatial Analysis: Software Tools, Methods and Applications**. London: Springer, 2010. cha. B3, p. 255–278.

GIAMPIETRO, M. Socioeconomic pressure, demographic pressure, environmental loading and technological changes in agriculture. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 65, n. 3, p. 201-229, Nov. 1997.

GOMES, E.G.; MELLO, J.C.C.B.S.; MANGABEIRA, J.A.C. Estudo da sustentabilidade agrícola em um município amazônico com análise envoltória de dados. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 1, p. 23 – 42, jan./ abr. 2009a.

GOMES, E.G.; MELLO, J.C.C.B.S.; SOUZA, G.S.; MEZA, L.A.; MANGABEIRA, J.A.C. Efficiency and sustainability assessment for a group of farmers in the Brazilian Amazon. **Annals of Operations Research**, New York, v. 169, n. 1, p 167-181, July 2009b.

GONÇALVES, J.S. A agricultura paulista: a ação estatal na construção da modernidade. **São Paulo em Perspectiva**, São Paulo, v. 7, n. 3, p. 100–106, jul./set. 1993.

GRIFFITH, D.A. An evaluation of correction techniques for boundary effects in spatial statistical analysis: contemporary methods. **Geographical Analysis**, Hoboken, v. 17, n. 1, Jan. 1985.

HELFAND, S. M.; LEVINE, E. S. Farm size and the determinants of productive efficiency in the Brazilian Center-West. **Agricultural Economics**, Oxford, v. 31, n. 2–3, p. 241–249, Dec. 2004.

HERRERO, T. Saídas possíveis. **Página 22**, São Paulo, n. 84, p. 38 – 41, maio 2014.

HOMEM DE SOUZA, D.P. **Avaliação de métodos paramétricos e não paramétricos na análise da eficiência da produção de leite**. 2003. 136 p. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. 2003.

HSIAO, C. Why panel data? **The Singapore Economic Review**, Singapore, v.50, n. 2, p. 143–154, Oct. 2005.

HUHTALA, A.; MARKLUND, P.-O. Stringency of environmental targets in animal agriculture: shedding light on policy with shadow prices. **European Review of Agricultural Economics**, v. 35, n. 2, p. 193–217, 2008

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 1995 – 1996**: Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 1998. p.1-358.

_____. **Contagem da População: 2007**. Rio de Janeiro: IBGE, 2008. 316p.

_____. **Censo Agropecuário 2006**: Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. p.1-777.

_____. **Evolução da divisão territorial do Brasil 1872 – 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. 260 p.

_____. **Atlas geográfico escolar**. 6. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 218p.

_____. **@Cidades**. Disponível em: < <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php>>. Acesso em: 2 fev. 2014a

_____. **Censo Agropecuário 1995/96**. Disponível em < <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/ca/default1996.asp?z=p&o=2&i=P>>. Acesso em: 27 fev. 2014b.

_____. **Censo Agropecuário 2006**. Disponível em <
<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/ca/default.asp?z=p&o=2>>. Acesso em: 27 fev. 2014c.

_____. **Mapas de biomas e de vegetação**. Disponível em:
 <ftp://ftp.ibge.gov.br/Cartas_e_Mapas/Mapas_Murais/biomas_pdf.zip>. Acesso em: 10 maio 2014e.

_____. **Contagem da População: 1996**. Disponível em:
 <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem/>>. Acesso em: 10 set.2014d.

_____. **Séries temporais – Censo Demográfico**. Disponível em <
<http://www.sidra.ibge.gov.br/cd/cd2010Serie.asp?o=2&i=P>>. Acesso em 3 dez. 2014g.

