

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO E NEGÓCIOS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO**

**DIEGO PIEROTTI PROCÓPIO**

**FATORES ASSOCIADOS À ADOÇÃO DE TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS  
NO SETOR AGROPECUÁRIO BRASILEIRO**

**CAMPO GRANDE – MS  
2023**

**DIEGO PIEROTTI PROCÓPIO**

**FATORES ASSOCIADOS À ADOÇÃO DE TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS  
NO SETOR AGROPECUÁRIO BRASILEIRO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como pré-requisito para a obtenção do grau de Doutor em Administração.  
Área de concentração: Gestão do agronegócio e organizações.

Orientador: Prof. Dr. Matheus Wemerson  
Gomes Pereira

**CAMPO GRANDE – MS  
2023**

Página deixada em branco para a ficha catalográfica.

# **FOLHA DE APROVAÇÃO**

**DIEGO PIEROTTI PROCÓPIO**

## **FATORES ASSOCIADOS À ADOÇÃO DE TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS NO SETOR AGROPECUÁRIO BRASILEIRO**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Administração da Escola de Administração e Negócios da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Administração.

RESULTADO em 29 de junho de 2023

### **Membros da banca**

---

Prof. Dr. Matheus Wemerson Gomes Pereira  
Universidade Federal do Mato Grosso do Sul  
Orientador

---

Prof. Dr. Renato Luiz Sproesser  
Universidade Federal do Mato Grosso do Sul  
Membro Interno

---

Prof. Dr. Gustavo de Faria Theodoro  
Universidade Federal do Mato Grosso do Sul  
Membro Externo

---

Profa. Dra. Elaine Aparecida Fernandes  
Universidade Federal de Viçosa  
Membro Externo

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, todo o meu agradecimento à Deus por esta conquista e pelas pessoas que colocou em minha vida. À minha vó Irene (*in memoriam*) sempre guardarei com muito carinho nossos bons momentos. À minha mãe Rosemary que sempre se dedicou para me criar e prover os meios necessários para a realização dos meus sonhos, a minha eterna gratidão e amor. Ao meu pai Geraldo pelos incentivos. À minha irmã Dielle pelo companheirismo e amizade! À minha noiva Cassia, sempre presente e por todo incentivo para a realização dos meus sonhos, essa vitória é nossa! Te amo! Ao meu cunhado Bob, pela hospitalidade e boas conversas em nossas viagens!

Agradeço também aos meus sogros Laurindo e Dirce pelo acolhimento em sua casa durante o período de pandemia e pela amizade nesses últimos anos. À Gabriela, Vitor e Davi pelos bons momentos. Ao Sr. Euclides e Dona Rosane pelos churrascos, jogos do Flamengo e convivência nas festas de aniversário. Aos meus tios Ronan e Solange por todo incentivo para seguir a carreira acadêmica.

Agradeço ao meu orientador prof. Matheus, por todo aprendizado e apoio durante o desenvolvimento da tese. Ao prof. Renato muito obrigado pelas considerações durante as bancas de avaliação do projeto e da tese, todo conhecimento compartilhado foi importante para a evolução da minha pesquisa. Agradeço também à profa Elaine pela disponibilidade em participar da banca e pelos ensinamentos durante o período de graduação na UFV, obrigado por instruir os meus primeiros passos na pesquisa. Agradeço também ao prof. Gustavo pela disponibilidade e aceite em participar da minha banca.

Aos professores do PPGAD, Caroline, Elcio, Erlaine, Filipe, Leandro, Marcia e Silvia, muito obrigado pelos ensinamentos e aprendizados durante as disciplinas. Com certeza, todo conhecimento compartilhado foi importante para o desenvolvimento da minha pesquisa e formação como pesquisador.

Aos amigos do PPGAD, apesar da convivência à distância, com certeza alguns vínculos foram construídos. Muito obrigado ao Álvaro, Ariane, Caroline, Celina, Fernan, Izabela, Jéssica, Marilza, Natália, Noellen e Thaís pelos momentos compartilhados durante as disciplinas.

Aos amigos da sala 45 na UFMT, Sania e Heder, muito obrigado pela convivência e risos no dia a dia do trabalho. Aos amigos do Departamento de Zootecnia e Extensão Rural, muito obrigado pelo apoio no desenvolvimento do trabalho e pesquisa. Aos demais colegas da Faculdade de Agronomia e Zootecnia, meu agradecimento pela amizade e apoio nesses últimos anos. Agradeço à Universidade Federal de Mato Grosso pelo incentivo e apoio para a realização do meu Doutorado.

Aos amigos de Viçosa, Gugu, Ivan, José Antônio e Pedrão, guardo com muito carinho nossos dias de convivência em república e na UFV. A minha eterna gratidão à todas as pessoas que não foram citadas anteriormente e que de alguma forma me incentivou para o alcance dessa conquista, o meu muito obrigado!

## RESUMO

A limitação de recursos naturais (terra, água, solo e biodiversidade), a degradação do solo, as mudanças climáticas e o crescimento da população mundial (contribui para o aumento da demanda por alimentos), impõem desafios para a produção agropecuária nos países. Dessa forma, destaca-se a importância da difusão de tecnologias que proporcionem um aumento da produtividade e a conservação dos recursos naturais nos sistemas produtivos agropecuários dos países. A expansão da produção de alimentos no Brasil se torna estratégica em virtude de uma parte considerável das propriedades rurais não terem utilizado tecnologias sustentáveis em 2017, como a rotação de culturas (cerca de 81,34% do total de 5,07 milhões de estabelecimentos agropecuários), sistema de plantio direto na palha (89,09% do total), fertilizantes (cerca de 57,23% do total) e corretivos (cerca de 85,64% do total), conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017). Além disso, no país, configura-se uma dualidade de realidades de perfis de propriedades rurais, quanto ao nível econômico e nas condições de vida dos produtores rurais e famílias. A desigualdade no padrão tecnológico entre as propriedades rurais também é existente entre as regiões brasileiras. Para uma compreensão adequada do processo de adoção de tecnologia no setor agropecuário, torna-se necessário uma reformulação do modelo tradicional da adoção baseado na escolha binária do indivíduo (adota ou não adota), para um que trate o fenômeno como um processo de aprendizagem dinâmico do produtor com vários estágios. E esse processo é influenciado por uma série de fatores, relacionados com o ambiente socioeconômico e as características das propriedades e produtores rurais. Diante disso, o objetivo da presente pesquisa foi a determinação dos fatores associados à adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário brasileiro. Para o alcance do objetivo proposto, o procedimento metodológico foi a Modelagem de Equações Estruturais (MEE) e a base de dados foi o Censo Agropecuário de 2017, elaborado pelo IBGE, e a unidade de análise foram as 558 microrregiões brasileiras. Dentre os principais resultados alcançados, foi verificada a existência de uma desigualdade entre as regiões brasileiras nos indicadores relacionados ao processo de adoção de tecnologia do setor agropecuário. A região Sul apresentou as maiores taxas de acesso de crédito (bancos e cooperativas), serviços de assistência técnica (cooperativas e empresas integradoras), participação dos produtores em organizações coletivas (cooperativas e entidades de classe) e maior infraestrutura produtiva (posse de máquinas e equipamentos) e gerencial (acesso a informações técnicas de aparelhos com conexão à internet, jornais e revistas). A região Norte apresentou as maiores taxas de propriedades rurais gerenciadas por indivíduos com idade de até 25 anos e, o Nordeste, apresentou as maiores taxas de estabelecimentos agropecuários com escassez de água proveniente de nascentes, rios e riachos. Para o setor agropecuário brasileiro, a adoção de tecnologias sustentáveis foi positivamente influenciada por fatores relacionados ao ambiente socioeconômico (acesso aos serviços de assistência técnica e crédito e participação dos produtores rurais em organizações coletivas) e características das propriedades rurais (disponibilidade de água, itens para acesso de informações técnica e posse de máquinas e equipamentos produtivos) e produtor (nível de escolaridade e idade dos indivíduos). Foi verificado também que a adoção de tecnologias sustentáveis exerceu uma influência sobre o valor bruto da produção dos estabelecimentos agropecuários brasileiros. Além disso, a participação dos produtores rurais em organizações coletivas exerceu uma influência positiva no acesso aos serviços de assistência técnica e crédito para o contexto brasileiro. Diante disso, políticas públicas de expansão do acesso aos serviços de crédito rural (de diferentes fontes e modalidades – infraestrutura produtiva e tecnológica, construção de poços artesianos, contratação de assistência técnica e para produtores rurais mais jovens) e à assistência técnica de cooperativas, incentivo à criação de

cooperativas e realização de reuniões técnicas e seminários para a difusão de informações técnicas entre os produtores rurais, expansão do acesso à internet nas áreas rurais, ações de capacitação educacional e técnica da população rural, ações que fomentem a sucessão rural em propriedades rurais e que promovam a conservação e preservação de nascentes e rios em áreas rurais podem promover a difusão de tecnologias sustentáveis ao longo do território brasileiro.

**Palavras-chave:** Agronegócio; Desigualdade; Políticas Públicas; Processo de aprendizagem dinâmico, Valor Bruto da Produção.

## ABSTRACT

The limitation of natural resources (land, water, soil, and biodiversity), soil degradation, climate change, and the growth of the world's population (contributing to increased food demand) impose challenges for agricultural production in countries. Therefore, the importance of disseminating technologies that enhance productivity and conserve natural resources in agricultural production systems is highlighted. The expansion of food production in Brazil becomes strategic due to a considerable portion of rural properties not having used sustainable technologies in 2017, such as crop rotation (about 81.34% of the total 5.07 million agricultural establishments), no-till farming (89.09% of the total), fertilizers (about 57.23% of the total), and soil correctives (about 85.64% of the total), according to the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE, 2017). Additionally, in the country, there is a duality of realities regarding the economic level and living conditions of rural producers and families. The inequality in the technological pattern among rural properties also exists among Brazilian regions. For a proper understanding of the technology adoption process in the agricultural sector, it is necessary to reformulate the traditional model of adoption based on the individual's binary choice (adopts or does not adopt) to one that treats the phenomenon as a dynamic learning process for producers with various stages. And this process is influenced by a series of factors related to the socioeconomic environment and the characteristics of rural properties and producers. Given this, the objective of this research was to determine the factors associated with the adoption of sustainable technologies in the Brazilian agricultural sector. To achieve the proposed objective, the methodological procedure used was Structural Equation Modeling (SEM), and the database used was the 2017 Agricultural Census, elaborated by IBGE, with the analysis unit being the 558 Brazilian microregions. Among the main results achieved, there was a disparity between Brazilian regions in indicators related to the technology adoption process in the agricultural sector. The Southern region showed the highest rates of access to credit (banks and cooperatives), technical assistance services (cooperatives and integrating companies), producer participation in collective organizations (cooperatives and trade associations), and greater productive infrastructure (possession of machinery and equipment) and managerial resources (access to technical information through internet-connected devices, newspapers, and magazines). The Northern region showed the highest rates of rural properties managed by individuals aged up to 25 years, and the Northeast region showed the highest rates of agricultural establishments facing water scarcity from springs, rivers, and streams. For the Brazilian agricultural sector, the adoption of sustainable technologies was positively influenced by factors related to the socioeconomic environment (access to technical assistance and credit services and producer participation in collective organizations) and the characteristics of rural properties (availability of water, items for accessing technical information, and possession of productive machinery and equipment) and the producer (level of education and age of individuals). It was also found that the adoption of sustainable technologies had an impact on the gross production value of Brazilian agricultural establishments. Furthermore, the participation of rural producers in collective organizations had a positive influence on accessing technical assistance and credit in the Brazilian context.

**Keywords:** Agribusiness, Inequality, Public Policies; Dynamic Learning Process; Gross Production Value.



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABPA – Associação Brasileira de Proteína Animal  
AC – Acesso ao crédito  
AC – Acre (unidade federativa)  
AE – Área total dos estabelecimentos  
Al – Alumínio  
AL – Alagoas  
AM – Amazonas  
AP – Amapá  
AS – Acesso à assistência técnica  
AT – Adoção de tecnologias sustentáveis  
AVE – Variância Média Extraída  
B – Boro  
BA – Bahia  
Ca – Cálcio  
CB-SEM – *Covariance-Based Structural Equation Modeling*  
CC – Confiabilidade Composta  
CE – Ceará  
CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada  
Cl – Cloro  
CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono  
CONAB – Companhia Nacional do Abastecimento  
CV – Coeficiente de variação  
Cu – Cobre  
DA – Disponibilidade de água  
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
EMBRATER – Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural  
f<sup>2</sup> – Tamanho do efeito de Cohen  
Fe – Ferro  
FI – Fontes de informação  
GEE – Gases de efeito estufa  
GO – Goiás  
ha – hectare  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IP – Idade dos produtores rurais  
K – Potássio  
MA - Maranhão  
MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento  
Md - Mediana  
ME – Máquinas e equipamentos produtivos  
MEE – Modelagem de Equações Estruturais  
Mg – Magnésio  
MG – Minas Gerais  
Mn – Manganês  
Mo – Molibdênio  
MS – Mato Grosso do Sul  
MT – Mato Grosso  
N – Nitrogênio  
NE – Nível de escolaridade dos produtores rurais  
OC – Participação em organizações coletivas  
P – Fósforo

PA – Pará  
PB - Paraíba  
PE – Pernambuco  
PI – Piauí  
PLS-SEM – *Partial Least Squares Structural Equation Modeling*  
PO – Pessoal ocupado  
PR – Paraná  
PROCERA – Programa de Crédito Especial para a Reforma Agrária  
PRONAF – Programa de Fortalecimento da Agricultura Familiar  
Q1 – Primeiro quartil  
Q2 – Segundo quartil  
Q3 – Terceiro quartil  
 $R^2$  – Coeficiente de determinação de Pearson  
RJ – Rio de Janeiro  
RN – Rio Grande do Norte  
RR – Roraima  
RS – Rio Grande do Sul  
S – Enxofre  
S-F – Shapiro-Francia  
S-W – Shapiro-Wilk  
SC – Santa Catarina  
SE – Sergipe  
SEM – *Structural Equation Modeling*  
SP – São Paulo  
SPD – Sistema de Plantio Direto  
TCU – Tribunal de Contas da União  
TE – Total de estabelecimentos  
ton – tonelada  
VBP – Valor Bruto da Produção  
VIF – *Variance Inflation Factor*  
Zn - Zinco

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de rotação de culturas em uma propriedade rural no período de 4 anos.....	38
Figura 2 - Categorias de adotantes de uma tecnologia num sistema social.....	66
Figura 3 - Difusão de uma tecnologia em um sistema social.....	67
Figura 4 - Modelo estrutural de fatores associados ao processo de adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário.....	82
Figura 5 - Símbolos utilizados em Modelagem de Equações Estruturais.....	89
Figura 6 - Modelo Estrutural a ser estimado.....	91
Figura 7 - Estrutura do gráfico <i>boxplot</i> (diagrama de caixa).....	98
Figura 8 - Gráfico de <i>boxplot</i> das variáveis observáveis que compõem o construto Adoção de tecnologias sustentáveis (AT) para o setor agropecuário brasileiro em 2017.....	99
Figura 9 - Distribuição de valores da variável observável AT1 entre as microrregiões brasileiras em 2017.....	100
Figura 10 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável AT1 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.....	101
Figura 11 - Distribuição de valores da variável observável AT2 entre as microrregiões brasileiras em 2017.....	102
Figura 12 - . Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável AT2 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.....	103
Figura 13 - Distribuição de valores da variável observável AT3 entre as microrregiões brasileiras em 2017.....	104
Figura 14 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável AT3 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.....	105
Figura 15 - Distribuição de valores da variável observável AT4 entre as microrregiões brasileiras em 2017.....	106
Figura 16 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável AT4 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.....	107
Figura 17 - Gráfico de <i>boxplot</i> das variáveis observáveis que compõem o construto Acesso ao crédito (AC) para o setor agropecuário brasileiro em 2017.....	110
Figura 18 - Distribuição de valores da variável observável AC1 entre as microrregiões brasileiras em 2017.....	111
Figura 19 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável AC1 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.....	112
Figura 20 - Distribuição de valores da variável observável AC2 entre as microrregiões brasileiras em 2017.....	113
Figura 21 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável AC2 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.....	114
Figura 22 - Distribuição de valores da variável observável AC3 entre as microrregiões brasileiras em 2017.....	115
Figura 23 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável AC3 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.....	116
Figura 24 - Gráfico de <i>boxplot</i> das variáveis observáveis que compõem o construto	

Acesso à assistência técnica (AS) para o setor agropecuário brasileiro em 2017. ....	118
Figura 25 - Distribuição de valores da variável observável AS1 entre as microrregiões brasileiras em 2017. ....	119
Figura 26 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável AS1 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	120
Figura 27 - Distribuição de valores da variável observável AS2 entre as microrregiões brasileiras em 2017. ....	121
Figura 28 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável AS2 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	122
Figura 29 - Distribuição de valores da variável observável AS3 entre as microrregiões brasileiras em 2017. ....	123
Figura 30 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável AS3 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	124
Figura 31 - Distribuição de valores da variável observável AS4 entre as microrregiões brasileiras em 2017. ....	125
Figura 32 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável AS4 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	126
Figura 33 - Gráfico de <i>boxplot</i> das variáveis observáveis que compõem o construto Organizações coletivas (OC) para o setor agropecuário brasileiro em 2017. ....	128
Figura 34 - Distribuição de valores da variável observável OC1 entre as microrregiões brasileiras em 2017. ....	129
Figura 35 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável OC1 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	130
Figura 36 - Distribuição de valores da variável observável OC2 entre as microrregiões brasileiras em 2017. ....	131
Figura 37 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável OC2 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	132
Figura 38 - Distribuição de valores da variável observável OC3 entre as microrregiões brasileiras em 2017. ....	133
Figura 39 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável OC3 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	134
Figura 40 - Distribuição de valores da variável observável OC4 entre as microrregiões brasileiras em 2017. ....	135
Figura 41 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável OC4 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	136
Figura 42 - Gráfico de <i>boxplot</i> das variáveis observáveis que compõem o construto Disponibilidade de água (DA) para o setor agropecuário brasileiro em 2017. ....	140
Figura 43 - Distribuição de valores da variável observável DA1 entre as microrregiões brasileiras em 2017. ....	141
Figura 44 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável DA1 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	142
Figura 45 - Distribuição de valores da variável observável DA2 entre as microrregiões brasileiras em 2017. ....	143

Figura 46 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável DA2 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	144
Figura 47 - Distribuição de valores da variável observável DA3 entre as microrregiões brasileiras em 2017. ....	145
Figura 48 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável DA3 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	146
Figura 49 - Distribuição de valores da variável observável DA4 entre as microrregiões brasileiras em 2017. ....	147
Figura 50 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável DA4 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	148
Figura 51 - Gráfico de <i>boxplot</i> das variáveis observáveis que compõem o construto Máquinas e equipamentos produtivos (ME) para o setor agropecuário brasileiro em 2017. ....	150
Figura 52 - Distribuição de valores da variável observável ME1 entre as microrregiões brasileiras em 2017. ....	151
Figura 53 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável ME1 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	152
Figura 54 - Distribuição de valores da variável observável ME2 entre as microrregiões brasileiras em 2017. ....	153
Figura 55 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável ME2 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	154
Figura 56 - Distribuição de valores da variável observável ME3 entre as microrregiões brasileiras em 2017. ....	155
Figura 57 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável ME3 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	156
Figura 58 - Gráfico de <i>boxplot</i> das variáveis observáveis que compõem o construto Fontes de informação (FI) para o setor agropecuário brasileiro em 2017. ....	158
Figura 59 - Distribuição de valores da variável observável FI1 entre as microrregiões brasileiras em 2017. ....	159
Figura 60 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável FI1 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	160
Figura 61 - Distribuição de valores da variável observável FI2 entre as microrregiões brasileiras em 2017. ....	161
Figura 62 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável FI2 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	162
Figura 63 - Distribuição de valores da variável observável FI3 entre as microrregiões brasileiras em 2017. ....	163
Figura 64 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável FI3 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	164
Figura 65 - Distribuição de valores da variável observável FI4 entre as microrregiões brasileiras em 2017. ....	165
Figura 66 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável FI4 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos	

agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	166
Figura 67 - Distribuição de valores da variável observável FI5 entre as microrregiões brasileiras em 2017. ....	167
Figura 68 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável FI5 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	168
Figura 69 - Gráfico de <i>boxplot</i> das variáveis observáveis que compõem o construto Nível de escolaridade dos produtores (NE) para o setor agropecuário brasileiro em 2017. ....	172
Figura 70 - Distribuição de valores da variável observável NE1 entre as microrregiões brasileiras em 2017. ....	173
Figura 71 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável NE1 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	174
Figura 72 - Distribuição de valores da variável observável NE2 entre as microrregiões brasileiras em 2017. ....	175
Figura 73 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável NE2 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	176
Figura 74 - Distribuição de valores da variável observável NE3 entre as microrregiões brasileiras em 2017. ....	177
Figura 75 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável NE3 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	178
Figura 76 - Distribuição de valores da variável observável NE4 entre as microrregiões brasileiras em 2017. ....	179
Figura 77 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável NE4 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	180
Figura 78 - Distribuição de valores da variável observável NE5 entre as microrregiões brasileiras em 2017. ....	181
Figura 79 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável NE5 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	182
Figura 80 - Distribuição de valores da variável observável NE6 entre as microrregiões brasileiras em 2017. ....	183
Figura 81 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável NE6 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	184
Figura 82 - Gráfico de <i>boxplot</i> das variáveis observáveis que compõem o construto Idade dos produtores (IP) para o setor agropecuário brasileiro em 2017. ....	186
Figura 83 - Distribuição de valores da variável observável IP1 entre as microrregiões brasileiras em 2017. ....	187
Figura 84 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável IP1 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	188
Figura 85 - Distribuição de valores da variável observável IP2 entre as microrregiões brasileiras em 2017. ....	189
Figura 86 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável IP2 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	190
Figura 87 - Distribuição de valores da variável observável IP3 entre as microrregiões	

brasileiras em 2017.....	191
Figura 88 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável IP3 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	192
Figura 89 - Distribuição de valores da variável observável IP4 entre as microrregiões brasileiras em 2017.....	193
Figura 90 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável IP4 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	194
Figura 91 - Distribuição de valores da variável observável IP5 entre as microrregiões brasileiras em 2017.....	195
Figura 92 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável IP5 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	196
Figura 93 - Distribuição de valores da variável observável IP6 entre as microrregiões brasileiras em 2017.....	197
Figura 94 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável IP6 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	198
Figura 95 - Distribuição de valores da variável observável VBP1 entre as microrregiões brasileiras em 2017.....	201
Figura 96 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável VBP1 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	202
Figura 97 - Distribuição de valores da variável observável VBP2 entre as microrregiões brasileiras em 2017.....	203
Figura 98 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável VBP2 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	204
Figura 99 - Distribuição de valores da variável observável VBP3 entre as microrregiões brasileiras em 2017.....	205
Figura 100 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável VBP3 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	206
Figura 101 - Modelo estrutural estimado. ....	219
Figura 102 - Distribuição de valores dos escores fatoriais da variável latente AC entre as microrregiões brasileiras em 2017.....	222
Figura 103 - Gráfico de dispersão de pontos entre os escores fatoriais do construto AC e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	223
Figura 104 - Distribuição de valores dos escores fatoriais da variável latente AS entre as microrregiões brasileiras em 2017.....	227
Figura 105 - Gráfico de dispersão de pontos entre os escores fatoriais do construto AS e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	228
Figura 106 - Distribuição de valores dos escores fatoriais da variável latente OC entre as microrregiões brasileiras em 2017.....	231
Figura 107 - Gráfico de dispersão de pontos entre os escores fatoriais do construto OC e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	232
Figura 108 - Distribuição de valores dos escores fatoriais da variável latente DA entre as microrregiões brasileiras em 2017.....	235

Figura 109 - Gráfico de dispersão de pontos entre os escores fatoriais do construto DA e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	236
Figura 110 - Distribuição de valores dos escores fatoriais da variável latente ME entre as microrregiões brasileiras em 2017. ....	238
Figura 111 - Gráfico de dispersão de pontos entre os escores fatoriais do construto ME e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	239
Figura 112 - Distribuição de valores dos escores fatoriais da variável latente FI entre as microrregiões brasileiras em 2017.....	241
Figura 113 - Gráfico de dispersão de pontos entre os escores fatoriais do construto FI e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	242
Figura 114 - Distribuição de valores dos escores fatoriais da variável latente NE entre as microrregiões brasileiras em 2017.....	245
Figura 115 - Gráfico de dispersão de pontos entre os escores fatoriais do construto NE e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	246
Figura 116 - Distribuição de valores dos escores fatoriais da variável latente IP entre as microrregiões brasileiras em 2017.....	249
Figura 117 - Gráfico de dispersão de pontos entre os escores fatoriais do construto IP e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	250
Figura 118 - Distribuição de valores dos escores fatoriais da variável latente AT entre as microrregiões brasileiras em 2017.....	254
Figura 119 - Gráfico de dispersão de pontos entre os escores fatoriais do construto AT e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	255
Figura 120 - Distribuição de valores dos escores fatoriais da variável latente VBP entre as microrregiões brasileiras em 2017. ....	257
Figura 121 - Gráfico de dispersão de pontos entre os escores fatoriais do construto VBP e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017. ....	258



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Benefícios e custos pertinentes à agricultura conservacionista para diferentes escalas espaciais .....	35
Quadro 2 - Benefícios da rotação de culturas para os sistemas produtivos agropecuários .....	42
Quadro 3 - Benefícios do sistema de plantio direto para os sistemas produtivos agropecuários.....	48
Quadro 4 - Benefícios dos fertilizantes para os sistemas produtivos agropecuários.....	52
Quadro 5 - Benefícios do uso de corretivos para os sistemas produtivos agropecuários.....	55
Quadro 6 - Benefícios das tecnologias sustentáveis para os sistemas produtivos agropecuários.....	56
Quadro 7 - Fases do processo de aprendizagem dinâmico e os condutores da adoção de tecnologia no setor agropecuário .....	64
Quadro 8 - Fatores que influenciam o processo de adoção de tecnologia no setor agropecuário .....	79
Quadro 9 - Construtos e variáveis observáveis do modelo teórico de fatores associados a adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário brasileiro.....	85
Quadro 10 - Matriz de amarração de Mazzon .....	95
Quadro 11 - Síntese de informações das variáveis observáveis do construto AT.....	108
Quadro 12 - Síntese de informações das variáveis observáveis dos construtos AC, AS e OC.....	137
Quadro 13 - Síntese de informações das variáveis observáveis dos construtos DA, ME e FI.....	169
Quadro 14 - Síntese de informações das variáveis observáveis dos construtos NE e IP .....	199
Quadro 15 - Síntese dos indicadores socioeconômicos e produtivos relacionados ao processo de adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário brasileiro.....	207
Quadro 16 - Ações realizadas para o ajuste no modelo de mensuração .....	212
Quadro 17 - Testes das hipóteses associadas aos fatores de adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário brasileiro .....	252
Quadro 18 - Síntese de políticas públicas para fomentar a adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário brasileiro .....	253

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Taxa de adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário brasileiro nos anos de 2006 e 2017.....	27
Tabela 2 - Quantidade de estabelecimentos rurais de acordo com a categoria de VBP anual no Brasil para o ano de 2017.....	29
Tabela 3 - Microrregiões brasileiras em 2017 .....	88
Tabela 4 - Testes de normalidade univariada de Shapiro-Wilk e Shapiro-Francia das variáveis observáveis.....	93
Tabela 5 - Estatísticas descritivas das variáveis observáveis que compõem o construto Adoção de tecnologias sustentáveis (AT) para o setor agropecuário brasileiro em 2017 .....	97
Tabela 6 - Estatísticas descritivas das variáveis observáveis que compõem o construto Acesso ao crédito (AC) para o setor agropecuário brasileiro em 2017 .....	109
Tabela 7 - Estatísticas descritivas das variáveis observáveis que compõem o construto Acesso à assistência técnica (AS) para o setor agropecuário brasileiro em 2017 .....	117
Tabela 8 - Estatísticas descritivas das variáveis observáveis que compõem o construto Participação em organizações coletivas (OC) para o setor agropecuário brasileiro em 2017 .....	127
Tabela 9 - Estatísticas descritivas das variáveis observáveis que compõem o construto Disponibilidade de água (DA) para o setor agropecuário brasileiro em 2017 .....	139
Tabela 10 - Estatísticas descritivas das variáveis observáveis que compõem o construto Máquinas e equipamentos produtivos (ME) para o setor agropecuário brasileiro em 2017 .....	149
Tabela 11 - Estatísticas descritivas das variáveis observáveis que compõem o construto Fontes de informação (FI) para o setor agropecuário brasileiro em 2017.....	157
Tabela 12 - Estatísticas descritivas das variáveis observáveis que compõem o construto Nível de escolaridade dos produtores (NE) para o setor agropecuário brasileiro em 2017 .....	171
Tabela 13 - Estatísticas descritivas das variáveis observáveis que compõem o construto Idade dos produtores (IP) para o setor agropecuário brasileiro em 2017.....	185
Tabela 14 - Estatísticas descritivas das variáveis observáveis que compõem o construto Valor Bruto da Produção (VBP) para o setor agropecuário brasileiro em 2017.....	200
Tabela 15 - Matriz de correlações entre as variáveis latentes.....	209
Tabela 16 - Cargas cruzadas das variáveis observáveis nos construtos do modelo.....	211
Tabela 17 - Testes de normalidade univariada de Shapiro-Wilk e Shapiro-Francia das variáveis inseridas no modelo de mensuração.....	213
Tabela 18 - Cargas cruzadas das variáveis observáveis nos construtos do modelo.....	214
Tabela 19 - Matriz de correlações entre as variáveis latentes.....	215
Tabela 20 - Variáveis observáveis do modelo de mensuração ajustado .....	216
Tabela 21 - Resultados do Modelo estrutural .....	218
Tabela 22 - <i>Ranking</i> das 10 melhores e piores microrregiões brasileiras de acordo com os valores dos escores fatoriais padronizados do construto AC .....	224
Tabela 23 - <i>Ranking</i> das 10 melhores e piores microrregiões brasileiras de acordo com os valores dos escores fatoriais padronizados do construto AS.....	229
Tabela 24 - <i>Ranking</i> das 10 melhores e piores microrregiões brasileiras de acordo com os valores dos escores fatoriais padronizados do construto OC.....	233
Tabela 25 - <i>Ranking</i> das 10 melhores e piores microrregiões brasileiras de acordo com os valores dos escores fatoriais padronizados do construto DA.....	237
Tabela 26 - <i>Ranking</i> das 10 melhores e piores microrregiões brasileiras de acordo com os valores dos escores fatoriais padronizados do construto ME .....	240
Tabela 27 - <i>Ranking</i> das 10 melhores e piores microrregiões brasileiras de acordo com	

os valores dos escores fatoriais padronizados do construto FI.....	243
Tabela 28 - <i>Ranking</i> das 10 melhores e piores microrregiões brasileiras de acordo com os valores dos escores fatoriais padronizados do construto NE .....	247
Tabela 29 - Classes de idade dos produtores rurais brasileiros nos Censos Agropecuários de 2006 e 2017.....	248
Tabela 30 - <i>Ranking</i> das 10 melhores e piores microrregiões brasileiras de acordo com os valores dos escores fatoriais padronizados do construto IP.....	251
Tabela 31 - <i>Ranking</i> das 10 melhores e piores microrregiões brasileiras de acordo com os valores dos escores fatoriais padronizados do construto AT.....	256
Tabela 32 - <i>Ranking</i> das 10 melhores e piores microrregiões brasileiras de acordo com os valores dos escores fatoriais padronizados do construto VBP.....	259

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	21
1.1 Considerações Iniciais .....	21
1.2 O Problema e sua importância.....	25
1.3 Objetivos.....	31
1.3.1 Objetivo Geral .....	31
1.3.2 Objetivos Específicos .....	31
2. REFERENCIAL TEÓRICO .....	33
2.1 Agricultura conservacionista .....	33
2.1.1 Rotação de culturas.....	37
2.1.2 Sistema de plantio direto (SPD) .....	43
2.1.3 Fertilizantes .....	49
2.1.4 Uso de calcário e/ou outro corretivo no solo.....	52
2.1.5 Síntese dos benefícios das tecnologias sustentáveis para o setor agropecuário .....	55
2.2 Modernização do setor agropecuário brasileiro.....	57
2.3 Adoção e difusão de tecnologia no setor agropecuário .....	61
2.4 Determinantes da adoção de tecnologia no setor agropecuário.....	68
2.5 Abordagem sistêmica do processo de adoção de tecnologias sustentáveis e os efeitos no setor agropecuário .....	80
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	84
3.1 Especificação das questões de pesquisa .....	84
3.2 Natureza da pesquisa .....	84
3.3 Procedimento de coleta de dados e variáveis .....	84
3.4 Delimitação da amostra .....	87
3.5 Modelagem de Equações Estruturais (MEE).....	89
3.6 Testes de normalidade univariada das variáveis observáveis .....	92
3.7 Matriz de amarração de Mazzon .....	94
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	97
4.1 Indicadores produtivos e socioeconômicos do setor agropecuário brasileiro .....	97
4.1.1 Indicadores relacionados a adoção de tecnologias sustentáveis.....	97
4.1.2 Indicadores relacionados ao ambiente socioeconômico .....	108
4.1.3 Indicadores relacionados às características da propriedade rural.....	138
4.1.4 Indicadores relacionados às características do produtor rural .....	170
4.2 Avaliação do modelo de mensuração.....	208
4.3 Avaliação do modelo estrutural .....	217
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	260
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	267

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Considerações Iniciais

Estima-se que a população mundial irá atingir o patamar de 9 bilhões de pessoas no ano de 2050. Além disso, a melhoria no padrão de vida da população irá aumentar ainda mais a demanda por alimentos e energia. Ao mesmo tempo, ocorre uma diminuição da quantidade de terras produtivas disponíveis (advindo da degradação do solo de áreas cultiváveis e na preservação das florestas) para uma expansão da produção de alimentos. Dessa forma, o crescimento da produção agropecuária deve ser pautado através da adoção de tecnologias que proporcionem um aumento da produtividade dos fatores de produção e promova a conservação do solo, com a finalidade de garantir a segurança alimentar e nutricional da população mundial (POPP *et al.*, 2013; REETZ, 2017).

A demanda por alimentos está aumentando à medida que as populações crescem e ganham riqueza para comprar dietas mais variadas e com uso intensivo de recursos. Há uma crescente competição por terra, água, energia e outros insumos na produção de alimentos. As mudanças climáticas colocam desafios para o setor agropecuário, especialmente nos países em Desenvolvimento e, muitas práticas agrícolas são prejudiciais ao meio ambiente e uma importante fonte de emissões de gases de efeito estufa (GEE) (GARNETT *et al.*, 2013).

Os efeitos das alterações climáticas no setor agropecuário estão relacionados com o aumento da temperatura, às altas taxas de concentração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (um dos gases que promovem o efeito estufa) na atmosfera, aumento da frequência e intensidade de eventos climáticos extremos (secas, chuvas intensas, ondas de calor e frio, etc.) e mudança no padrão de chuvas. Para o Brasil, aumentos médios na temperatura do clima de 1,0 °C a 5,8 °C (Celsius) podem reduzir o nível de produtividade das culturas do arroz, cana-de-açúcar, feijão, milho e soja e promover uma maior ocorrência de doenças, pragas e plantas daninhas nas áreas de cultivo de culturas e pastagens nos sistemas produtivos agropecuários (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

No Brasil, a maior ocorrência e intensidade de eventos climáticos extremos de curta duração, tais como secas, chuvas intensas, ondas de frio ou calor, vendavais, inundações e ressacas, contribuem para o aumento da insegurança alimentar e nutricional da população e trazem impactos diretos sobre os setores econômicos (por exemplo, escassez de insumos para a indústria de alimentos e fornecimento de alimentos para restaurantes e supermercados) e biodiversidade (incentivo ao

desmatamento para a expansão de áreas agrícolas), na medida em que a variabilidade climática e a ocorrência de tais eventos se intensificam ao longo do território nacional (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

A intensificação do setor agropecuário (conjunto de tecnologias utilizadas para o aumento da produtividade dos fatores produtivos) direcionada apenas para uma maior produção de alimentos afeta negativamente o solo. Consequências como o declínio do nível de matéria orgânica e diversidade biológica do solo, aumento do processo de erosão e degradação física do solo, menor eficiência do uso dos nutrientes, poluição das águas subterrâneas e emissão de GEE podem ser citadas (SOMASUNDARAM *et al.*, 2020). Os sistemas produtivos intensivos possuem uma racionalidade de produção destinada ao esgotamento dos recursos naturais. Dada as limitações de recursos como a água, biodiversidade, solo e terras utilizados na produção de alimentos, destaca-se a importância da promoção de sistemas produtivos conservacionistas que tenham como objetivo o aumento da produtividade aliado à conservação dos recursos naturais (PRETTY e BHARUCHA, 2014).

Em 2021, o Brasil possuía uma extensão territorial de 850,67 milhões de ha que estava distribuída da seguinte forma: (a) florestas com 508,27 milhões de ha (cerca de 59,79% do total nacional); (b) formação natural não florestal (campo alagado e área pantanosa, formação campestre, etc.) com 53,93 milhões de ha (cerca de 6,34% do total nacional); (c) agropecuária (lavouras temporárias e perenes, pastagens, silvicultura, etc.) com 265,01 milhões de ha (cerca de 31,15% do total nacional); (d) área não vegetada (praias, área urbanizada, mineração, etc.) com 6,17 milhões de ha (cerca de 0,73% do total nacional); (e) corpo d'água (rios, lagos, oceano e aquicultura) com 16,85 milhões de ha (cerca de 1,98% do total nacional); e, (f) outros com 46,58 mil ha (cerca de 0,01% do total nacional) (MAPBIOMAS, 2022). No ano de 2015, aproximadamente 16,5% (cerca de 140 milhões de ha) do território brasileiro apresentava algum nível de degradação no solo (TCU, 2015).

A produção de grãos no Brasil passou de 46,94 milhões de toneladas (ton) (numa área de 37,31 milhões de hectares – ha e uma produtividade de 1.258 quilos/ha) no ano safra de 1976/77 para 272,42 milhões de ton (numa área de 74,51 milhões de ha e produtividade de 3.656 quilos/ha) no ano safra de 2021/22 (CONAB, 2023). A expansão da produção de alimentos no Brasil, desde o movimento de Revolução Verde (início na década de 1960), teve importante contribuição do conhecimento acumulado em instituições de pesquisa e na disponibilidade de terras para a expansão da atividade agropecuária (CONCEIÇÃO e CONCEIÇÃO, 2014).

No entanto, a expansão da atividade agropecuária no Brasil deve seguir outra trajetória sem que novas áreas sejam desmatadas para a produção de alimentos. Em 2020, foi institucionalizado o Plano ABC+ (para continuar as ações do Plano ABC que teve vigência de 2010-2020) e possui como principal objetivo promover a produção de alimentos no Brasil de forma sistêmica com a promoção da conservação da água e do solo e de toda a biodiversidade nas propriedades rurais (CONCEIÇÃO, 2022).

O Brasil possui relevância na produção agropecuária mundial. Na safra de 2021/22, a produção nacional de grãos foi de 271,41 milhões de ton em uma área de 74,48 milhões de ha. Dentre os grãos, destaca-se a produção de soja que foi de 125,54 milhões de ton numa área de 41,49 milhões de ha e o milho com uma produção total de 112,83 milhões de ton em uma área de 21,58 milhões de ha (CONAB, 2023).

Em 2021, a produção brasileira de carnes de avícola e suína foram 14,32 milhões de ton e 4,70 milhões de ton, respectivamente (ABPA, 2022). O rebanho bovino brasileiro foi de 224,60 milhões de cabeças (IBGE, 2023). O Produto Interno Bruto (PIB) do agronegócio foi de R\$ 2,56 trilhões (CEPEA, 2023), as exportações foram de US\$ 159,09 bilhões e o saldo da Balança Comercial foi de US\$141,85 bilhões (MAPA, 2023).

O setor agropecuário brasileiro precisará seguir uma trajetória de transformação para cumprir, com crescente eficiência, as funções de garantia de abastecimento alimentar mundial (segurança alimentar e nutricional), o equilíbrio do mercado agropecuário, a garantia de renda para o produtor rural, a competitividade e o fortalecimento da capacidade exportadora do país. Destaca-se a importância da difusão de tecnologias sustentáveis que permitam a evolução dos sistemas produtivos agropecuários, em resposta ao aumento da demanda mundial por alimentos e riscos associados ao campo (LOPES, 2017).

Em referência ao uso do solo no setor agropecuário brasileiro, a adoção por parte dos produtores rurais de tecnologias que promovem a conservação do solo é baixa. A degradação do solo<sup>1</sup> pode ser extremamente rápida, fatores como o manejo inadequado do solo e a falta de uso de fertilizantes e corretivos podem contribuir para esse fenômeno. Mas o processo de formação e/ou regeneração da fertilidade do solo é um processo lento (DENARDIN *et al.*, 2014). Dessa forma, atribui-se a importância da difusão de tecnologias que promovam a conservação do solo ao longo do território

---

<sup>1</sup> Pode ser definida pela perda gradativa das características biológicas, físicas e químicas do solo que são essenciais para o crescimento das plantas (OLSSON *et al.*, 2019).

O solo utilizado na produção de alimentos deve ser manejado de forma a preservar todas as características biológicas, físicas e químicas com o objetivo de garantir a exploração econômica ao longo do tempo (CHAVES, 2002). O solo fértil é fundamental para a sociedade alcançar a segurança alimentar e nutricional (HOLLAND *et al.*, 2018).

O solo sob o ponto de vista elementar, pode ser considerado um corpo da paisagem natural, representado por uma matriz de sólidos que abriga líquidos, gases e organismos vivos. Sob o enfoque funcional na atividade agropecuária, o solo constitui o ambiente natural de crescimento das plantas e é considerado um elemento chave para a garantia do nível de produtividade dos sistemas produtivos, pois é através do solo que as plantas encontram a água e nutrientes necessários para o seu desenvolvimento (DENARDIN *et al.*, 2014).