IGARI, A.; TAMBOSI, L.; PIVELLO, V. Agribusiness opportunity costs and environmental legal protection: investigating trade-off on hotspot preservation in the state of São Paulo, Brazil. **Environmental Management**, London, v. 44, n. 2, p. 346-355, 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA. **Microdados Censo da Educação Superior**. Disponível em: <
<http://portal.inep.gov.br/basica-levantamentos-acessar>>. Acesso em 15 jul. 2014.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Contas Nacionais**. Disponível em:
 <<http://www.ipeadata.gov.br>>. Acesso em: 24 fev. 2014a.

_____. **IpeaGeo**: bases. Disponível em: <<http://www.ipea.gov.br/ipeageo/bases.html>>. Acesso em: 24 fev. 2014b.

KANNINEN, M.; MURDIYARSO, D.; SEYMOUR, F.; ANGELSEN, A.; WUNDER, S.; GERMAN, L. **Do trees grow on money?:** the implications of deforestation research for policies to promote REDD. Bogor: Center for International Forestry Research (CIFOR), 2007. 61p.

KAPOOR, M.; KELEJIAN, H.H.; PRUCHA, I.R. Panel data models with spatially correlated error components. **Journal of Econometrics**, Amsterdam, v. 140, n. 1, p. 97–130, Sept. 2007.

KEIL, A.; BIRNER, R.; ZELLER, M. Potentials to reduce deforestation by enhancing the technical efficiency of crop production in forest margin areas. In: TSCHARNTKE, T.; LEUSCHNER, C.; ZELLER, M.; GUHARDJA, E.; BIDIN, A. (Eds.) **Stability of tropical rainforest margins: linking ecological, economic and social constraints of land use and conservation**. Germany: Springer, 2007. p. 389 – 414.

KELEJIAN, H. H.; PRUCHA, I. R. Specification and estimation of spatial autoregressive models with autoregressive and heteroskedastic disturbances. **Journal of Econometrics**, Amsterdam, v. 157, n. 1, p. 53-67, Jul. 2010.

KRUGMAN, P. What's new about the new economic geography? **Oxford Review of Economic Policy**, Oxford, v 14, n. 2, p. 7-17, June 1998.

LE SAGE J.P.; PACE R.K. **Introduction to spatial econometrics**. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group, 2009. 373p.

LE TOURNEAU, F.M.; BURSZTYN, M. Assentamentos rurais na Amazônia: contradições entre a política agrária e a política ambiental. **Ambiente & Sociedade**, Campinas v. 13, n. 1, p. 111–130, jan.-jun. 2010.