O solo é um recurso natural de fundamental importância para a produção de alimentos e matérias-primas para o setor industrial. Por ser um sistema trifásico (sólido, líquido e gasoso) e dinâmico, é essencial que as características biológicas, físicas e químicas sejam preservadas para a garantia da segurança alimentar e nutricional da sociedade. Dessa forma, se faz necessário o uso de técnicas de manejo conservacionistas do solo que proporcionem um aumento da produtividade nos sistemas produtivos agropecuários (BERTOLLO e LEVIEN, 2019).

Para a garantia do fornecimento de alimentos à sociedade, torna-se necessário conhecer, estudar e ajustar-se as particularidades de cada tipo de solo e clima dos países, além de investir em práticas que possam contribuir para a preservação do meio ambiente, de modo que não haja o incentivo de desmatar novas áreas com florestas para a produção de alimentos. Não se deve apenas buscar a conservação e melhoria do uso dos recursos naturais, mas também os ganhos de produtividade e renda aos produtores rurais (FUENTES-LLANILLO *et al.*, 2021).

Para uma compreensão adequada do processo de adoção de tecnologia no setor agropecuário, torna-se necessário uma reformulação no modelo tradicional de adoção baseado na decisão binária do indivíduo (adota ou não adota) para um que trate o fenômeno como um processo de aprendizagem dinâmico do produtor rural com vários estágios. O aspecto geral a ser considerado, é a de que os produtores rurais desejam melhorar a situação atual que pode ter origem econômica (aumento da produtividade e do lucro, por exemplo) ou relacionada à condição de vida da família (incorporar tecnologias que sejam poupadoras de mão de obra para que o produtor tenha mais tempo para estar com os familiares). Além disso, deve-se considerar que os produtores



possuem recursos limitados (tempo, dinheiro, informação e capacidade cognitiva) e são incapazes de determinar imediatamente quais tecnologias proporcionam uma vantagem relativa para o alcance dos objetivos pessoais (WEERSINK e FULTON, 2020).

O processo de adoção de tecnologia no campo pode ser influenciado por uma série de fatores, que podem ser de origem ambiental, cultural, econômica, institucional, política e social (TEY e BRINDAL, 2012; MWANGI e KARIUKI, 2015; SADIGOV, 2018; MUNGIA e LLEWELLYN, 2020). No contexto brasileiro, torna-se relevante a investigação dos fatores associados ao processo de adoção tecnológica nas propriedades rurais, que podem estar relacionados a uma série de variáveis, como a organização social, a capacidade de aprendizado e a cooperação dos produtores rurais (FORNAZIER e VIEIRA FILHO, 2012).

## **1.2 O Problema e sua importância**

As pastagens plantadas em más condições de uso (com algum nível de degradação do solo, com problemas como a erosão e a presença de plantas daninhas e cupinzeiros e sem manutenção periódica na área de cultivo) possuíam uma área de 11,86 milhões de ha ao longo do território nacional em 2017. A maior parte da área de pastagem degradada estava localizada no Nordeste com 4,08 milhões de ha (corresponde a 34,45% do total nacional) e, seguido das regiões Centro-Oeste (com 2,94 milhões de ha e cerca de 24,84% do total nacional), Sudeste (com 2,35 milhões de ha e cerca de 19,81% do total nacional), Norte (com 2,22 milhões de ha e cerca de 18,76% do total nacional) e Sul (com 251,79 mil ha e cerca de 2,12% do total nacional) (IBGE, 2017).

Os fatores que contribuem para o aumento do nível de degradação do solo em uma região estão relacionados com as más práticas de gestão em uma propriedade rural (como por exemplo, o uso inadequado da terra de acordo com a sua aptidão agrícola), o desmatamento de florestas para a expansão de áreas a serem cultivadas por culturas e pastagens, o preparo excessivo do solo com atividades mecânicas (aração e gradagem), a falta ou o uso inadequado de fertilizantes e corretivos no solo e dentre outros (ANDRADE e FREITAS, 2019; STUCHI, 2022).

O uso de cultivos contínuos sem a adoção de sistemas de integração (rotação ou consorciação de culturas numa área de cultivo) têm prejudicado as qualidades física e química do solo, bem como contribuído para uma maior ocorrência de doenças, pragas e plantas daninhas em propriedades rurais (MACEDO e ARAÚJO, 2012). A degradação

do solo é ocasionada por processos diretos ou indiretos induzidos pelo homem e aplica-se para áreas florestais e não florestais. Constitui-se principalmente na perda das características biológicas, físicas e químicas do solo essenciais para o desenvolvimento das plantas (OLSSON *et al.*, 2019).

A erosão hídrica é o principal fator que leva à degradação do solo, compreende no desprendimento e arraste de partículas do solo ocasionados pelas águas da chuva (ZONTA *et al.*, 2012; BERTOL *et al.*, 2014). No Brasil, a erosão hídrica é uma das principais formas de degradação do solo nas propriedades rurais. No escoamento superficial são transportados nutrientes e matéria orgânica da área de cultivo. O processo erosivo possui a capacidade de alterar as características biológicas, físicas e químicas do solo, bem como reduzir o nível de fertilidade, afetando a capacidade produtiva de uma empresa rural (TELLES, 2015).

O setor agropecuário brasileiro configura-se por uma dualidade de realidades nas condições de vida e no nível de atividade econômica dos produtores rurais. De um lado, existe um grupo de agentes altamente tecnificados e especializados na produção de alimentos e matéria-prima direcionados às indústrias de processamento e aos mercados interno e externo. Por outro lado, existe uma parcela dos produtores rurais brasileiros que vivem em situação de vulnerabilidade socioeconômica e com a produção destinada principalmente à subsistência da família, possuem a necessidade de recursos financeiros, acesso à terra e a determinadas tecnologias para alcançarem um aumento na produtividade e no nível de produção (FORNAZIER e VIEIRA FILHO, 2012).

As desigualdades socioeconômicas entre os grupos de produtores rurais podem estar associadas a uma série de fatores, como o processo histórico de concentração fundiária e de políticas públicas, como a de crédito rural que foi direcionada principalmente para o grupo de indivíduos com maior escala produtiva e com a produção direcionada ao mercado internacional. Podem-se citar também as mudanças climáticas que provocaram perdas em muitas regiões do país, deixando os produtores que não são utilizadores de tecnologias mais expostos aos riscos do setor agropecuário (degradação do solo, variações climáticas, ocorrência de pragas e doenças, oscilação dos preços dos insumos e produtos, etc.) e, as disparidades na adoção de tecnologia, com uma parte dos produtores que buscam insumos modernos e técnicas produtivas com o intuito de aumentar o nível de produtividade e a renda, enquanto outros, com técnicas tradicionais de produção, possuem baixo nível de produtividade e queda contínua da renda (FORNAZIER e VIEIRA FILHO, 2012).

A falta de acesso às tecnologias disponíveis no setor agropecuário pode ser

resultante de uma série de fatores, que podem ser de ordem interna e externa ao produtor rural. Os fatores internos correspondem à aversão ao risco (incerteza sobre o resultado da tecnologia) e a falta de conhecimento sobre a escolha e operacionalização da tecnologia. Os fatores externos se relacionam com ausência dos serviços de assistência técnica e extensão rural e de crédito rural (ALVES *et al.*, 2012). A maior parte das empresas rurais são usuárias de tecnologia e conhecimento advindos do ambiente externo à organização, atribuindo assim, a importância do serviço de assistência técnica e extensão rural para a difusão de tecnologias no campo e como política pública para a promoção do Desenvolvimento Rural (BESSANT, 2005).

De 2006 a 2017, foi possível observar uma expansão na taxa de adoção de uso da rotação de culturas (de 12,39% para 18,66%), SPD (de 9,79% para 10,91%) e fertilizantes (de 32,75% para 42,27%) e uma redução no uso de corretivos (de 15,86% para 14,36%) nos estabelecimentos rurais brasileiros (IBGE 2006, 2017) (Tabela 1).

Tabela 1 - Taxa de adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário brasileiro nos anos de 2006 e 2017

Tecnologias	2006		2017	
	Estabelecimentos que fizeram uso (unidades)	Taxa de adoção (%)	Estabelecimentos que fizeram uso (unidades)	Taxa de adoção (%)
Rotação de culturas	641.083	12,39	946.607	18,66
Sistema de plantio direto (SPD)	506.667	9,79	553.382	10,91
Fertilizantes	1.695.250	32,75	2.144.693	42,27
Uso de corretivos	820.998	15,86	728.542	14,36

Fonte: IBGE (2006, 2017).

Nota: Em 2006 e 2017 havia 5.175.636 e 5.073.324 estabelecimentos rurais no Brasil, respectivamente.

A difusão de tecnologia promovida no setor agropecuário brasileiro desde o início da década de 1960 ocorreu de modo assimétrico no país (ALVES *et al.*, 2012). Em 2017, uma parte considerável dos estabelecimentos rurais brasileiros não utilizavam tecnologias sustentáveis, como a rotação de culturas (cerca de 4,12 milhões e 81,34% do total nacional), SPD (cerca de 4,51 milhões e 89,09% do total nacional), fertilizantes (cerca de 2,92 milhões e 57,73% do total nacional) e corretivos (cerca de 4,34 milhões e 85,64% do total nacional) (IBGE, 2017).

A adoção de tecnologia no setor agropecuário é um fenômeno complexo, sendo

influenciado por fatores de ordem ambiental, cultural, econômica, institucional, política e social. Tais fatores podem ser agrupados em categorias: (a) características da propriedade rural; (b) características do ambiente socioeconômico em que a propriedade rural está inserida; (c) características do produtor rural; e, (d) características da própria tecnologia (TEY e BRINDAL, 2012; MWANGI e KARIUKI, 2015; SADIGOV, 2018; MUNGIA e LLEWELLYN, 2020).

Diante disso, emerge-se a questão investigativa da presente pesquisa: *Quais fatores relacionados ao ambiente socioeconômico e às características das propriedades e produtores rurais estão associados à adoção de tecnologias sustentáveis solo no setor agropecuário brasileiro?* A aversão ao risco da tecnologia (incerteza sobre o resultado econômico da tecnologia) é outro fator que pode contribuir para a não adoção de tecnologias em propriedades rurais (KNOWLER e BRADSHAW, 2007; ALVES *et al.*, 2012). Outra questão investigativa corresponde: *A adoção de tecnologias sustentáveis pode contribuir para uma expansão do valor bruto da produção (VBP) do setor agropecuário?*

A construção de uma base de evidências das ciências naturais e sociais para permitir a formulação de políticas públicas de difusão de tecnologias que promovam o aumento da produtividade em conjunto com a conservação dos recursos naturais nos sistemas produtivos agropecuários é uma prioridade de pesquisa (GARNETT *et al.*, 2013). A elaboração de políticas públicas de difusão de tecnologia no campo deve levar em consideração as especificidades da região analisada (GARNETT e GODFREY, 2012; GARNETT *et al.*, 2013; PETRY *et al.*, 2019; NGAIWI *et al.*, 2023; YASEEN *et al.*, 2023).

A determinação dos fatores associados à adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário em países em desenvolvimento é uma lacuna existente na literatura. Esse tipo de avaliação se torna relevante já que possibilita a elaboração de estratégias e políticas públicas que possam promover o desenvolvimento do campo e redução do nível de pobreza na população rural. A maior parte dos trabalhos empíricos sobre o tema foram incapazes de fornecer informações adequadas para a promoção de políticas de Desenvolvimento inclusivo em função da escolha inadequada de variáveis explicativas (LLEWELLYN e BROWN, 2020; MUNGUIA e LLEWELLYN, 2020; PANNELL e CLAASSEN, 2020; JONES-GARCIA e KRISHNA, 2021).

Diante disso, a primeira contribuição da presente foi a determinação de fatores associados à adoção de tecnologias sustentáveis em um país em Desenvolvimento (Brasil). Para isso, a adoção de tecnologia no setor agropecuário foi tratada como um

processo de aprendizagem dinâmico do produtor rural ao invés de uma escolha binária do indivíduo (adota ou não adota) por determinada tecnologia. Através dessas informações foi possível elaborar ações e políticas públicas de difusão de tecnologias de acordo com as especificidades do setor agropecuário brasileiro.

O setor agropecuário brasileiro é composto de dois grupos distintos de estabelecimentos rurais. O primeiro grupo é caracterizado de propriedades rurais com elevados níveis de eficiências econômica e técnica, com recursos financeiros suficientes para a incorporação de tecnologia no sistema de produção. Enquanto o segundo grupo é composto de estabelecimentos rurais que utilizam técnicas produtivas rudimentares e com escassez de recursos financeiros necessários para a realização de investimentos e custeio das atividades produtivas (FORNAZIER e VIEIRA FILHO, 2012; VIEIRA FILHO e FISHLOW, 2017).

Em 2017, a maior parte das propriedades rurais no país possuíam um baixo rendimento na atividade agropecuária, cerca de 73,98% dos estabelecimentos rurais brasileiros tiveram um VBP anual de até R\$25 mil e, em contraste, 9,25% do total tiveram um VBP anual superior a R\$100 mil (IBGE, 2017) (Tabela 2).

Tabela 2 - Quantidade de estabelecimentos rurais de acordo com a categoria de VBP anual no Brasil para o ano de 2017

<b>Classes de VBP anual</b>	<b>Estabelecimentos rurais (unidades)</b>	<b>Total nacional (%)</b>
Sem valor da produção	322.131	6,35
Maior que R\$0,00 e menor que R\$5.000,00	2.029.614	40,01
De R\$5.000,00 a menos de R\$10.000,00	616.878	12,16
De R\$10.000,00 a menos de R\$25.000,00	784.499	15,46
De R\$25.000,00 a menos de R\$50.000,00	491.031	9,68
De R\$50.000,00 a menos de R\$100.000,00	359.993	7,10
De R\$100.000,00 a menos de R\$500.000,00	360.774	7,11
De R\$500.000,00 e mais	108.404	2,14
<b>Total</b>	<b>5.073.324</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Elaborado a partir de IBGE (2017).

O setor agropecuário brasileiro é capaz de atender ao aumento da demanda de alimentos, fibras e energia a um baixo custo, tanto para o mercado externo quanto para

o interno. No entanto, no Brasil, ainda existem regiões que sofrem com a extrema pobreza e o baixo nível de produção, sendo caracterizado pela falta de recursos e pela escassez tecnológica, o que impossibilita a inclusão produtiva de uma parte dos produtores rurais brasileiros (VIEIRA FILHO *et al.*, 2013).

As mudanças econômicas ao longo do tempo e do espaço podem afetar os padrões dinâmicos e espaciais do processo de adoção de tecnologia em uma região. Dessa forma, tem-se a necessidade de uma compreensão dos fatores que afetam o processo de adoção de tecnologia nos países (CHAVAS e NAUGES, 2020). Existe uma escassez de trabalhos que discutem os fatores associados à adoção de tecnologia em países cuja maior parte dos produtores rurais possuem um baixo nível de produção (PANNELL e ZILBERMAN, 2020).

A segunda contribuição da presente pesquisa foi a avaliação da relação existente entre a adoção de tecnologias sustentáveis (rotação de culturas, SPD, fertilizantes e corretivos) e o VBP anual dos estabelecimentos agropecuários no Brasil. Caso seja positiva, pode-se contribuir para a elaboração de políticas públicas que tenham o objetivo a melhora do desempenho econômico de propriedades rurais ao longo do território nacional.

A literatura sobre os determinantes da adoção de tecnologia no setor agropecuário tem feito pouco esforço para sintetizar os resultados em formas que são particularmente úteis para os formuladores de políticas públicas (PANNELL e CLAASSEN, 2020). A pesquisa empírica sobre o processo de adoção de tecnologia no campo precisa incorporar as características do contexto socioinstitucional da região analisada, em especial, os aspectos sociais, políticos e econômicos relacionados ao fenômeno. Esse tipo de avaliação é importante para a promoção de políticas públicas de Desenvolvimento Agrário Inclusivo e redução da pobreza na população rural (JONES-GARCIA e KRISHNA, 2021; OYETUNDE-USMAN, 2022; YANG *et al.*, 2023).

Existe uma escassez de estudos que avaliem empiricamente o efeito de fatores (ordens ambiental, cultural, econômica, social e dentre outros) sobre a adoção de tecnologias que promovem a conservação do solo e da água em sistemas produtivos agropecuários. Essa é uma informação importante para a elaboração de políticas públicas de promoção do Desenvolvimento Rural (SEREBRENNIKOV *et al.*, 2020).

Poucos estudos têm focado nas características da própria tecnologia. Os trabalhos geralmente utilizam aspectos mais gerais como “*melhores práticas de gestão*” e “*práticas sustentáveis*”, sem serem muitos específicos no tipo de técnica ou insumo incorporado no sistema produtivo da empresa rural (MUNGUIA e LLEWELLYN,

2020). A presente pesquisa também contribuiu na mensuração dos fatores associados à adoção de tecnologias sustentáveis solo no Brasil, sendo representado pela rotação de culturas, SPD, uso de fertilizantes e corretivos.

A adoção de tecnologia no setor agropecuário deve ser considerado um processo de aprendizagem dinâmico do produtor rural com vários estágios e são influenciados por três grupos de variáveis: (a) vantagem relativa da tecnologia; (b) experimentabilidade da tecnologia; e, (c) influências sociais, culturais e pessoais (WEERSINK e FULTON, 2020).

Outra contribuição da presente pesquisa foi a validação e aprimoramento do modelo teórico de Weersink e Fulton (2020), por meio do detalhamento de variáveis que compõem a categoria de “*influências sociais, culturais e pessoais*” na determinação dos fatores associados à adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário brasileiro e a possível relação que possa existir entre a adoção do grupo de tecnologias (rotação de culturas, SPD, fertilizantes e corretivos) e o VBP anual de propriedades rurais no país.

Para isto foi utilizada uma abordagem quantitativa por meio da Modelagem de Equações Estruturais (MEE) para a determinação dos fatores associados à adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário brasileiro. A base de dados utilizada foi do Censo Agropecuário de 2017, elaborada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A unidade de análise foram as microrregiões brasileiras (delimitadas pelo IBGE) que totalizam em 558 unidades.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo Geral**

Este estudo pretende analisar quais são os fatores associados à adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário brasileiro em 2017.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

(a) Realizar uma análise comparativa entre as microrregiões brasileiras dos indicadores socioeconômicos e produtivos relacionados ao processo de adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário brasileiro em 2017;

(b) Validação e expansão do modelo teórico de processo de aprendizagem dinâmica dos produtores rurais proposto por Weersink e Fulton (2020) para o setor agropecuário brasileiro;

(c) Verificar a influência de fatores do ambiente socioeconômico e características das propriedades e produtores rurais na adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário brasileiro;

(d) Mensurar o efeito da adoção de tecnologias sustentáveis no VBP do setor agropecuário brasileiro; e,

(e) Analisar a influência da participação dos produtores rurais em organizações coletivas no acesso aos serviços de assistência técnica e crédito rural.

A tese está estruturada em cinco capítulos. No primeiro capítulo foi contextualizado a problemática e expostos os objetivos, bem como as principais contribuições da presente pesquisa. No segundo capítulo foi realizada a fundamentação teórica do trabalho. Inicialmente foram caracterizados os principais aspectos da agricultura conservacionista e os principais benefícios das tecnologias sustentáveis (rotação de culturas, sistema de plantio direto e o uso de fertilizantes e corretivos) para os sistemas produtivos agropecuários. Posteriormente foi feita uma contextualização sobre o processo de modernização do setor agropecuário brasileiro e uma análise do processo de adoção e difusão de tecnologia no campo. No capítulo três foram apresentados os procedimentos metodológicos: procedimento de coleta de dados e variáveis e a técnica de tratamento e análise de dados (modelagem de equações estruturais). No capítulo quatro foram apresentados os principais resultados alcançados na presente tese. Primeiro, a partir da análise comparativa de indicadores produtivos e socioeconômicos entre as microrregiões brasileiras, foi constatado que o setor agropecuário brasileiro foi caracterizado por uma realidade de desigualdade em diferentes tipos de aspectos (acesso aos serviços de crédito e assistência técnica, infraestrutura produtiva das propriedades, participação dos produtores rurais em organizações coletivas, disponibilidade de água nas propriedades, etc.) entre as regiões no ano de 2017. Além disso, foram apresentados os modelos de mensuração e estrutural para a validação das hipóteses. Por fim, no capítulo cinco, foram apresentadas as considerações finais, com as principais conclusões, limitações e sugestões para pesquisas futuras.



## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Agricultura conservacionista

A agricultura conservacionista pode ser definida como a agricultura conduzida sob a proteção de um complexo de tecnologias de caráter sistêmico com a finalidade de preservar, manter e restaurar (ou recuperar) os recursos naturais, mediante manejo integrado do solo, água e biodiversidade (DENARDIN *et al.*, 2014). A difusão de práticas sustentáveis no setor agropecuário contribui para a manutenção da produção de alimentos no longo prazo e na conservação dos recursos naturais (NGAIWI *et al.*, 2023).

O solo é um recurso natural que deve ser considerado um patrimônio da humanidade, independentemente do tipo de utilização ou posse. É um dos componentes vitais do meio ambiente e constitui o substrato natural para o desenvolvimento das plantas. Uma das principais funções do planejamento do uso da terra é ter o máximo aproveitamento das águas das chuvas, evitando-se perdas excessivas por escoamento superficial e criando as condições necessárias para que a água pluvial se infiltre no solo (ZONTA *et al.*, 2012).

O uso adequado do solo, além de garantir o fornecimento de água para o desenvolvimento das plantas, produção animal e consumo humano, previne o processo erosivo, evita as inundações e o assoreamento dos rios. Dessa forma, destaca-se a importância do uso de práticas conservacionistas na atividade agropecuária para o controle de perdas do solo e água, possibilitando a maximização do lucro sem provocar a redução da capacidade produtiva da empresa rural (ZONTA *et al.*, 2012). As ações a serem realizadas nos sistemas produtivos agropecuários relacionados ao conceito de agricultura conservacionista possui o ser humano como o sujeito (quem realiza a ação) e os recursos naturais como os agentes passivos (quem é beneficiado pela ação) (DENARDIN *et al.*, 2014).

O complexo de processos concebido pela agricultura conservacionista constitui a base de sustentação do setor agropecuário, conservando o solo, a água, ar e a biodiversidade dos agroecossistemas, atuando também na prevenção da poluição e degradação do solo. É contemplada como mecanismo de transformação, organização (ou reorganização) e de sustentação dos agroecossistemas com o objetivo de: (a) proporcionar competitividade ao setor agropecuário; (b) atender as necessidades socioeconômicas (como por exemplo, reduzir o nível de pobreza na população rural); (c) garantia da segurança alimentar e nutricional; e, (d) preservar o meio ambiente

(DENARDIN *et al.*, 2014).

A agricultura conservacionista possui os seguintes princípios (DENARDIN *et al.*, 2014):

- (a) respeito à aptidão e a adequabilidade de utilização do solo;
- (b) preservação de ecossistemas sensíveis (margens de rios, córregos e lagos, entornos de nascentes, águas subterrâneas e aos diferentes tipos de solos);
- (c) redução ou eliminação de mobilizações (por exemplo, a realização de atividades mecânicas como a aração e gradagem) do solo;
- (d) preservação dos resíduos culturais (palhada) na superfície do solo;
- (e) manutenção da cobertura permanente do solo;
- (f) aporte de material orgânico ao solo em quantidade, qualidade e frequência compatíveis com a demanda biológica (por exemplo, a disponibilidade de nutrientes necessários para o crescimento das plantas) do solo;
- (g) ampliação da biodiversidade, mediante o cultivo de múltiplas espécies em sistemas de rotação ou consorciação de culturas;
- (h) diversificação de sistemas produtivos agropecuários (sistemas de integração como os agropastoris, agroflorestais, silvipastoris, etc.) nos países;
- (i) emprego de práticas produtivas que promovam uma redução do processo de erosão do solo;
- (j) uso preciso de insumos produtivos; e,
- (k) manejo integrado de pragas, doenças e plantas daninhas.

A agricultura conservacionista possui benefícios e custos que podem ser diferenciados de acordo com a escala territorial (propriedade, regional/nacional e global) de análise (Quadro 1) (KNOWLER e BRADSHAW, 2007):

Quadro 1 - Benefícios e custos pertinentes à agricultura conservacionista para diferentes escalas espaciais

<b>Benefícios e custos</b>	<b>Fazenda</b>	<b>Regional/Nacional</b>	<b>Global</b>
<b>Benefícios</b>			
Redução de custos: economia de tempo, mão de obra e operações de máquinas	X		
Aumento da fertilidade do solo e retenção da umidade, resultando em aumento da produtividade das plantas no longo prazo e garantia da segurança alimentar	X	X	X
Estabilização do solo e proteção contra a erosão e redução da sedimentação à jusante		X	
Redução da contaminação tóxica de águas superficiais e lençóis freáticos		X	
Fluxos fluviais regulares, redução das inundações e reaparecimento de poços que estavam anteriormente secos		X	
Recarga dos aquíferos em função da melhor capacidade de infiltração de água no solo		X	
Redução da poluição atmosférica em função da diminuição do uso de máquinas de preparo do solo		X	X
Redução das emissões de CO <sub>2</sub> para a atmosfera			X
Conservação da biodiversidade terrestre baseada no uso do solo			X
<b>Custos</b>			
Compra de equipamentos especializados para o plantio	X		
Problemas com pragas no curto prazo em função da mudança no sistema de cultivo	X		
Aquisição de novas habilidades de gestão	X		
Aplicação de herbicidas adicionais	X	X	
Formação e operação de grupos de produtores rurais	X	X	
Alto risco percebido pelos produtores por conta da incerteza do uso da tecnologia	X	X	
Desenvolvimento de pacotes tecnológicos apropriados e programas de treinamento		X	

Fonte: Elaborado a partir de Knowler e Bradshaw (2007, p.28).

Os benefícios advindos das tecnologias conservacionistas no setor agropecuário alcançam diferentes níveis de escalas territoriais, à nível de fazenda, região/país e mundo. Destacam-se a redução do custo de produção, melhora nos atributos do solo e biodiversidade, fornecimento de água potável para o ser humano e diminuição das emissões de GEE e da poluição (Quadro 1).

Os custos concentram-se nos níveis de fazenda e regional/país. À nível de

fazenda, destaca-se a incerteza do produtor quanto ao resultado econômico do uso da tecnologia, a necessidade de conhecimento e recursos financeiros para a aquisição de máquinas e equipamentos e custeio de insumos essenciais à adoção das práticas conservacionistas do solo. À nível regional/país, tem-se a necessidade de apoio governamental de fornecimento de crédito e treinamento quanto ao uso da tecnologia, bem como o incentivo à formação de organizações coletivas entre os produtores rurais (Quadro 1).

As tecnologias conservacionistas visam proteger o solo, prevenindo-o dos efeitos danosos da erosão, aumentando a disponibilidade de água e nutrientes para o desenvolvimento das plantas. A escolha do tipo de tecnologia conservacionista deve ser feita de acordo com as características edafoclimáticas e socioeconômicas da propriedade rural e região. Cada tecnologia, aplicada isoladamente, previne apenas uma parte dos problemas relacionados à degradação do solo. Para uma prevenção adequada do processo de erosão, por exemplo, torna-se necessário a adoção simultânea de um conjunto de práticas (ALVARENGA *et al.*, 2018).

A melhora na estrutura biológica, física e química do solo (como por exemplo, através da ciclagem e disponibilidade de nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas) podem ser alcançados por meio do uso da rotação de culturas (CHAN e HEENAN, 1996; SAWAR *et al.*, 2008; KASCHUK *et al.*, 2010; McDANIEL *et al.*, 2014; WRIGHT *et al.*, 2014; N'DAYEGAMIYE *et al.*, 2017), SPD (DERPSCH *et al.*, 2010; KASCHUK *et al.*, 2010; SOMASUNDARAM *et al.*, 2020; MELLO *et al.*, 2021; FIRTH *et al.*, 2022; HARUNA e ANDERSON, 2022; MUBVUMBA *et al.*, 2022; ROY *et al.*, 2022; FOLONI *et al.*, 2023), fertilizantes (LINQUIST *et al.*, 2007; MELLO *et al.*, 2018; LI *et al.*, 2021; SANCHES *et al.*, 2021; CHEN, Limei, *et al.*, 2022; ZHAI *et al.*, 2022; EJIGU *et al.*, 2023) e corretivos (CONYERS *et al.*, 2003; TANG *et al.*, 2003; ERNANI *et al.*, 2004; NATALE *et al.*, 2007; GAGNON e ZIADI, 2020; LONG *et al.*, 2022; EJIGU *et al.*, 2023; FOLONI *et al.*, 2023).

### 2.1.1 Rotação de culturas

A rotação de culturas pode ser definida pela alternância ordenada de diferentes tipos de culturas e pastagens, em determinado espaço do tempo (geralmente safra agrícola), na mesma área e na mesma estação do ano (ISGA, 2010; FRANCHINI *et al.*, 2011). Consiste em alternar, o cultivo de diferentes espécies vegetais em determinada área produtiva, preferencialmente com plantas que possuem sistemas radiculares diferentes (por exemplo, gramíneas e leguminosas) onde cada espécie deixa um efeito residual positivo para o solo e para a cultura sucessora (GONÇAVES *et al.*, 2007).

Em áreas com rotação de culturas, a alternância de diferentes tipos de plantas (culturas e pastagens) pode aumentar o teor de matéria orgânica, promover um maior fluxo de nutrientes e possibilitar uma maior exploração de diferentes camadas do solo. Pode prevenir a ocorrência de problemas como a compactação e erosão do solo (ISGA, 2010). Promove benefícios como o aumento da produtividade das culturas e pastagens, melhorias nas qualidades físicas e disponibilidade de matéria orgânica no solo (BULLOCK, 1992).

A rotação de culturas é considerada uma tecnologia que possibilita uma melhora da resiliência climática dos sistemas produtivos agropecuários, além de promover a segurança alimentar e nutricional e o desenvolvimento ambiental ecológico nos países (YU *et al.*, 2022). O cultivo rotacionado de culturas tem o potencial de melhorar as funções do ecossistema do solo e é fundamental para a manutenção dos serviços do solo aos sistemas produtivos agropecuários, como por exemplo, o fornecimento de nutrientes para o desenvolvimento e crescimento das plantas (McDANIEL *et al.*, 2014). Benefícios como o aumento na produtividade das plantas, melhora na qualidade da água e do solo nos sistemas produtivos e o controle de pragas e doenças podem ser alcançados por meio da rotação de culturas (BEILLOUIN *et al.*, 2021). Além de aprimorar as condições biológicas, físicas e químicas do solo (CANALLI *et al.*, 2020).

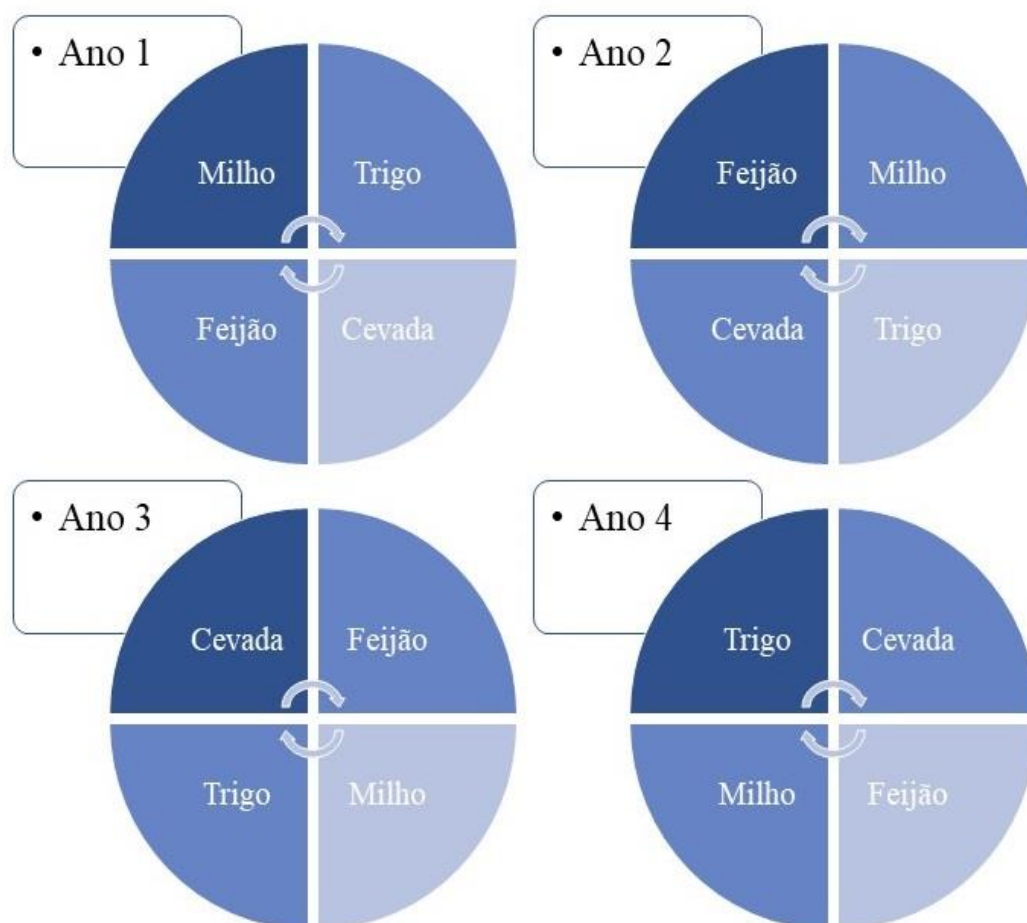
Existe uma diferença nos conceitos de rotação e sucessão de culturas. A sucessão de culturas é caracterizada pelo ordenamento de duas culturas na mesma área produtiva, cada uma cultivada em uma estação do ano. Essa combinação de culturas tende a ser repetida por um longo período. Um exemplo do sistema de sucessão é o cultivo de milho safrinha em toda a área produtiva durante o inverno e, no verão, ocorre o cultivo de soja em toda área da propriedade rural (FRANCHINI *et al.*, 2011; HIRAKURI *et al.*, 2012).

Os sistemas de sucessão de culturas promovem ao longo do tempo

consequências negativas para a área de cultivo (degradação química, física e/ou biológica do solo) de uma propriedade rural. Esse processo contribui para a diminuição do nível de produtividade das plantas (culturas e pastagens), além de incrementar as condições favoráveis para o crescimento de pragas, doenças e ervas daninhas e a erosão do solo (GONÇAVES *et al.*, 2007).

A rotação de culturas pode ser representada pela alternância de cultivo de diferentes espécies vegetais numa área produtiva na mesma estação do ano. No inverno cultiva-se 25% da área com aveia preta e nabo forrageiro, 25% com aveia branca para grão, 25% com milho safrinha e 25% com trigo. Enquanto no verão, cultiva-se 75% de toda área com soja e os 25% restantes com milho (FRANCHINI *et al.*, 2011). Outro exemplo de rotação de culturas ao longo do tempo pode ser apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Esquema de rotação de culturas em uma propriedade rural no período de 4 anos.



Fonte: Elaborado a partir de FORTINI (2018, p.21).

O sistema de rotação de culturas apresentada na Figura 1 reflete a alternância de culturas (por exemplo, o cultivo de milho, trigo, feijão e cevada) em uma determinada área no período de quatro anos, em determinada estação do ano. Cada cultura deve ocupar uma parte da área total disponível na propriedade rural (FORTINI, 2018). A escolha das culturas/pastagens que formarão o sistema rotacionado deverá levar em consideração fatores como as condições do solo, topografia, clima, mão de obra e implementos agrícolas disponíveis, características das plantas e mercado consumidor disponível (ZONTA *et al.*, 2012).

A rotação entre o algodão e trigo no estado do Texas (Estados Unidos) possibilitou uma melhora na produtividade das culturas e na disponibilidade de água no solo (BORDOVSKY *et al.*, 1994). Em Wagga Wagga (Austrália) a rotação do trigo com canola, cevada, ervilha e tremoço promoveu uma melhora na estrutura e propriedades físicas e químicas do solo, aumento da resistência ao processo de erosão e mitigação dos efeitos das mudanças climáticas extremas (excesso de chuvas e período prolongado de seca) (CHAN e HEENAN, 1996).

O processo de erosão do solo foi reduzido através do cultivo rotacionado de trigo e girassol em Queensland, Austrália (CARROLL *et al.*, 1997). O cultivo rotacionado de tomate com milho e feijão contribuiu para a redução da incidência e severidade de doenças e aumento da produtividade do tomate no Nepal (ADHIKARI e BASNYAT, 1998). A rotação de cultivo do trigo com linhaça e canola possibilitou uma redução de incidência e severidade de doenças nas culturas no Canadá (GUO *et al.*, 2005).

Os sistemas de rotação de trigo/lentilha e trigo/ervilha na Síria possibilitaram um aumento na produtividade das culturas e melhor uso da água nos sistemas produtivos, em uma região caracterizada pelas altas temperaturas e um padrão instável e escassez de chuvas ao longo do ano (PALA *et al.*, 2007). O equilíbrio hídrico do solo foi alcançado por meio do cultivo rotacionado de milho com pastagem em Gana (ADIKU *et al.*, 2008). O cultivo rotacionado de arroz/trigo no Paquistão contribuiu para o aumento no nível de nutrientes do solo, como o caso de nitrogênio, potássio, fósforo e outros elementos essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas (SARWAR *et al.*, 2008).

A rotação entre trigo e soja no Kansas (Estados Unidos) contribuiu para o aumento da quantidade de bactérias benéficas e redução de microrganismos patogênicos no solo, o que levou a uma menor ocorrência de pragas e doenças na área de cultivo (YIN *et al.*, 2010). A rotação de trigo/sorgo no Texas (Estados Unidos) possibilitou um

maior tempo de absorção da água da chuva e reduziu o processo de erosão no solo (BAUMHARDT *et al.*, 2012).

O cultivo rotacionado de milho, trigo e soja em Michigan (Estados Unidos) permitiu uma melhora na atividade enzimática na área de cultivo, ciclagem de nutrientes e dinâmica microbiana. Contribuindo para um aumento no nível de fertilidade do solo, o que é benéfico para o crescimento das plantas e adaptação às mudanças climáticas extremas (chuvas em excesso e períodos prolongados de seca) (McDANIEL *et al.*, 2014).

Por meio do cultivo rotacionado de batata e cebola na Nova Zelândia foi possível obter uma maior quantidade de matéria orgânica e disponibilidade de nitrogênio no solo, em comparação aos cultivos contínuos (monocultura) de batata e cebola (WRIGHT *et al.*, 2014). O cultivo rotacionado de batata com aveia em Quebec (Canadá) possibilitou um aumento na quantidade de matéria orgânica e nitrogênio no solo, contribuindo para um aumento na produtividade e qualidade das culturas (N'DAYEGAMIYE *et al.*, 2017).

A rotação de diferentes tipos de culturas (trigo e leguminosas) contribuiu para o aumento da produtividade e maior resiliência das plantas frente às variações climáticas adversas (ondas de calor e períodos de estiagem, por exemplo) no Reino Unido (DEGANI *et al.*, 2019). O cultivo rotacionado de milho e batata possibilitou uma manutenção no equilíbrio hídrico do solo em comparação aos cultivos contínuos de milho e batata na província de Gansu, China (WANG, H. *et al.*, 2021). O cultivo de milho e trigo de forma rotacionada contribuiu para o aumento da produtividade das culturas na Sérvia (BRANKOV *et al.*, 2021).

No Brasil, a rotação de culturas contribuiu para a preservação da biomassa microbiana do solo, que possui a função de ciclagem dos nutrientes, decomposição de resíduos e a degradação de poluentes (KASCHUK *et al.*, 2010). O sistema de cultivo rotacionado no Paraná contribuiu para um aumento da produtividade das culturas, redução do custo de produção através da racionalização do uso de insumos, aumento a estabilidade da produção frente às variações climáticas e menor incidência de pragas, doenças e plantas daninhas na área de cultivo (FRANCHINI *et al.*, 2011). Na região do Cerrado brasileiro, o cultivo rotacionado de soja, milho e pastagens contribuiu para uma redução na emissão de gases de efeito estufa (CARVALHO *et al.*, 2014).

A diversidade (quando envolve três ou mais culturas) é um elemento importante na prática de cultivo rotacionado. Numa avaliação do cultivo de diferentes tipos de sistemas de rotação formados pelas culturas de aveia preta, aveia branca, canola,



centeio, cevada, ervilhaca peluda, feijão, milho, rabanete, soja, sorgo, tremoço azul, trigo, trigo mourisco e triticale em diversos cenários (combinações de culturas) no Paraná, quanto mais diversificado foi o sistema produtivo, maior foi o nível de lucratividade (CANALLI *et al.*, 2020). A rotação de culturas no Paraná contribuiu para o aumento da produtividade e lucratividade das culturas (VOLSI *et al.*, 2022).

A rotação de culturas proporciona uma série de benefícios aos sistemas produtivos agropecuários, como o aumento ou manutenção da produtividade das plantas (culturas e pastagens), maior resiliência das plantas frente às pragas, doenças e ao efeito das variações climáticas extremas (ondas de calor e frio, excesso e escassez de chuva, etc.), controle na incidência de plantas daninhas na área de cultivo, equilíbrio hídrico e melhora da estrutura biológica, física e química do solo, aumento da quantidade de matéria orgânica na área de cultivo, redução do processo de erosão do solo e da emissão de gases que promovem o efeito estufa, aumento de lucratividade para sistemas diversificados (quando envolve três ou mais culturas) e diminuição do custo de produção pela otimização do uso de insumos (Quadro 2).