- LEE, J.-D.; PARK, J.-B.; KIM, T.-Y. Estimation of the shadow prices of pollutants with production/environment inefficiency taken into account: a nonparametric directional distance function approach. **Journal of Environmental Management**, London, v. 64, n. 4, p. 365-375, 2002.
- LIU, C.; LAPORTE, A.; FERGUSON, B. S. The quantile regression approach to efficiency measurement: insights from Monte Carlo simulations. **Health Economics**, York, v. 17, n. 9, p. 1073-1087, Sept. 2008.
- MACEDO, M.N.; DeFRIES, R.S.; MORTON, D.C.; STICKLER, C.M.; GALFORD, G.L.; SHIMABUKURO, Y.E. Decoupling of deforestation and soy production in the southern Amazon during the late 2000s. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 109, n. 4, p. 1341-1346, Jan. 2012.
- MACHADO, R.E.; VETTORAZZI, C.A.; XAVIER, A.C. Simulação de cenários alternativos de uso da terra em uma microbacia utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. **Revista Brasileira de Ciências Solo**, Viçosa, v. 27, n.4, p. 727-733, July/Aug. 2003.
- MANZATTO, C.V.; ASSAD, E.D.; BACCA, J.F.M.; ZARONI, M.J.; PEREIRA, S.E.M. **Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 55 p.
- MARCHAND, S. The relationship between technical efficiency in agriculture and deforestation in the Brazilian Amazon. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 77, p. 166–175, May 2012.
- MARTIN, N.B. Regionalização da agricultura paulista. **São Paulo em Perspectiva**, São Paulo, v. 7, n. 3, p. 51–59, jul./set. 1993.
- MENDES, J.T.G.; PADILHA JÚNIOR, J.B. **Agronegócio: uma abordagem econômica**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007. 369 p.
- MILLO, G.; PIRAS, G. splm: Spatial Panel Data Models in R. **Journal of Statistical Software**, Los Angeles, v. 47, n. 1. p. 1-38, Apr. 2012.
- MILLS, J. **Spatial Econometrics**. Institute of Transportation Engineers, Purdue Student Chapter. 2010. 38p.
- MUTL, J.; PFAFFERMAYR, M. The Hausman test in a Cliff and Ord panel model. **Econometrics Journal**, Oxford, v. 14, n. 1, p. 48–76, Feb. 2011.
- NICHOLLS, W.H. A fronteira agrícola na história recente do Brasil: O estado do Paraná, 1920-65. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 4, p. 113–191, out./dez. 1970.
- NOGUEIRA, M.A. **Eficiência técnica na agropecuária das microrregiões brasileiras**. 2005. 105 f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2005.
- PAIVA, C. A (Org.). **Evolução das desigualdades territoriais no Rio Grande do Sul**. Santa Cruz do Sul: Edunisc, 2008.
- _____. **Uma alternativa à metodologia das AMCs**. RMSD, 2007. Disponível em: <<http://www.fee.tche.br/rs-em-mapas-e-dados/index.html>>. Acesso em: 18 jan 2014.
- PEREIRA, L.C.; LOMBARDI NETO, F. **Avaliação da aptidão agrícola das terras: proposta metodológica**. Jaguariúna - São Paulo: Embrapa Meio Ambiente, 2004. 36 p.

PERMAN, R.; MA, Y.; COMMON, M.; MADDISON, D.; MCGILVRAY, J. **Natural resource and environmental economics**. Harlow, England New York: Harlow, England Pearson Addison Wesley New York, 2003. 728p.

PICAZO-TADEO, A. J.; REIG-MARTÍNEZ, E.; HERNÁNDEZ-SANCHO, F. Directional distance functions and environmental regulation. **Resource and Energy Economics**, Amsterdam, v. 27, n. 2, p. 131-142, June 2005.

PIRAS, G. sphet: Spatial Models with heteroskedastic innovations. **R Documentation**, 2013.

PIRES, C.S.J. **As alterações do Código Florestal brasileiro e as consequências sobre as áreas de Reservas Legais do Município de Formosa-GO**. 2012. 131 p. Dissertação (Ciências Florestais) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

PIOT-LEPETIT, I.; VERMERSCH, D.; WEAVER, R. D. Agriculture's environmental externalities: DEA evidence for French agriculture. **Applied Economics**, London, v. 29, n. 3, p. 331-338, Mar. 1997

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Ranking IDHM Municípios**. Disponível em <<http://www.pnud.org.br/atlas/ranking/Ranking-IDHM-Municipios-2000.aspx>>. Acesso em: 31 jan. 2015.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 1 abril 2015.

RAMILAN, T.; SCRIMGEOUR, F.; MARSH, D. Analysis of environmental and economic efficiency using a farm population micro-simulation model. **Mathematics and Computers in Simulation**, Amsterdam, v. 81, n. 7, p. 1344-1352, Mar. 2011.

REINHARD, S.; KNOX LOVELL, C. A.; THIJSEN, G. J. Environmental efficiency with multiple environmentally detrimental variables; estimated with SFA and DEA. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 121, n. 2, p. 287-303, Mar. 2000.

RICHARD, H. L.; LEFTWICH, R. H. **Introduction to microeconomics**. New York: New York Holt, Rinehart and Winston, 1970.

SCHMUTZLER, A. The New Economic Geography. **Journal of Economic Surveys**, Oxford, v. 13, n. 4, p. 355-379, Sept. 1999.