Quadro 2 - Benefícios da rotação de culturas para os sistemas produtivos agropecuários

<b>Tecnologia</b>	<b>Benefícios</b>	<b>Autores</b>
<b>Rotação de culturas</b>	Aumento ou manutenção da produtividade das plantas (culturas e pastagens)	Bordovsky <i>et al.</i> (1994); Adhikari e Basnyat (1998); Pala <i>et al.</i> (2007); Franchini <i>et al.</i> (2011); N'Dayegamiye <i>et al.</i> (2017); Degani <i>et al.</i> (2019); Brankov <i>et al.</i> (2021); Volsi <i>et al.</i> (2022)
	Equilíbrio hídrico do solo (disponibilidade de água para as plantas)	Bordovsky <i>et al.</i> (1994); Adiku <i>et al.</i> (2008); Wang, H. <i>et al.</i> (2021)
	Controle na incidência de plantas daninhas na área de cultivo	Franchini <i>et al.</i> (2011)
	Melhor uso da água nos sistemas produtivos	Pala <i>et al.</i> (2007)
	Maior tempo de absorção de água pelo solo	Baumhardt <i>et al.</i> (2012)
	Redução do processo de erosão do solo	Chan e Heenan (1996); Carrol <i>et al.</i> (1997); Baumhardt <i>et al.</i> (2012)
	Melhora na estrutura biológica, física e química do solo (como a ciclagem e disponibilidade de nutrientes para as plantas e demais atividades biológicas/físicas/químicas que contribuem para a conservação do solo)	Chan e Heenan (1996); Sawar <i>et al.</i> (2008); Kaschuk <i>et al.</i> (2010); McDaniel <i>et al.</i> (2014); Wright <i>et al.</i> (2014); N'Dayegamiye <i>et al.</i> (2017)
	Menor ocorrência e mais resistência às pragas e doenças	Adhikari e Basnyat (1998); Guo <i>et al.</i> (2005); Yin <i>et al.</i> (2010); Franchini <i>et al.</i> (2011)
	Aumento da quantidade de matéria orgânica no solo	Wright <i>et al.</i> (2014); N'Dayegamiye <i>et al.</i> (2017)
	Aumento da resistência das plantas frente às variações climáticas	Chan e Heenan (1996); Franchini <i>et al.</i> (2011); McDaniel <i>et al.</i> (2014)
	Redução do custo de produção pela racionalização do uso de insumos	Franchini <i>et al.</i> (2011)
	Redução da emissão de gases de efeito estufa	Carvalho <i>et al.</i> (2014)
Aumento da lucratividade pela diversificação do sistema produtivo (envolve três ou mais culturas)	Canalli <i>et al.</i> (2020); Volsi <i>et al.</i> (2022)	

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 2.1.2 Sistema de plantio direto (SPD)

A adoção do sistema de plantio direto está permitindo o setor agropecuário superar alguns desafios globais associados com as mudanças climáticas, à degradação da terra e do meio ambiente e o aumento do custo de produção dos alimentos (DERPSCH *et al.*, 2010). O sistema de plantio direto está alicerçado em três princípios: (a) baixo revolvimento do solo, geralmente ocorre uma abertura de pequenas covas para a semeadura; (b) cobertura vegetal permanente sobre o solo através da manutenção dos resíduos de culturas antecessoras (palhada); e, (c) uso da rotação de culturas (PASSOS *et al.*, 2018; TELLES *et al.*, 2021).

O SPD apresenta uma série de benefícios (PASSOS *et al.*, 2018):

(a) melhoria nas condições de fertilidade do solo, em virtude do aumento da quantidade de matéria orgânica;

(b) melhor condicionamento físico do solo, contribuindo para a redução do processo de erosão;

(c) aumento da ciclagem de nutrientes no solo, contribuindo para uma eficiência no uso de fertilizantes e corretivos;

(d) melhora no nível de umidade do solo, contribuindo para uma maior resiliência e estabilidade do nível de produção frente às condições de estresse hídrico por escassez de chuvas;

(e) possibilidade do uso de culturas de cobertura em sistema de rotação de culturas para alcançar benefícios da fixação biológica de nitrogênio no solo;

(f) potencialidade de fixação no solo de gases que promovam o efeito estufa; e,

(g) menor incidência de ervas daninhas na área de cultivo.

O preparo do solo pode ser realizado de três formas, através do cultivo convencional, cultivo mínimo e o plantio direto na palha. O preparo do solo possui a função de oferecer as condições necessárias para a germinação das sementes depositadas na área cultivada, emergência das plântulas, estabelecimento e desenvolvimento das plantas. É um tipo de prática utilizada para fornecer as condições essenciais para o crescimento radicular e favorecer o desenvolvimento da cultura, melhorando a capacidade de absorção e retenção de água no solo, exercendo um controle na incidência de plantas daninhas na área de cultivo, garantindo a atividade biológica e aerando o solo (TELLES, 2015).

O cultivo convencional (conhecido também como preparo convencional ou plantio convencional) pode ser definido como o revolvimento das camadas superficiais

do solo através do uso de arado, grade aradora ou equipamento similar. O revolvimento do solo promove o corte e o enterro de plantas daninhas e, em algumas situações, pode contribuir para o controle de pragas e patógenos do solo por meio da exposição à radiação solar e aos predadores. É realizado em duas etapas, o preparo primário e o preparo secundário. O preparo primário é definido pela maior movimentação do solo, com a aração ou a escarificação, sendo utilizado para a realização de tarefas como a incorporação de corretivos e fertilizantes, resíduos vegetais e a eliminação mecânica de ervas daninhas. O preparo secundário possui o objetivo de preparação do leito de sementeira e nivelamento da camada arada do solo por meio das gradagens da área cultivada. Contudo, a intensificação do revolvimento da terra potencializa a desagregação e o arraste de partículas durante o processo de erosão, resultando em perdas de nutrientes e água e diminuindo o nível de fertilidade do solo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010; TELLES, 2015).

O cultivo mínimo (também definido de preparo reduzido ou preparo mínimo) é caracterizado pelo conjunto de operações mínimas de preparo do solo. O objetivo é proporcionar um menor impacto ambiental em relação ao preparo convencional, por meio da redução das operações agrícolas necessárias ao preparo do solo para a sementeira. O preparo do solo é restrito às linhas ou covas de plantio, mantendo-se os resíduos da cultura anterior para minimizar o efeito do processo erosivo do solo. As operações de cultivo mínimo são a escarificação, o preparo com a enxada rotativa e a gradagem pesada. Na escarificação, o solo é preparado sem a inversão da camada superficial. O sistema de cultivo mínimo com enxada rotativa, embora não ocorra o tombamento da camada superior do solo, a terra é cortada em pequenas frações por meio de lâminas rotativas, causando uma mobilização do solo. Essa ação resulta na destruição e pulverização da estrutura do solo. A superfície do solo fica com pouca ou nenhuma vegetação favorecendo a formação de crosta superficial. Na gradagem pesada existe o rompimento dos blocos de terra, controle de ervas daninhas e o nivelamento da área para o início da sementeira (TELLES, 2015).

O plantio direto na palha consiste no cultivo sem o revolvimento da terra e com a manutenção na superfície do solo com uma camada de resíduos (palha) ou de vegetação. A cobertura vegetal tem o objetivo de proteger o solo do impacto direto das gotas de chuva e do escoamento superficial (erosão do solo). A sementeira é realizada por meio de uma semeadora especializada capaz de semear diretamente no solo não preparado, num sulco de largura e profundidade suficientes apenas cobrir a semente e depositar os fertilizantes, sendo o plantio realizado diretamente na palhada. Este tipo de

preparo do solo objetiva diminuir a excessiva movimentação da terra (etapa comum no cultivo convencional) e manter a cobertura vegetal na superfície do solo (TELLES, 2015).

A cobertura vegetal (palhada) atua dissipando a energia cinética da chuva e impedindo o impacto direto das gotas de chuva sobre o solo. Exerce a função de obstáculo do escoamento superficial da água e, conseqüentemente, impede o arrastamento de partículas do solo em uma enxurrada. O que pode minimizar ou eliminar o processo de erosão de uma área de cultivo (HECKLER e SALTON, 2002).

O processo de erosão que é o agente responsável pela degradação do solo e perda de produtividade das plantas (culturas e pastagens). A erosão inicia-se com o impacto das gotas de chuva sobre a superfície do solo. Na sequência do processo, as partículas do solo, com tamanho reduzido, são depositadas na superfície de tal maneira que existe a formação de uma crosta de pequena espessura que reduz a capacidade de infiltração de água no solo. Esta crosta superficial também prejudica o processo de desenvolvimento das plantas. A superfície do solo deve permanecer protegida constantemente por meio de uma cobertura vegetal (palhada). Quanto maior a cobertura, menores os níveis de perdas de água no solo (HECKLER e SALTON, 2002).

A presença de cobertura vegetal (palhada) na área de cultivo contribui para a manutenção da umidade, regulação térmica, exerce um controle sobre o processo de erosão, controla a incidência de ervas daninhas, auxilia na ciclagem dos nutrientes e aumenta o nível de atividade microbiológica e fertilidade do solo (HECKLER e SALTON, 2002; ISGA, 2010). Diminui as perdas do nível de água por evaporação e preserva e melhora as propriedades biológicas, físicas e químicas do solo (FRANCHINI *et al.*, 2009). A cobertura morta (palhada) protege o solo contra o impacto direto das gotas de chuva, diminuindo o escoamento superficial. A matéria orgânica se decompõe e aumenta a agregação das partículas do solo, tornando-se mais resistente ao processo de erosão (ZONTA *et al.*, 2012).

O cultivo de algodão em sistema de plantio direto no Texas (Estados Unidos) possibilitou uma melhora na produtividade da cultura e na disponibilidade de água no solo (BORDOVSKY *et al.*, 1994). O sistema de plantio direto proporcionou uma redução no processo de erosão do solo no cultivo de trigo com girassol em Queensland, Austrália (CARROLL *et al.*, 1997).

O uso do sistema de plantio direto em diversas partes do mundo contribuiu para a redução do processo de erosão do solo e na emissão de gases que promovem o efeito estufa, proporcionou o aumento da resiliência das plantas (culturas e pastagens) frente

às condições de mudanças climáticas extremas, aumento da produtividade das plantas, melhora da atividade biológica, fertilidade e equilíbrio hídrico do solo (DERPSCH *et al.*, 2010).

A adoção do sistema de plantio direto no sul da Ásia contribuiu para o aumento da produtividade das culturas, no controle da incidência de ervas daninhas da área de cultivo, melhora da estrutura biológica, física e química do solo, redução do processo de erosão, ciclagem de nutrientes, equilíbrio hídrico do solo e redução da emissão de gases que promovem o efeito estufa (SOMASUNDARAM *et al.*, 2020).

O cultivo de trigo com rabanetes e nabos em sistema de plantio direto no Texas (Estados Unidos) contribuiu para a melhora nas propriedades físicas e químicas e no equilíbrio hídrico do solo (MUBVUMBA *et al.*, 2022). A adoção do sistema de plantio direto em Tennessee (Estados Unidos) contribuiu para a manutenção da produtividade das culturas (aveia, cevada, ervilhas e trigo) e melhora na estrutura física do solo em condições de variações climáticas extremas (por exemplo, ondas de frio e calor ao longo do ano) (HARUNA e ANDERSON, 2022).

O cultivo de milho e soja em sistema de plantio direto em Illinois (Estados Unidos) contribuiu para a manutenção da produtividade das culturas e redução da emissão de gases de efeito estufa (WEIDHUNER *et al.*, 2022). O sistema de plantio direto em Nebraska (Estados Unidos) contribuiu para o aumento da quantidade de matéria orgânica e no equilíbrio hídrico do solo (em um período de estiagem) em comparação ao sistema de plantio convencional (IRMAK e KUKAL, 2022). A adoção do sistema de plantio direto contribuiu para a valorização de terras agrícolas nos Estados Unidos (CHEN, Le, *et al.*, 2022).

O cultivo de arroz e trigo em sistema de plantio direto na Índia contribuiu para o equilíbrio hídrico do solo, redução da emissão de gases de efeito estufa (aumento do estoque de carbono no solo) e maior disponibilidade de nutrientes para as plantas (ROY *et al.*, 2022). O cultivo de soja em sistema de plantio direto no Mississippi (Estados Unidos) contribuiu para uma maior diversidade bacteriana no solo (FIRTH *et al.*, 2022). Os microrganismos do solo possuem a função de ciclagem dos nutrientes, decomposição da matéria orgânica e a degradação de poluentes (KASCHUK *et al.*, 2010).

A adoção do sistema de plantio direto contribuiu para a preservação da biomassa microbiana do solo e na redução da emissão de carbono no Brasil (KASCHUK *et al.*, 2010). O cultivo de trigo e soja em sistema de plantio direto na região Sul do Brasil contribuiu para a redução do processo de erosão do solo (MERTEN *et al.*, 2015). O

cultivo de soja pelo sistema de plantio direto em Mato Grosso favoreceu no aumento do estoque de carbono no solo, contribuindo para a redução da emissão de gases que promovem o efeito estufa (RAMOS *et al.*, 2018).

As terras agrícolas com culturas temporárias que utilizaram o sistema de plantio direto possuíram um maior valor de mercado do que as terras que utilizaram outros tipos de sistemas de preparo do solo (cultivo convencional e cultivo mínimo). Com destaque para as unidades federativas do Paraná, Rio Grande do Sul, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás e Bahia em 2006 (TELLES *et al.*, 2018).

A utilização do sistema de plantio direto no Paraná contribuiu para uma melhora nas propriedades físicas e químicas do solo, no controle da incidência de ervas daninhas e aumento na quantidade de matéria orgânica na área de cultivo (MELLO *et al.*, 2021). O cultivo de soja e milho em sistema de plantio direto em Goiás favoreceu na redução do processo de erosão do solo (OFSTEHAGE e NEHRING, 2021). O aumento na produtividade de soja foi alcançado por meio do uso do sistema de plantio direto no Paraná (YOKOYAMA *et al.*, 2022). O uso de sistema de plantio direto contribuiu para o aumento da produtividade de soja e melhora dos atributos químicos do solo no Paraná (FOLONI *et al.*, 2023).

O sistema de plantio direto proporciona alguns benefícios para os sistemas produtivos agropecuários, como o aumento ou manutenção da produtividade das plantas (culturas e pastagens), maior resiliência das plantas frente as variações climáticas extremas (estiagem, ondas de calor e frio, períodos de chuva prolongados, etc.), equilíbrio hídrico e melhora da estrutura biológica, física e química do solo, aumento da quantidade de matéria orgânica a área de cultivo, redução do processo de erosão do solo e da emissão de gases que promovem o efeito estufa e a aumento no valor de mercado das terras (Quadro 3).

Quadro 3 - Benefícios do sistema de plantio direto para os sistemas produtivos agropecuários

<b>Tecnologia</b>	<b>Benefícios</b>	<b>Autores</b>
<b>Sistema de plantio direto</b>	Aumento ou manutenção da produtividade das plantas (culturas e pastagens)	Bordovsky <i>et al.</i> (1994); Derpsch <i>et al.</i> (2010); Somasundaram <i>et al.</i> (2020); Haruna e Anderson (2022); Weidhuner <i>et al.</i> (2022); Yokoyama <i>et al.</i> (2022); Foloni <i>et al.</i> (2023)
	Equilíbrio hídrico do solo (disponibilidade de água para as plantas)	Bordovsky <i>et al.</i> (1994); Derpsch <i>et al.</i> (2010); Somasundaram <i>et al.</i> (2020); Irmak e Kukal (2022); Mubvumba <i>et al.</i> (2022); Roy <i>et al.</i> (2022)
	Controle na incidência de plantas daninhas na área de cultivo	Somasundaram <i>et al.</i> (2020); Mello <i>et al.</i> (2021)
	Redução do processo de erosão do solo	Carroll <i>et al.</i> (1997); Derpsch <i>et al.</i> (2010); Merten <i>et al.</i> (2015); Ofstehage e Nehring (2021); Somasundaram <i>et al.</i> (2020)
	Melhora na estrutura biológica, física e química do solo (como a ciclagem e disponibilidade de nutrientes para as plantas e demais atividades biológicas/físicas/químicas que contribuem para a conservação do solo)	Derpsch <i>et al.</i> (2010); Kaschuk <i>et al.</i> (2010); Somasundaram <i>et al.</i> (2020); Mello <i>et al.</i> (2021); Firth <i>et al.</i> (2022); Haruna e Anderson (2022); Mubvumba <i>et al.</i> (2022); Roy <i>et al.</i> (2022); Foloni <i>et al.</i> (2023)
	Aumento da quantidade de matéria orgânica no solo	Mello <i>et al.</i> (2021); Irmak e Kukal (2022)
	Aumento da resistência das plantas frente às variações climáticas	Derpsch <i>et al.</i> (2010)
	Redução da emissão de gases de efeito estufa	Derpsch <i>et al.</i> (2010); Kaschuk <i>et al.</i> (2010); Ramos <i>et al.</i> (2018); Somasundaram <i>et al.</i> (2020); Roy <i>et al.</i> (2022); Weidhuner <i>et al.</i> (2022)
	Aumento do valor de mercado da terra	Telles <i>et al.</i> (2018); Chen, Le, <i>et al.</i> (2022)

Fonte: Elaborado pelo autor.



### 2.1.3 Fertilizantes

O uso de fertilizantes químicos e orgânicos são necessários para a reposição dos nutrientes retirados do solo pelas plantas, de forma a manter um nível adequado desses elementos na área de cultivo. Quando o solo está quimicamente pobre (deficiência de nutrientes) tem-se uma redução no nível de produtividade das plantas (culturas e pastagens) e no nível de proteção contra o processo de erosão (ZONTA *et al.*, 2012). A utilização de fertilizantes deve ser realizada exclusivamente por meio de recomendação técnica elaborada de acordo com as necessidades das plantas da área de cultivo, das condições edafoclimáticas da propriedade rural e da disponibilidade do produto no mercado (ISGA, 2010). O uso adequado de fertilizantes no setor agropecuário é uma das principais estratégias para a garantia da segurança alimentar e nutricional da população mundial (REETZ, 2017).

A utilização de fertilizantes é fundamental para fornecer o suprimento adequado de todos os nutrientes essenciais para o crescimento da planta durante o ciclo produtivo. Se a quantidade de qualquer nutriente for limitante em qualquer momento durante o desenvolvimento da planta, existe um potencial para a perda de produtividade e do nível de produção total em uma propriedade rural (REETZ, 2017).

À medida que a produção agropecuária se intensifica para a garantia da segurança alimentar e nutricional da sociedade, nas áreas cultivadas existe uma retirada de nutrientes do solo para o desenvolvimento das plantas (culturas e pastagens), o que acarreta numa necessidade de reposição desses nutrientes por meio da adubação (fertilizantes químicos e orgânicos) para que o nível de produtividade do setor agropecuário se mantenha estável ou crescente ao longo do tempo (REETZ, 2017).

Os nutrientes presentes no solo podem ser classificados em macronutrientes e micronutrientes. Os macronutrientes (ou nutrientes principais) nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) são absorvidos em maior quantidade pelas plantas do que os micronutrientes (ou elementos-traço) representados pelos elementos boro (B), zinco (Zn), cobre (Cu), ferro (Fe), molibdênio (Mo), cloro (Cl) e manganês (Mn). Ambos, macro e micronutrientes, são constituintes dos minerais e da matéria orgânica do substrato que auxilia no crescimento das plantas. Dessa forma, quando algum desses elementos encontra-se indisponível na área de cultivo, é necessário a reposição por meio da adubação (com fertilizante químico e orgânico) para a manutenção da produtividade das culturas (RONQUIM, 2020).

A fertilidade do solo é apenas um dos fatores que exercem influência na

produtividade das plantas (culturas e pastagens). O nível de fertilidade do solo pode advir de causas naturais ou ser criada pela adição de nutrientes (por meio da aplicação de fertilizantes químicos e orgânicos) durante a etapa de cultivo. Um solo fértil é aquele que contém em quantidades suficientes e balanceadas os nutrientes essenciais e água para o crescimento das plantas (RONQUIM, 2020). Os fertilizantes são considerados insumos essenciais à atividade agropecuária como forma de evitar a degradação dos solos (MULWA *et al.*, 2021).

Os fertilizantes químicos são produzidos em processos industriais. Podem ser representados pelas formulações de NPK (nitrogênio, fósforo e potássio), cloreto de potássio, superfosfatos, fosfatos naturais, nitratos, ureia, sulfato de amônio e outras formulações com micronutrientes (zinco, boro, selênio e molibdênio). Os fertilizantes orgânicos são produtos de origem animal ou vegetal incorporados na área de cultivo para melhorar ou recuperar as condições físicas e químicas do solo. Podem ser representados pelo esterco curtido, vermicomposto de minhocas, compostos fermentados, biofertilizantes com micronutrientes e cobertura morta (palhada) (IBGE, 2017).

O crescimento da produtividade da soja no Sri Lanka teve a contribuição do uso do fertilizante como insumo produtivo (SENEVIRATNE *et al.*, 2000). A utilização de fertilizantes orgânicos e químicos contribuiu para o aumento da produtividade do arroz e melhora na estrutura química do solo (disponibilidade de nutrientes) em Laos (LINQUIST *et al.*, 2007). O uso de fertilizante nos sistemas de produção de ervilha, lentilha e trigo proporcionou um ganho de produtividade das culturas na Síria (PALA *et al.*, 2007).

O aumento na produtividade da banana em Uganda foi alcançado pelo uso dos fertilizantes orgânicos e químicos na área de cultivo (WAIREGI e ASTEN, 2010). A adição de fertilizantes na área de cultivo do trigo contribuiu para a redução da emissão de gases que promovem o efeito estufa no Canadá (GAN *et al.*, 2014). A utilização de fertilizante na área de pastagem na Nova Zelândia contribuiu para o aumento da produtividade na bovinocultura leiteira (BROWN *et al.*, 2016). O uso de fertilizantes orgânicos e químicos contribuiu para o aumento da produtividade do feijão, milho e soja cultivados em sistema de rotação de culturas em Ruanda (RURANGWA *et al.*, 2018).

O uso do fertilizante contribuiu um aumento da produtividade do milho e ervilha (em sistema de cultivo de consórcio<sup>2</sup> de culturas) na China (YANG *et al.*, 2018). A

---

<sup>2</sup> A consorciação de culturas pode ser definida como o cultivo simultâneo de duas ou mais espécies na

utilização de fertilizantes químicos contribuiu para o aumento da produtividade e redução da emissão de gases de efeito estufa na bovinocultura leiteira no Quênia (BRANDT *et al.*, 2020). O uso de fertilizante orgânico (esterco animal) na produção de milho e em áreas de pastagens no Canadá contribuiu para o aumento da produtividade das plantas, redução da emissão de gases que promovem o efeito estufa e na conservação do solo (LI *et al.*, 2021).

A utilização de fertilizantes orgânicos e químicos no cultivo de milho contribuiu para uma melhora na produtividade da cultura, eficiência no uso da água e em benefícios para a estrutura do solo (disponibilidade de nutrientes) na China (ZHAI *et al.*, 2022). O uso de fertilizante orgânico na China contribuiu para o aumento da produtividade da pitaya e melhora na estrutura física e química do solo (CHEN, Limei, *et al.*, 2022).

O uso de fertilizante orgânico na produção de arroz na China contribuiu para o aumento da produtividade da cultura, melhor uso dos nutrientes e redução da emissão de gases de efeito estufa (LI *et al.*, 2022). O uso de fertilizante orgânico contribuiu para o aumento da produtividade do trigo e melhora nos atributos químicos do solo na Etiópia (EJIGU *et al.*, 2023).

Por meio do uso de fertilizante foi possível alcançar um aumento da produtividade do tomate e uma maior disponibilidade de nutrientes no solo em São Paulo (MELLO *et al.*, 2018). A utilização de fertilizantes é importante para a recuperação da área de pastagens degradadas, contribuindo assim para a redução do processo de erosão do solo (DIAS-FILHO, 2017). A utilização de fertilizante químico contribuiu para o aumento da produtividade da cana-de-açúcar em São Paulo (SANCHES *et al.*, 2021). A produtividade da soja em sistema de plantio direto foi incrementada através do uso de fertilizantes no Paraná (FOLONI *et al.*, 2023).

O uso de fertilizantes (orgânicos e químicos) proporcionam alguns benefícios para os sistemas produtivos agropecuários, que são o aumento ou manutenção da produtividade das plantas (culturas e pastagens), redução do processo de erosão das áreas de cultivo e pastagens, melhoria na estrutura biológica, física e química do solo, melhor uso da água e dos nutrientes durante o ciclo produtivo das plantas e a redução da emissão de gases que promovem o efeito estufa (Quadro 4).

---

mesma safra, numa mesma área (cada uma em uma faixa ou linha), com o objetivo de proporcionar uma melhora na produtividade das culturas e promover a conservação do solo (SANTOS *et al.*, 2007).

Quadro 4 - Benefícios dos fertilizantes para os sistemas produtivos agropecuários

<b>Tecnologia</b>	<b>Benefícios</b>	<b>Autores</b>
<b>Fertilizantes</b>	Aumento ou manutenção da produtividade das plantas (culturas e pastagens)	Seneviratne <i>et al.</i> (2000); Linqvist <i>et al.</i> (2007); Pala <i>et al.</i> (2007); Wairegi e Asten (2010); Brown <i>et al.</i> (2016); Mello <i>et al.</i> (2018); Yang <i>et al.</i> (2018); Brandt <i>et al.</i> (2020); Li <i>et al.</i> (2021); Sanches <i>et al.</i> (2021); Chen, Limei, <i>et al.</i> , (2022); Li <i>et al.</i> (2022); Zhai <i>et al.</i> (2022); Ejigu <i>et al.</i> (2023); Foloni <i>et al.</i> (2023)
	Melhor uso da água nos sistemas produtivos	Zhai <i>et al.</i> (2022)
	Redução do processo de erosão do solo (principalmente em áreas de pastagens)	Dias-Filho (2017)
	Melhora na estrutura biológica, física e química do solo (como a ciclagem e disponibilidade de nutrientes para as plantas e demais atividades biológicas/físicas/químicas que contribuem para a conservação do solo)	Linqvist <i>et al.</i> (2007); Mello <i>et al.</i> (2018); Li <i>et al.</i> (2021); Chen, Limei, <i>et al.</i> (2022); Zhai <i>et al.</i> (2022); Ejigu <i>et al.</i> (2023)
	Melhor uso dos nutrientes no solo	Li <i>et al.</i> (2022)
	Redução da emissão de gases de efeito estufa	Gan <i>et al.</i> (2014); Brandt <i>et al.</i> (2020); Zhuang <i>et al.</i> (2020); Li <i>et al.</i> (2021); Li <i>et al.</i> (2022)

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 2.1.4 Uso de calcário e/ou outro corretivo no solo

O uso de corretivos é uma prática que visa diminuir o nível de acidez do solo, aumentar o nível dos nutrientes de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) e neutralizar a ação do alumínio (Al) (caso esteja em alta concentração no solo, pode ser capaz de prejudicar o crescimento radicular e a nutrição das plantas) (CHAVES, 2002; VILELA *et al.*, 2007). É uma prática que contribui para uma melhor ação dos fertilizantes no solo e, consequentemente, contribui para um incremento na produtividade das plantas (culturas e pastagens) e renda do produtor rural (MUNER *et al.*, 2007).

Aproximadamente metade das terras agricultáveis do mundo são classificadas como ácidas, fator este que contribui para uma diminuição da produtividade do setor agropecuário em diferentes localidades. A difusão do uso de corretivos nos países tende

a contribuir para uma expansão na produção de alimentos num contexto de mudanças climáticas e aumento da insegurança alimentar e nutricional da população mundial (WANG, Y. *et al.*, 2021).

O uso de calcário ou de outro corretivo no solo proporciona uma série de benefícios como o aumento do pH e até a melhoria nas propriedades físicas do solo, aumento na quantidade de nutrientes (cálcio, magnésio e fósforo) essenciais para o desenvolvimento das plantas e maior atividade de microrganismos no solo (RONQUIM, 2020). Outros benefícios podem ser alcançados por meio do uso de corretivos na área de cultivo (MUNER *et al.*, 2007):

- (a) elevação o pH do solo;
- (b) fornecimento de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) como nutrientes para as plantas;
- (c) aumento da eficiência do uso de fertilizantes;
- (d) aumento da atividade microbiana e liberação de nutrientes para o solo por meio da decomposição da matéria orgânica;
- (e) diminuição ou eliminação dos efeitos tóxicos do alumínio (Al), manganês (Mn) e ferro (Fe) no ciclo produtivo das plantas;
- (f) melhora das condições físicas do solo, proporcionando uma melhor aeração e circulação da água, contribuindo para o desenvolvimento radicular das plantas;
- (g) melhora na fixação simbiótica do nitrogênio (N) pelas leguminosas; e,
- (h) aumenta a produtividade das plantas (culturas e pastagens).

O uso de calcário ou de outro corretivo deve ser feito sempre que o pH do solo estiver muito baixo, pois a acidez excessiva prejudica a absorção de muitos elementos essenciais para o desenvolvimento das plantas (ZONTA *et al.*, 2012). A acidez do solo prejudica diretamente o nível de produtividade das plantas e pode reduzir o nível de renda dos produtores rurais (HIJBEEK *et al.*, 2021; WANG, Y. *et al.*, 2021). Antes de qualquer iniciativa para se realizar o uso de corretivos e/ou a adubação (aplicação de fertilizante) na área de cultivo, deve-se realizar uma análise do solo para verificar o nível de acidez e teor de nutrientes (MUNER *et al.*, 2007).

O problema de acidez do solo pode ser identificado quando na área de cultivo existe um elevado nível de alumínio (Al) e baixa concentração de cálcio (Ca) e magnésio (Mg). O nível adequado de pH depende das características do solo e do tipo de cultura explorada na propriedade rural (SOUSA e LOBATO, 2004; VILELA *et al.*, 2007). O manejo inadequado do solo e o uso de fertilizantes em excesso podem contribuir para o agravamento do problema de acidez do solo (HAN *et al.*, 2015).

O uso de corretivos proporcionou um aumento na produtividade das culturas do trigo e cevada e uma melhora nos atributos químicos do solo na Austrália (TANG *et al.*, 2003). A utilização de corretivos contribuiu para o aumento da produtividade de grãos (aveia, cevada, trigo e triticale) e nos atributos químicos do solo na Austrália (CONYERS *et al.*, 2003). Houve um aumento da produtividade das pastagens por meio de corretivos na Austrália (MULLEN *et al.*, 2006). O uso de corretivos na área de pastagem contribuiu para o aumento da produtividade na bovinocultura de corte na União Europeia (HOLLAND *et al.*, 2018).

O uso de diferentes tipos de corretivos proporcionou uma melhora nos atributos químicos (disponibilidade de nutrientes) do solo no Canadá (GAGNON e ZIADI, 2020). O uso de corretivos em diversas partes do mundo contribuiu para o aumento da produtividade das culturas e redução da emissão de gases que promovem o efeito estufa (WANG, Y. *et al.*, 2021). Ocorreu um incremento na produtividade do milho através do uso do calcário no Quênia (HIJBEEK *et al.*, 2021).

O uso de corretivos proporcionou um aumento na produtividade da cevada na Inglaterra (HOLLAND e BEHRENDT, 2021). Por meio dos corretivos foi possível alcançar uma maior disponibilidade de nutrientes no solo nos Estados Unidos (LONG *et al.*, 2022). O uso de corretivos em áreas de pastagens contribuiu para uma redução na emissão de gases que promovem o efeito estufa em diversas partes do mundo (ABDALLA *et al.*, 2022). O uso de corretivos possibilitou uma maior resistência do solo ao processo de erosão na Holanda (KONSTADINOU *et al.*, 2023). Ocorreu uma melhora na produtividade do trigo e nos atributos químicos do solo através do uso de corretivos na Etiópia (EJIGU *et al.*, 2023).

A melhora nos atributos químicos do solo foi alcançada por meio do uso de corretivos em Santa Catarina (ERNANI *et al.*, 2004). O uso de calcário na área de cultivo contribuiu para o aumento da produtividade da goiaba e uma melhoria nos atributos químicos do solo no estado de São Paulo (NATALE *et al.*, 2007). As propriedades químicas do solo foram melhoradas através do uso de corretivos no cultivo de soja e trigo em sistema de plantio direto no Paraná (FOLONI *et al.*, 2023).

O uso de corretivos em sistemas produtivos agropecuários fornece benefícios como o aumento ou manutenção da produtividade das plantas (culturas e pastagens), melhora nas características do solo (por exemplo, uma maior disponibilidade de nutrientes para as plantas), maior resistência ao solo frente ao processo de erosão e redução na emissão dos gases que promovem o efeito estufa (Quadro 5).

Quadro 5 - Benefícios do uso de corretivos para os sistemas produtivos agropecuários

<b>Tecnologia</b>	<b>Benefícios</b>	<b>Autores</b>
<b>Uso de calcário e/ou outro corretivo para a correção do pH do solo</b>	Aumento ou manutenção da produtividade das plantas (culturas e pastagens)	Conyers <i>et al.</i> (2003); Tang <i>et al.</i> (2003); Mullen <i>et al.</i> (2006); Natale <i>et al.</i> (2007); Holland <i>et al.</i> (2018); Holland e Behrendt (2021); Hijbeek <i>et al.</i> (2021); Wang, Y. <i>et al.</i> (2021); Ejigu <i>et al.</i> (2023)
	Redução do processo de erosão do solo	Konstadinou <i>et al.</i> (2023)
	Melhora na estrutura biológica, física e química do solo (como a ciclagem e disponibilidade de nutrientes para as plantas e demais atividades biológicas/físicas/químicas que contribuem para a conservação do solo)	Conyers <i>et al.</i> (2003); Tang <i>et al.</i> (2003); Ernani <i>et al.</i> (2004); Natale <i>et al.</i> (2007); Gagnon e Ziadi (2020); Long <i>et al.</i> (2022); Ejigu <i>et al.</i> (2023); Foloni <i>et al.</i> (2023)
	Redução da emissão de gases de efeito estufa	Wang, Y. <i>et al.</i> (2021); Abdalla <i>et al.</i> (2022)

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 2.1.5 Síntese dos benefícios das tecnologias sustentáveis para o setor agropecuário

Uma série de benefícios para os sistemas produtivos agropecuários podem ser alcançados por meio do uso da rotação de culturas, SPD, fertilizantes e corretivos. Alguns em comum, como o aumento ou manutenção da produtividade das plantas, redução do processo de erosão e melhora nos atributos (biológico, físico e químico) gerais do solo e redução da emissão de GEE (Quadro 6).

Quadro 6 - Benefícios das tecnologias sustentáveis para os sistemas produtivos agropecuários

<b>Benefícios</b>	<b>Rotação de culturas</b>	<b>Sistema de plantio direto</b>	<b>Fertilizantes</b>	<b>Corretivos</b>
Aumento ou manutenção da produtividade das plantas (culturas e pastagens)	X	X	X	X
Equilíbrio hídrico do solo (disponibilidade de água para as plantas)	X	X		
Controle na incidência de plantas daninhas na área de cultivo	X	X		
Melhor uso da água nos sistemas produtivos	X		X	
Maior tempo de absorção de água pelo solo	X			
Redução do processo de erosão do solo	X	X	X	X
Melhora na estrutura biológica, física e química do solo (como a ciclagem e disponibilidade de nutrientes para as plantas e demais atividades biológicas/físicas/químicas que contribuem para a conservação do solo)	X	X	X	X
Menor ocorrência e mais resistência às pragas e doenças	X			
Melhor uso dos nutrientes no solo			X	
Aumento da quantidade de matéria orgânica no solo	X	X		
Aumento da resistência das plantas frente às variações climáticas	X	X		
Redução do custo de produção pela racionalização do uso de insumos	X			
Redução da emissão de gases de efeito estufa	X	X	X	X
Aumento da lucratividade pela diversificação do sistema produtivo (envolve três ou mais culturas)	X			
Aumento do valor de mercado da terra		X		

Fonte: Resultado da pesquisa.

Benefícios relacionados à água também são alcançados por meio do uso das tecnologias sustentáveis (rotação de culturas, SPD e fertilizantes), sendo representado pelo equilíbrio hídrico do solo e melhor uso da água nos sistemas produtivos. Através da



rotação de culturas é possível alcançar um melhor desempenho econômico da propriedade rural (aumento da lucratividade quando se possui uma diversificação de culturas e redução do custo de produção por meio da racionalização do uso de insumos) e maior resiliência das áreas de cultivo para a ocorrência de pragas e doenças. Por fim, o uso do SPD pode contribuir para o valor de mercado da terra da propriedade rural (Quadro 6).

## **2.2 Modernização do setor agropecuário brasileiro**

A modernização do setor agropecuário brasileiro teve início na década de 1950 e pode ser conceituada como a “*Industrialização da Agricultura*”. Consistiu na difusão de um conjunto de tecnologias de base técnica (máquinas e equipamentos, sementes melhoradas geneticamente, fertilizantes, corretivos, etc.) no setor agropecuário brasileiro que proporcionaram um maior rendimento dos sistemas produtivos, bem como nas transformações ocorridas nas relações sociais no sistema de produção. No entanto, é a partir da década de 1960 que esse processo foi realmente efetivado, por meio da implantação no país de um setor industrial voltado para a produção de máquinas e insumos direcionados ao campo (TEIXEIRA, 2005).

Um dos pilares do processo de modernização do setor agropecuário brasileiro foi o crédito, que foi institucionalizado em 1965 por meio da criação do Sistema Nacional de Crédito Rural (SNCR). Até o ano de 1986, o sistema concedia recursos financeiros para o financiamento da produção e realização de investimentos para o aprimoramento do sistema produtivo da propriedade por meio da aquisição de tratores, colheitadoras, fertilizantes, defensivos químicos, sementes, etc. Dessa forma, o governo criava políticas industriais para a implantação de empresas especializadas na produção de máquinas, equipamentos e insumos tecnológicos para o campo e, de outro, oferecia o crédito para que os agricultores os comprassem (CASTRO e PEREIRA, 2020).

A pesquisa e extensão rural tiveram funções essenciais no processo de modernização do setor agropecuário do Brasil. Em 1973, foi criada a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) que permitiu uma ampliação das pesquisas direcionadas ao campo e, em 1975, por meio da criação da Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMBRATER), ocorreu uma reformulação na política de extensão rural no país, que tinha como principal foco a transferência de tecnologias já desenvolvidas para os produtores rurais brasileiros (VIEIRA FILHO e FISHLOW, 2017).

A modernização do setor agropecuário brasileiro foi impulsionada principalmente a partir de três vias de ações governamentais: (a) política de crédito subsidiado direcionado ao custeio da lavoura e financiamento de máquinas e equipamentos para as propriedades rurais; (b) política de pesquisa agropecuária que assegurou técnica e economicamente, o uso de insumos modernos (sementes e agroquímicos) e a expansão da mecanização agrícola em diversas localidades ao longo do território brasileiro (adaptando o uso da tecnologia a partir das características edafoclimáticas locais); e, (c) a política de extensão rural que contribuiu para a transferência de tecnologia no campo (DENARDIN *et al.*, 2014).

As categorias de tecnologias utilizadas no processo produtivo durante o período de modernização do setor agropecuário brasileiro (caracterizado como Revolução Verde) foram: (a) mecânicas: afetavam a intensidade e o ritmo da jornada de trabalho; (b) físico-químicas: modificavam as condições naturais do solo; (c) biológicas: proporcionaram uma redução do período de produção e/ou potencializavam o efeito das tecnologias mecânicas e físico-químicas; e, (d) agronômicas: permitiam a utilização de novos métodos de produção e proporcionavam uma elevação da produtividade do trabalho de uma forma geral (GRAZIANO DA SILVA, 1990).

No Brasil, a história do manejo e conservação do solo nas atividades agropecuárias pode ser dividida em duas fases. A primeira fase predomina-se o sistema de produção de subsistência, realidade comum nas propriedades rurais brasileiras até a década de 1960 (período anterior à Revolução Verde). Na segunda fase passou-se a intensificar os sistemas produtivos agropecuários por meio do uso de tecnologias (corretivos, fertilizantes, máquinas e equipamentos, sementes, etc.) que proporcionassem um excedente produtivo para ser comercializado pelos produtores rurais (BERTOL *et al.*, 2014).

Na fase em que o cultivo de subsistência foi predominante nas propriedades rurais brasileiras, as operações de manejo do solo eram executadas com energia originada do esforço braçal e de tração animal, com pouco ou nenhum uso de produto agroquímico na área cultivada. Na fase de intensificação dos sistemas produtivos, as operações de manejo do solo para o cultivo passaram a ser executadas com a energia oriunda da motomecanização e uso massivo de agroquímicos, em especial, os corretivos e fertilizantes. Dessa forma, em função da intensificação do uso da motomecanização (operações mecânicas sobre o solo) nas propriedades rurais brasileiras, tem-se um agravamento do processo de erosão hídrica (ocasionado pelas chuvas) em áreas rurais ao longo do território nacional (BERTOL *et al.*, 2014).

Durante as décadas de 1970 e 1980, o uso intensivo de cultivo convencional em áreas de produção de soja, contribuiu para a redução do nível de matéria orgânica e agravamento do processo de erosão do solo ao longo do território brasileiro (GASQUES, 2017). O modelo de modernização do setor agropecuário adotado no Brasil durante o período da Revolução Verde promoveu um intenso desenvolvimento em determinadas localidades, mas contribuiu para o agravamento das desigualdades socioeconômicas na população rural (DENARDIN *et al.*, 2014).

Na década de 1980 ocorreu uma crise internacional que afetou as políticas de fomento da modernização do setor agropecuário brasileiro. A partir de 1986 ocorreu uma redução considerável nos recursos públicos direcionados ao crédito rural e, em 1990, em virtude do processo de ajuste fiscal do governo brasileiro, a EMBRATER foi extinta. Contribuindo assim, para uma desorganização das ações de extensão rural no país (CASTRO e PEREIRA, 2020).

Transcorrido mais de meio século desde o início das transformações da base técnica da agropecuária brasileira, o processo está longe de ser uniforme e homogêneo ao longo do território nacional. A realidade brasileira é marcada por um cenário de desigualdades entre regiões e propriedades rurais, quanto aos indicadores de adoção tecnológica, aos índices de produtividade e à contribuição para o valor total da produção agropecuária (SOUZA *et al.*, 2018).

A desigualdade regional e produtiva teve origem no processo de modernização do setor agropecuário brasileiro, no qual uma parcela dos agentes econômicos foi capaz de incorporar e de absorver o conteúdo tecnológico. Enquanto, a outra parcela marginalizada de produtores rurais ficou excluída do processo, não somente do ambiente organizacional inovador, mas também dos processos de aprendizado e de difusão de novas técnicas e conhecimentos produtivos (VIEIRA FILHO e FISHLOW, 2017).