SHARP J.A.; MENG W.; LIU W. **A modified slacks based measure model for data envelopment analysis with 'natural' negative outputs**. Kent Business School, May 2005, 15p (Working Paper, n. 84)

_____. A modified slack-based measure model for data envelopment analysis with natural negative outputs and inputs. **Journal of the Operational Research Society**, Basingstoke, v. 58, n. 12, p. 1672-1677, Dec. 2007.

SICSÚ, A.B.; LIMA, J.P.R. Fronteiras agrícolas no Brasil: a lógica de sua ocupação recente. **Nova Economia**, Belo Horizonte, v.10, n. 1, p. 109 – 138, jul. 2000.

SIPIÄINEN, T.; HUHTALA, A. Opportunity costs of providing crop diversity in organic and conventional farming: would targeted environmental policies make economic sense? **European Review of Agricultural Economics**, Oxford, v. 40, n. 3, p. 441-462. Jul. 2013.

- SOUZA, G.S.; GOMES, E.G. Improving agricultural economic efficiency in Brazil. **International Transactions in Operational Research**, Oxford, v 22, n 2, p 329–337, Mar. 2015.
- SOUZA, G.S.; MOREIRA, T.B.S. Potential improvement of agricultural output for major producers based on DEA efficiency measurements. **Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v. 31, n. 1, p. 79 – 94, Jan./Apr. 2011
- SPEARMAN, C. The Proof and Measurement of Association between Two Things. **The American Journal of Psychology**, Illinois, v. 15, n. 1, p. 72 – 101, Jan. 1904.
- STADUTO, J.A.R.; SHIKIDA, P.F.A.; BACHA, C.J.C. Alteração na composição da mão-de-obra assalariada na agropecuária brasileira. **Revista de Economia Agrícola**, São Paulo, São Paulo, v. 51, n. 2, p. 57-70, jul./dez. 2004.
- SUN, C.; ZHAO, L.; ZOU, W.; ZHENG, D. Water resource utilization efficiency and spatial spillover effects in China. **Journal of Geographical Sciences**, Beijing, v. 24, n. 5, p. 771-788, Oct. 2014
- THEODORO, S.H.; LEONARDOS, O.H.; DUARTE, L.M.G. Cerrado: o celeiro saqueado. In: DUARTE, L.M.G.; THEODORO, S.H. (Orgs.) **Dilemas do Cerrado - entre o ecologicamente (in)correto e o socialmente (in)justo**. Rio de Janeiro: Garamond, 2002. p. 145 – 176.
- TONE, K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 130, n. 3, p. 498-509, May 2001.
- _____. Dealing with undesirable outputs in dea: A slaeks-based measure (SBM) approach. **GRIPS Research Report Series**, Toronto, v. 2004, p. 44-45, June 2004.
- TOURINHO, L.A.M.; PASSOS, E. O código florestal na pequena propriedade rural: um estudo de caso em três propriedades na microbacia do rio Miringuava. **Revista RA E GA**, Curitiba, v. 12, p. 221-233, dez. 2006.
- TSUNECHIRO, A.; COELHO, P.J.; CASER, D.V.; AMARAL, A.M.P.; SANTIAGO, M.M.D.; OLIVETTE, M.P.A.; MARTINS, V.A. Valor da produção agropecuária do estado de São Paulo, por escritório de desenvolvimento rural e por região administrativa, 1995-2000. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.31, n.7, p. 17 – 41, jul. 2001.
- VANZELA, L.S.; HERNANDEZ, F.B.T.; FRANCO, R.A.M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.1, p.55 – 64, jan. 2010.
- VICENTE, J.R. Economic efficiency of agricultural production in Brazil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Rio de Janeiro, v. 42, n. 02, p. 201-222, abr/jun 2004.
- WILSON, P.; HADLEY, D.; ASBY, C.; The influence of management characteristics on the technical efficiency of wheat farmers in eastern England. **Agricultural Economics**, Amsterdam, v. 24, n. 3, p. 329 - 338, Mar. 2001.
- WOOLDRIDGE, J.M. **Introductory econometrics: a modern approach**. Mason: Thomson Higher Education, 2006. 890 p.
- YOUNG, C. E. F. ; MAC-KNIGHT, V. ; MEIRELES, A. L. C. Desmatamento e custo de oportunidade da terra: o caso do Mato Grosso. In: ENCONTRO NACIONAL DA SOCIEDADE