A heterogeneidade estrutural pode ser evidenciada por meio da manutenção, no médio e longo prazos, das diferenças de infraestrutura produtiva e dos indicadores de produção que vão além das diferenças naturais entre os tipos de propriedades rurais, considerando-se que estas ocorrem em respostas às habilidades específicas do produtor rural quanto à alocação dos fatores de produção (capital, terra, trabalho e tecnologia). Dessa forma, a heterogeneidade estrutural está relacionada com as disparidades socioeconômicas existentes em uma região (por exemplo, diferença no nível de produtividade e no acesso aos serviços de assistência técnica e crédito rural) (SANTOS e VIEIRA FILHO, 2012).

As imperfeições de mercado também contribuíram para a não adoção de tecnologia por parte dos produtores rurais no Brasil. Em geral, os produtores com baixo nível de produção, recebem um preço inferior pelos produtos comercializados e pagam mais caro pelos insumos. As imperfeições, pelo lado da oferta de produtos, correspondem aos oligopólios, monopólios e a discriminação de preços de acordo com o volume de produção negociado. Por sua vez, na ótica dos insumos, têm-se os monopsônios, oligopsônios e o preço de acordo com o volume comprado. Nesse cenário, a tecnologia tende a não ser adotada por esse grupo de produtores em virtude da limitação de recursos financeiros para a realização de investimentos, ausência de assistência técnica e aversão ao risco de que a tecnologia não atinja aos objetivos econômicos desejados pelo indivíduo (ALVES, 2018).

Existia um padrão heterogêneo de intensidade de modernização agropecuária entre as unidades federativas brasileiras no início da década de 2000. A região Centro-Oeste destacou-se em termos de avanço na intensificação da utilização de capital na atividade agropecuária (CORRÊA e FIGUEIREDO, 2006).

O estado de São Paulo e as regiões Centro-Oeste e Sul foram as localidades que apresentaram um maior nível de modernização agropecuária no país em 2006 e esse fenômeno esteve relacionado às mudanças tecnológicas que visavam uma maior produtividade da terra e do trabalho, através da utilização de maquinários da área de logística e transporte para o aprimoramento do processo de escoamento da produção e outras variáveis financeiras compreendidas em investimento, valor da produção e despesas (COSTA *et al.*, 2012).

Numa avaliação da modernização agropecuária na região Norte do país para o ano de 2006, os principais fatores que contribuíram para a modernização foram as despesas agrícolas (insumos tecnológicos, como os adubos, fertilizantes, sementes, corretivos, defensivos e medicamentos para animais), o uso da terra e o trabalho intensivo. Os estados de Rondônia, Tocantins e o leste e oeste do Pará foram as localidades que apresentaram os maiores Índices de Modernização Agrícola (IMA), em contraponto com o Acre, Amazonas, Amapá e Roraima. Sendo assim, numa avaliação apenas da região Norte, foi verificada uma desigualdade entre as unidades federativas quanto ao nível de intensidade tecnológica das propriedades rurais (LOBÃO e STADUTO, 2020).

A desigualdade na intensidade tecnológica do setor agropecuário também foi verificada em localidades de uma mesma unidade federativa brasileira, conforme encontrado para Minas Gerais (FERREIRA JÚNIOR *et al.*, 2004; CAMPOS *et al.*,

2014), Rio Grande do Sul (FREITAS *et al.*, 2007; PINTO e CORONEL, 2015), Paraná (LOBÃO *et al.*, 2016), Ceará (MADEIRA *et al.*, 2019; SANTOS e CAMPOS, 2021), Mato Grosso (BECKMANN e SANTANA, 2017), Pará (REBELLO *et al.*, 2011) e Bahia (SANTOS *et al.*, 2018).

Erosão

### 2.3 Adoção e difusão de tecnologia no setor agropecuário

Pode-se definir a tecnologia como o conhecimento sobre técnicas. Define-se as técnicas como a aplicação das informações nos produtos, processos e métodos organizacionais (TIGRE, 2006). A tecnologia possui uma importante função na determinação do desempenho econômico-financeiro de uma propriedade rural. No entanto, a difusão de tecnologia não é uniforme, ou seja, não ocorre com a mesma rapidez e intensidade entre os diferentes tipos de produtores rurais e regiões em um país (SOUZA FILHO *et al.*, 2011).

No setor agropecuário, as tecnologias podem ser agrupadas em cinco categorias: (a) automatização e informação representados pelos sistemas de gestão da propriedade rural, equipamentos de informática, tecnologia da informação, sensoriamento remoto, testes de análise do solo e aplicação de fertilizante à taxa variável; (b) aumento dos rendimentos da colheita pelo uso de fertilizantes, sementes melhoradas geneticamente, máquinas e equipamentos utilizados na área de cultivo (plantadeira, colheitadeira, etc.); (c) controle de ervas daninhas e pragas relacionadas com as práticas e o uso de produtos que promovem o controle de pragas e ervas daninhas na área de cultivada; (d) conservação do solo, corresponde às práticas de sistema de plantio direto, cultivo mínimo, rotação de culturas e demais práticas agrícolas que promovam uma melhora nos atributos biológicos, físicos e químicos do solo; e, (e) práticas ambientais de gestão sustentável e conservação da água (MUNGIA e LLEWELLYN, 2020).

A literatura sobre adoção de tecnologia no setor agropecuário é multidisciplinar, pois é tratada em diferentes áreas do conhecimento, como na Antropologia, Economia, Extensão Rural, *Marketing*, Psicologia e Sociologia (PANNELL *et al.*, 2006). A literatura internacional sobre os determinantes da adoção de tecnologia no setor agropecuário não conseguiu convergir para uma explicação de por que os produtores rurais optam por adotar novos insumos e práticas produtivas. Essa situação ocorre em virtude de duas razões, primeiro, existe uma falta de clareza sobre os métodos analíticos e na escolha de variáveis explicativas que devem ser escolhidas para a elaboração do

modelo de fatores associados à adoção de tecnologia no setor rural. Segundo, significa que a extensão e a política agrícola são influenciadas por um arcabouço teórico incapaz de oferecer uma recomendação clara sobre as variáveis ou mecanismos que podem ser utilizados para a orientação de políticas públicas (MUNGIA e LLEWELLYN, 2020).

O processo de adoção de tecnologia no setor agropecuário pode ser considerado multidimensional, pois está diretamente associada aos diversos tipos de fatores que podem influenciar o processo de tomada de decisão do produtor rural sobre a incorporação de um novo insumo e/ou técnica produtiva na propriedade. Dessa forma, a adoção de determinada tecnologia será realizada para o atendimento dos objetivos pessoais do produtor, que podem ser de origem ambiental, econômico e social (WEERSINK e FULTON, 2020).

Se o produtor rural perceber que as metas não serão alcançadas por meio da incorporação da tecnologia ao sistema produtivo, provavelmente a adoção não acontecerá. As metas variam amplamente entre os produtores rurais, dependendo dos contextos socioeconômicos ao qual a propriedade rural está inserida e as preferências pessoais do indivíduo, além dos resultados econômicos, sociais e ambientais proporcionadas pela tecnologia (PANNELL *et al.*, 2006).

Os objetivos dos produtores rurais em relação à adoção de uma tecnologia são heterogêneos e podem ser agrupados em: (a) riqueza material e segurança financeira; (b) proteção e conservação do meio ambiente; (c) aprovação e aceitação social; (d) integridade pessoal e padrões éticos elevados; e, (e) equilíbrio entre o trabalho e o estilo de vida (PANNELL *et al.*, 2006).

A adoção de tecnologia pode ser considerada um processo de aprendizagem dinâmico dividido em duas etapas. A primeira se relaciona com a coleta, integração e avaliação das novas informações para auxiliar nas decisões sobre a tecnologia. No início do processo, a incerteza do produtor rural sobre a tecnologia é alta e a qualidade da tomada de decisão pode ser baixa. Dessa forma, se o produtor persistir na busca de informações, a incerteza poderá ser reduzida e as melhores decisões sobre a adoção poderão ser tomadas. A segunda etapa consiste na melhoria das habilidades do produtor rural em utilizar a tecnologia na propriedade rural (PANNELL *et al.*, 2006).

O primeiro estágio do ciclo de aprendizagem dinâmica é a conscientização do tomador de decisão de que existe uma nova tecnologia que pode ser relevante para o alcance dos objetivos pessoais, como por exemplo, a maximização do lucro. Quando o indivíduo possui o conhecimento da existência da tecnologia, o segundo passo é a busca de informações sobre a sua aplicabilidade, que incluem os custos de adoção e os

possíveis impactos no sistema produtivo. Se a avaliação não experimental sugerir um potencial de uso, a próxima etapa é caracterizada por uma avaliação da tecnologia por meio de um teste em pequena escala, ou sua observação, em algum campo experimental (PANNELL *et al.*, 2006; WEERSINK e FULTON, 2020).

A quarta etapa se relaciona com a adoção da tecnologia caso o desempenho do teste em pequena escala realizado na etapa anterior tenha sido satisfatório aos objetivos do produtor rural. Com isso, o quinto estágio consiste na avaliação continuada do desempenho da tecnologia para determinar se modificações serão necessárias para o melhor uso de acordo com as características (relevo, condições e estrutura do solo, disponibilidade de água, etc.) da propriedade rural. Por fim, o último estágio é caracterizado quando a tecnologia adotada for rejeitada, sendo denominado de não adoção. A rejeição pode ocorrer quando a tecnologia se torna obsoleta devido à introdução de novos insumos e práticas produtivas que são mais capazes de atender aos objetivos do produtor rural (PANNELL *et al.*, 2006; WEERSINK e FULTON, 2020).

O conhecimento desenvolvido no processo de aprendizagem dinâmico é incorporado pelo produtor rural e é provável, que seja, até certo ponto, exclusivo para ele. Além disso, tal conhecimento é formado por informações científicas, influências culturais e a experiência pessoal. A cultura inclui as leis, normas sociais e valores e pode ser continuamente modificada por diversos fatores relacionados ao ambiente socioeconômico em que a propriedade rural está inserida (PANNELL *et al.*, 2006).

O processo de aprendizagem dinâmico é influenciado pelas características dos produtores rurais, da família e da própria tecnologia (PANNELL *et al.*, 2006) e instituições formais e informais (WEERSINK e FULTON, 2020). As instituições podem ser definidas como estruturas que restringem o comportamento humano, as quais se caracterizam pela interação política, econômica, ambiental e social. As instituições podem ser formais (representadas pelas constituições, leis e direitos de propriedade) e informais (que podem ser os costumes, códigos de conduta, valores e tradições) (NORTH, 1991).

Os fatores que exercem influência sobre o ciclo do processo de aprendizagem dinâmico do produtor rural podem ser agrupados em três categorias: (a) vantagem relativa da tecnologia; (b) experimentação da tecnologia; e, (c) as influências sociais, culturais e pessoais (PANNELL *et al.*, 2006; WEERSINK e FULTON, 2020). O impacto de tais fatores é diferenciado entre os estágios do processo de aprendizagem dinâmico do indivíduo (Quadro 7).

Quadro 7 - Fases do processo de aprendizagem dinâmico e os condutores da adoção de tecnologia no setor agropecuário

Estágios do processo de aprendizagem	Condutores da adoção de tecnologia		
	Vantagem relativa	Experimentabilidade	Influências sociais, culturais e pessoais
Conscientização			***
Avaliação não experimental	*	**	***
Avaliação experimental	**	***	**
Adoção	***	*	*
Revisão	***	*	*
Não adoção	***		*

Fonte: Adaptado de WEERSINK e FULTON (2020, p. 7).

Nota: \* importância limitada, \*\* importância moderada e \*\*\* alta importância no processo de adoção de tecnologia

A vantagem relativa exerce uma forte influência nos estágios finais do processo de aprendizagem dinâmico, consistem nas etapas de adoção, revisão e não adoção da tecnologia (Quadro 7). Pode ser definida como o grau em que uma nova tecnologia se torna melhor do que o sistema atual utilizado na empresa (ROGERS, 2003). Além disso, a vantagem relativa se relaciona com a capacidade da tecnologia em atender aos objetivos pessoais do produtor rural e depende do contexto biofísico, econômico e social de onde a propriedade rural está localizada, bem como é um fator decisivo para que o processo de adoção realmente possa ocorrer (PANNELL *et al.*, 2006; WEERSINK e FULTON, 2020).

A vantagem relativa de uma tecnologia depende de um conjunto de fatores econômicos, sociais e ambientais: (a) o impacto sobre a lucratividade no curto, médio e longo prazos; (b) influência sobre o nível de produtividade; (c) benefícios alcançados para outras partes do sistema produtivo, como por exemplo, o cultivo de leguminosas ou de pastagens pode contribuir para o aumento de fixação do nitrogênio do solo e proporcionar um aumento da produtividade das safras subsequentes, bem como auxiliar na conservação do solo; (d) custos de ajustes envolvidos na adoção da tecnologia; e, (e) a compatibilidade da tecnologia com o conjunto de recursos disponíveis na propriedade rural, como por exemplo, a existência de máquinas e equipamentos, tamanho da propriedade e mão de obra especializada (PANNELL *et al.*, 2006).

A experimentabilidade se relaciona com as características da própria tecnologia que afetam o processo de aprendizado do produtor rural. Em outras palavras, a experimentação não se refere meramente à facilidade de estabelecer fisicamente um



ensaio (experimento de pequena escala em campo, por exemplo), mas abrange os fatores que influenciam a capacidade de aprendizado do produtor em relação ao experimento, como a complexidade do problema que está sendo abordado e o uso adequado da tecnologia na propriedade rural (PANNELL *et al.*, 2006).

A maior influência da experimentabilidade ocorrerá no estágio de avaliação experimental, quando o experimento é conduzido num nível de pequena escala ou num campo de observação (Quadro 7). A experimentabilidade da tecnologia em pequena escala é importante porque pode aumentar a probabilidade de acerto na decisão do produtor rural sobre a adoção da tecnologia. O teste (experimento) fornece uma oportunidade para que o produtor tenha a capacidade de desenvolver as habilidades necessárias para o uso da tecnologia e para evitar os riscos de perdas financeiras se a nova prática se revelar não econômica ou falhar devido à inexperiência do indivíduo (PANNELL *et al.*, 2006).

A experimentabilidade de uma tecnologia está diretamente relacionada com a simplicidade (quanto mais simples for a tecnologia, menor será a dificuldade, esforço e tempo necessários para que o produtor rural consiga avaliar o desempenho da tecnologia no experimento e decida a melhor forma de implementá-la na propriedade), observabilidade (consiste na capacidade de observação dos resultados proporcionados pela nova prática ou insumo incorporado no sistema produtivo, como por exemplo, aumento da produtividade ou a redução da incidência de pragas e doenças na área do experimento), divisibilidade (capacidade de realização do experimento em pequena escala) e é inversamente relacionada ao custo de realização do teste (quanto maior for o custo de realização do experimento, menor será a disposição do produtor rural em adotar a tecnologia) (WEERSINK e FULTON, 2020).

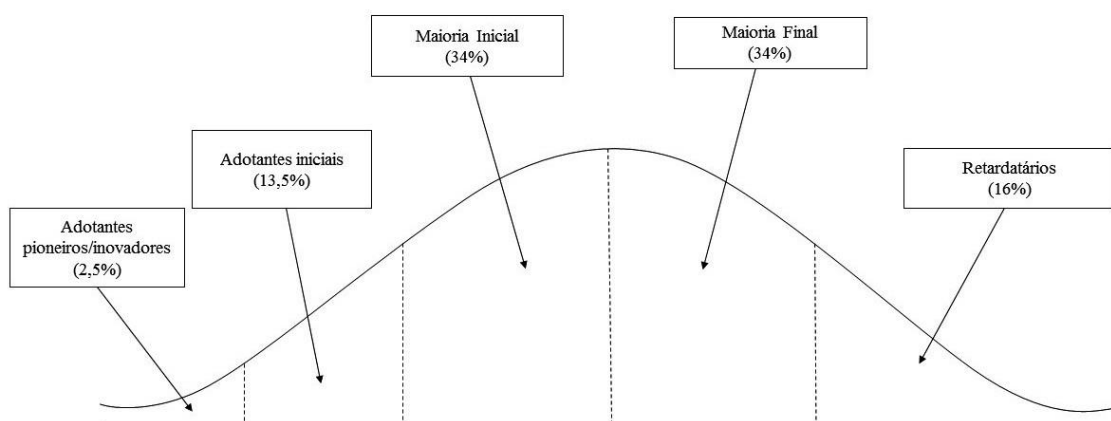
As influências sociais, culturais e pessoais possuem uma maior relevância nos estágios iniciais do processo de aprendizagem do indivíduo, consistem nas etapas de conscientização e avaliação não experimental da tecnologia (Quadro 7). A adoção de uma tecnologia no setor agropecuário geralmente é um processo social, já que o produtor rural tende a buscar informações nas redes de contatos (entidades de classe, cooperativas, associações, empresas de extensão, outros produtores rurais, etc.) ou opera como parte de uma equipe familiar que gerencia a propriedade rural. Quando uma decisão sobre a adoção tende a ser muito complexa, o processo de tomada de decisão do produtor tende a ser compartilhado socialmente (PANNELL *et al.*, 2006).

A adoção de tecnologia no setor agropecuário pode ser influenciada por uma série de fatores de ordem ambiental, cultural, econômica, institucional, política, social e

dentre outros. Tais fatores podem ser agrupados em quatro categorias gerais: (a) características da propriedade rural; (b) fatores decorrentes do ambiente socioeconômico; (c) características do produtor rural; e, (d) as características da própria tecnologia (TEY e BRINDAL, 2012; MWANGI e KARIUKI, 2015; SADIGOV, 2018; MUNGIA e LLEWELLYN, 2020). As características da propriedade rural, como a infraestrutura produtiva disponível, o tamanho e os atributos edafoclimáticos, podem exercer uma influência no processo de adoção de tecnologia no campo (SOUZA FILHO *et al.*, 2011).

A difusão de uma tecnologia na sociedade é relacionada diretamente com a simplicidade e facilidade de uso, para que assim ela possa ser testada e incorporada ao processo produtivo de uma empresa. A taxa de adoção de uma tecnologia num sistema social ocorrerá em etapas, conforme as características dos grupos sociais (Figura 2) (ROGERS, 2003).

Figura 2 - Categorias de adotantes de uma tecnologia num sistema social.



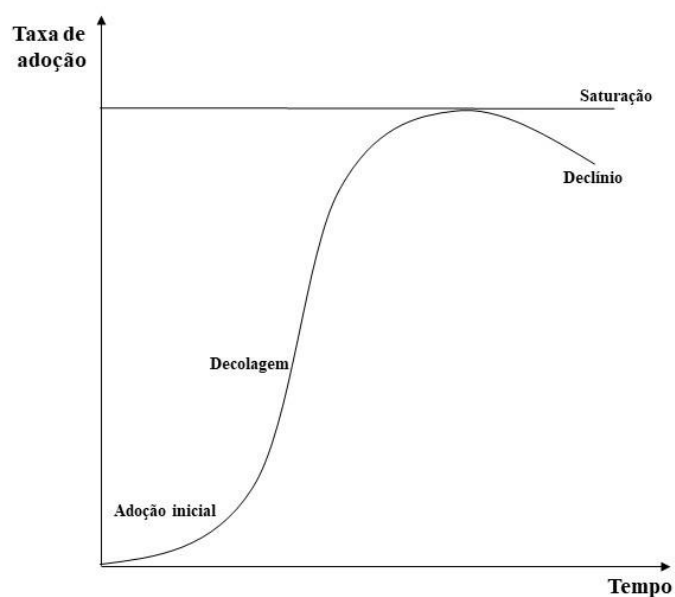
Fonte: Adaptado de Rogers (2003, p. 247).

Os tipos de adotantes de tecnologia num sistema social podem ser classificados em: (a) adotantes pioneiros/inovadores que correspondem aos entusiastas, sendo os primeiros a adotarem uma tecnologia (relacionam-se com 2,5% do total de atores do sistema); (b) adotantes iniciais se relacionam com os visionários, são fundamentais para o processo de difusão de uma tecnologia e possuem uma maior ligação com a cultura local, como é o caso de líderes de comunidades locais (relacionam-se com 13,5% do total do sistema); (c) maioria inicial se relacionam com os pragmáticos e decidem pela adoção quando os benefícios da tecnologia são comprovados e os riscos são baixos (correspondem a 34% do total do sistema); (d) maioria final se relacionam com os

conservadores e corresponde ao grupo social que adota a tecnologia após que a maior dos indivíduos do sistema social já tenha adotado (correspondem a 34% do total do sistema); e, (e) retardatários se relacionam com os últimos atores a adotarem determinada tecnologia e, geralmente, são resistentes ao processo de mudança (correspondem a 16% do total do sistema) (Figura 2) (ROGERS, 2003).

A difusão de uma tecnologia em um sistema social possui o comportamento de um “S” com o passar do tempo (Figura 3) (GRILICHES, 1957; MANSFIELD, 1961; SUNDING e ZILBERMAN, 2001; ROGERS, 2003; UGOCHUKWU e PHILLIPS, 2019).

Figura 3 - Difusão de uma tecnologia em um sistema social.



Fonte: Adaptado de Sunding e Zilberman (2001, p. 230).

O processo de difusão de tecnologia num sistema inicial começa de modo lento (estágio “*adoção inicial*”), com uma baixa taxa de adoção entre os indivíduos. À medida que o conhecimento e informações sobre a tecnologia vai se espalhando entre os indivíduos, a taxa de adoção da tecnologia passa a ter um crescimento crescente (estágio “*decolagem*”). Quando uma maior proporção de usuários finais potenciais adota outra tecnologia (que pode ser representada por uma nova prática ou insumo produtivo), tende a ter uma redução na taxa de adoção (estágio “*declínio*”) (Figura 3) (UGOCHUKWU e PHILLIPS, 2019).

Além do compartilhamento de conhecimento e informações sobre as tecnologias disponíveis entre os produtores rurais, é necessário levar em consideração outros fatores

que podem influenciar o processo de difusão tecnológica no setor agropecuário, tais como a disponibilidade de crédito e assistência técnica, o nível de escolaridade e idade dos produtores rurais, a infraestrutura produtiva das propriedades rurais, a participação dos indivíduos em organizações coletivas (associações, cooperativas, etc.) e dentre outros (TEY e BRINDAL, 2012; MWANGI e KARIUKI, 2015; SADIGOV, 2018; MUNGIA e LLEWELLYN, 2020).

#### **2.4 Determinantes da adoção de tecnologia no setor agropecuário**

O processo de adoção de tecnologia no setor agropecuário é um fenômeno multidimensional, sendo influenciado por uma série de fatores ambientais, culturais, econômicos, políticos e sociais (TEY e BRINDAL, 2012; MWANGI e KARIUKI, 2015; SADIGOV, 2018; MUNGIA e LLEWELLYN, 2020). Tais fatores podem ser divergentes de acordo com as características de uma determinada região. Esse tipo de informação se torna relevante para a elaboração de políticas públicas de difusão de tecnologia no setor agropecuário dos países (GARNETT e GODFREY, 2012; GARNETT *et al.*, 2013; PETRY *et al.*, 2019; YASEEN *et al.*, 2023).

O acesso ao crédito está entre os principais elementos que podem contribuir para um aumento na produção de alimentos e reduzir o nível de pobreza na população rural. O crédito pode facilitar a compra de insumos e máquinas e equipamentos pelos produtores rurais e possibilitar a realização de investimentos no estabelecimento agropecuário (MOHAMED e TEMU, 2008). A disponibilidade de crédito é importante para a promoção do uso de novos insumos e práticas produtivas por produtores rurais em países em Desenvolvimento (NASERELDIN *et al.*, 2023).

A disponibilidade de crédito é um fator que exerce influência positiva no processo de adoção de tecnologia no setor agropecuário (ZELLER *et al.*, 1998; PEREIRA *et al.*, 2010; TADESSE, 2014; LÄPPLE *et al.*, 2015; KUMAR *et al.*, 2021; TEFAY e MORAL, 2021). É importante que os produtores rurais tenham acesso à recursos financeiros para serem capazes de realizar testes de uso da tecnologia (experimentabilidade) e para a implementação em escala da nova prática ou insumo na propriedade rural (GHADIM e PANNELL, 1999; PANNELL *et al.*, 2006; SOUZA FILHO *et al.*, 2011; WEERSINK e FULTON, 2020).

O acesso à linha de crédito exerceu uma influência positiva na adoção de cultivares milho e tabaco entre os produtores rurais de Malawi (ZELLER *et al.*, 1998). O crédito foi um importante fator que contribuiu para a adoção de tecnologia pós-

colheita (máquinas e equipamentos de beneficiamento do produto) entre os cafeicultores brasileiros (PEREIRA *et al.*, 2010). A disponibilidade de crédito exerceu uma influência positiva na adoção de fertilizantes entre os produtores rurais da Etiópia (TADESSE, 2014).

A disponibilidade de crédito contribuiu para a adoção de *softwares* de gerenciamento da propriedade rural entre os produtores rurais de carne bovina e leite na Irlanda (LÄPPLE *et al.*, 2015). O acesso ao crédito exerceu uma influência positiva na adoção de sementes melhoradas geneticamente de arroz, milho e trigo entre os produtores rurais na Índia (KUMAR *et al.*, 2021). A disponibilidade de crédito exerceu uma influência positiva na adoção de fertilizantes inorgânicos por parte dos produtores rurais da Etiópia (TESFAY e MORAL, 2021). Dessa forma, a primeira hipótese da presente pesquisa foi:

**H1:** O acesso ao crédito exerce influência positiva na adoção de tecnologias sustentáveis.

O processo de adoção de tecnologia no setor agropecuário é diferenciado entre as propriedades rurais em função da capacidade cognitiva dos produtores (VIEIRA FILHO e SILVEIRA, 2011; CARVALHO *et al.*, 2014). O serviço de assistência técnica é importante para o processo de aprendizagem do produtor rural quanto ao uso de uma nova tecnologia (MARRA *et al.*, 2003). A maior das empresas rurais são usuárias de tecnologia e conhecimento, atribuindo assim, a importância do serviço de assistência técnica para que os produtores rurais tenham acesso às novas práticas produtivas disponíveis no mercado (BESSANT, 2005).

O serviço de assistência técnica é fundamental para o compartilhamento de informações locais e globais no setor agropecuário. Dessa maneira, os produtores rurais possuem condições de tomar as melhores decisões sobre a adoção de determinada tecnologia, bem como contribui para uma melhora do nível de produtividade das atividades agropecuárias e fomenta o Desenvolvimento Rural nos países (NORTON e ALWANG, 2020).

O acesso ao serviço de assistência técnica é outro fator que exerce influência positiva no processo de adoção de tecnologia no setor agropecuário (BAIDU-FORSON, 1999; LEIB *et al.*, 2002; ABEBE *et al.*, 2013; LÄPPLE *et al.*, 2015; ZAKARIA *et al.*, 2020; BERNAL-HERNÁNDEZ *et al.*, 2021; EMONGOR *et al.*, 2023; WETCHASIT e LILAVANICHAKUL, 2023; NGAIWI *et al.*, 2023; NASERELDIN *et al.*, 2023).

O serviço de assistência técnica teve uma influência positiva na adoção de práticas que promoviam a conservação do solo e água entre os produtores rurais de Níger (BAIDU-FORSON, 1999). A assistência técnica exerceu uma influência positiva na adoção de sistema de irrigação entre os produtores rurais de batata e frutas nos Estados Unidos (LEIB *et al.*, 2002). O acesso ao serviço de assistência técnica auxiliou na adoção de novas cultivares de batata pelos produtores rurais na Etiópia (ABEBE *et al.*, 2013).

Foi alcançada uma influência positiva da assistência técnica sobre a adoção de sistemas de gerenciamento da propriedade rural entre os produtores rurais de leite irlandeses (LÄPPLE *et al.*, 2015). O acesso ao serviço de assistência técnica auxiliou os produtores rurais de Gana a utilizarem uma diversidade técnicas e insumos (alteração da data de plantio, uso de cultivares de maturação precoce e tolerantes à seca, plantio em linha, sistema de preparo do solo de cultivo mínimo, cultivo de cultura de cobertura e produção agrícola orgânica) para o aprimoramento do sistema produtivo como forma de minimizar os impactos dos riscos agropecuários (variações climáticas, erosão e baixa fertilidade do solo) na produção de alimentos (ZAKARIA *et al.*, 2020).

O acesso ao serviço de assistência técnica teve influência positiva na adoção de novas práticas e insumos (monitoramento da área de cultivo e o uso de fertilizantes) entre os produtores rurais que cultivam dendê na Colômbia (BERNAL-HERNÁNDEZ *et al.*, 2021). Foi encontrada uma influência positiva do acesso do serviço de assistência técnica sobre a adoção de práticas integradas de fertilidade do solo pelos produtores rurais do Quênia (EMONGOR *et al.*, 2023). Por meio do serviço de assistência técnica os produtores rurais fizeram o uso de equipamentos de agricultura de precisão (drones e sensores) na Tailândia (WETCHASIT e LILAVANICHAKUL, 2023).

Através do serviço de assistência técnica os produtores rurais adotaram um conjunto de práticas conservacionistas (consórcio e rotação de culturas, sistema agroflorestal, cobertura verde e sistema de plantio direto) em Camarões (NGAIWI *et al.*, 2023). O acesso ao serviço de assistência técnica teve uma relação positiva com a adoção de novas cultivares de palmeira oleagenosa por parte dos produtores rurais na Tailândia (NASERELDIN *et al.*, 2023). Diante disso, a segunda hipótese da presente pesquisa foi:

**H2:** O acesso à assistência técnica exerce influência positiva na adoção de tecnologias sustentáveis.

A adoção de tecnologia no setor agropecuário é um processo social. O produtor rural tende a buscar informações sobre novas tecnologias disponíveis nas redes sociais (organizações coletivas como as associações, cooperativas, entidades de classe e redes de comercialização e os familiares) em que está inserido (PANNELL *et al.*, 2006; WEERSINK e FULTON, 2020). A participação dos produtores rurais em organizações coletivas é importante para impulsionar o processo de adoção de tecnologia no setor agropecuário (PANNELL *et al.*, 2006; SOUZA FILHO *et al.*, 2011; WEERSINK e FULTON, 2020; MUNGIA e LLEWELLYN, 2020) e para o compartilhamento de informações e experiências sobre o uso da tecnologia (ISAAC, 2012).

Em relação às organizações coletivas de produtores rurais, destaca-se o conceito de capital social. O capital social pode ser definido como o conjunto de redes de contatos dos indivíduos que podem ser representados pelas associações, cooperativas e grupos informais, bem como o grau de confiança e as normas e valores que governam a forma de interações entre as pessoas (COLLIER, 2002).

O capital social é usado como um termo para descrever a importância das relações sociais na vida cultural e econômica na sociedade. O termo inclui conceitos como a confiança e a solidariedade que existe entre as pessoas que trabalham em grupos e redes, e o uso da reciprocidade e da troca para construir relacionamentos a fim de alcançar resultados coletivos e mutuamente benéficos. Normas de comportamento, aliadas a sanções, ajudam a moldar o comportamento dos indivíduos, incentivando assim a ação coletiva e a cooperação para o bem comum (PRETTY *et al.*, 2011).

A participação dos produtores rurais em organizações coletivas exerce uma influência positiva no processo de adoção de tecnologia no setor agropecuário (PEREIRA *et al.*, 2010; ISAAC, 2012; ENRIQUE-SANCHEZ *et al.*, 2017; NANKYA *et al.*, 2017; BERNAL-HERNANDEZ *et al.*, 2021; SIQUEIRA *et al.*, 2021; FILIPPINI *et al.*, 2021; JONES-GARCIA e KRISHNA, 2021; KUMAR *et al.*, 2021; MULWA *et al.*, 2021; NASERELDIN *et al.*, 2023; OTIENO *et al.*, 2023; WETCHASIT e LILAVANICHAKUL, 2023).

A participação dos cafeicultores brasileiros numa associação contribuiu para a adoção de tecnologia pós-colheita (máquinas e equipamentos de beneficiamento do produto) (PEREIRA *et al.*, 2010). A participação dos produtores rurais em organizações coletivas (associações e redes informais) teve influência positiva na adoção de práticas de manejo de cacau em Gana (ISAAC, 2012).

Ocorreu uma influência positiva da participação dos produtores rurais mexicanos em uma cooperativa sobre a adoção de técnicas produtivas de queijo (ENRIQUE-

SANCHEZ *et al.*, 2017). Em Uganda, a participação dos produtores rurais em grupos coletivos foi importante para a adoção de novas cultivares de feijão e banana (NANKYA *et al.*, 2017). Na Colômbia, a participação dos produtores de dendê em uma associação exerceu uma influência positiva na adoção de técnicas de monitoramento da área de cultivo (pragas e doenças) e no uso de fertilizantes (BERNAL-HERNÁNDEZ *et al.*, 2021).

A participação de produtores rurais brasileiros em cooperativas exerceu uma influência positiva na adoção de práticas produtivas na bovinocultura de leite (SIQUEIRA *et al.*, 2021). Uma parceria estabelecida entre os produtores rurais italianos para o compartilhamento de máquinas e equipamentos e mão de obra exerceu uma influência positiva sobre o uso de smartphones para fins profissionais (busca de informações técnicas na internet) (FILIPPINI *et al.*, 2021).

Foi verificado uma influência positiva da participação dos produtores rurais em organizações coletivas (associações e cooperativas) sobre o uso de práticas produtivas e insumos (uso de fertilizantes químicos e orgânicos, sementes melhoradas geneticamente, consórcio e rotação de culturas, práticas que promovem a conservação do solo e água e manejo integrado de pragas) para o cultivo de milho em países do Hemisfério Sul (JONES-GARCIA e KRISHNA, 2021).

A inserção de produtores rurais indianos em redes de contatos com outros agentes (produtores rurais, empresas fornecedoras de insumos e agentes do setor público) influenciou positivamente na adoção de sementes melhoradas geneticamente de arroz, milho e trigo (KUMAR *et al.*, 2021). A participação dos produtores rurais em redes de comercialização de grãos foi importante para o processo de adoção de sementes melhoradas geneticamente e fertilizantes inorgânicos no Quênia (MULWA *et al.*, 2021).

Associado ao aumento de conhecimento, a participação de produtores rurais em redes sociais com pessoas de diferentes formações e ocupações, com pontos de vista contrastantes, auxilia no desenvolvimento de pensamentos flexíveis e abertos e ajuda a romper com as rotinas mentais. Dessa forma, uma ampla base de conhecimento, associada a habilidades cognitivas específicas e variáveis comportamentais do indivíduo, a inserção dos produtores em organizações coletivas pode potencializar o processo de adoção e difusão de tecnologia no setor agropecuário (SOUZA FILHO *et al.*, 2011).

As informações e o conhecimento de novas tecnologias do setor agropecuário podem ser obtidos por meio do contato com vizinhos (produtores rurais), reuniões de



grupo, consultores, reuniões técnicas, seminários, cursos, programas de treinamento, associações, cooperativas, entidades de classes, etc (SOUZA FILHO *et al.*, 2011). Ocorreu uma relação positiva da adoção de tecnologia com a participação dos produtores rurais em programas de treinamento (NASERELDIN *et al.*, 2023, OTIENO *et al.*, 2023; WETCHASIT e LILAVANICHAKUL, 2023). Diante disso, a terceira hipótese da presente pesquisa foi:

**H3:** A participação de produtores rurais em organizações coletivas exerce influência positiva na adoção de tecnologias sustentáveis.

A participação dos produtores rurais em entidades de ação coletiva possibilita a troca e obtenção de informações técnicas e experiências sobre a utilização de tecnologias nos sistemas produtivos agropecuários, auxilia no acesso aos serviços de assistência técnica e crédito, acesso a mercados e redução nos custos produtivos, por exemplo, por meio da compra coletiva de insumos (LLEWELLYN, 2007; SOUZA FILHO *et al.*, 2011; WOSSEN *et al.*, 2015; NANKYA *et al.*, 2017).

A capacidade de obter e processar informações técnicas e a habilidade no uso de práticas agropecuárias e de métodos de gerenciamento mais sofisticados, podem contribuir para o sucesso da empresa rural. A informação desempenha um importante papel no processo de distinção de oportunidades potencialmente valiosas de outras de valor inferior e na capacidade de explorá-las efetivamente (SOUZA FILHO *et al.*, 2011).

A participação em uma cooperativa pode proporcionar alguns benefícios aos produtores como o poder de compensação (possibilidade de poder de barganha de negociação na comercialização de insumos e produtos agropecuários), possibilidade de escoamento da produção para diferentes tipos de mercados, estabilidade de preços de insumos e produtos, acesso a informações e aos serviços de apoio a produção e de capacitação profissional, bem como acesso ao crédito. Esses benefícios contribuem principalmente para a minimização das falhas de mercado (HENDRIKSE e FENG, 2013).

A participação de produtores rurais em associações contribuiu para o acesso ao crédito na Etiópia (WOSSEN *et al.*, 2015). Em Gana, a participação dos produtores em organizações coletivas foi importante para conectar os indivíduos aos mercados de insumos e a recursos essenciais, como os serviços de assistência técnica e acesso as escolas de campo (ZAKARIA *et al.*, 2020). Diante disso, as duas próximas hipóteses

foram:

**H4:** A participação dos produtores em organizações coletivas exerce influência positiva no acesso ao crédito.

**H5:** A participação dos produtores rurais em organizações coletivas exerce influência positiva no acesso à assistência técnica.

As características da propriedade rural podem exercer uma influência sobre o processo de adoção de tecnologia no setor agropecuário (TEY e BRINDAL, 2012; MWANGI e KARIUKI, 2015; SADIGOV, 2018; MUNGIA e LLEWELLYN, 2020). As características edafoclimáticas da propriedade, como a topografia, características do solo e disponibilidade de água podem influenciar no tipo de tecnologia que é empregada na propriedade rural (SOUZA FILHO *et al.*, 2011; SOUZA FILHO e VINHOLIS, 2021). A decisão do produtor em adotar determinada tecnologia é afetada pelas especificidades do estabelecimento agropecuário (SOUZA FILHO e VINHOLIS, 2021).

O solo é considerado fértil quando possui em quantidade suficiente e balanceada os nutrientes e água essenciais para o desenvolvimento das plantas (DENARDIN *et al.*, 2014; RONQUIM, 2020). A disponibilidade de água nas propriedades rurais se torna essencial para a expansão da produção de alimentos no Brasil (BOLFE *et al.*, 2016). Em algumas regiões brasileiras, como o Semiárido Nordeste, caracterizada pela escassez de chuvas em um longo período do ano, a falta de água prejudica a produção agropecuária nessas localidades (FREITAS e CASTRO, 2020).

A disponibilidade de água na propriedade rural exerce influência positiva na adoção de tecnologia no setor agropecuário (CHANDRAN e SURENDRAN, 2015; YANG *et al.*, 2020; YANG *et al.*, 2021; KHAREL *et al.*, 2023). Na Índia, o acesso à água contribuiu para o uso de fertilizantes pelos produtores de banana, coco, ervilha e tomate (CHANDRAN e SURENDRAN, 2015).

O acesso à água nas propriedades rurais contribuiu para o uso de fertilizantes na produção de tomate cereja (YANG *et al.*, 2020) e banana (YANG *et al.*, 2021) na China. No Nepal, a disponibilidade de água possibilitou o uso de fertilizantes em propriedades rurais especializadas na produção de hortaliças (KHAREL *et al.*, 2023). A sexta hipótese da presente pesquisa foi:

**H6:** A disponibilidade de água nas propriedades rurais exerce influência positiva na

adoção de tecnologias sustentáveis.

A presença de máquinas e equipamentos na propriedade rural exerce influência no processo de adoção de tecnologia do setor agropecuário (PANNELL *et al.*; 2006; SOUZA FILHO *et al.*, 2011; JONES-GARCIA e KRISHNA, 2021). Existem máquinas e equipamentos produtivos (como por exemplo, tratores, semeadeiras/plantadeiras, adubadeiras, colheitadeiras e distribuidores de calcário) que podem auxiliar na incorporação de uma nova prática produtiva ou insumo na propriedade rural (PANNELL *et al.*, 2006) e para a busca de informações técnicas que podem auxiliar no processo de tomada de decisão do produtor rural, como os computadores e celulares com conexão na internet (SOUZA FILHO *et al.*, 2011).

A existência de máquinas e equipamentos produtivos na propriedade rural exerce influência positiva na adoção de tecnologia no setor agropecuário (CHAVES, 2002; VILELA *et al.*, 2007; ZONTA *et al.*, 2012; PASSOS *et al.*, 2018; TELLES *et al.*, 2021). A presença de máquinas e equipamentos produtivos é importante para a incorporação de práticas produtivas como o SPD (PASSOS *et al.*, 2018; TELLES *et al.*, 2021) e o uso de fertilizantes (ZONTA *et al.*, 2012) e corretivos (CHAVES, 2002; VILELA *et al.*, 2007) nas áreas de cultivo e de pastagens nas propriedades rurais. Dessa forma, a sétima hipótese da presente pesquisa foi:

**H7:** A existência de máquinas e equipamentos produtivos nas propriedades rurais exerce influência positiva na adoção de tecnologias sustentáveis.

O acesso à informações técnicas (por exemplo, a existência de novas práticas produtivas e insumos que podem ser utilizadas na propriedade) é possível por meio do uso de itens tecnológicos (aparelhos com conexão à internet, como computadores e celulares, rádio e televisão) e materiais técnicos como jornais, revistas e boletins informativos direcionados aos produtores rurais. As informações técnicas são um importante recurso que auxiliam o processo de tomada de decisão do produtor quanto à escolha das melhores oportunidades de mercado e formas de gerir o negócio rural (SOUZA FILHO *et al.*, 2011).

A existência de fontes de informação na propriedade rural que possibilitem a obtenção de informações técnicas exerce influência positiva na adoção de tecnologia no setor agropecuário (LEIB *et al.*, 2002; FILIPPINI *et al.*, 2020; GUIA *et al.*, 2021; SALIK *et al.*, 2021). O uso de computadores foi importante para a implantação e

monitoramento do sistema de irrigação em propriedades rurais especializadas na produção de batata e frutas nos Estados Unidos (LEIB *et al.*, 2002). A presença de computadores contribuiu para a implantação de sistemas de gerenciamento das atividades administrativas e produtivas de propriedades rurais (GIUA *et al.*, 2021).

A utilização de celulares (FILIPPINI *et al.*, 2020) e rádio (SALIK *et al.*, 2021) ficou demonstrado ser fundamental para os produtores rurais terem acesso a informações de mercado, práticas produtivas como a de manejo do solo, seleção de cultivares e fertilizantes adequados, tratos culturais e planejamento do ciclo produtivo. A oitava hipótese da presente pesquisa foi:

**H8:** A existência de fontes de informações técnicas nas propriedades rurais exercem influência positiva na adoção de tecnologias sustentáveis.

As características do produtor rural também pode exercer uma influência sobre o processo de adoção de tecnologia no setor agropecuário, como o nível de escolaridade do indivíduo (TEY e BRINDAL, 2012; MWANGI e KARIUKI, 2015; SADIGOV, 2018; MUNGIA e LLEWELLYN, 2020). O uso de tecnologias conservacionistas na propriedade rural requer a aquisição de novas habilidades de gestão por parte do produtor rural (KNOWLER e BRADSHAW, 2007).

O nível de escolaridade do produtor rural está relacionado não somente com a habilidade de obter e processar informações, mas também com a capacidade do indivíduo em realizar o uso de técnicas de gerenciamento mais sofisticadas na propriedade rural (SOUZA FILHO e VINHOLIS, 2021).

Para o uso de fertilizantes e corretivos na propriedade rural, é necessário seguir as recomendações técnicas realizadas após a análise do solo (LINQUIST *et al.*, 2007), o uso do SPD tem-se a necessidade de utilização de máquinas e equipamentos especializados para o preparo do solo e a semeadura (TELLES, 2015) e na rotação de culturas exige-se o planejamento adequado da área de cultivo (ISGA, 2010; FRANCHINI *et al.*, 2011).

O nível de escolaridade do produtor rural possui uma relação positiva com a adoção de tecnologia no setor agropecuário (PEREIRA *et al.*, 2010; LÄPPLE *et al.*, 2015; ASHARF *et al.*, 2015; BROWN *et al.*, 2016; BROWN e ROPER, 2017; MULWA *et al.*, 2021; EMONGOR *et al.*, 2023).

Em Minas Gerais (Brasil), foi encontrada uma relação positiva entre o nível de escolaridade dos produtores rurais com a adoção de máquinas e equipamentos de

beneficiamento de café (PEREIRA *et al.*, 2010). Foi encontrada uma influência positiva do nível de escolaridade dos produtores rurais sobre a adoção de sistemas de gestão na bovinocultura de leite na Irlanda (LÄPPLE *et al.*, 2015).

O nível de escolaridade dos produtores rurais exerceu uma influência positiva na adoção de práticas melhoradas de cultivo de citrus em Punjab, Paquistão (ASHARF *et al.*, 2015). Foi encontrada uma relação positiva entre o nível de escolaridade dos produtores rurais e a adoção de práticas produtivas que promovem a conservação do solo e água na Nova Zelândia (BROWN *et al.*, 2016).

Na Nova Zelândia, o nível de escolaridade dos produtores teve uma relação positiva com a adoção de práticas produtivas que promovem a conservação do solo e o uso de sistemas de gestão da propriedade rural (BROWN e ROPER, 2017). O nível de escolaridade teve uma relação positiva com o uso de fertilizantes e sementes melhoradas geneticamente entre os produtores rurais do Quênia (MULWA *et al.*, 2021). No Quênia também foi encontrado uma relação positiva entre o nível de escolaridade dos produtores rurais com a adoção de práticas integradas de fertilidade do solo (EMONGOR *et al.*, 2023). Dessa forma, a nona hipótese foi:

**H9:** O maior grau de escolaridade dos produtores rurais exerce influência positiva na adoção de tecnologias sustentáveis.

A idade do produtor rural é outro fator que pode exercer uma influência no processo de adoção de tecnologia no setor agropecuário (TEY e BRINDAL, 2012; MWANGI e KARIUKI, 2015; SADIGOV, 2018; MUNGIA e LLEWELLYN, 2020). Os produtores rurais mais velhos podem ser menos energéticos, ter um horizonte de planejamento mais curto (em relação aos mais jovens) e possuem uma maior resistência frente às mudanças que devem ser realizadas no sistema de produção quando se implanta uma nova tecnologia (SOUZA FILHO *et al.*, 2011; MADEIRA *et al.*, 2022).

Os produtores rurais mais jovens, são mais facilmente atraídos por novidades e, mais provavelmente, serão os primeiros a adotar determinada tecnologia no setor rural (SOUZA FILHO *et al.*, 2011). A idade dos produtores rurais possui uma relação negativa com a adoção de tecnologia no setor agropecuário (D'SOUSA *et al.*, 1993; OSO e OGUNYEMI, 2014; JENSEN *et al.*, 2014; BUCCI *et al.*, 2019).

Foi encontrada uma relação negativa entre a idade dos produtores e o uso de fertilizantes, rotação de culturas e manejo de controle de plantas daninhas em propriedades rurais nos Estados Unidos (D'SOUZA *et al.*, 1993). A idade dos

produtores rurais teve uma relação negativa com a adoção de sementes melhoradas geneticamente no Timor Leste (JENSEN *et al.*, 2014). Encontrou-se uma relação negativa entre a idade dos produtores rurais e a adoção de técnicas produtivas de cultivo de mandioca na Nigéria (OSO e OGUNYEMI, 2014). Foi encontrada uma relação negativa entre a idade dos produtores rurais e a adoção de tecnologias de agricultura de precisão na Itália (BUCCI *et al.*, 2019). Dessa forma, a décima hipótese da presente pesquisa foi:

**H10:** A maior faixa etária de produtores rurais exerce influência negativa na adoção de tecnologias sustentáveis.

De forma geral, observou-se que os fatores acessos aos serviços de crédito e a assistência técnica, a participação dos produtores rurais em entidades de ação coletiva, a disponibilidade de água e a presença de máquinas e equipamentos produtivos na propriedade rural, fontes para a obtenção de informações técnicas (aparelhos com conexão à internet, jornais, revistas, rádios e televisão) e o nível de escolaridade do produtor exercem uma influência positiva no processo de adoção de tecnologia no setor agropecuário. Por sua vez, a idade dos produtores possui uma relação negativa com a adoção de tecnologia no campo (Quadro 8).

Quadro 8 - Fatores que influenciam o processo de adoção de tecnologia no setor agropecuário

<b>Hipótese</b>	<b>Fatores</b>	<b>Influência na adoção de tecnologia</b>	<b>Autores</b>
H1	Acesso ao crédito	Positiva	Zeller <i>et al.</i> (1998); Pereira <i>et al.</i> (2010); Tadesse (2014); Läpple <i>et al.</i> (2015); Kumar <i>et al.</i> (2021); Tesfay e Moral (2021)
H2	Acesso à assistência técnica	Positiva	Baidu-Forson (1999); Leib <i>et al.</i> (2002); Abebe <i>et al.</i> (2013); Läpple <i>et al.</i> (2015); Zakaria <i>et al.</i> (2020); Bernal-Hernández <i>et al.</i> (2021); Emongor <i>et al.</i> (2023); Wetchasit e Lilavanichakul (2023); Ngaiwi <i>et al.</i> (2023); Nasereldin <i>et al.</i> (2023)
H3	Participação em organizações coletivas	Positiva	Pereira <i>et al.</i> (2010); Isaac (2012); Enrique-Sanchez <i>et al.</i> (2017); Nankya <i>et al.</i> (2017); Bernal-Hernández <i>et al.</i> (2021); Siqueira <i>et al.</i> (2021); Filippini <i>et al.</i> (2021); Jones-Garcia e Krishna (2021); Kumar <i>et al.</i> (2021); Mulwa <i>et al.</i> (2021); Nasereldin <i>et al.</i> (2023); Otieno <i>et al.</i> (2023); Wetchasit e Lilavanichakul (2023)
H6	Fonte de água	Positiva	Chandran e Surendran (2015); Yang <i>et al.</i> (2020); Yang <i>et al.</i> (2021); Kharel <i>et al.</i> (2023)
H7	Presença de máquinas e equipamentos produtivos na propriedade	Positiva	Chaves (2002); Vilela <i>et al.</i> (2007); Zonta <i>et al.</i> (2012); Passos <i>et al.</i> (2018); Telles <i>et al.</i> (2021)
H8	Existência de fontes de informações técnicas	Positiva	Leib <i>et al.</i> (2002); Giua <i>et al.</i> (2021); Jones-Garcia e Krishna (2021); Salik <i>et al.</i> (2021)
H9	Nível de escolaridade dos produtores rurais	Positiva	Pereira <i>et al.</i> (2010); Läpple <i>et al.</i> (2015); Asharf <i>et al.</i> (2015); Brown <i>et al.</i> (2016); Brown e Roper (2017); Mulwa <i>et al.</i> (2021); Emongor <i>et al.</i> (2023)
H10	Idade dos produtores rurais	Negativa	D'Sousa <i>et al.</i> (1993), Oso e Ogunyemi (2014); Jensen <i>et al.</i> (2014); Bucci <i>et al.</i> (2019)

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 2.5 Abordagem sistêmica do processo de adoção de tecnologias sustentáveis e os efeitos no setor agropecuário

Para atender à crescente demanda mundial de alimentos e promover a conservação dos recursos naturais, no setor agropecuário deve haver uma difusão de tecnologias que auxiliem o aumento da produtividade e a conservação do solo nas propriedades rurais (PATHAK *et al.*, 2019). As tecnologias conservacionistas visam promover a conservação do solo, protegendo-o dos efeitos danosos do processo erosivo, aumentando a disponibilidade de água e nutrientes para o desenvolvimento das plantas (culturas e pastagens) (ALVARENGA *et al.*, 2018).

A tecnologia possibilita um aumento na produtividade total dos fatores no setor agropecuário, em especial a do trabalho (SOUZA FILHO *et al.*, 2011; FORNAZIER e VIEIRA FILHO, 2012). Possibilita também um aprimoramento nas condições de cultivo da propriedade rural (VAN der VEEN, 2010). A tecnologia foi um dos principais fatores que contribuíram para o aumento da lucratividade na produção agropecuária brasileira desde a década de 1960 (início do movimento de Revolução Verde), possibilitou um aumento da renda bruta (por meio da melhoria da produtividade) e a redução dos custos produtivos (ALVES *et al.*, 2012).

O aumento ou manutenção do nível de produtividade da propriedade rural pode ser alcançado por meio do uso da rotação de culturas (BORDOVSKY *et al.*, 1994; ADHIKARI e BASNYAT, 1998; PALA *et al.*, 2007; FRANCHINI *et al.*, 2011; N'DAYEGAMIYE *et al.*, 2017; DEGANI *et al.*, 2019; BRANKOV *et al.*, 2021; VOLSI *et al.*, 2022), SPD (BORDOVSKY *et al.*, 1994; DERPSCH *et al.*, 2010; SOMASUNDARAM *et al.*, 2020; HARUNA e ANDERSON, 2022; WEIDHUNER *et al.*, 2022; YOKOYAMA *et al.*, 2022; FOLONI *et al.*, 2023), fertilizantes (SENEVIRATNE *et al.*, 2000; LINQUIST *et al.*, 2007; PALA *et al.*, 2007; WAIREGI e ASTEN, 2010; BROWN *et al.*, 2016; MELLO *et al.*, 2018; YANG *et al.*, 2018; BRANDT *et al.*, 2020; LI *et al.*, 2021; SANCHES *et al.*, 2021; CHEN, Limei, *et al.*, 2022; LI *et al.*, 2022; ZHAI *et al.*, 2022; EJIGU *et al.*, 2023; FOLONI *et al.*, 2023) e corretivos (CONYERS *et al.*, 2003; TANG *et al.*, 2003; MULLEN *et al.*, 2006; NATALE *et al.*, 2007; HOLLAND *et al.*, 2018; HOLLAND e BEHRENDT, 2021; HIJBEEK *et al.*, 2021; WANG, H. *et al.*, 2021; EJIGU *et al.*, 2023). Diante disso, a décima primeira hipótese da presente pesquisa foi:

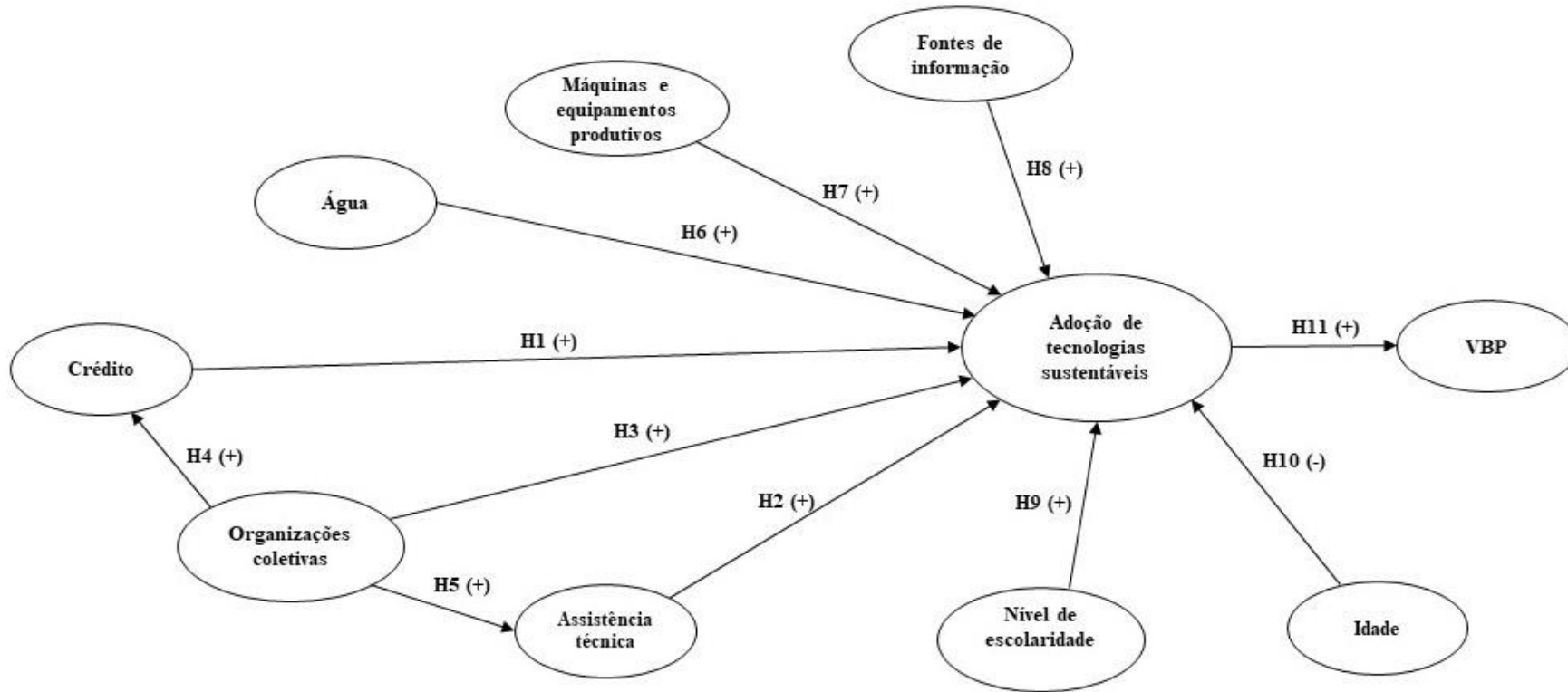
**H11:** A adoção de tecnologias sustentáveis exerce uma influência positiva no VBP do



setor agropecuário.

No contexto brasileiro, a difusão de tecnologias sustentáveis se torna relevante para diminuir o nível de desigualdade no campo (VIEIRA FILHO e FISHLOW, 2017) e promover um melhor uso do solo na produção de alimentos (minimizando a ação do processo de erosão hídrica) no país (ZONTA *et al.*, 2012). Dessa forma, foi possível elaborar um modelo teórico que seja capaz de orientar o desenvolvimento de políticas públicas para o setor agropecuário brasileiro (Figura 4).

Figura 4 - Modelo estrutural de fatores associados ao processo de adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O processo de adoção de tecnologia no setor agropecuário é multidimensional e influenciado por uma série de fatores, sendo relacionados aos aspectos ambiental, cultural, econômico, institucional, político e social (TEY e BRINDAL, 2012; MWANGI e KARIUKI, 2015; SADIGOV, 2018; MUNGIA e LLEWELLYN, 2020). E a difusão de tecnologias sustentáveis podem contribuir para o crescimento do setor agropecuário brasileiro, por meio da expansão do VBP em função do crescimento da produtividade dos fatores produtivos.

A literatura internacional sobre os determinantes do processo de adoção de tecnologia no setor agropecuário não conseguiu convergir para um modelo teórico que fosse capaz de fornecer uma explicação consistente da razão dos produtores rurais em adotarem determinada tecnologia (MUNGIA e LLEWELLYN, 2020). Por meio do desenvolvimento do modelo estrutural (Figura 4), foi possível contribuir para o preenchimento desta lacuna.

### **3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

#### **3.1 Especificação das questões de pesquisa**

As questões investigativas da presente pesquisa foram: (a) “*Quais fatores relacionados ao ambiente socioeconômico e às características das propriedades e produtores rurais estão associados à adoção de tecnologias sustentáveis solo no setor agropecuário brasileiro?*”; e, (b) “*A adoção de tecnologias sustentáveis pode contribuir para uma expansão do valor bruto da produção (VBP) do setor agropecuário?*”. Dessa forma, foi possível analisar os fatores que influenciaram o processo de adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário brasileiro e realizar a indicação de políticas públicas que podem contribuir para o Desenvolvimento rural do país.

#### **3.2 Natureza da pesquisa**

O presente estudo utilizou o método hipotético-dedutivo para uma melhor compreensão do processo de adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário brasileiro e, verificou-se o uso destas tecnologias exerceu algum tipo de influência sobre o VBP do setor rural.

O método hipotético-dedutivo se inicia a partir da identificação de um problema de pesquisa ou lacuna existente no conhecimento científico. E, a partir dessa etapa inicial, passa-se para a formulação de hipóteses e, posteriormente, foi realizado um processo de inferência dedutiva, o qual se testa a predição da ocorrência de fenômenos abrangidos nas hipóteses formuladas (PRODANOV e FREITAS, 2013).

#### **3.3 Procedimento de coleta de dados e variáveis**

Para o alcance dos objetivos propostos, os dados foram extraídos do Censo Agropecuário de 2017, elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Ao todo, foram elaborados dez construtos teóricos relacionados com a adoção de tecnologias sustentáveis, fatores relacionados à adoção (características do ambiente socioeconômico, propriedade rural e indivíduo) e VBP do setor agropecuário (Quadro 9).

Quadro 9 - Construtos e variáveis observáveis do modelo teórico de fatores associados a adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário brasileiro

<b>Construtos</b>	<b>Variáveis observáveis</b>
Adoção de tecnologias sustentáveis (AT)	AT1 – Total de estabelecimentos que fizeram uso de fertilizantes (orgânicos e/ou químicos) (unidades) (dividido por TE)
	AT2 – Total de estabelecimentos que fizeram uso da rotação de culturas (unidades) (dividido por TE)
	AT3 – Total de estabelecimentos que fizeram uso de corretivos (unidades) (dividido por TE)
	AT4 – Total de estabelecimentos que fizeram uso do sistema de plantio direto na palha* (unidades) (dividido por TE)
Acesso ao crédito (AC)	AC1 – Total de estabelecimentos que tiveram acesso ao crédito de bancos (incluía empréstimos e financiamentos provenientes de programas governamentais como o PRONAF, PROCERA e dentre outros) (unidades) (dividido por TE)
	AC2 – Total de estabelecimentos que tiveram acesso ao crédito de cooperativas de crédito (unidades) (dividido por TE)
	AC3 – Total de estabelecimentos que tiveram acesso ao crédito de governos (federal, estadual e/ou municipal) (incluía outras formas de financiamentos que não estejam vinculados diretamente aos programas governamentais de crédito rural concedidos via bancos) (unidades) (dividido por TE)
Acesso à assistência técnica (AS)	AS1 – Total de estabelecimentos que tiveram acesso à assistência técnica governamental (unidades) (dividido por TE)
	AS2 – Total de estabelecimentos que tiveram acesso à assistência técnica própria (quando o produtor rural possui a formação técnica necessária para o gerenciamento da atividade) ou contratada (unidades) (dividido por TE)
	AS3 – Total de estabelecimentos que tiveram acesso à assistência técnica de cooperativas (unidades) (dividido por TE)
	AS4 – Total de estabelecimentos que tiveram acesso à assistência técnica de empresas integradoras (unidades) (dividido por TE)
Participação em organizações coletivas (OC)	OC1 – Total de estabelecimentos em que o produtor rural foi vinculado a uma cooperativa (unidades) (dividido por TE)
	OC2 – Total de estabelecimentos em que o produtor rural foi vinculado a uma entidade de classe (unidades) (dividido por TE)
	OC3 – Total de estabelecimentos em que o produtor rural foi vinculado a uma associação ou movimento de produtores (unidades) (dividido por TE)
	OC4 – Total de estabelecimentos em que o produtor rural participou de reuniões técnicas e seminários (unidades) (dividido por TE)
Disponibilidade de água (DA)	DA1 – Total de estabelecimentos com acesso à água de nascentes protegidas ou não (unidades) (dividido por TE)
	DA2 – Total de estabelecimentos com acesso à água de rios ou riachos protegidos ou não (unidades) (dividido por TE)
	DA3 – Total de estabelecimentos com acesso à água de poços tubulares profundos jorrantes (unidades) (dividido por TE)

	DA4 – Total de estabelecimentos com a acesso à água de cisternas (unidades) (dividido por TE)
Máquinas e equipamentos produtivos (ME)	ME1 – Total de estabelecimentos que possuíam tratores (unidades) (dividido por TE)
	ME2 – Total de estabelecimentos que possuíam semeadeiras/plantadeiras (unidades) (dividido por TE)
	ME3 – Total de estabelecimentos que possuíam adubadeira, colheitadeira e/ou distribuidor de calcário (unidades) (dividido por TE)
Fontes de informação (FI)	FI1 – Total de estabelecimentos que tiveram acesso a informações técnicas por meio de revistas (unidades) (dividido por TE)
	FI2 – Total de estabelecimentos que tiveram acesso a informações técnicas por meio de jornais (unidades) (dividido por TE)
	FI3 – Total de estabelecimentos que tiveram acesso a informações técnicas por meio de televisão (unidades) (dividido por TE)
	FI4 – Total de estabelecimentos que tiveram acesso a informações técnicas por meio de rádio (unidades) (dividido por TE)
	FI5 – Total de estabelecimentos que tiveram acesso a informações técnicas por meio de aparelhos com conexão à internet (unidades) (dividido por TE)
Nível de escolaridade dos produtores rurais (NE)	NE1 – Total de estabelecimentos em que o produtor rural possuía o ensino superior completo (unidades) (dividido por TE)
	NE2 – Total de estabelecimentos em que o produtor rural possuía o regular de ensino médio ou 2º grau (unidades) (dividido por TE)
	NE3 – Total de estabelecimentos em que o produtor rural possuía o antigo científico, clássico e etc (médio 2º ciclo) (unidades) (dividido por TE)
	NE4 – Total de estabelecimentos em que o produtor rural possuía o regular de ensino fundamental ou 1º grau (unidades) (dividido por TE)
	NE5 – Total de estabelecimentos em que o produtor rural possuía o antigo ginasial (médio 1º ciclo) (unidades) (dividido por TE)
	NE6 – Total de estabelecimentos em que o produtor rural possuía o antigo primário (elementar) (unidades) (dividido por TE)
Idade dos produtores rurais (IP)	IP1 – Total de estabelecimentos em que o produtor tinha uma idade inferior a 25 anos (unidades) (dividido por TE)
	IP2 – Total de estabelecimentos em que o produtor rural tinha uma idade superior a 25 anos a menos de 35 anos (unidades) (dividido por TE)
	IP3 – Total de estabelecimentos em que o produtor rural tinha uma idade superior a 35 anos a menos de 45 anos (unidades) (dividido por TE)
	IP4 – Total de estabelecimentos em que o produtor rural tinha uma idade superior a 45 anos a menos de 55 anos (unidades) (dividido por TE)

	IP5 – Total de estabelecimentos em que o produtor rural tinha uma idade superior a 55 anos a menos de 65 anos (unidades) (dividido por TE)
	IP6 – Total de estabelecimentos em que o produtor rural tinha uma idade superior a 65 anos (unidades) (dividido por TE)
Valor bruto da produção (VBP)	VBP1 – Valor bruto da produção total (em reais – R\$) (dividido por TE)
	VBP2 – Valor bruto da produção total (em reais – R\$) (dividido por AE)
	VBP3 – Valor bruto da produção total (em reais – R\$) (dividido por PO)

Fonte: IBGE (2017).

\**Proxy* da tecnologia de sistema de plantio direto (Apenas dois componentes foram respeitados, o baixo revolvimento do solo no ato da semeadura e a presença da palhada na área de cultivo)

Nota: AE – Área total dos estabelecimentos; PO – Pessoal ocupado; TE – Total de estabelecimentos.

As variáveis observáveis foram relativizadas em relação ao total de estabelecimentos (TE), área total dos estabelecimentos (AE) ou pessoal ocupado (PO) (LAVORATO e FERNANDES, 2016; MADEIRA *et al.*, 2019; LOBÃO e STADUTO, 2020) (Quadro 9). Na análise descritiva das variáveis foram utilizados os *softwares* GeoDa® para a elaboração dos mapas do território nacional, o Jamovi® para a análise gráfica dos dados nas microrregiões brasileiras e o Stata® versão 17 para a determinação do Alfa de Cronbach das variáveis observáveis de cada construto.

### 3.4 Delimitação da amostra

Para uma melhor compreensão do processo de adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário brasileiro, é necessário levar em consideração a diversidade dos tipos de propriedades rurais que existem ao longo do território nacional. Essas diferenças estão relacionadas às características socioeconômicas e produtivas dos estabelecimentos agropecuários, como o acesso aos serviços de assistência técnica e crédito, a disponibilidade de máquinas e equipamentos produtivos na propriedade, ao nível de escolaridade do produtor, etc. (FORNAZIER e VIEIRA FILHO, 2012).

A unidade de análise foram as microrregiões brasileiras (558). A região Nordeste foi a que possuiu a maior quantidade, com 188 unidades (corresponde a 33,69% do total nacional) e 2,91 milhões de estabelecimentos agropecuários, seguido do Sudeste com 160 (corresponde a 28,67% do total nacional), Sul com 94 (corresponde a 16,84% do total nacional), Norte com 64 (corresponde a 11,46% do total nacional) e Centro-Oeste com 52 (corresponde a 9,31% do total nacional) no ano de 2017 (Tabela 3).

Tabela 3 - Microrregiões brasileiras em 2017

<b>Localidade</b>	<b>Microrregiões (unidades)</b>	<b>Estabelecimentos agropecuários (unidades)</b>
<b>Região Centro-Oeste</b>	<b>52</b>	<b>360.013</b>
Distrito Federal	1	8.212
Goiás	18	149.482
Mato Grosso	22	109.984
Mato Grosso do Sul	11	92.335
<b>Região Nordeste</b>	<b>188</b>	<b>2.190.104</b>
Alagoas	13	105.283
Bahia	32	601.263
Ceará	33	394.330
Maranhão	21	270.597
Paraíba	23	163.218
Pernambuco	19	281.688
Piauí	15	212.066
Rio Grande do Norte	19	74.424
Sergipe	13	87.235
<b>Região Norte</b>	<b>64</b>	<b>594.301</b>
Acre	5	36.653
Amapá	4	31.377
Amazonas	13	80.959
Pará	22	276.051
Rondônia	8	68.219
Roraima	4	37.234
Tocantins	8	63.808
<b>Região Sudeste</b>	<b>160</b>	<b>969.763</b>
Espírito Santo	13	111.110
Minas Gerais	66	604.809
Rio de Janeiro	18	65.224
São Paulo	63	188.620
<b>Região Sul</b>	<b>94</b>	<b>855.095</b>
Paraná	39	305.154
Rio Grande do Sul	35	368.843
Santa Catarina	20	181.098
<b>Brasil</b>	<b>558</b>	<b>5.073.324</b>

Fonte: Elaborado a partir de IBGE (2017).

O estado de Minas Gerais foi a que possuiu a maior quantidade de microrregiões (66) entre as unidades federativas brasileiras, seguido de São Paulo (63), Paraná (39), Rio Grande do Sul (35), Ceará (33), Paraíba (23), Mato Grosso (22) e Pará (22) no ano de 2017 (Tabela 3).




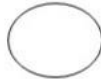



### 3.5 Modelagem de Equações Estruturais (MEE)

A Modelagem de Equações Estruturais (MEE), também denominada de *Structural Equation Modeling* – SEM, abrange um conjunto de técnicas multivariadas de análise de dados que combinam aspectos de regressão múltipla e análise fatorial para estimar simultaneamente uma série de relações de dependência. Para construir um modelo de equações estruturais, é necessário ter um modelo teórico previamente definido que permitirá determinar as múltiplas relações de dependência (ou relações causais) entre as variáveis do modelo (HAIR *et al.*, 2009; AMORIM *et al.*, 2012).

Na MEE, é possível a inclusão de variáveis latentes (também denominado de construtos ou fatores) no modelo estrutural. Os construtos não podem ser medidos diretamente, são determinados a partir dos indicadores (variáveis observáveis) que o compõem (HAIR *et al.*, 2009; NEVES, 2018).

Em MEE, a mensuração do fenômeno não observável diretamente (representado pelo construto) ocorre por meio dos indicadores que servem como variáveis representativas (*proxies*) da variável latente de interesse. Assim, por meio da combinação de vários itens que compõem uma escala, é possível mensurar, indiretamente, o conceito abstrato de interesse (HAIR *et al.*, 2009; NASCIMENTO e MACEDO, 2016). No modelo estrutural, os construtos e indicadores possuem uma representação gráfica diferenciada (Figura 5).

Figura 5 - Símbolos utilizados em Modelagem de Equações Estruturais.

Símbolo	Definição
 ou 	<b>Construto, fator ou variável latente</b>
	<b>Variável observada, mensurada ou indicador</b>
	<b>Correlação entre variável latente e variável observada (modelo de mensuração)</b>
	<b>Relação causal – coeficiente de caminho entre as variáveis latentes (modelo estrutural)</b>

Fonte: RINGLE *et al.* (2014, p. 59).

Existem dois tipos de escala na MEE, a reflexiva e formativa. Na escala reflexiva, os indicadores são a direção de “*causalidade*” advinda dos construtos, ou seja, o construto latente “*causa*” os itens observáveis. Nas escalas formativas, as variáveis latentes são consideradas “*efeitos*” em detrimento de “*causas*”. Nessa abordagem, o construto é o resultado da ocorrência de vários elementos que representam determinado fenômeno (HAIR *et al.*, 2017; PEREIRA *et al.*, 2019).

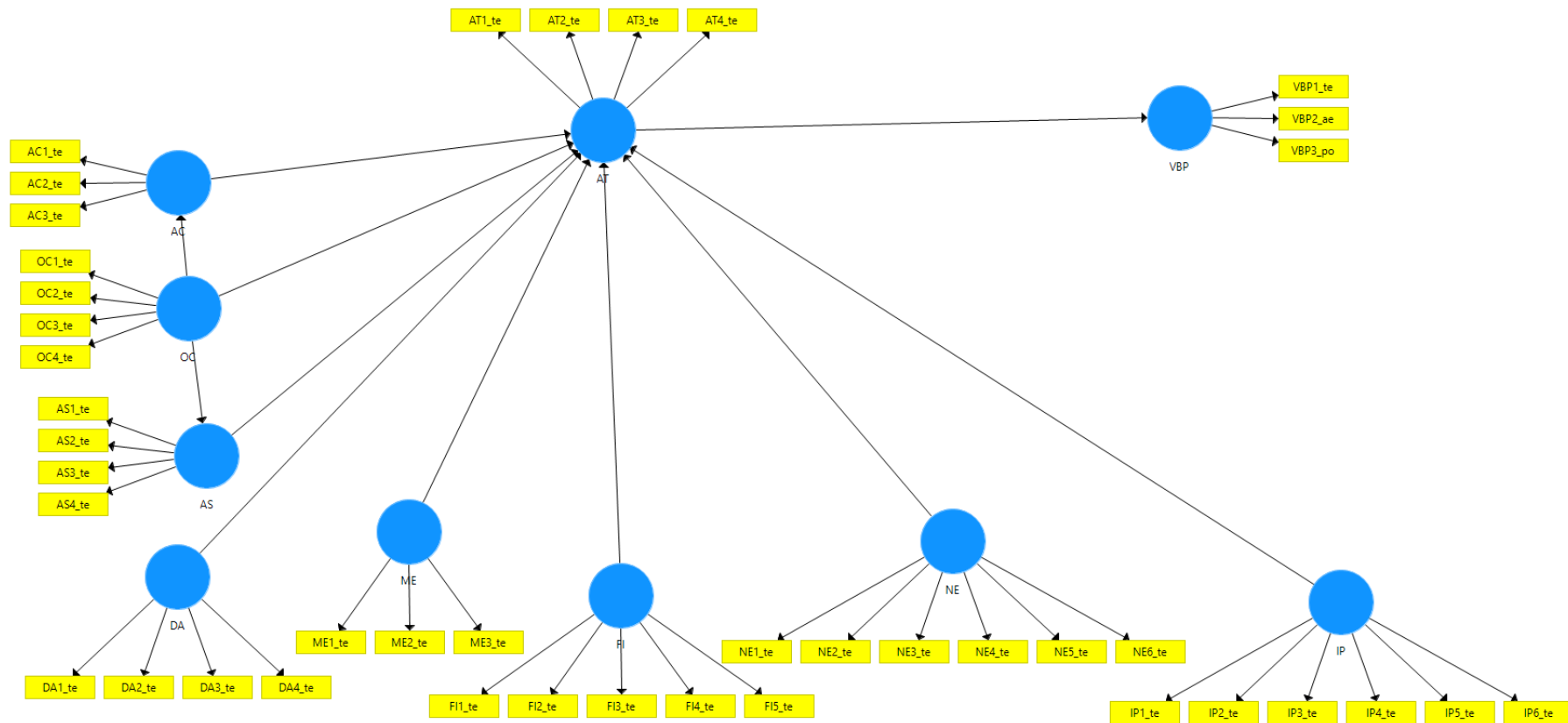
A MEE é dividida em duas abordagens. A primeira, baseada em covariância (CB-SEM) (*Covariance-Based Structural Equation Modeling*), envolve um processo de máxima verossimilhança, cujo procedimento consiste em minimizar a diferença entre as matrizes de covariância observadas e esperadas. A segunda abordagem PLS-SEM (*Partial Least Squares Structural Equation Modeling*) se concentra na maximização da variância explicada dos construtos endógenos. O CB-SEM é mais aplicável à análise fatorial confirmatória e o PLS-SEM é mais adequado para se encontrar e avaliar possíveis relações causais entre os construtos (HAIR *et al.*, 2014; NASCIMENTO e MACEDO, 2016).

A abordagem CB-SEM requer que os dados sejam distribuídos normalmente e um tamanho de amostra grande (cerca de 5 a 10 respondentes/localidades para cada indicador). No PLS-SEM não existe a necessidade de que os dados sejam normalmente distribuídos e um tamanho relativamente menor da amostra (HAIR *et al.*, 2014; NASCIMENTO e MACEDO, 2016). Em casos cuja estrutura de dados não apresente uma distribuição normal, é recomendável a utilização da abordagem PLS-SEM (RINGLE *et al.*, 2014; BIDO e SILVA, 2019).

A modelagem PLS-SEM é denominada de “*Mínimos Quadrados Parciais*” porque os parâmetros são estimados por uma série de regressões de mínimos quadrados, enquanto a terminologia “*parciais*” decorre do procedimento de estimação iterativa dos parâmetros em bloco (por variável latente) em detrimento de todo o modelo, simultaneamente (LEE *et al.*, 2011; NASCIMENTO e MACEDO, 2016).

Em MEE, avaliam-se dois tipos de modelos, o de mensuração (*outer model*) e o estrutural (*inner model*). No modelo de mensuração, avalia-se a relação existente entre os construtos com os indicadores (variáveis observáveis). No modelo estrutural, avalia-se a relação existente entre os construtos (validação das hipóteses propostas no modelo teórico) (NASCIMENTO e MACEDO, 2016). O modelo completo é apresentado na Figura 6.

Figura 6 - Modelo Estrutural a ser estimado.



Fonte: Elaborado a partir do SMARTPLS® 3.2.9.

### **3.6 Testes de normalidade univariada das variáveis observáveis**

Os testes de normalidade são bastantes utilizados nos procedimentos estatísticos para auxiliar o pesquisador na validação de algum pressuposto exigido pela técnica escolhida para o desenvolvimento do estudo (FÁVERO *et al.*, 2014). Os testes de normalidade univariada realizados foram os Shapiro-Wilk (S-W) e Shapiro-Francia (S-F) (Tabela 4) (FÁVERO e BELFIORE, 2017).

Tabela 4 - Testes de normalidade univariada de Shapiro-Wilk e Shapiro-Francia das variáveis observáveis

Variáveis	Shapiro-Wilk (S-W)		Shapiro-Francia (S-F)	
	Estatística	Significância (p)	Estatística	Significância (p)
AT1	0,9564	0,0000*	0,9586	0,0000*
AT2	0,8621	0,0000*	0,8633	0,0000*
AT3	0,8983	0,0000*	0,8998	0,0000*
AT4	0,6230	0,0000*	0,6271	0,0000*
AC1	0,9528	0,0000*	0,9525	0,0000*
AC2	0,5388	0,0000*	0,5437	0,0000*
AC3	0,8009	0,0000*	0,8020	0,0000*
AS1	0,8330	0,0000*	0,8303	0,0000*
AS2	0,8648	0,0000*	0,8647	0,0000*
AS3	0,6108	0,0000*	0,6119	0,0000*
AS4	0,4558	0,0000*	0,4595	0,0000*
OC1	0,7817	0,0000*	0,7824	0,0000*
OC2	0,9172	0,0000*	0,9185	0,0000*
OC3	0,7813	0,0000*	0,7780	0,0000*
OC4	0,9043	0,0000*	0,9045	0,0000*
DA1	0,9353	0,0000*	0,9375	0,0000*
DA2	0,9353	0,0000*	0,9367	0,0000*
DA3	0,8106	0,0000*	0,8145	0,0000*
DA4	0,6462	0,0000*	0,6495	0,0000*
ME1	0,8601	0,0000*	0,8620	0,0000*
ME2	0,7453	0,0000*	0,7516	0,0000*
ME3	0,7555	0,0000*	0,7622	0,0000*
FI1	0,8445	0,0000*	0,8448	0,0000*
FI2	0,8807	0,0000*	0,8810	0,0000*
FI3	0,9877	0,0001*	0,9884	0,0003*
FI4	0,9655	0,0000*	0,9668	0,0000*
FI5	0,9316	0,0000*	0,9331	0,0000*
NE1	0,8585	0,0000*	0,8598	0,0000*
NE2	0,8579	0,0000*	0,8547	0,0000*
NE3	0,7550	0,0000*	0,7561	0,0000*
NE4	0,9463	0,0000*	0,9468	0,0000*
NE5	0,9741	0,0000*	0,9755	0,0000*
NE6	0,9751	0,0000*	0,9765	0,0000*
IP1	0,8272	0,0000*	0,8268	0,0000*
IP2	0,9248	0,0000*	0,9247	0,0000*
IP3	0,9861	0,0000*	0,9870	0,0001*
IP4	0,9924	0,0061*	0,9913	0,0032*
IP5	0,9798	0,0000*	0,9805	0,0000*
IP6	0,9896	0,0005*	0,9904	0,0016*
VBP1	0,4895	0,0000*	0,4844	0,0000*
VBP2	0,3398	0,0000*	0,3319	0,0000*
VBP3	0,6851	0,0000*	0,6920	0,0000*

Fonte: Resultado da pesquisa.

Nota: \* 1% de significância.

A hipótese nula dos testes de Shapiro-Wilk e Shapiro-Francia consiste na situação em que a estrutura de dados da variável analisada segue uma distribuição normal (FÁVERO *et al.*, 2014; FÁVERO e BELFIORE, 2017). Todas as variáveis tiveram um nível de significância ao nível de 1% ( $p < 0,01$ ) para os dois testes (Tabela 4). Nesse caso, rejeitou-se a hipótese nula e, não se rejeitou a hipótese alternativa (de que a estrutura de dados de cada variável analisada não segue uma distribuição normal).

Diante da situação em que a estrutura de dados das variáveis observáveis não segue uma distribuição normal, foi utilizada a abordagem PLS-SEM (RINGLE *et al.*, 2014; BIDO e SILVA, 2019) para a análise dos fatores associados à adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário brasileiro. O *software* utilizado foi o SMARTPLS® 3.2.9.

### **3.7 Matriz de amarração de Mazzon**

A matriz de amarração de Mazzon sintetiza a configuração da pesquisa para que os leitores tenham uma melhor compreensão do que foi desenvolvido em uma pesquisa (TELLES, 2001). No Quadro 10 é apresentada a Matriz de amarração da presente pesquisa a partir dos objetivos específicos propostos.