BRASILEIRA DE ECONOMIA ECOLÓGICA, 2007, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Encontro Nacional da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, 2007. p. 1– 26.

ZHANG, Y.; BARTELS, R. The effect of sample size on the mean efficiency in dea with an application to electricity distribution in Australia, Sweden and New Zealand. **Journal of Productivity Analysis**, Boston, v. 9, n. 3, p 187-204, Mar. 1998.

ZHOU, P.; ANG, B. W.; POH, K. L. Slacks-based efficiency measures for modeling environmental performance. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 60, n. 1, p. 111-118, Nov. 2006.

_____. Measuring environmental performance under different environmental DEA technologies. **Energy Economics**, Amsterdam, v. 30, n. 1, p. 1-14, Jan. 2008.

ZOFÍO, J. L.; PRIETO, A. M. Environmental efficiency and regulatory standards: the case of CO2 emissions from OECD industries. **Resource and Energy Economics**, Amsterdam, v. 23, n. 1, p. 63-83, Jn. 2001.

ANEXOS

ANEXO A

Municípios criados e genealogia para os municípios considerados na análise para os estados do Mato Grosso e São Paulo.

A coluna “Município original” indica o município que cedeu uma parte de sua área para a criação de outro (s). A coluna “%” indica o percentual da área do “Município criado” cedida por outro município.

Tabela A1 - Genealogia e municípios criados para o estado do Mato Grosso entre 1995 a 2006

Município original	%	Município criado	%	Município criado
Água Boa	100,0%	Nova Nazaré		
Alto Boa Vista	69,8%	Bom Jesus do Araguaia	60,3%	Serra Nova Dourada
Aripuanã	100,0%	Colniza		
Aripuanã	100,0%	Rondolândia		
Cáceres	42,1%	Curvelândia		
Campo Novo dos Parecis	100,0%	Sapezal		
Cláudia	23,9%	União do Sul	6,6%	Nova Santa Helena
Cocalinho	65,6%	Novo Santo Antônio		
Colíder	100,0%	Itaúba		
Comodoro	61,5%	Nova Lacerda		
Guarantã do Norte	100,0%	Novo Mundo		
Itaúba	93,4%	Nova Santa Helena		
Lambari do Oeste	50,5%	Curvelândia		
Marcelândia	64,1%	União do Sul		
Mirassol d'Oeste	7,4%	Curvelândia		
Nobres	74,9%	Santa Rita do Trivelato		
Nova Mutum	0,5%	Santa Rita do Trivelato		
Pontes e Lacerda	100,0%	Conquista d'Oeste		
Pontes e Lacerda	100,0%	Vale de São Domingos		
Ribeirão Castanheira	30,2%	Bom Jesus do Araguaia		
Rosário Oeste	24,6%	Santa Rita do Trivelato		
Santa Carmem	12,0%	União do Sul		
São Félix do Araguaia	34,4%	Novo Santo Antônio	39,7%	Serra Nova Dourada
São José do Xingu	100,0%	Santa Cruz do Xingu		
Sorriso	75,5%	Nova Ubitatã		
Tapurah	100,0%	Ipiranga do Norte		
Vera	24,5%	Nova Ubitatã	100%	Feliz Natal
Vila Bela da Santíssima Trindade	38,5%	Nova Lacerda		

Fonte: IBGE (2011; 2014a).