Quadro 10 - Matriz de amarração de Mazzon

Referencial Teórico	Objetivos		Hipóteses	Método de análise
<p>Agricultura conservacionista</p> <p>Modernização do setor agropecuário brasileiro</p> <p>Adoção e difusão de tecnologia no setor agropecuário</p>	<p>Este estudo pretende analisar quais são os fatores associados à adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário brasileiro em 2017..</p>	<p>(a) Realizar uma análise comparativa entre as microrregiões brasileiras dos indicadores socioeconômicos e produtivos relacionados ao processo de adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário brasileiro em 2017.</p>	-	Análise exploratória de dados
		<p>(b) Validação e expansão do modelo teórico de processo de aprendizagem dinâmica dos produtores rurais proposto por Weersink e Fulton (2020) para o setor agropecuário brasileiro.</p> <p>(c) Verificar a influência de fatores do ambiente socioeconômico e características das propriedades e produtores rurais na adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário brasileiro.</p> <p>(d) Mensurar o efeito da adoção de tecnologias sustentáveis no VBP do setor agropecuário brasileiro.</p>	<p>H1: O acesso ao crédito exerce influência positiva na adoção de tecnologias sustentáveis.</p> <p>H2: O acesso à assistência técnica exerce influência positiva na adoção de tecnologias sustentáveis.</p> <p>H3: A participação de produtores rurais em organizações coletivas exerce influência positiva na adoção de tecnologias sustentáveis.</p> <p>H6: A disponibilidade de água nas propriedades rurais exerce influência positiva na adoção de tecnologias sustentáveis.</p> <p>H7: A existência de máquinas e equipamentos nas propriedades rurais exerce influência positiva na adoção de tecnologias sustentáveis.</p> <p>H8: A existência de fontes de informações técnicas nas propriedades rurais exercem influência positiva na adoção de tecnologias sustentáveis.</p> <p>H9: O maior grau de escolaridade dos produtores rurais exerce influência positiva na adoção de tecnologias sustentáveis.</p>	Modelagem de Equações Estruturais

			H10: A maior faixa etária de produtores rurais exerce influência negativa na adoção de tecnologias sustentáveis	
			H11: A adoção de tecnologias sustentáveis exerce uma influência positiva no VBP do setor agropecuário.	
		(e) Analisar a influência da participação dos produtores rurais em organizações coletivas no acesso aos serviços de assistência técnica e crédito rural.	H4: A participação dos produtores em organizações coletivas exerce influência positiva no acesso ao crédito.	
			H5: A participação dos produtores rurais organizações coletivas exerce influência positiva no acesso à assistência técnica.	

Fonte: Elaborado a partir de Telles (2001).



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Indicadores produtivos e socioeconômicos do setor agropecuário brasileiro

Neste tópico foi realizada uma análise comparativa dos indicadores socioeconômicos e produtivos relacionados ao processo de adoção de tecnologias sustentáveis nas microrregiões brasileiras no ano de 2017.

#### 4.1.1 Indicadores relacionados a adoção de tecnologias sustentáveis

O coeficiente de variação (CV) quando possui um valor superior a 30%, indica a existência de um padrão de heterogeneidade no conjunto de dados (FÁVERO e BELFIORE, 2017). Para todas as variáveis AT1 (fertilizantes) (CV de 58,41%), AT2 (rotação de culturas) (CV de 83,34%), AT3 (corretivos) (CV de 91,38%) e AT4 (plantio direto na palha) (CV de 158,38%) constatou-se um padrão de desigualdade na taxa de adoção de tecnologias sustentáveis ao longo do território brasileiro em 2017 (Tabela 5).

Tabela 5 - Estatísticas descritivas das variáveis observáveis que compõem o construto Adoção de tecnologias sustentáveis (AT) para o setor agropecuário brasileiro em 2017

Variável	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-padrão	Coeficiente de variação (CV) (%)	Alfa de Cronbach
AT1	0,0065	0,9637	0,4483	0,2618	58,41	0,825
AT2	0,0007	0,7370	0,1984	0,1653	83,34	
AT3	0,0000	0,7015	0,1788	0,1634	91,38	
AT4	0,0000	0,9093	0,1108	0,1755	158,38	

Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

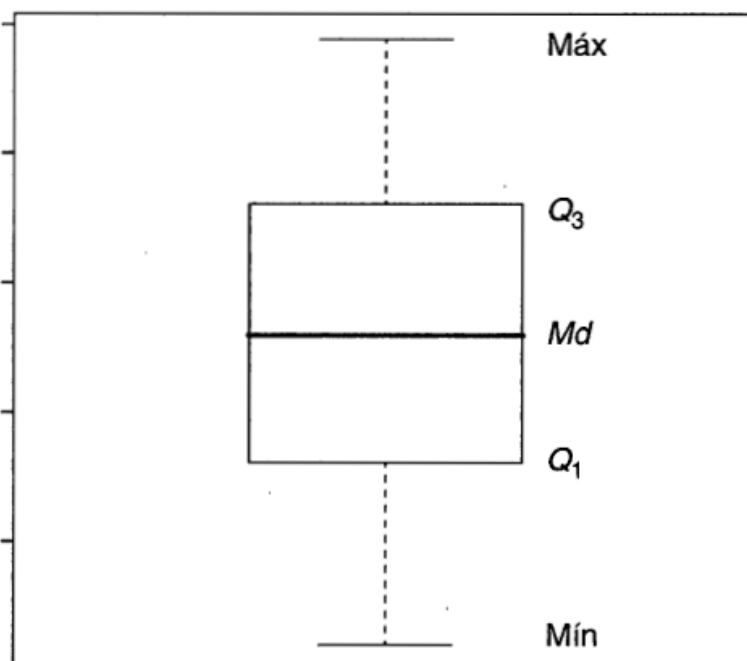
Nota: Variáveis observáveis: AT1 – proporção de estabelecimentos agropecuários que fizeram uso de fertilizantes (químicos e/ou orgânicos); AT2 – proporção de estabelecimentos agropecuários que fizeram uso da rotação de culturas; AT3 – proporção de estabelecimentos agropecuários que fizeram uso de corretivos; e, AT4 -proporção de estabelecimentos agropecuários que fizeram uso do sistema de plantio direto na palha.

O Alfa de Cronbach objetiva avaliar a consistência interna de um conjunto de variáveis que compõem determinado fator ou construto. Valores acima de 0,60 são considerados adequados para esse indicador de confiabilidade (HAIR *et al.*, 2009; FÁVERO e BELFIORE, 2017). A confiabilidade está relacionada com a isenção de erros aleatórios. Caso os valores do indicador de Alfa de Cronbach sejam negativos, considera-se uma escala sem confiança (igual a zero) (NICHOLS, 1999; SILVA, 2018).

Para o conjunto de variáveis observáveis que compõem o construto AT, o valor do Alfa de Cronbach foi de 0,825, indicando um nível de confiabilidade interna significativa (valor do coeficiente acima de 0,60) (FÁVERO e BELFIORE, 2017) (Tabela 5). O gráfico de *boxplot* (diagrama de caixa) foi utilizado para uma melhor visualização da distribuição dos dados das variáveis AT1, AT2, AT3 e AT4.

O *boxplot* é considerada uma representação gráfica de cinco medidas de posição (ou localização) de determinada variável. As posições indicadas são o valor mínimo, primeiro quartil (Q1) (equivale aos primeiros 25% do conjunto de dados em forma crescente de valor), segundo quartil (Q2) ou mediana (Md) (valor central do conjunto de dados de uma variável) (corresponde aos 50% iniciais do conjunto de dados em forma crescente de valor), terceiro quartil (Q3) (corresponde aos 75% iniciais do conjunto de dados em forma crescente de valor) e valor máximo (FÁVERO e BELFIORE, 2017). (Figura 7).

Figura 7 - Estrutura do gráfico *boxplot* (diagrama de caixa).

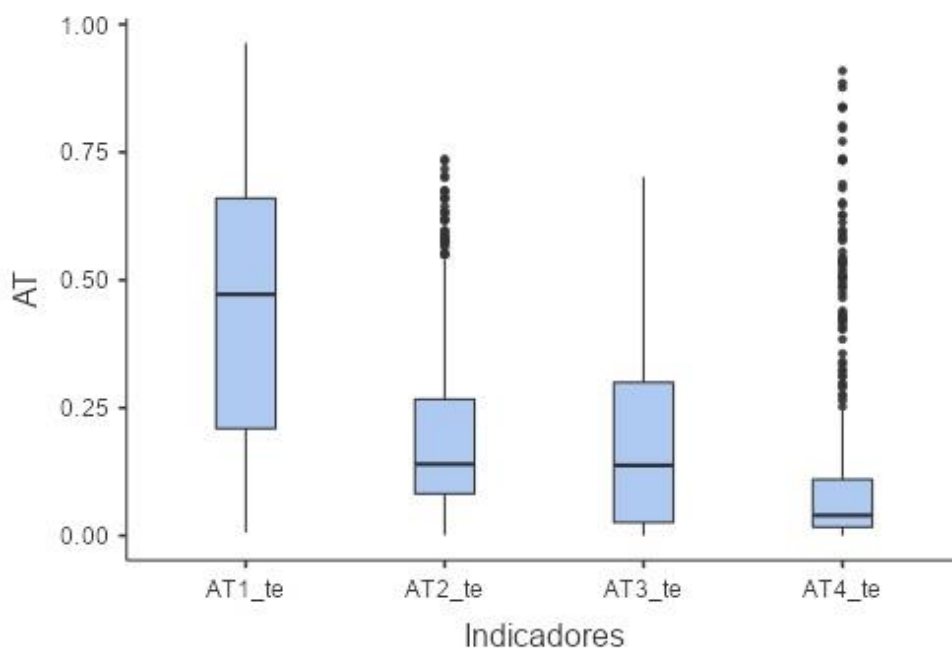


Fonte: FÁVERO e BELFIORE, (2017, p. 37).

Nota: Max – valor máximo; Q3 – terceiro quartil; Md – mediana; Q1 – primeiro quartil; e, Min – valor mínimo.

As variáveis AT1, AT2, AT3 e AT4 apresentaram um padrão heterogêneo nos indicadores de Q1, Q2 (Md) e Q3, indicando uma diferença entre as taxas de adoção de tecnologias sustentáveis ao longo do território brasileiro no ano de 2017 (Figura 8).

Figura 8 - Gráfico de *boxplot* das variáveis observáveis que compõem o construto Adoção de tecnologias sustentáveis (AT) para o setor agropecuário brasileiro em 2017.

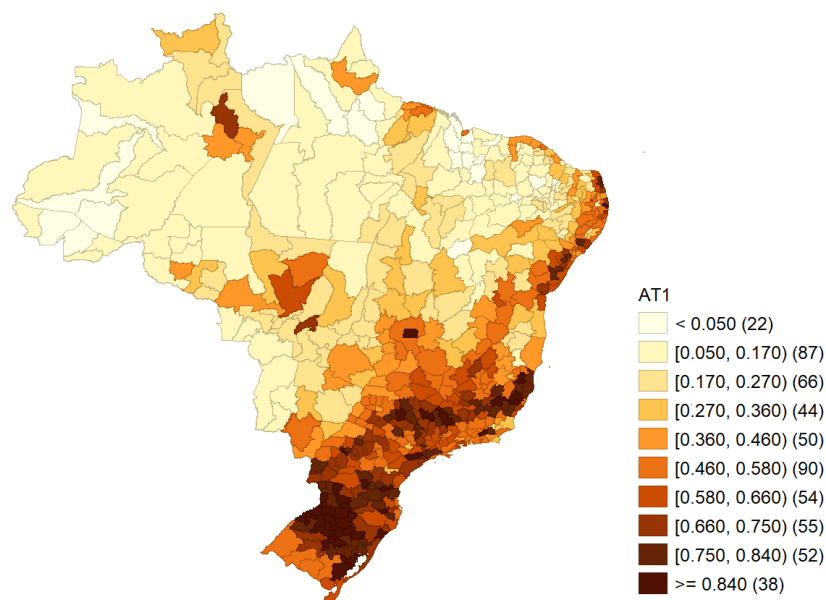


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo AT do gráfico de *boxplot* está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variáveis observáveis: AT1 – proporção de estabelecimentos agropecuários que fizeram uso de fertilizantes (químicos e/ou orgânicos); AT2 – proporção de estabelecimentos agropecuários que fizeram uso da rotação de culturas; AT3 – proporção de estabelecimentos agropecuários que fizeram uso de corretivos; e, AT4 -proporção de estabelecimentos agropecuários que fizeram uso do sistema de plantio direto na palha.

O uso de fertilizantes (químicos e/ou orgânicos) (AT1) foi identificado em todas as microrregiões brasileiras em 2017, com um valor mínimo de 0,0065 (representou 0,65% do total de estabelecimentos agropecuários em Tarauacá – Acre) e máximo de 0,9637 (representou 96,37% do total de estabelecimentos em Não-Me-Toque – Rio Grande do Sul) (Tabela 5) (Figura 9).

Figura 9 - Distribuição de valores da variável observável AT1 entre as microrregiões brasileiras em 2017.

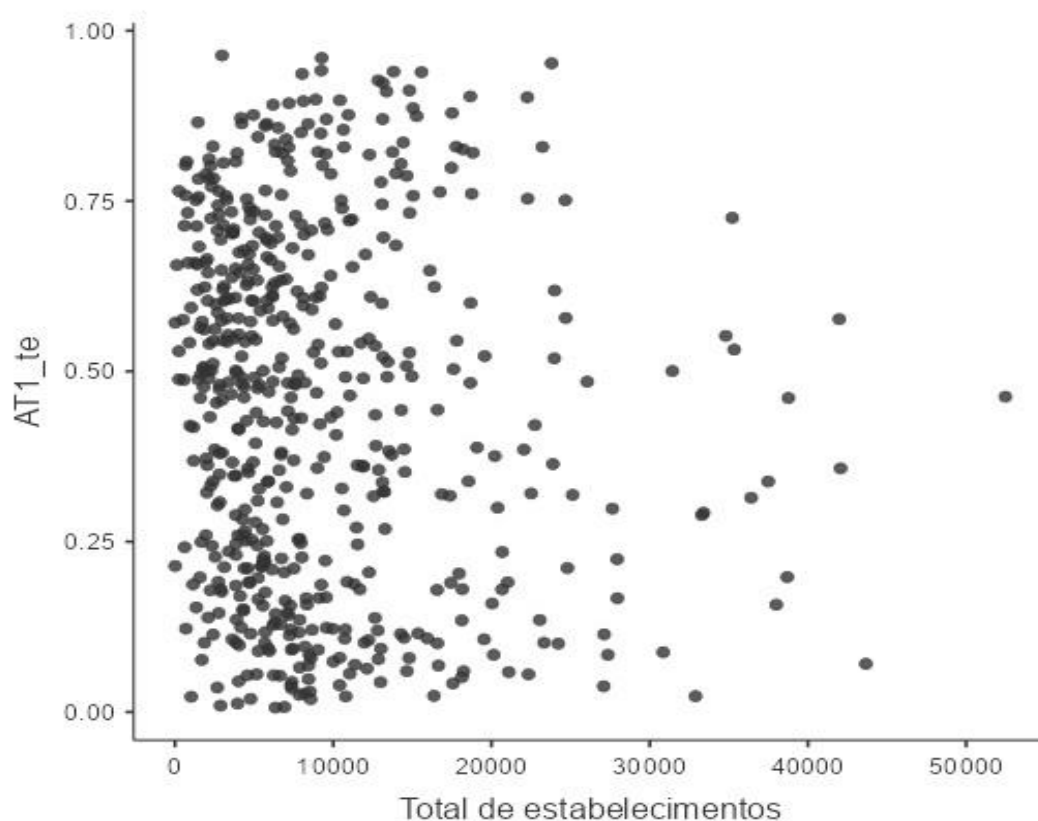


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Variáveis observável: AT1 – proporção de estabelecimentos agropecuários que fizeram uso de fertilizantes (químicos e/ou orgânicos).

As microrregiões com as maiores taxas de estabelecimentos que fizeram uso de fertilizantes concentraram-se principalmente nas regiões Centro-Oeste, Nordeste, Sul e Sudeste em 2017 (Figura 9). Uma heterogeneidade na taxa de adoção de fertilizantes (químicos e/ou orgânicos) nas microrregiões brasileiras foi possível de ser visualizada no gráfico de dispersão de pontos (Figura 10).

Figura 10 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável AT1 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.

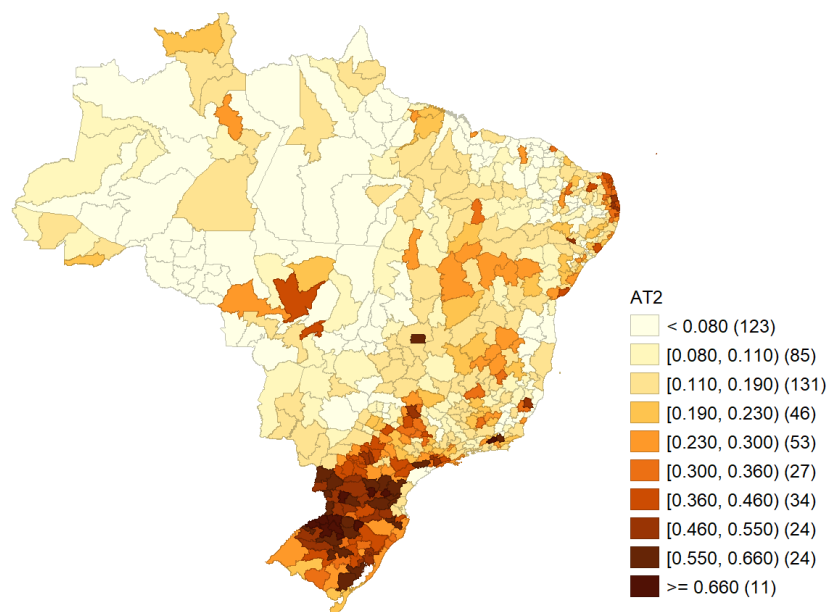


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo AT1\_te do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variável observável: AT1 – proporção de estabelecimentos agropecuários que fizeram uso de fertilizantes (químicos e/ou orgânicos).

A rotação de culturas (AT2) é outra tecnologia que foi utilizada em todas as microrregiões brasileiras em 2017, com um valor mínimo de 0,0007 (representou 0,07% do total de estabelecimentos agropecuários de Alto Capibaribe – Pernambuco) e máximo de 0,7370 (representou 73,70% do total estabelecimentos em Pato Branco – Paraná) (Tabela 5) (Figura 11).

Figura 11 - Distribuição de valores da variável observável AT2 entre as microrregiões brasileiras em 2017.

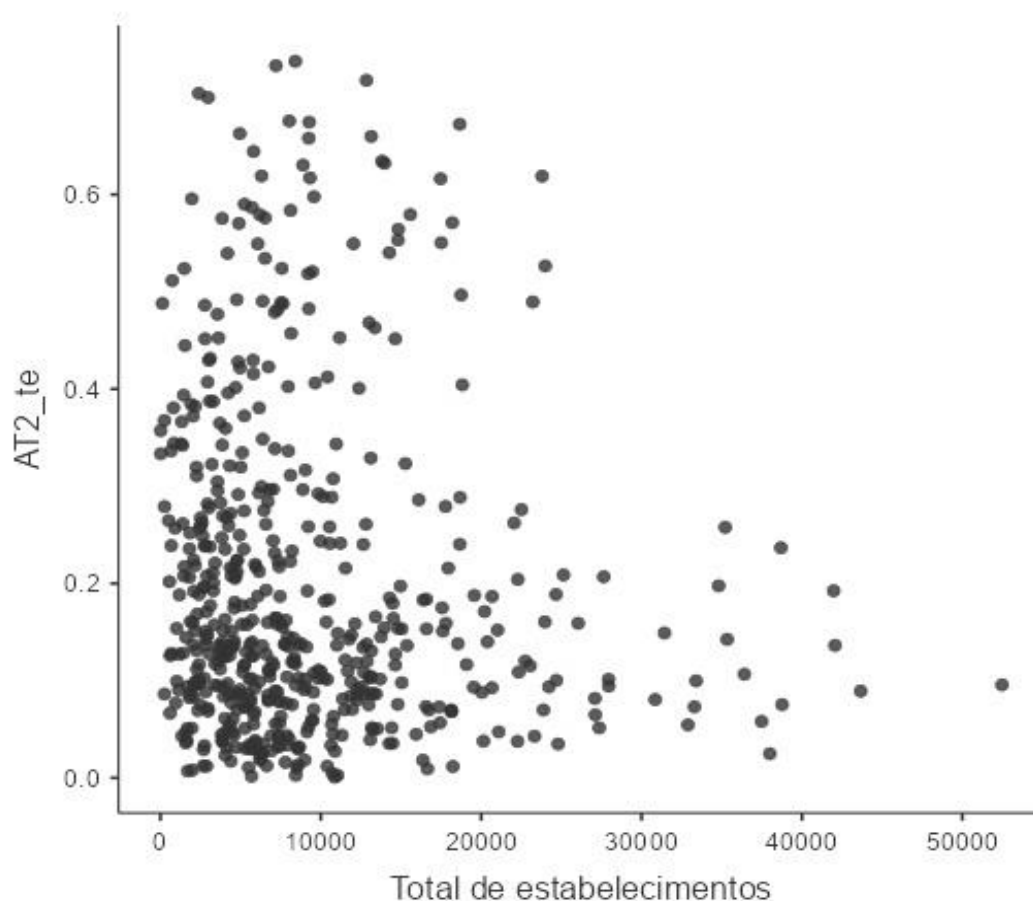


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Variável observável: AT2 – proporção de estabelecimentos agropecuários que fizeram uso da rotação de culturas.

As microrregiões com as maiores taxas de estabelecimentos que fizeram uso da rotação de culturas estavam localizadas principalmente na região Nordeste, Sul e Sudeste em 2017 (Figura 11). A maior parte das microrregiões brasileiras tiveram uma taxa de até 40% (0,40) do total de propriedades rurais que utilizaram a rotação de culturas no ano de 2017 (Figura 12).

Figura 12 - . Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável AT2 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.

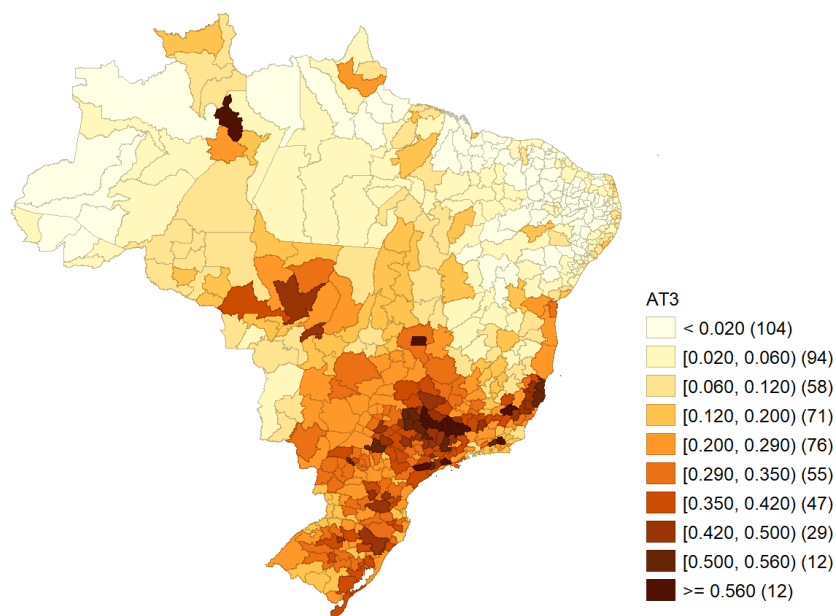


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo AT2\_te do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variável observável: AT2 – proporção de estabelecimentos agropecuários que fizeram uso da rotação de culturas.

O valor mínimo da variável AT3 (uso de corretivos) foi de 0,0000 (Fernando de Noronha – Pernambuco) e máximo de 0,7015 (representou 70,15% do total de estabelecimentos agropecuários em Piedade – São Paulo) para o ano de 2017 (Tabela 5) (Figura 13).

Figura 13 - Distribuição de valores da variável observável AT3 entre as microrregiões brasileiras em 2017.



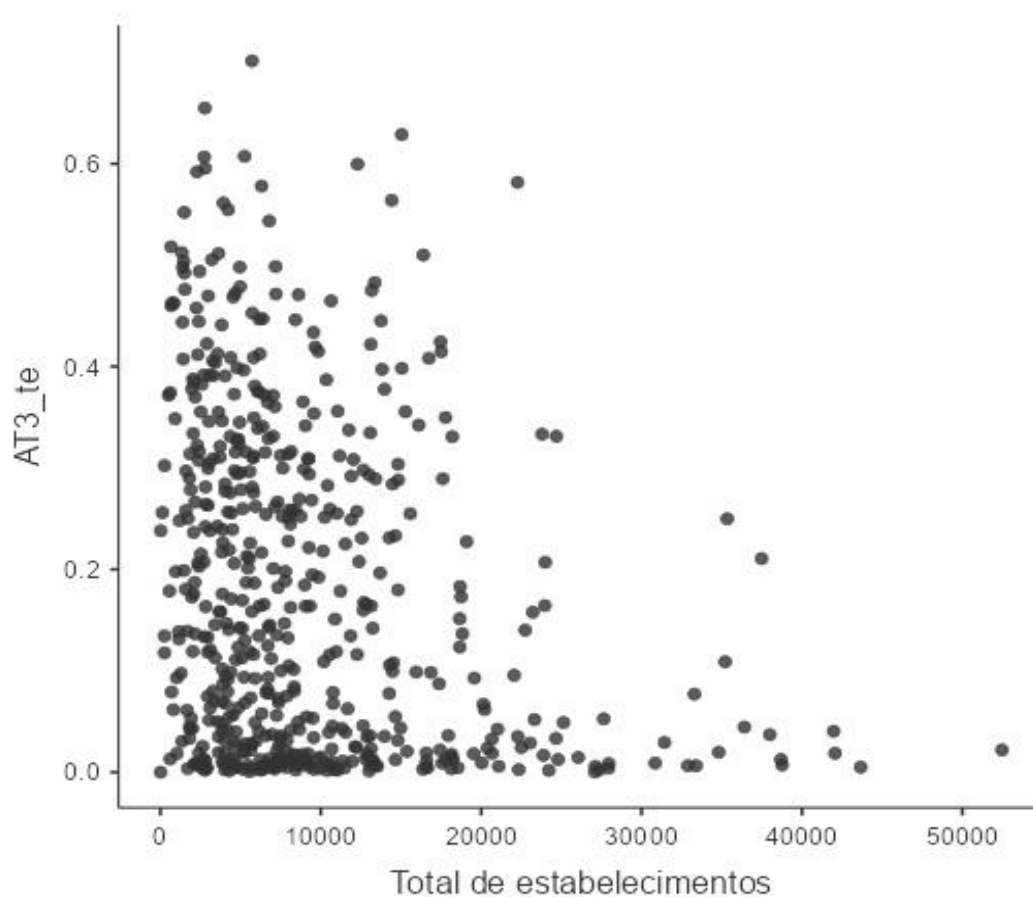
Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Variável observável: AT3 – proporção de estabelecimentos agropecuários que fizeram uso de corretivos.

As microrregiões brasileiras com as maiores taxas de estabelecimentos agropecuários que fizeram uso de corretivos concentraram-se principalmente nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul no ano de 2017 (Figura 13). A maior parte das microrregiões brasileiras tiveram uma taxa de até 50% (0,50) do total de propriedades rurais que fizeram uso do calcário e/ou outros corretivos no ano de 2017 (Figura 14).



Figura 14 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável AT3 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.

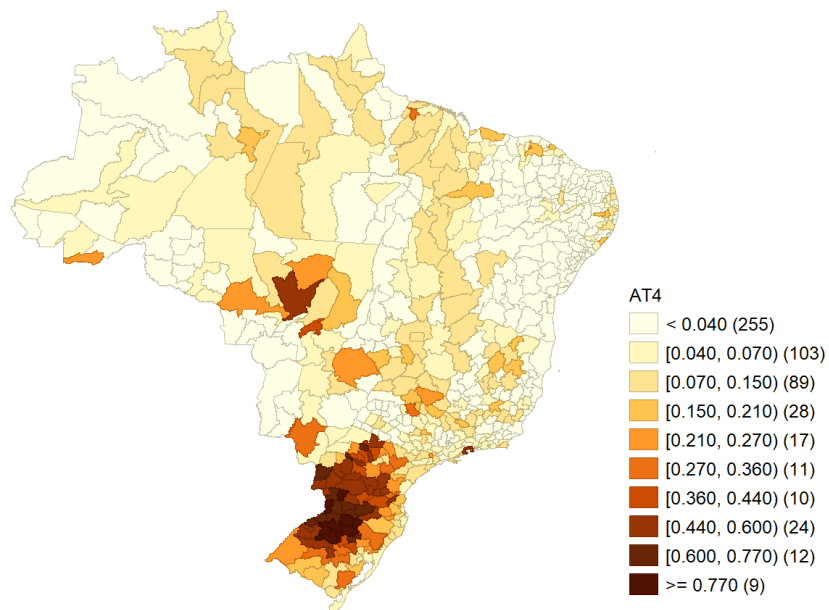


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo AT3\_te do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variável observável: AT3 – proporção de estabelecimentos agropecuários que fizeram uso de corretivos.

Houve microrregiões brasileiras em que havia propriedades rurais que não fizeram uso do sistema de plantio direto na palha (AT4) (Tefé – Amazonas; Canindé – Ceará; Entre Rios, Itapetinga e Paulo Afonso – Bahia; Fernando de Noronha – Pernambuco; Pio IX e São Raimundo Nonato – Piauí; Santos – São Paulo) em 2017. O valor máximo da variável AT4 foi de 0,9093 (representou 90,93% do total de estabelecimentos agropecuários em Não-Me-Toque – Rio Grande do Sul) (Tabela 5) (Figura 15).

Figura 15 - Distribuição de valores da variável observável AT4 entre as microrregiões brasileiras em 2017.

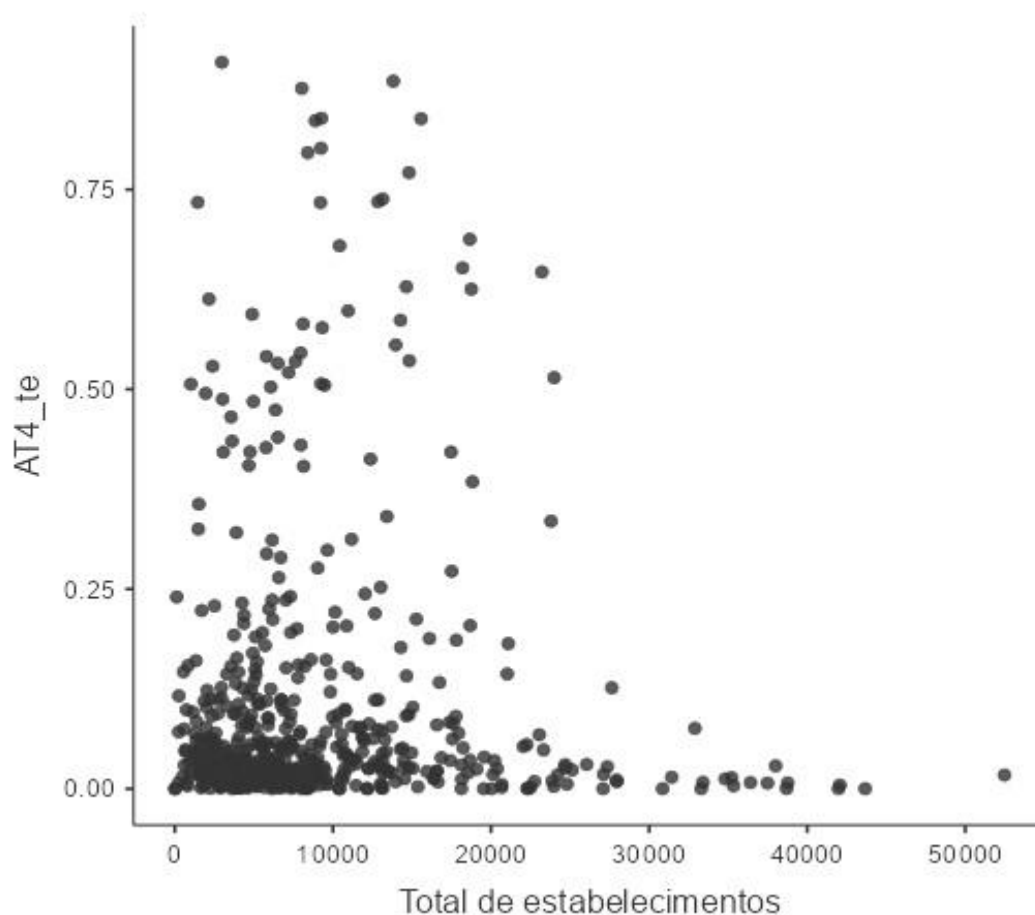


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Variável observável: AT4 -proporção de estabelecimentos agropecuários que fizeram uso do sistema de plantio direto na palha.

Na região Sul concentraram-se a maior parte de microrregiões brasileiras com uma maior proporção de estabelecimentos agropecuários que fizeram uso do sistema de plantio direto na palha em 2017 (Figura 15). A maior parte das microrregiões brasileiras tiveram uma taxa de até 25% (0,25) do total de propriedades rurais que fizeram uso do sistema de plantio direto na palha no ano de 2017 (Figura 16).

Figura 16 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável AT4 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.



Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo AT4\_te do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variável observável: AT4 -proporção de estabelecimentos agropecuários que fizeram uso do sistema de plantio direto na palha.

De um modo geral, a partir das Figuras 9, 11, 13 e 15, foi possível observar uma baixa representatividade nas regiões Nordeste e Norte de microrregiões com maior proporção de estabelecimentos agropecuários que fizeram uso de tecnologias sustentáveis no ano de 2017 (Quadro 11). O setor agropecuário brasileiro é caracterizado por um cenário de desigualdade entre as regiões e nos tipos de propriedade rurais quanto ao padrão de nível tecnológico dos sistemas de produção (FORNAZIER e VIEIRA FILHO, 2012).

Quadro 11 - Síntese de informações das variáveis observáveis do construto AT

Construto	Síntese de informações
Adoção de tecnologias sustentáveis (AT)	<p>(a) Desigualdade entre as microrregiões na participação relativa do total de propriedades rurais que utilizavam tecnologias sustentáveis ao longo do território brasileiro no ano de 2017;</p> <p>(b) Em todas as microrregiões brasileiras existiram propriedades rurais que fizeram uso de fertilizantes e da rotação de culturas no ano de 2017;</p> <p>(c) Havia microrregiões brasileiras em que nenhuma propriedade rural fez uso de corretivos e do sistema de plantio direto na palha no ano de 2017;</p> <p>(d) As maiores taxas de adoção de tecnologias sustentáveis concentraram-se principalmente nas microrregiões localizadas na região Sul em 2017; e,</p> <p>(e) As microrregiões localizadas nas regiões Nordeste e Norte foram as que apresentaram as menores taxas de adoção de tecnologias sustentáveis em 2017.</p>

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.1.2 Indicadores relacionados ao ambiente socioeconômico

O processo de adoção de tecnologia no setor agropecuário pode ser influenciado por uma série de fatores, como os relacionados com o ambiente socioeconômico e às características da propriedade e do produtor rural (TEY e BRINDAL, 2012; MWANGI e KARIUKI, 2015; SADIGOV, 2018; MUNGIA e LLEWELLYN, 2020). Em relação ao ambiente socioeconômico, o acesso ao crédito possibilita aos produtores rurais as condições essenciais para incorporar novas práticas e insumos na propriedade (NASERELDIN *et al.*, 2023).

Em 2017, as principais formas de acesso ao crédito aos produtores brasileiros rurais foram por meio de bancos (incluía empréstimos e financiamentos provenientes de programas governamentais como o PRONAF, PROCERA e dentre outros) (AC1), cooperativas de crédito (AC2) e governos (federal, estadual e/ou municipal – incluía outras formas de financiamentos que não estejam vinculados diretamente aos programas governamentais de crédito rural concedidos via bancos) (AC3) (IBGE, 2019).

Foi possível verificar um padrão heterogêneo no acesso à recursos financeiros

por meio de concessão de crédito aos produtores rurais ao longo do território nacional no ano de 2017. A variável AC1 teve um CV de 51,38%, AC2 de 200,00% e AC3 de 87,13% (Tabela 6).

Tabela 6 - Estatísticas descritivas das variáveis observáveis que compõem o construto Acesso ao crédito (AC) para o setor agropecuário brasileiro em 2017

Variável	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-padrão	Coefficiente de variação (CV) (%)	Alfa de Cronbach
AC1	0,0078	0,4343	0,1267	0,0651	51,38	0,571
AC2	0,0000	0,3051	0,0195	0,0389	200,00	
AC3	0,0000	0,0648	0,0106	0,0092	87,13	

Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: O CV maior que 30% indica heterogeneidade na estrutura de dados da variável (FÁVERO e BELFIORE, 2017). Variáveis observáveis: AC1 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso ao crédito de bancos; AC2 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso ao crédito de cooperativas de crédito; e, AC3 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso ao crédito de governos (federal, estadual e/ou municipal).

Para o conjunto de variáveis observáveis que compõem o construto AC, o valor do Alfa de Cronbach foi de 0,572, indicando um baixo nível de confiabilidade interna (valor do coeficiente abaixo de 0,60) (FÁVERO e BELFIORE, 2017) (Tabela 6). A determinação do valor do coeficiente de Alfa de Cronbach é influenciado pelo número de variáveis que compõem o construto analisado (RINGLE *et al.*, 2014; HAIR *et al.*, 2017). O baixo valor do coeficiente de Alfa de Cronbach pode ser uma sinalização de uma quantidade insuficiente de indicadores para avaliar o construto analisado (SOUZA *et al.*, 2017; NEVES, 2018).

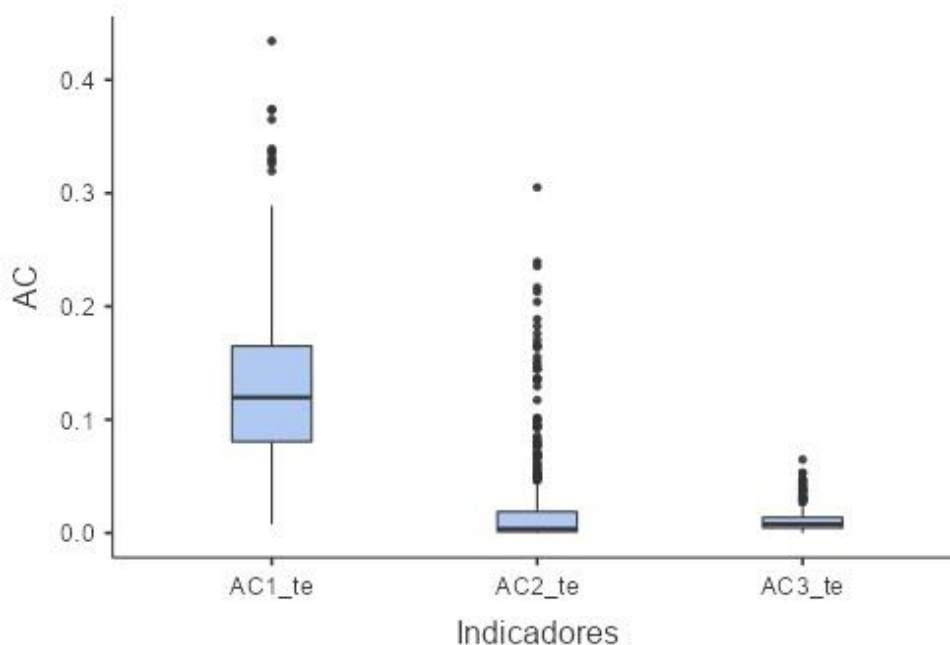
Esse resultado foi alcançado em virtude da limitação da base de dados do Censo Agropecuário de 2017, o qual torna-se necessário a inclusão de mais itens que retratem os diferentes tipos de fontes de acesso ao crédito pelos estabelecimentos agropecuários ao longo do território brasileiro.

O baixo valor do coeficiente de Alfa de Cronbach em um construto não inviabiliza a realização da Modelagem de Equações Estruturais na abordagem PLS-SEM caso a confiabilidade composta do modelo de mensuração seja alcançada (RINGLE *et al.*, 2014; HAIR *et al.*, 2017).

As variáveis AC1, AC2 e AC3 apresentaram um padrão heterogêneo nos indicadores de Q1, Q2 (Md) e Q3 (gráfico *boxplot*), indicando uma desigualdade nas

taxas de acesso aos serviços de crédito rural em diferentes modalidades ao longo do território brasileiro no ano de 2017 (Figura 17).

Figura 17 - Gráfico de *boxplot* das variáveis observáveis que compõem o construto Acesso ao crédito (AC) para o setor agropecuário brasileiro em 2017.

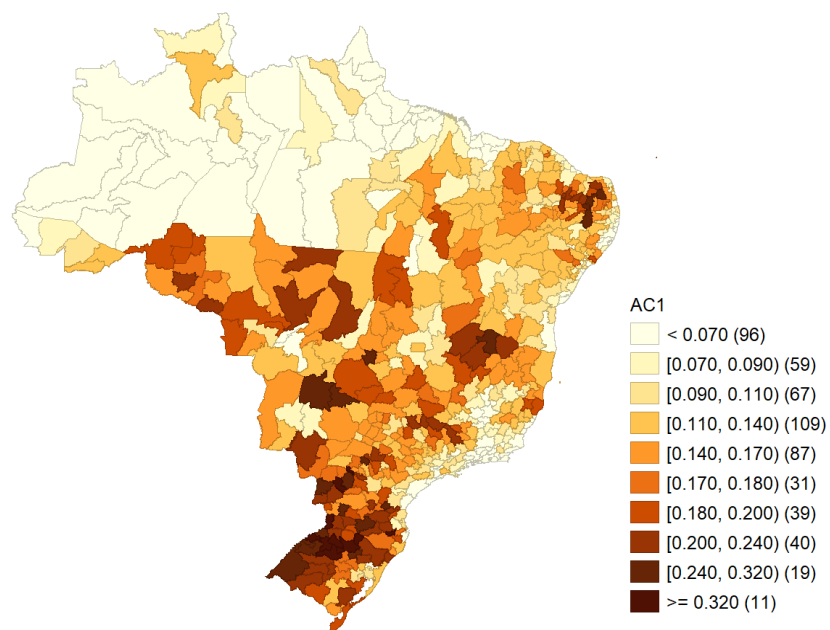


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo AC do gráfico de *boxplot* está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variáveis observáveis: AC1 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso ao crédito de bancos; AC2 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso ao crédito de cooperativas de crédito; e, AC3 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso ao crédito de governos (federal, estadual e/ou municipal).

Em todas as microrregiões brasileiras, existiram estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso de recursos financeiros advindos de bancos (AC1). O valor mínimo da variável AC1 foi de 0,0078 (representou 0,78% do total de estabelecimentos agropecuários em Japurá – Amazonas) e máximo de 0,4343 (representou 43,43% do total de estabelecimentos em Não-Me-Toque – Rio Grande do Sul) no ano de 2017 (Tabela 6) (Figura 18).

Figura 18 - Distribuição de valores da variável observável AC1 entre as microrregiões brasileiras em 2017.

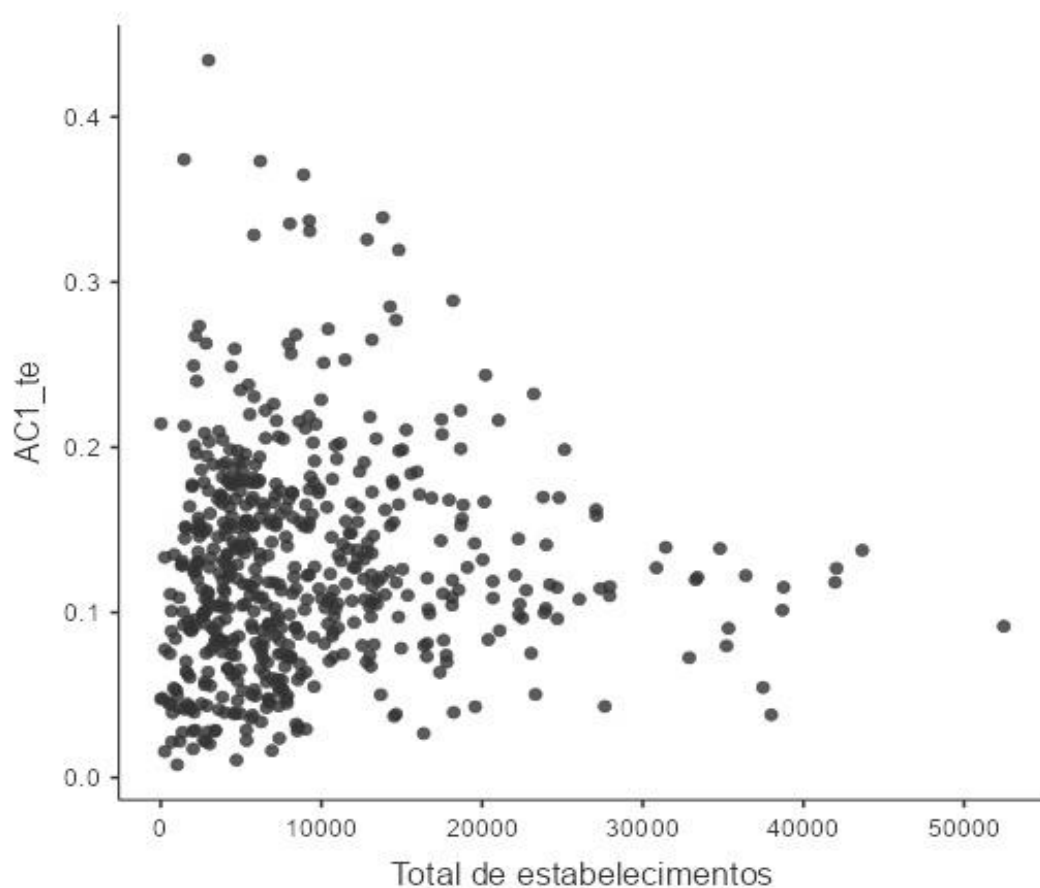


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Variável observável: AC1 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso ao crédito de bancos.

As microrregiões com maiores percentuais de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso ao serviço de crédito de bancos estavam espalhadas principalmente nas regiões Centro-Oeste, Nordeste, Sul e Sudeste no ano de 2017 (Figura 18). A maior parte das microrregiões brasileiras tiveram uma taxa de até 20% (0,20) do total de propriedades rurais que acessaram o crédito de bancos em 2017 (Figura 19).

Figura 19 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável AC1 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.



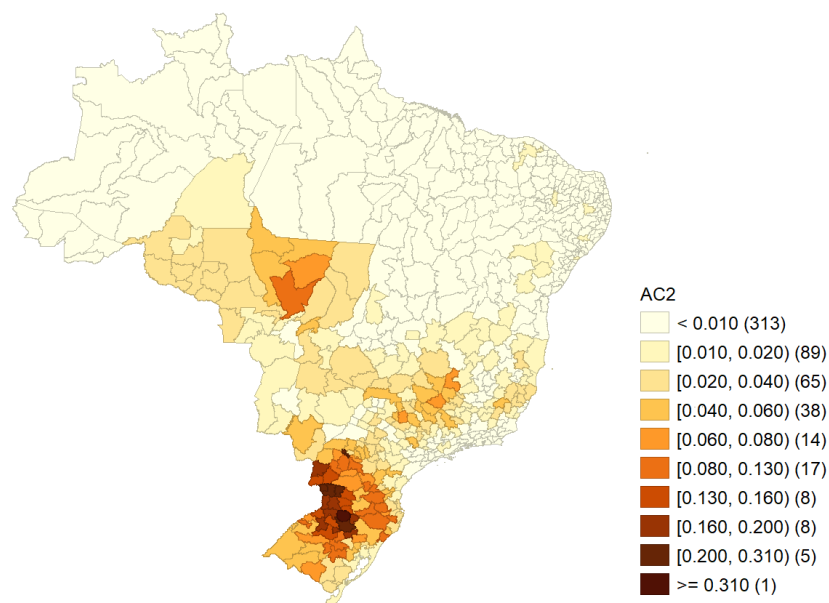
Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo AC1\_te do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variável observável: AC1 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso ao crédito de bancos.

Para a variável AC2 (cooperativas de crédito), o menor valor foi de 0,0000 (um total de 30 microrregiões) e o máximo foi 0,3051 (representou 30,51% do total de estabelecimentos agropecuários em Erechim – Rio Grande do Sul) em 2017 (Tabela 6) (Figura 20).



Figura 20 - Distribuição de valores da variável observável AC2 entre as microrregiões brasileiras em 2017.

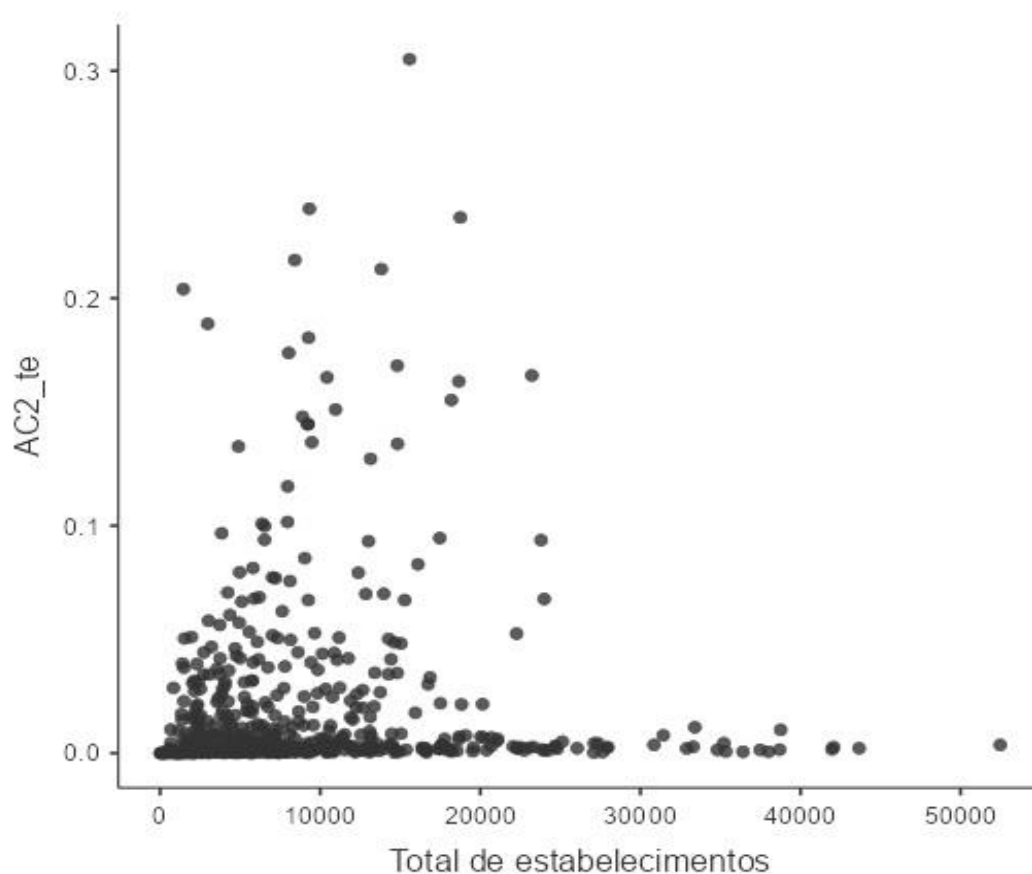


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Variável observável: AC2 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso ao crédito de cooperativas de crédito.

As microrregiões com as maiores taxas de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso à recursos financeiros de cooperativas de crédito estavam localizadas principalmente na região Sul em 2017 (Figura 20). Na Figura 21 foi possível de visualizar que muitas microrregiões brasileiras apresentaram um baixo nível (até 10% do total de propriedades rurais) de acesso de recursos financeiros provenientes de cooperativas de crédito em 2017.

Figura 21 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável AC2 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.

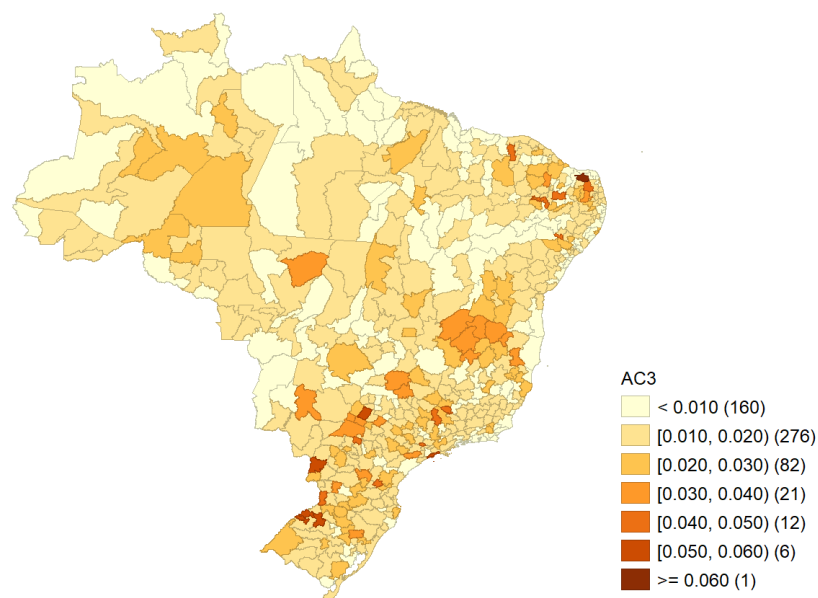


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo AC2\_te do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variável observável: AC2 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso ao crédito de cooperativas de crédito.

O valor mínimo da variável AC3 (governos federal, estadual ou municipal) foi de 0,0000 (para as microrregiões de Maceió-Alagoas, Fernando de Noronha e Itamaracá – Pernambuco e Bertolândia – Piauí) e máximo de 0,0648 (representou 6,48% do total de estabelecimentos em Angicos – Rio Grande do Norte) no ano de 2017 (Tabela 6) (Figura 22).

Figura 22 - Distribuição de valores da variável observável AC3 entre as microrregiões brasileiras em 2017.

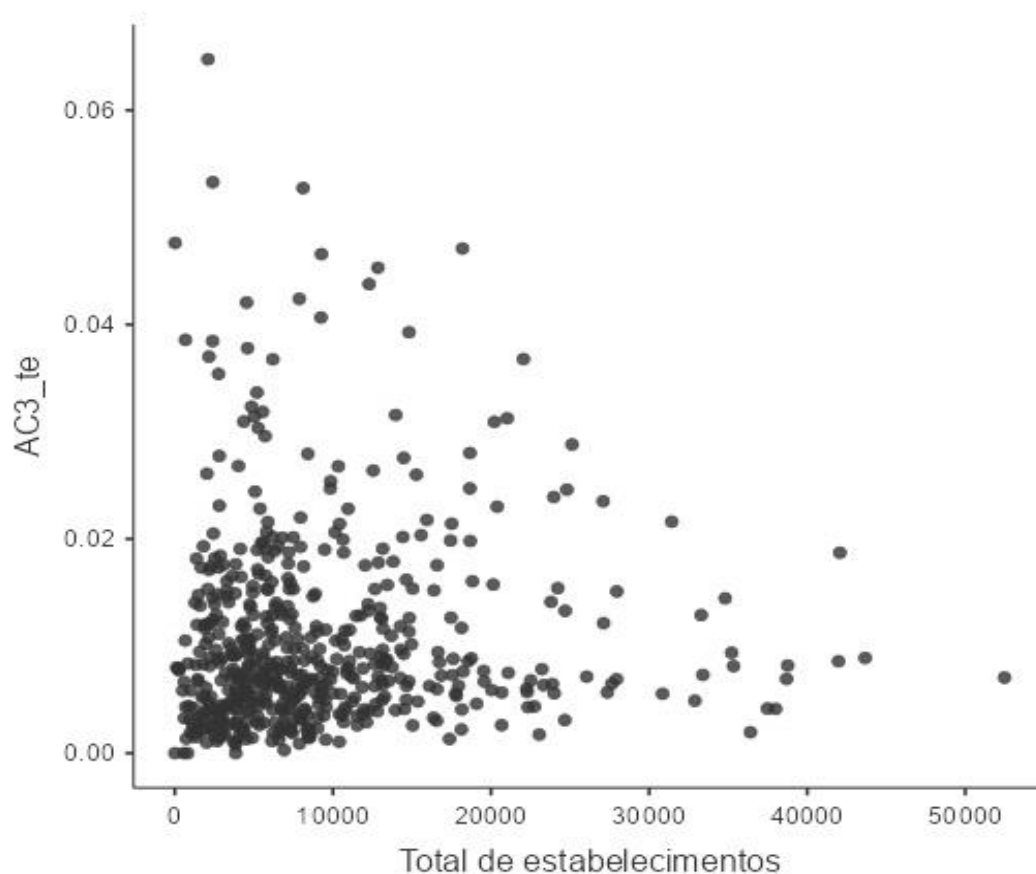


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Variável observável: AC3 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso ao crédito de governos (federal, estadual e/ou municipal).

Foi possível verificar que não existiu uma concentração de microrregiões com maior proporção de estabelecimentos agropecuários que acessaram recursos financeiros de governos (federal, estadual e/ou municipal) em determinada região brasileira no ano de 2017 (Figura 22). A maior parte das microrregiões brasileiras tiveram uma taxa de até 2% (0,02) do total de propriedades rurais que acessaram o crédito provenientes de diferentes níveis de governos (federal, estadual e/ou municipal) no ano de 2017 (Figura 23).

Figura 23 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável AC3 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.



Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo AC3\_te do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variável observável: AC3 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso ao crédito de governos (federal, estadual e/ou municipal).

O acesso ao serviço de assistência técnica contribui para a adoção de tecnologia em propriedades rurais (BAIDU-FORSON, 1999; LEIB *et al.*, 2002; ABEBE *et al.*, 2013; LÄPPLE *et al.*, 2015; ZAKARIA *et al.*, 2020; BERNAL-HERNÁNDEZ *et al.*, 2021; EMONGOR *et al.*, 2023; WETCHASIT e LILAVANICHAKUL, 2023; NGAIWI *et al.*, 2023; NASERELDIN *et al.*, 2023).

Ocorreu um padrão de desigualdade entre as regiões brasileiras quanto ao acesso aos serviços de assistência técnica governamental (AS1) (com um CV de 81,67%), própria do produtor ou contratada (AS2) (CV de 94,52%), cooperativas (AS3) (CV de 174,94%) e empresas integradoras (AS4) (CV de 237,93%) direcionadas aos produtores rurais no ano de 2017 (Tabela 7).

Tabela 7 - Estatísticas descritivas das variáveis observáveis que compõem o construto Acesso à assistência técnica (AS) para o setor agropecuário brasileiro em 2017

Variável	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-padrão	Coefficiente de variação (CV) (%)	Alfa de Cronbach
AS1	0,0062	0,6801	0,0869	0,0710	81,67	0,572
AS2	0,0000	0,4956	0,0866	0,0818	94,52	
AS3	0,0000	0,7232	0,0569	0,0996	174,94	
AS4	0,0000	0,5355	0,0255	0,0606	237,93	

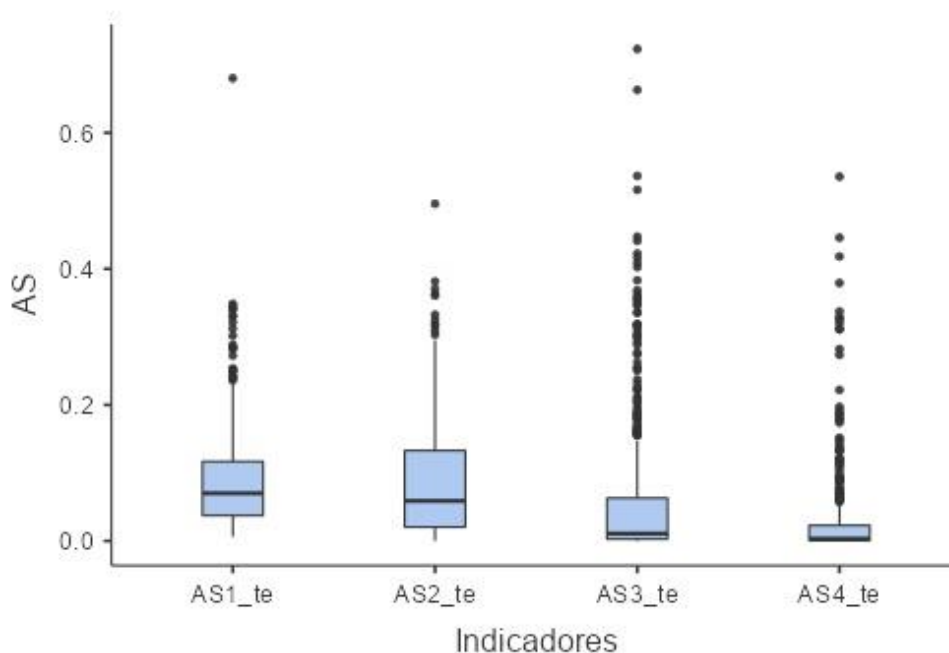
Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: O CV maior que 30% indica heterogeneidade na estrutura de dados da variável (FÁVERO e BELFIORE, 2017). Variáveis observáveis: AS1 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso ao serviço de assistência técnica governamental; AS2 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso ao serviço de assistência técnica própria (do indivíduo) ou contratada; AS3 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso ao serviço de assistência técnica de cooperativas; e, AS4 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso ao serviço de assistência técnica de empresas integradoras.

Para o conjunto de variáveis observáveis que compõem o construto AS, o valor do Alfa de Cronbach foi de 0,573, indicando um baixo nível de confiabilidade interna (valor do coeficiente abaixo de 0,60) (FÁVERO e BELFIORE, 2017) (Tabela 7). O baixo valor do coeficiente de Alfa de Cronbach pode estar associado ao baixo número de indicadores para o construto analisado (SOUZA *et al.*, 2017; NEVES, 2018). A ausência de outros indicadores para a composição do construto AS é uma limitação da presente pesquisa em função da disponibilidade de dados do Censo Agropecuário.

As variáveis observáveis AS1, AS2, AS3 e AS4 apresentaram um padrão heterogêneo nos indicadores de Q1, Q2 (Md) e Q3 (gráfico *boxplot*), indicando uma desigualdade nas taxas de acesso aos serviços de assistência técnica em diferentes modalidades ao longo do território brasileiro no ano de 2017 (Figura 24).

Figura 24 - Gráfico de boxplot das variáveis observáveis que compõem o construto Acesso à assistência técnica (AS) para o setor agropecuário brasileiro em 2017.

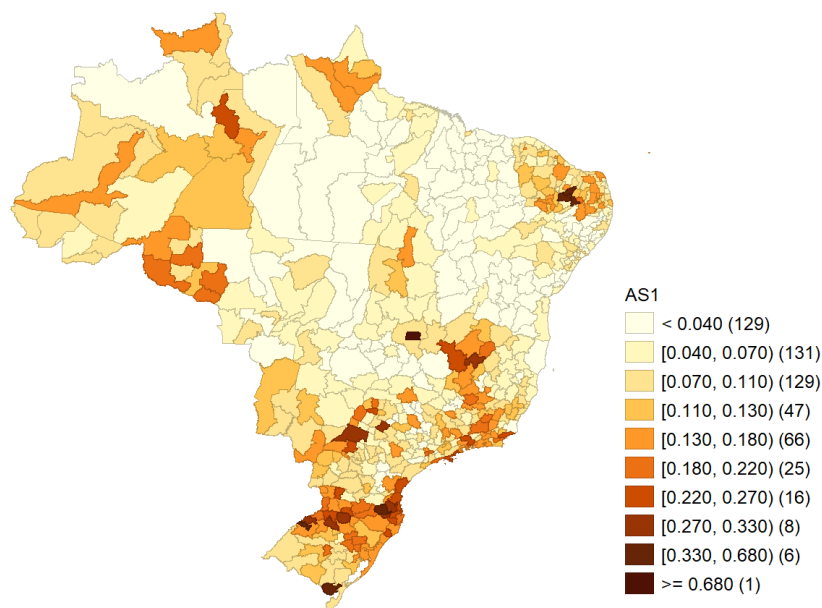


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo AS do gráfico de *boxplot* está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variáveis observáveis: AS1 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso ao serviço de assistência técnica governamental; AS2 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso ao serviço de assistência técnica própria (do indivíduo) ou contratada; AS3 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso ao serviço de assistência técnica de cooperativas; e, AS4 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso ao serviço de assistência técnica de empresas integradoras.

O acesso ao serviço de assistência técnica governamental (AS1) esteve presente em todas as microrregiões brasileiras em 2017. O valor mínimo foi de 0,0062 (representou 0,62% do total de estabelecimentos agropecuários em Furos de Breves – Pará) e máximo de 0,6801 (representou 68,01% do total de estabelecimentos agropecuários em Brasília – Distrito Federal) (Tabela 7) (Figura 25).

Figura 25 - Distribuição de valores da variável observável AS1 entre as microrregiões brasileiras em 2017.

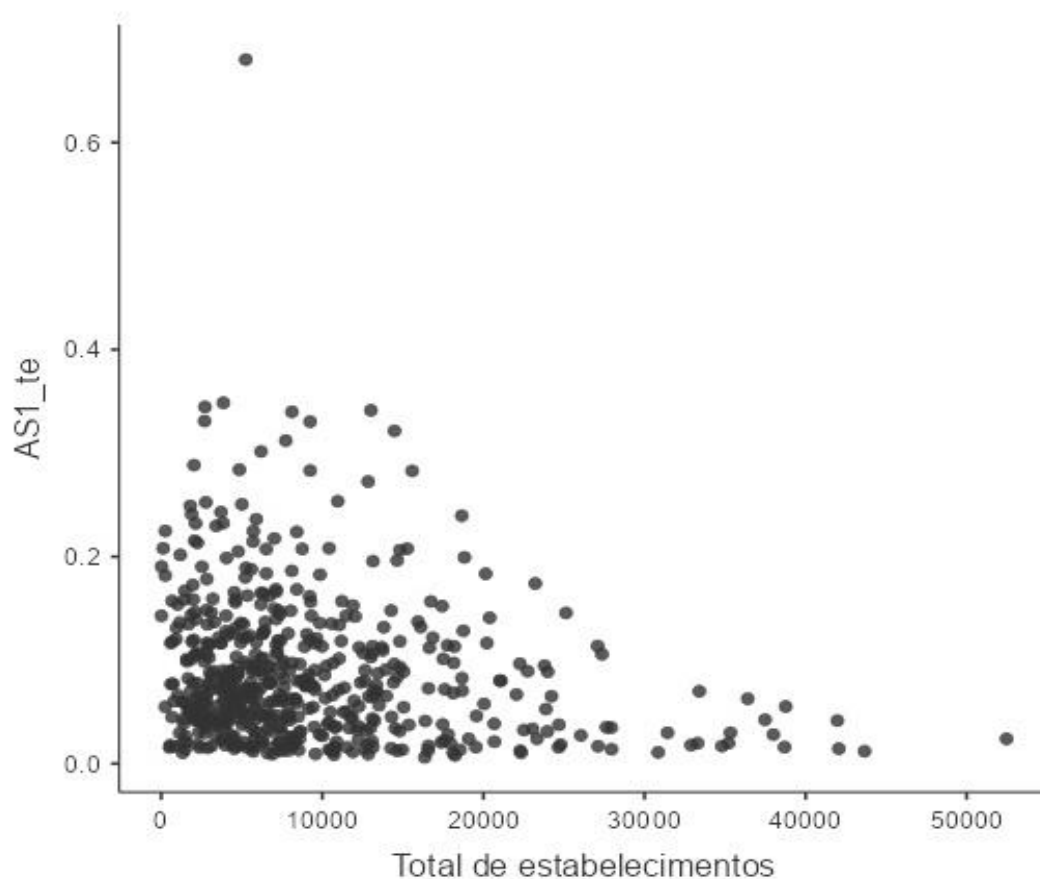


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Variável observável: AS1 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso ao serviço de assistência técnica governamental.

As microrregiões com maiores percentuais de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso ao serviço de assistência técnica governamental estavam concentradas principalmente nas regiões Nordeste, Sul e Sudeste em 2017 (Figura 25). Foi possível observar que uma parte considerável das microrregiões brasileiras possuem um baixo acesso aos serviços de assistência técnica governamental, corresponde a 20% (0,20) do total de propriedades rurais da localidade, no ano de 2017 (Figura 26).

Figura 26 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável AS1 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.



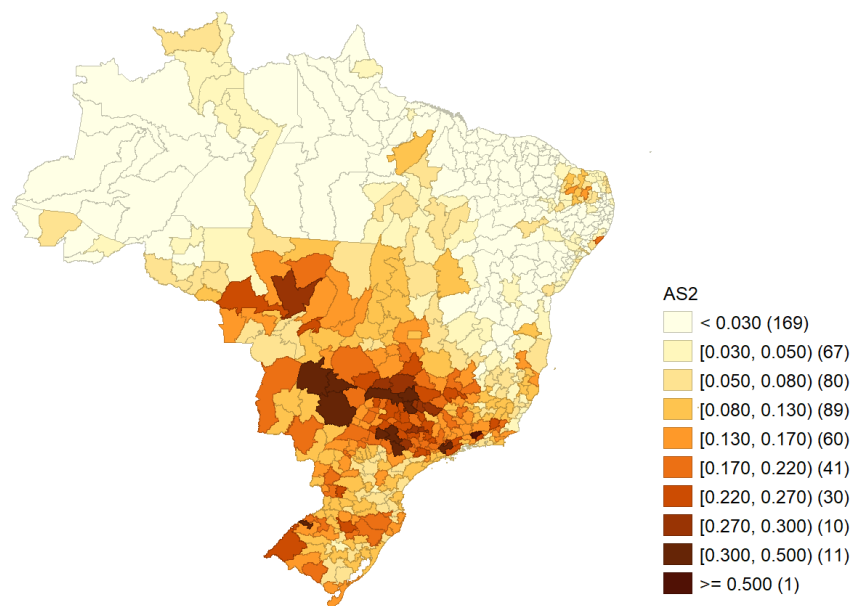
Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo AS1\_te do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variável observável: AS1 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso ao serviço de assistência técnica governamental.

Para a variável AS2 (assistência do próprio produtor ou contratada), o valor mínimo foi de 0,0000 (para Fernando de Noronha – Pernambuco) e máximo de 0,4956 (representou 49,56% do total de estabelecimentos agropecuários de Barra do Piraí – Rio de Janeiro) no ano de 2017 (Tabela 7) (Figura 27).



Figura 27 - Distribuição de valores da variável observável AS2 entre as microrregiões brasileiras em 2017.

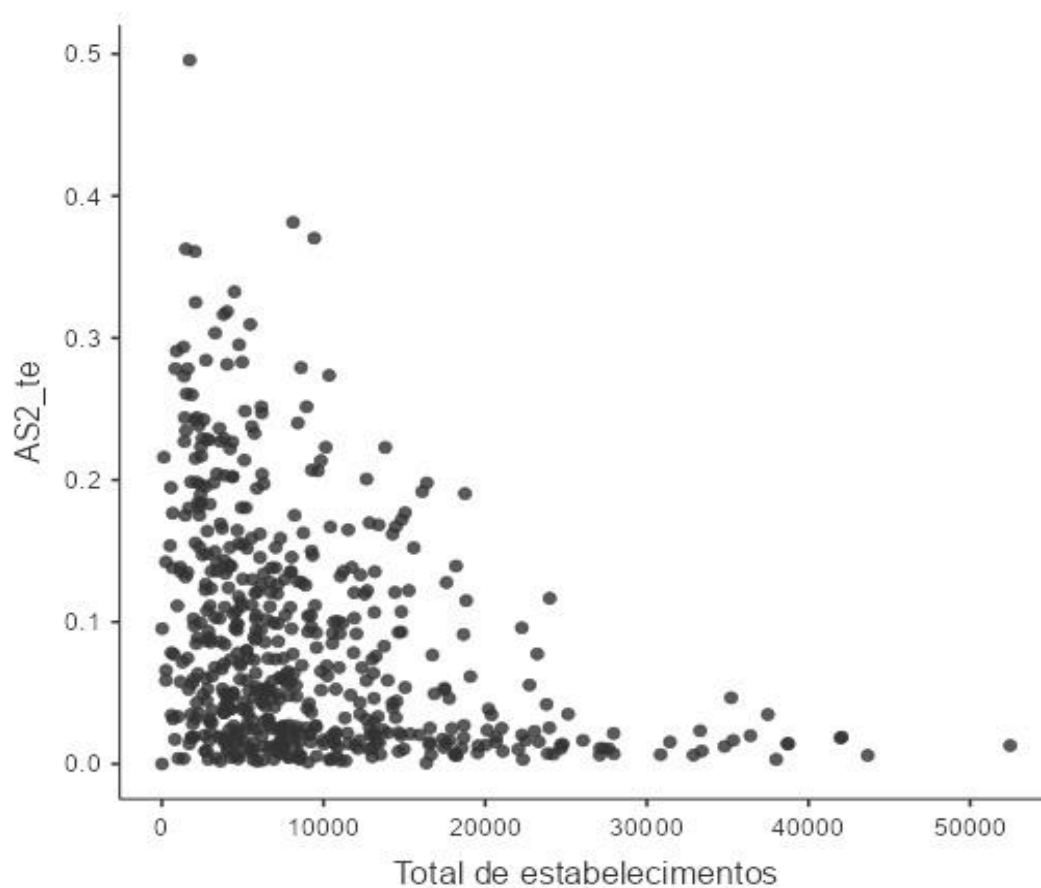


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Variável observável: AS2 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso ao serviço de assistência técnica própria (do indivíduo) ou contratada.

As microrregiões com a maior quantidade de estabelecimentos rurais com acesso à assistência técnica do próprio produtor ou contratada estavam localizadas principalmente nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul no ano de 2017 (Figura 27). A maior parte das microrregiões brasileiras tiveram uma taxa de até 20% (0,20) do total de propriedades rurais que tiveram o serviço de assistência técnica própria ou contratada pelo produtor rural no ano de 2017 (Figura 28).

Figura 28 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável AS2 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.

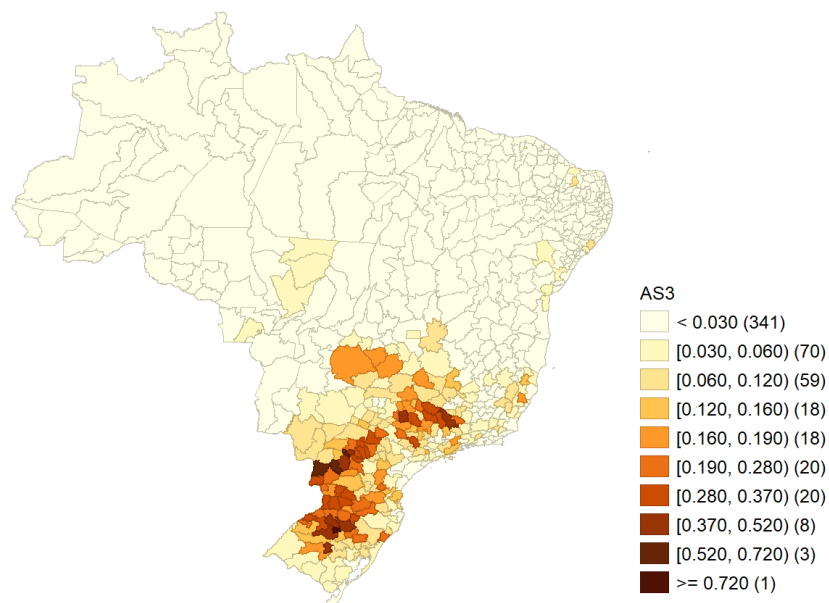


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo AS2\_te do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variável observável: AS2 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso ao serviço de assistência técnica própria (do indivíduo) ou contratada.

A variável AS3 (assistência técnica de cooperativas) teve um valor mínimo de 0,0000 (microrregiões com nenhum estabelecimento agropecuário com acesso a este tipo de serviço foram em Amapá – Amapá, Jarupá – Amazonas, Sena Madureira – Acre, Baixo Parnaíba Maranhense – Maranhão e Fernando de Noronha – Pernambuco) e máximo de 0,7232 (representou 72,32% do total de estabelecimentos em Não-Me-Toque – Rio Grande do Sul) para o ano de 2017 (Tabela 7) (Figura 29).

Figura 29 - Distribuição de valores da variável observável AS3 entre as microrregiões brasileiras em 2017.

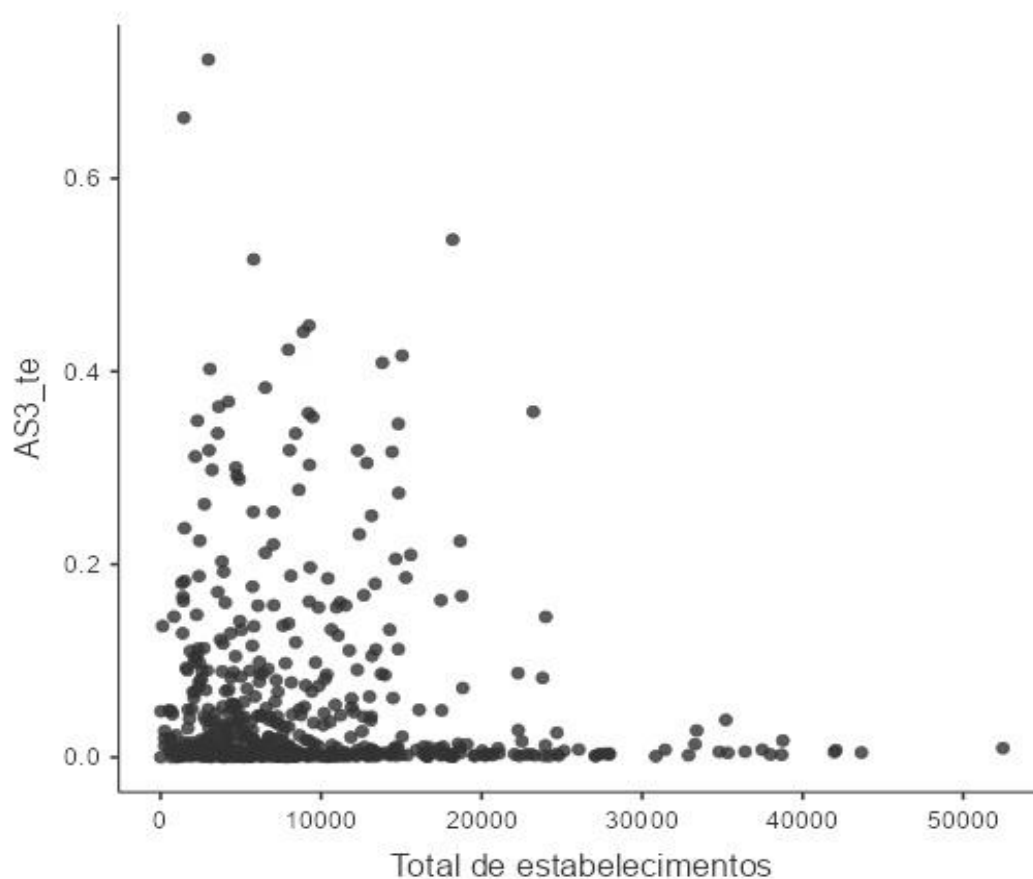


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Variável observável: AS3 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso ao serviço de assistência técnica de cooperativas.

As microrregiões com maior quantidade de estabelecimentos rurais com acesso ao serviço de assistência técnica de cooperativas estavam localizadas principalmente nas regiões Sudeste e Sul no ano de 2017 (Figura 29). Foi possível verificar uma maior concentração de microrregiões brasileiras com baixo acesso (até 10% do total de propriedades da localidade) ao serviço de assistência técnica de cooperativas no ano de 2017 (Figura 30).

Figura 30 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável AS3 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.

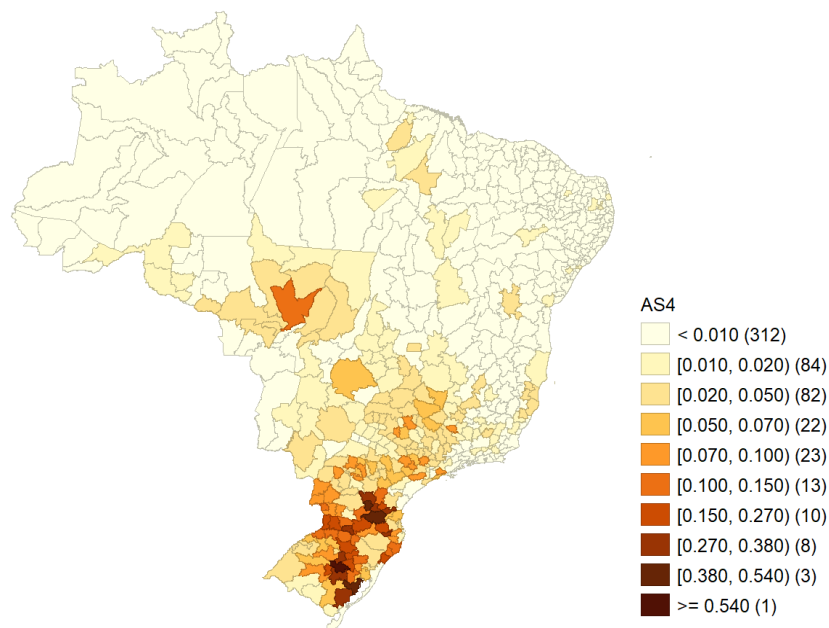


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo AS3\_te do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variável observável: AS3 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso ao serviço de assistência técnica de cooperativas.

O acesso ao serviço de assistência técnica de empresas integradoras (AS4) teve um valor mínimo de 0,0000 (um total de 37 microrregiões) e máximo de 0,5355 (representou 53,55% de estabelecimentos rurais em Santa Cruz do Sul – Rio Grande do Sul) em 2017 (Tabela 7) (Figura 31).

Figura 31 - Distribuição de valores da variável observável AS4 entre as microrregiões brasileiras em 2017.

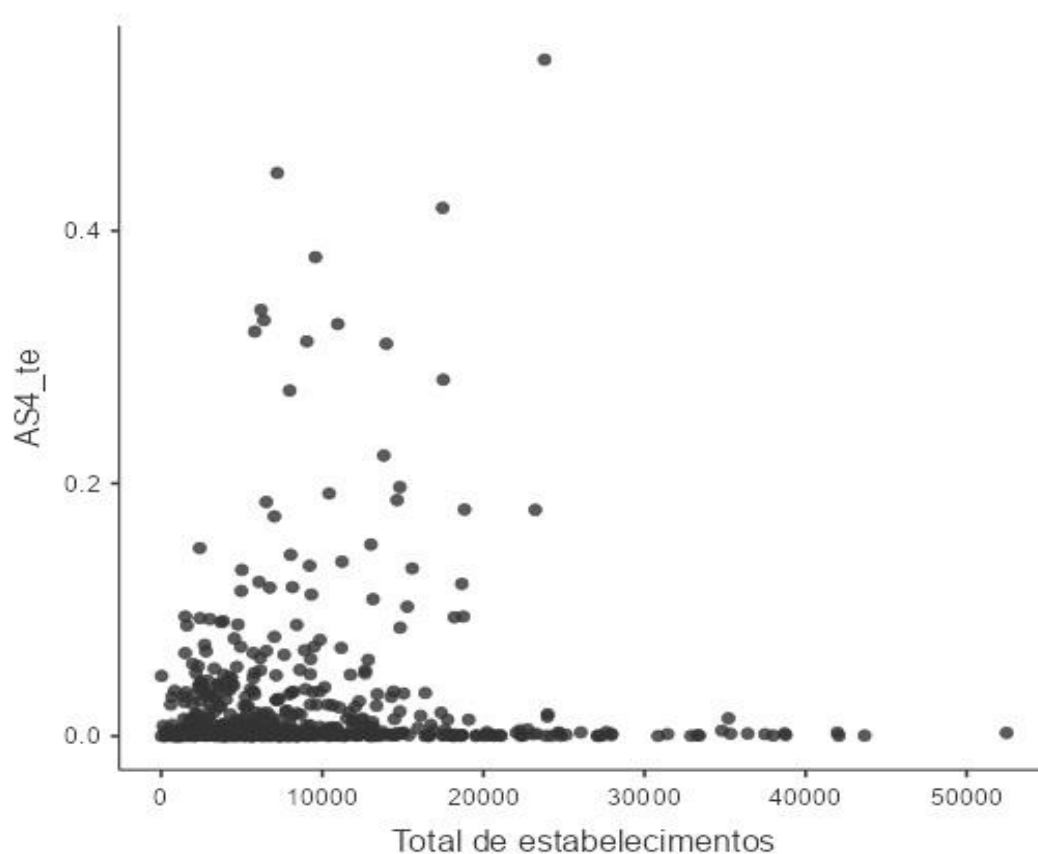


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Variável observável: AS4 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso ao serviço de assistência técnica de empresas integradoras.