Tabela A2- Genealogia e municípios criados para o estado de São Paulo entre 1995 a 2006

Município original	%	Município criado
Agudos	100%	Paulistânia
Araraquara	100%	Gavião Peixoto
Boa Esperança do Sul	100%	Trabiju
Cajuru	100%	Santa Cruz da Esperança
Coroados	100%	Brejo Alegre
Gália	100%	Fernão
General Salgado	100%	Nova Castilho
Guarani d'Oeste	100%	Ouroeste
Iepê	100%	Nantes
Jales	100%	Vitória Brasil
Lorena	100%	Canas
Lucélia	100%	Pracinha
Pitangueiras	100%	Taquaral
Santo Anastácio	100%	Ribeirão dos Índios
São José do Rio Preto	100%	Ipiguá
São Manuel	100%	Pratânia
Tatuí	100%	Quadra
Tietê	100%	Jumirim
Tupã	100%	Arco Íris
Urânia	100%	Santa Salete

Fonte: IBGE (2011; 2014a).

ANEXO B

Tomando a restrição $y_o^b = Y^b \lambda$ da equação (10) e a reescrevendo como na equação (4):

$$\sum_{k=1}^K \lambda_k y_{jk}^b = y_{jo}^b \quad (A1)$$

em que o substrito “o” indica uma DMUo qualquer em análise.

Assuma uma constante arbitrária α_k positiva e não negativa, de forma que reescrevemos y_{jk}^b como:

$$y_{jk}^{b'} = y_{jk}^b + \alpha_j \quad (A2)$$

Substituindo (A2) em (A1):

$$\sum_{k=1}^K \lambda_k (y_{jk}^{b'} - \alpha_j) = y_{jo}^{b'} - \alpha_j \quad (A3)$$

Que pode ser reescrita como:

$$\sum_{k=1}^K \lambda_k y_{jk}^{b'} - \sum_{k=1}^K \lambda_k \alpha_j = y_{jo}^{b'} - \alpha_j \quad (A4)$$

Passando α_j para fora do somatório

$$\sum_{k=1}^K \lambda_k y_{jk}^{b'} - \alpha_j \sum_{k=1}^K \lambda_k = y_{jo}^{b'} - \alpha_j \quad (A5)$$

Para o modelo com retornos variáveis temos que:

$$\sum_{k=1}^K \lambda_k = 1 \quad (A6)$$

Assim, (A5) pode ser reduzido a:

$$\sum_{k=1}^K \lambda_k y_{jk}^{b'} = y_{jo}^{b'} \quad (A5)$$

Então, se λ^* é o valor ótimo no problema original, esse também será o valor ótimo para o modelo rotacionado (*translated*) e virse-versa. Para mais detalhes ver Sharp, Meng e Liu (2005; 2007).

ANEXO C

Macro utilizada para automatizar os modelos DEA estimados por meio do OpenSolver 2.1

Sub DEA

'Declare DMUNo como um Escalar. Esta DMUo representa a DMU sob avaliação

'Foi considerado que a DMUNo varia de 1 a 1418

Dim DMUNo As Integer

For DMUNo = 1 To 1418

'Fixe o valor da célula F1 igual a DMUNo (1,2...,8)

Range("G1") = DMUNo

'Adiciona o suplemente OpenSolver.

RunOpenSolver False

'Salvando os cálculos de cada DMU

'Coloque a eficiência técnica na coluna U

Range("H27").Select

'Copie os escores de eficiência e cole-os na linha "DMUNo+1"

Selection.Copy

Range("U" & DMUNo + 1).Select

Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Transpose:=False

'Selecione as células que contêm as folgas ("B5:B9")

Range("B5:B10").Select

'Copie os lambdas selecionados e cole-os na linha "DMUNo+5"

Selection.Copy

Range("W" & DMUNo + 1).Select

Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Transpose:=True

Next DMUNo

End Sub