Em 2017, as microrregiões com uma maior quantidade de estabelecimentos rurais que tiveram acesso ao serviço de assistência de empresas integradoras estavam localizadas na região Sul (Figura 31). A maior parte das microrregiões brasileiras tiveram uma taxa de até 10% (0,10) do total de propriedades com acesso ao serviço de assistência técnica de empresas integradoras em 2017 (Figura 32).

Figura 32 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável AS4 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.



Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo AS4\_te do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variável observável: AS4 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso ao serviço de assistência técnica de empresas integradoras.

A participação dos produtores rurais em organizações coletivas é importante para o acesso ao conhecimento e trocas de experiências sobre o uso de tecnologias do setor agropecuário (SOUZA FILHO *et al.*, 2011). Observou-se uma desigualdade entre as regiões brasileiras quanto à participação dos produtores rurais em organizações coletivas, como as cooperativas (OC1) (com um CV de 122,89%), entidades de classe (OC2) (com um CV de 74,53%), associação ou movimento de produtores (OC3) (com um CV de 94,00%), e reuniões técnicas e seminários (com um CV de 69,52%) no ano de 2017 (Tabela 8).

Tabela 8 - Estatísticas descritivas das variáveis observáveis que compõem o construto Participação em organizações coletivas (OC) para o setor agropecuário brasileiro em 2017

Variável	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-padrão	Coefficiente de variação (CV) (%)	Alfa de Cronbach
OC1	0,0000	0,8656	0,1344	0,1651	122,89	0,510
OC2	0,0000	0,6790	0,1830	0,1364	74,53	
OC3	0,0021	0,7143	0,0751	0,0706	94,00	
OC4	0,0078	0,5882	0,1491	0,1037	69,52	

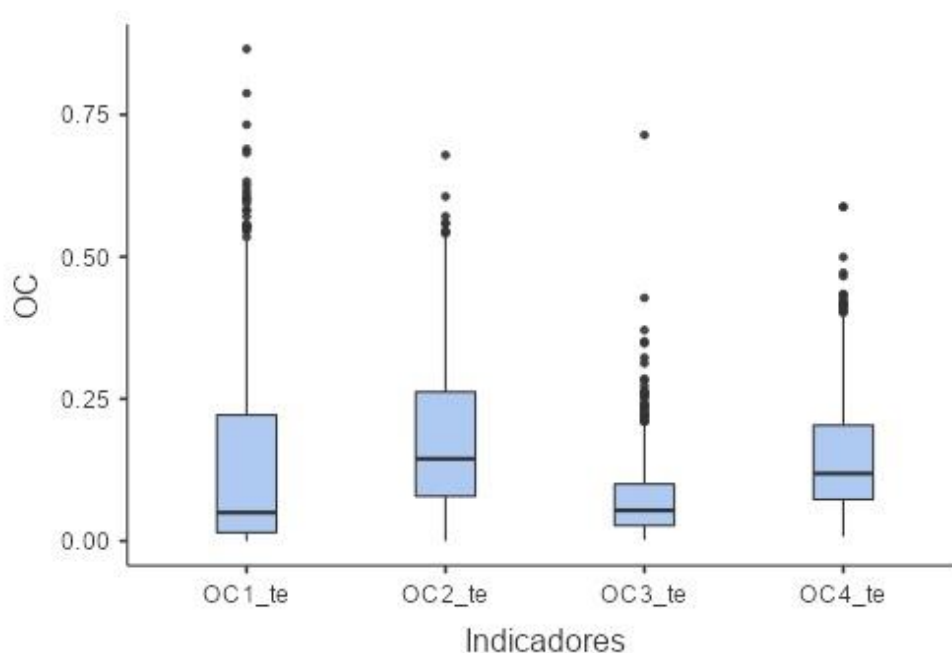
Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: O CV maior que 30% indica heterogeneidade na estrutura de dados da variável (FÁVERO e BELFIORE, 2017). Variáveis observáveis: OC1 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural esteve vinculado a uma cooperativa; OC2 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural esteve vinculado a uma entidade de classe; OC3 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural esteve vinculado a uma associação ou movimento de produtores; e, OC4 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural participou de reuniões técnicas e seminários.

Para o conjunto de variáveis observáveis que compõem o construto OC, o valor do Alfa de Cronbach foi de 0,510, indicando um baixo nível de confiabilidade interna (valor do coeficiente abaixo de 0,60) (FÁVERO e BELFIORE, 2017) (Tabela 8). A ausência de outros indicadores para a composição do construto OC é uma limitação da presente pesquisa em função da disponibilidade de dados do Censo Agropecuário.

As variáveis observáveis OC1, OC2, OC3 e OC4 apresentaram um padrão heterogêneo nos indicadores de Q1, Q2 (Md) e Q3 (gráfico *boxplot*), indicando uma desigualdade nas taxas de participação dos produtores rurais em diferentes modalidades de organizações coletivas ao longo do território brasileiro no ano de 2017 (Figura 33).

Figura 33 - Gráfico de *boxplot* das variáveis observáveis que compõem o construto Organizações coletivas (OC) para o setor agropecuário brasileiro em 2017.



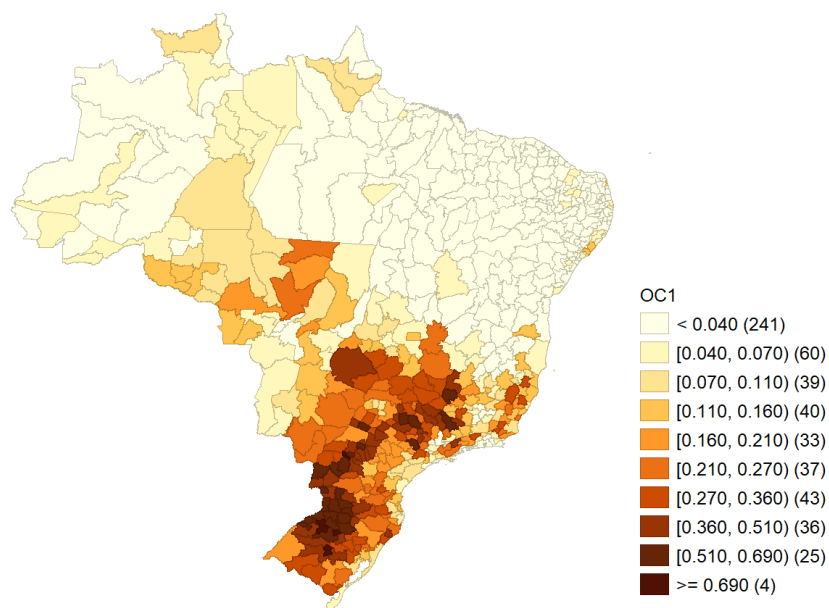
Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo OC do gráfico de *boxplot* está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variáveis observáveis: OC1 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural esteve vinculado a uma cooperativa; OC2 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural esteve vinculado a uma entidade de classe; OC3 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural esteve vinculado a uma associação ou movimento de produtores; e, OC4 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural participou de reuniões técnicas e seminários.

O valor mínimo da variável OC1 (cooperativas) foi de 0,0000 (em Fernando de Noronha – Pernambuco e Santos – São Paulo) e o máximo de 0,8656 (representou 86,56% do total de estabelecimentos agropecuários em Não-Me-Toque – Rio Grande do Sul) (Tabela 8). As microrregiões com uma maior parte dos estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural esteve vinculado a uma cooperativa estavam concentradas principalmente nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul no ano de 2017 (Figura 34)



Figura 34 - Distribuição de valores da variável observável OC1 entre as microrregiões brasileiras em 2017.

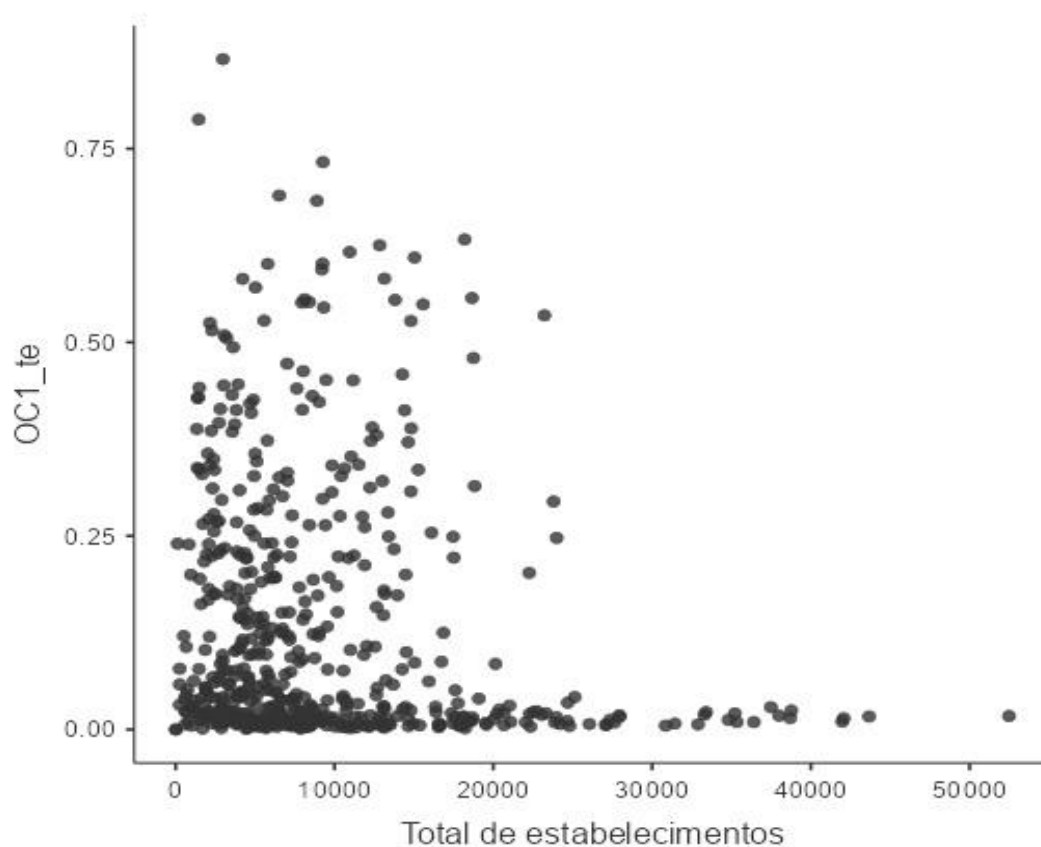


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Variável observável: OC1 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural esteve vinculado a uma cooperativa.

A maior parte das microrregiões brasileiras tiveram uma taxa de até 25% (0,25) do total de estabelecimentos agropecuários em que o produtor esteve vinculado a uma cooperativa no ano de 2017 (Figura 35).

Figura 35 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável OC1 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.

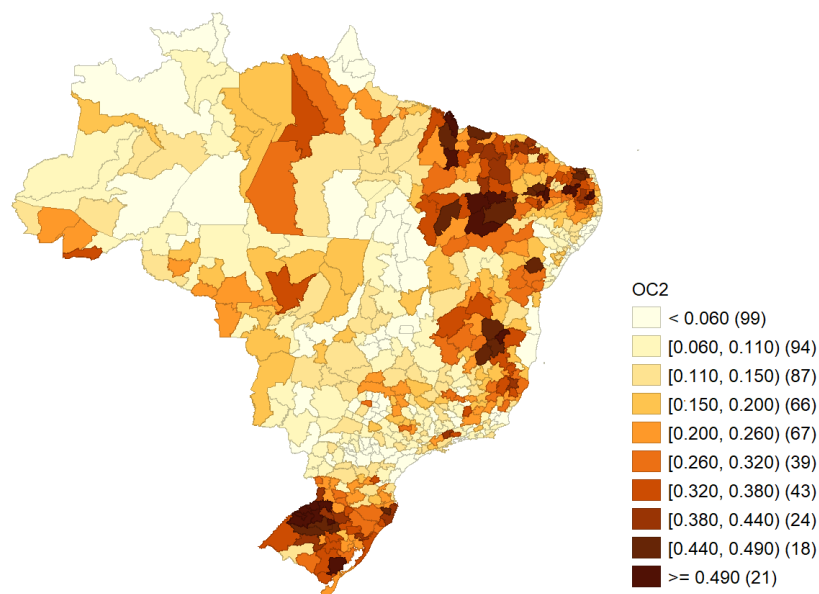


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo OC1\_te do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variável observável: OC1 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural esteve vinculado a uma cooperativa.

A variável OC2 (entidades de classe) teve um valor mínimo de 0,0000 (em Fernando de Noronha – Pernambuco e Santos – São Paulo) e máximo de 0,6790 (representou 67,90% do total de estabelecimentos agropecuários em Cerro Largo – Rio Grande do Sul) (Tabela 8). As microrregiões com uma maior parte de estabelecimentos agropecuários em que o produtor esteve vinculado à uma entidade de classe estavam localizadas principalmente nas regiões Nordeste, Sudeste e Sul no ano de 2017 (Figura 36).

Figura 36 - Distribuição de valores da variável observável OC2 entre as microrregiões brasileiras em 2017.

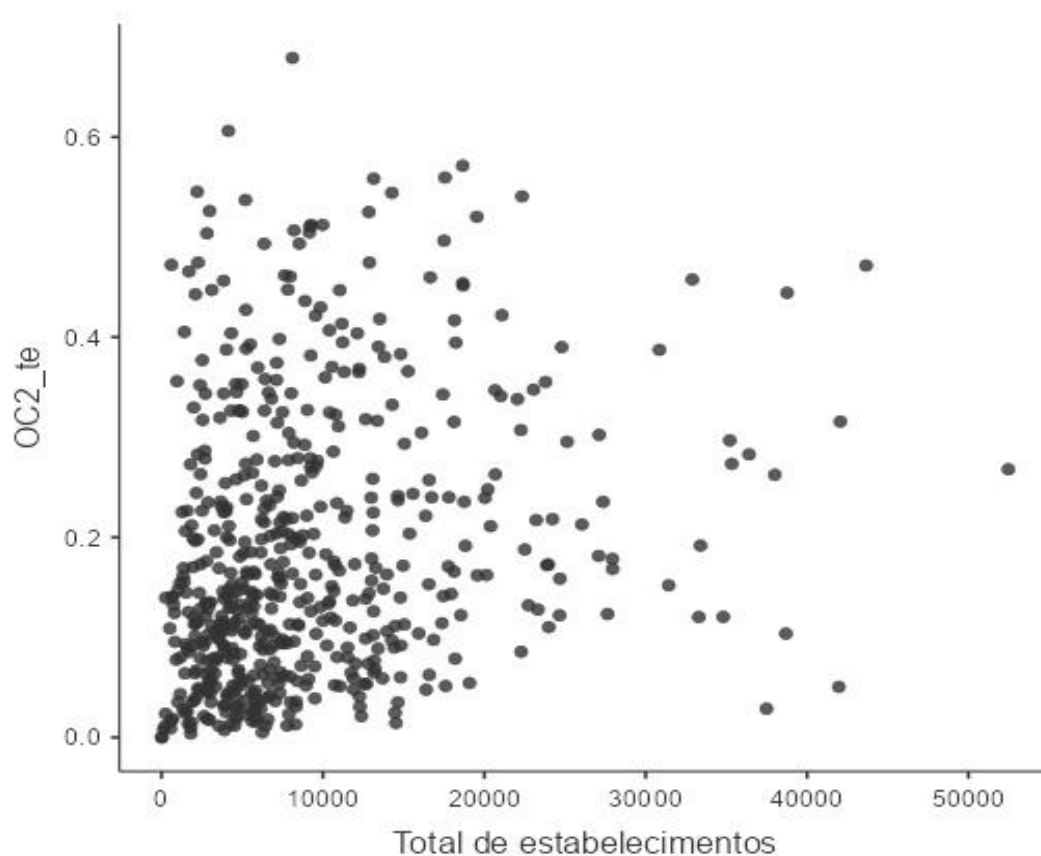


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Variável observável: OC2 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural esteve vinculado a uma entidade de classe.

A maior parte das microrregiões brasileiras tiveram uma taxa de até 20% (0,20) do total de empreendimentos agropecuários em que o produtor rural esteve vinculado a uma entidade de classe em 2017 (Figura 37).

Figura 37 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável OC2 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.

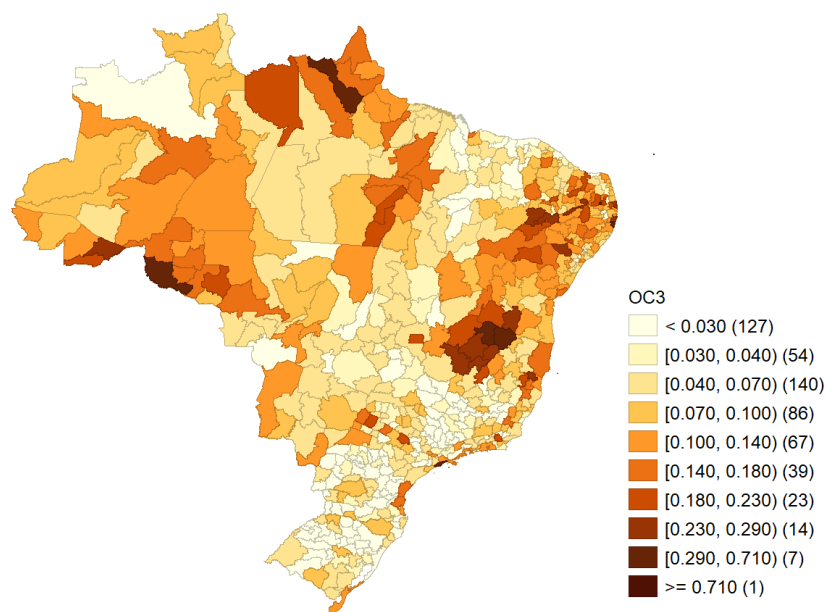


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo OC2\_te do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variável observável: OC2 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural esteve vinculado a uma entidade de classe.

O valor mínimo da variável OC3 (associação ou movimento de produtores) foi de 0,0021 (representou 0,21% do total de estabelecimentos agropecuários em Coreaú – Ceará) e máximo de 0,7143 (representou 71,34% do total de estabelecimentos em Fernando de Noronha – Pernambuco) (Tabela 8). Nas regiões Nordeste, Norte e Sudeste estavam localizadas as microrregiões com uma maior parte de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural esteve vinculado à uma associação em 2017 (Figura 38).

Figura 38 - Distribuição de valores da variável observável OC3 entre as microrregiões brasileiras em 2017.

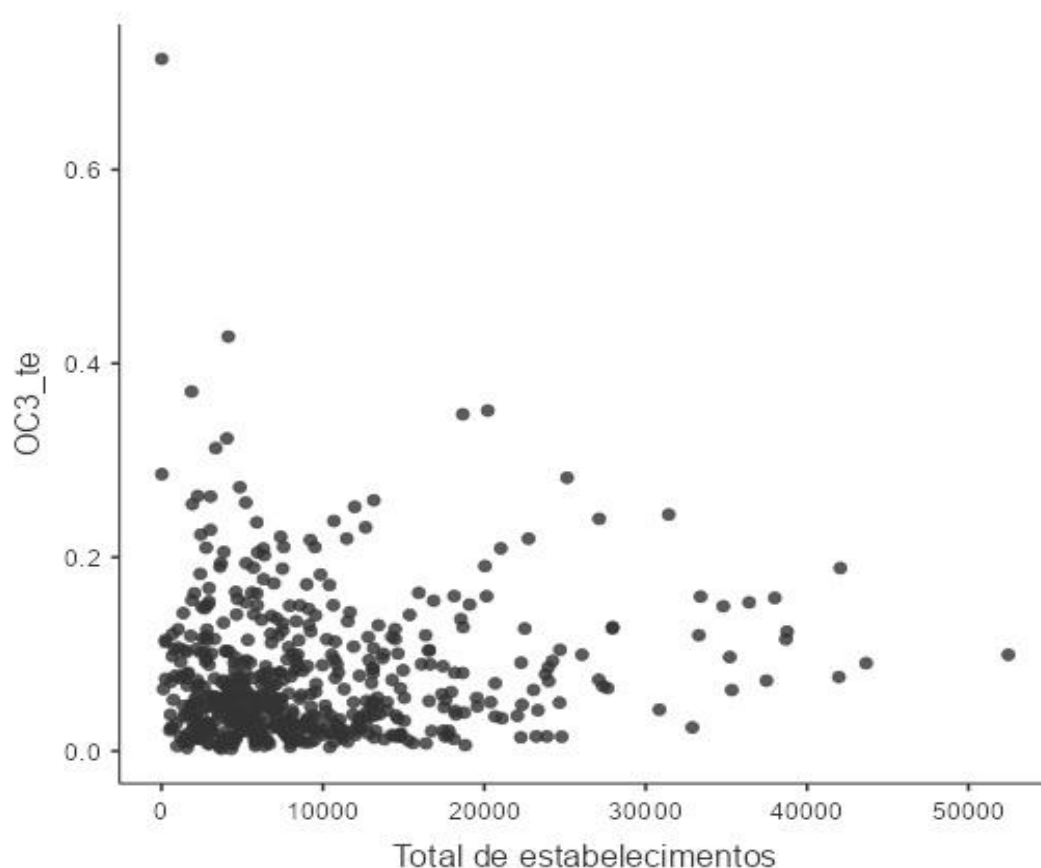


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Variável observável: OC3 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural esteve vinculado a uma associação ou movimento de produtores.

A maior parte das microrregiões brasileiras tiveram uma taxa de até 10% (0,10) do total de estabelecimentos agropecuários em que o produtor esteve vinculado a uma associação no ano de 2017 (Figura 39).

Figura 39 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável OC3 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.

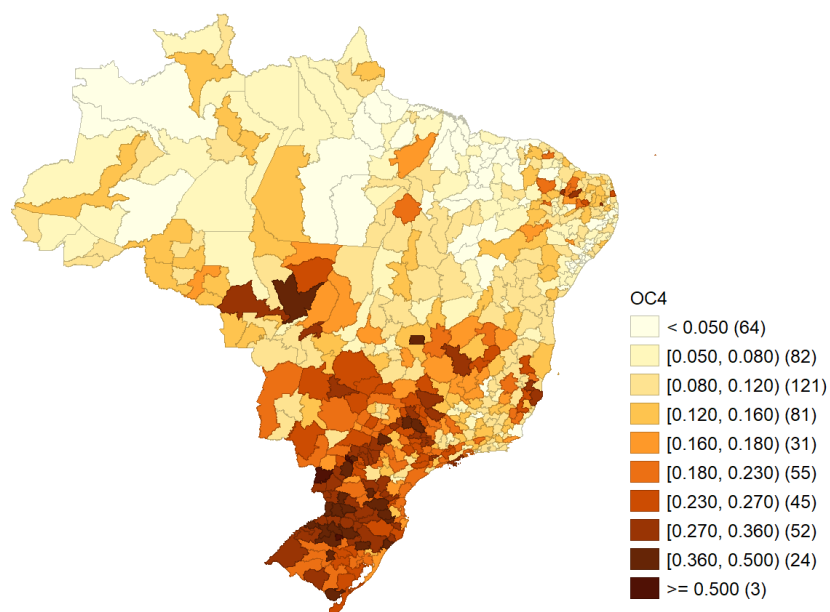


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo OC3\_te do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variável observável: OC3 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural esteve vinculado a uma associação ou movimento de produtores.

O valor mínimo da variável OC4 (participação em reuniões técnicas e seminários) foi de 0,0078 (representou 0,78% do total de estabelecimentos agropecuários em Baixo Parnaíba Maranhense – Maranhão) e máximo de 0,5882 (representou 58,82% do total de estabelecimentos de Não-Me-Toque – Rio Grande do Sul) (Tabela 8). As microrregiões com uma maior parte de estabelecimentos agropecuários com produtores rurais participando de reuniões técnicas e seminários foram nas regiões Centro-Oeste, Nordeste, Sudeste e Sul para o ano de 2017 (Figura 40).

Figura 40 - Distribuição de valores da variável observável OC4 entre as microrregiões brasileiras em 2017.

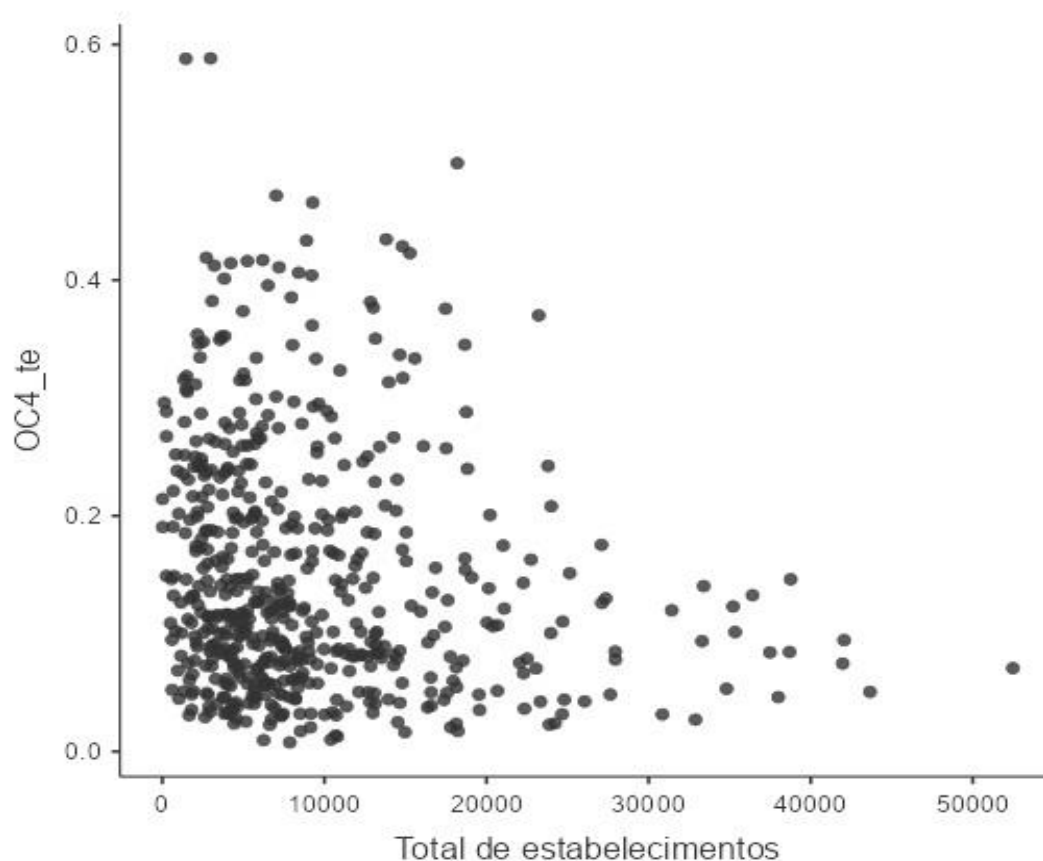


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Variável observável: OC4 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural participou de reuniões técnicas e seminários.

Observou-se uma maior concentração de microrregiões brasileiras com uma taxa de até 20% (0,20) do total de propriedades rurais em que o produtor participou de reuniões técnicas e seminários no ano de 2017 (Figura 41).

Figura 41 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável OC4 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.



Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo OC4\_te do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variável observável: OC4 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural participou de reuniões técnicas e seminários.

De uma forma geral, foi possível observar uma desigualdade no acesso aos serviços de assistência técnica (Tabela 7) e crédito (Tabela 6) no setor agropecuário brasileiro, bem como na participação dos produtores rurais em diferentes formas de organizações coletivas (Tabela 8) no ano de 2017 (Quadro 12). O setor agropecuário brasileiro é caracterizado pelo cenário de desigualdade entre as regiões brasileiras no que tange ao acesso aos serviços públicos direcionados ao campo e na participação dos produtores em organizações coletivas (FORNAZIER e VIEIRA FILHO, 2012).



Quadro 12 - Síntese de informações das variáveis observáveis dos construtos AC, AS e OC

Construtos	Síntese de informações
Acesso ao crédito (AC)	<p>(a) Desigualdade entre as microrregiões na participação relativa do total de propriedades rurais com acesso à diferentes tipos de fontes de crédito ao longo do território nacional em 2017;</p> <p>(b) Em todas as microrregiões brasileiras existiram propriedades rurais que utilizaram recursos financeiros de bancos no ano de 2017;</p> <p>(c) Houve microrregiões brasileiras com propriedades rurais que não acessaram recursos financeiros de cooperativas de crédito ou governos (federal, estadual e/ou municipal) em 2017; e,</p> <p>(d) Ocorreu uma concentração na região Sul de propriedades rurais com acesso de recursos financeiros de bancos e cooperativas de crédito, em detrimento de outras regiões brasileiras em 2017.</p>
Acesso ao serviço de assistência técnica (AS)	<p>(a) Desigualdade entre as microrregiões na participação relativa do total de propriedades rurais com acesso à diferentes tipos de serviços de assistência técnica ao longo do território nacional em 2017;</p> <p>(b) O serviço de assistência técnica governamental esteve presente em todas as microrregiões brasileiras em 2017;</p> <p>(c) Houve microrregiões brasileiras com propriedades rurais que não tiveram acesso aos serviços de assistência técnica do próprio produtor ou contratada, cooperativas e empresas integradoras no ano de 2017;</p> <p>(d) Na região Sul, teve uma concentração maior de microrregiões com maior quantidade de estabelecimentos agropecuários com acesso ao serviço de assistência técnica de cooperativas e empresas integradoras em relação às demais localidades brasileiras em 2017; e,</p> <p>(e) Observou-se uma escassez de acesso aos serviços de assistência técnica de cooperativas e empresas integradoras nas regiões Nordeste e Norte em 2017.</p>
Participação em organizações coletivas	(a) Desigualdade entre as microrregiões

(OC)	<p>na participação relativa do total de propriedades rurais com a participação dos produtores rurais em organizações coletivas ao longo do território nacional no ano de 2017;</p> <p>(b) Em todas as microrregiões brasileiras ocorreu a situação de produtores rurais estarem participando de uma associação e de reuniões técnicas e seminários no ano de 2017;</p> <p>(c) Nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul ocorreu uma concentração de microrregiões com maior quantidade de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural esteve vinculado a uma cooperativa em 2017;</p> <p>(d) Nas regiões Nordeste, Sudeste e Sul ocorreu uma maior concentração de microrregiões com maior quantidade de estabelecimentos rurais onde o produtor rural esteve vinculado a uma entidade de classe em 2017;</p> <p>(e) A participação dos produtores rurais em associações esteve com uma maior concentração nas regiões Nordeste, Norte e Sudeste no ano de 2017; e,</p> <p>(f) A participação dos produtores rurais em reuniões técnicas e seminários esteve com maior concentração em microrregiões localizadas nas regiões Centro-Oeste, Nordeste, Sudeste e Sul no ano de 2017.</p>
------	---

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.1.3 Indicadores relacionados às características da propriedade rural

As características da propriedade rural podem influenciar o processo de adoção de tecnologia no setor agropecuário, como é o caso das condições edafoclimáticas (tipo de solo, relevo, disponibilidade de água, etc.), a infraestrutura produtiva disponível e dentre outros fatores (TEY e BRINDAL, 2012; MWANGI e KARIUKI, 2015; SADIGOV, 2018; MUNGIA e LLEWELLYN, 2020). A disponibilidade de água contribui para a adoção de tecnologia no setor agropecuário (CHANDRAN e SURENDRAN, 2015; YANG *et al.*, 2020; YANG *et al.*, 2021; KHAREL *et al.*, 2023).

Observou-se uma desigualdade nos tipos de fontes de água nas propriedades rurais entre as regiões brasileiras no ano de 2017. O acesso de água de nascentes (DA1)

teve um CV de 70,26%, seguido de DA2 (rios e riachos) com um CV de 38,23%, DA3 (poços tubulares profundos jorrantes) com um CV de 101,74% e DA4 (cisternas) com um CV de 162,69% (Tabela 9).

Tabela 9 - Estatísticas descritivas das variáveis observáveis que compõem o construto Disponibilidade de água (DA) para o setor agropecuário brasileiro em 2017

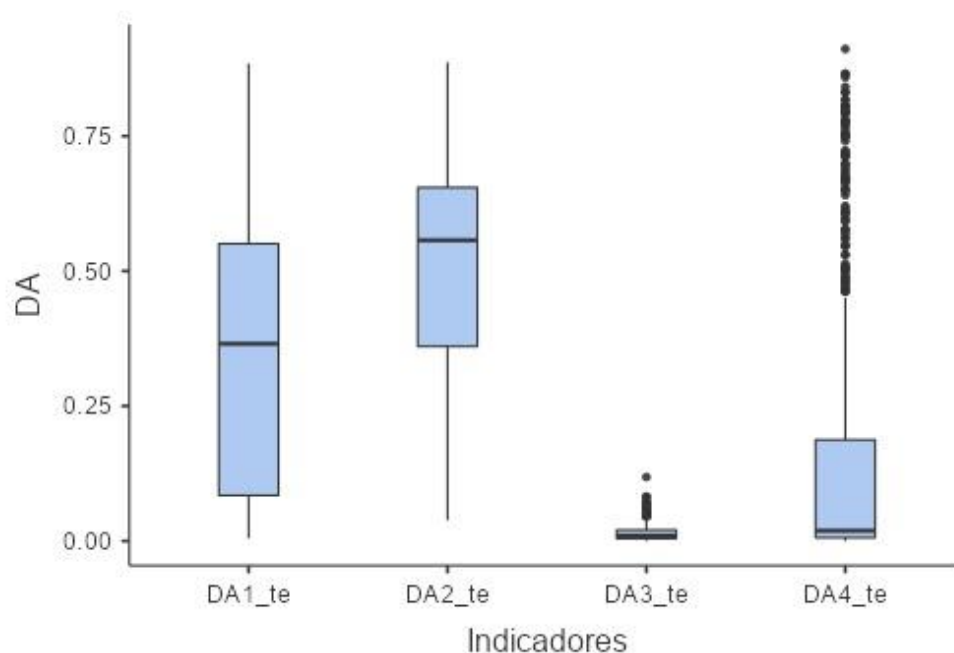
Variável	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-padrão	Coefficiente de variação (CV) (%)	Alfa de Cronbach
DA1	0,0048	0,8843	0,3518	0,2472	70,26	0,731
DA2	0,0384	0,8866	0,5011	0,1916	38,23	
DA3	0,0000	0,1183	0,0148	0,0150	101,74	
DA4	0,0000	0,9113	0,1516	0,2467	162,69	

Fonte: Elaborado a partir de IBGE (2017).

Nota: O CV maior que 30% indica heterogeneidade na estrutura de dados da variável (FÁVERO e BELFIORE, 2017). Variáveis observáveis: DA1 – proporção de estabelecimentos agropecuários com acesso à água de nascentes; DA2 – proporção de estabelecimentos agropecuários com acesso à água de rios ou riachos; DA3 – proporção de estabelecimentos agropecuários com acesso à água de poços tubulares profundos jorrantes; e, DA4 – proporção de estabelecimentos agropecuários com acesso à água de cisternas.

Para o conjunto de variáveis observáveis que compõem o construto DA, o valor do Alfa de Cronbach foi de 0,731, indicando um nível de confiabilidade interna significativa (valor do coeficiente acima de 0,60) (FÁVERO e BELFIORE, 2017) (Tabela 9). As variáveis observáveis DA1, DA2, DA3 e DA4 apresentaram um padrão heterogêneo nos indicadores de Q1, Q2 (Md) e Q3 (gráfico *boxplot*), indicando uma desigualdade nos tipos de fontes de água das propriedades rurais ao longo do território brasileiro no ano de 2017 (Figura 42).

Figura 42 - Gráfico de *boxplot* das variáveis observáveis que compõem o construto Disponibilidade de água (DA) para o setor agropecuário brasileiro em 2017.

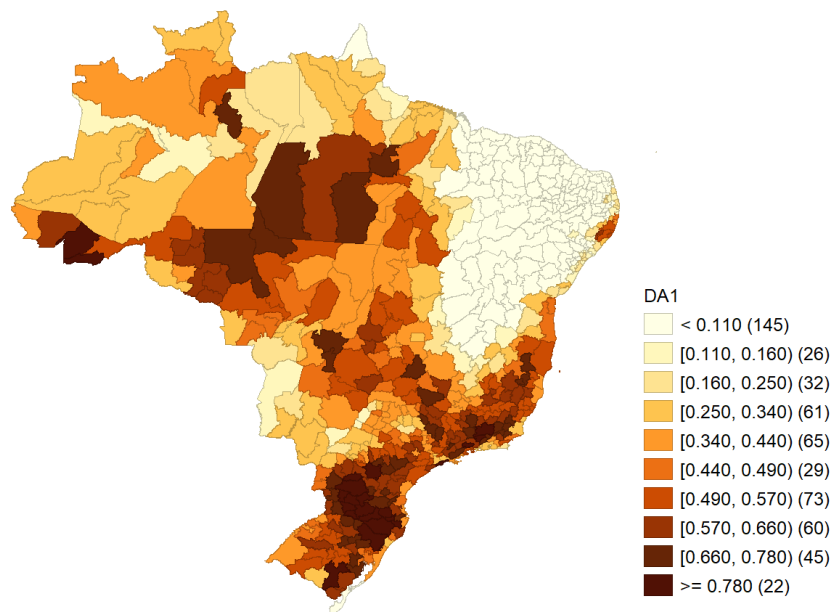


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo DA do gráfico de *boxplot* está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variáveis observáveis: DA1 – proporção de estabelecimentos agropecuários com acesso à água de nascentes; DA2 – proporção de estabelecimentos agropecuários com acesso à água de rios ou riachos; DA3 – proporção de estabelecimentos agropecuários com acesso à água de poços tubulares profundos jorrantes; e, DA4 – proporção de estabelecimentos agropecuários com acesso à água de cisternas.

O valor mínimo da variável DA1 (nascentes) foi de 0,0048 (representou 0,48% do total de estabelecimentos agropecuários em Mossoró – Rio Grande do Norte) e máximo de 0,8843 (representou 88,43% do total de estabelecimentos agropecuários em Brasília – Acre) no ano de 2017 (Tabela 9) (Figura 43).

Figura 43 - Distribuição de valores da variável observável DA1 entre as microrregiões brasileiras em 2017.

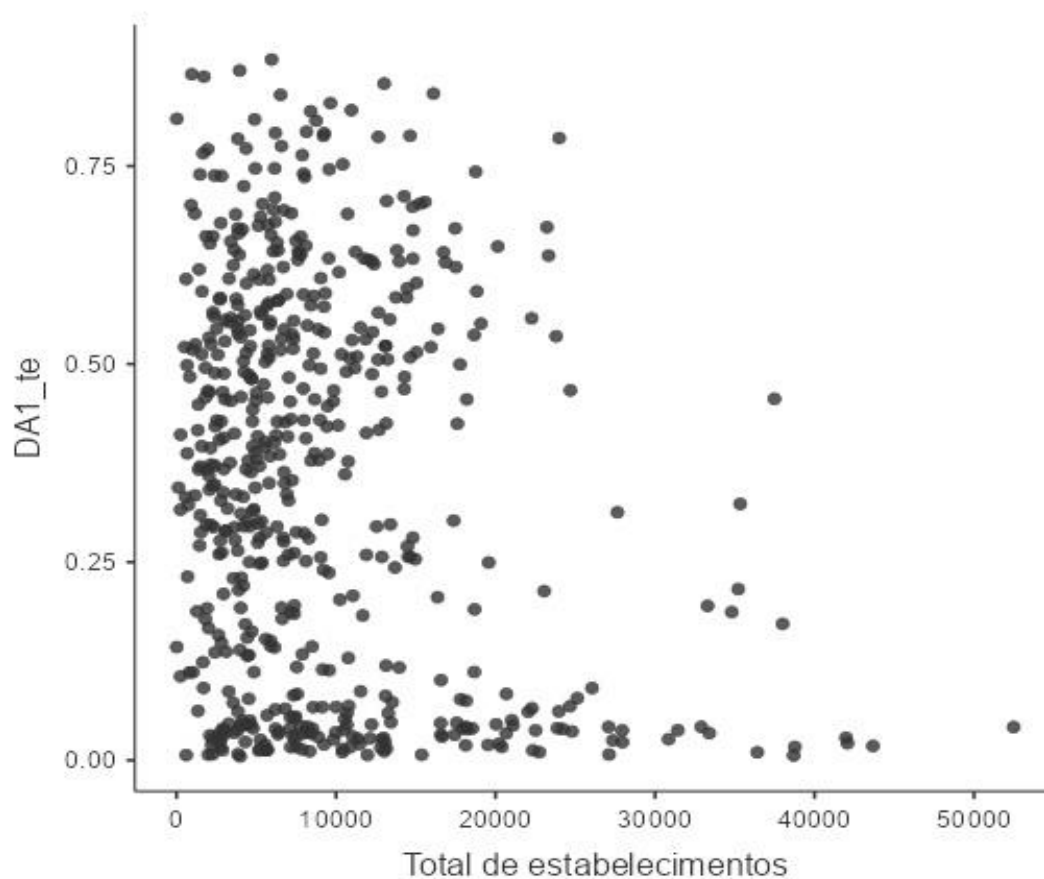


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa@. Variável observável: DA1 – proporção de estabelecimentos agropecuários com acesso à água de nascentes.

As microrregiões com a maior parte de estabelecimentos agropecuários com fonte de água de nascentes estavam concentradas principalmente nas regiões Centro-Oeste, Norte, Sudeste e Sul no ano de 2017 (Figura 43). A maior parte das microrregiões brasileiras tiveram uma taxa de até 75% (0,75) do total de propriedades rurais com acesso à água de nascentes no ano de 2017 (Figura 44).

Figura 44 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável DA1 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.

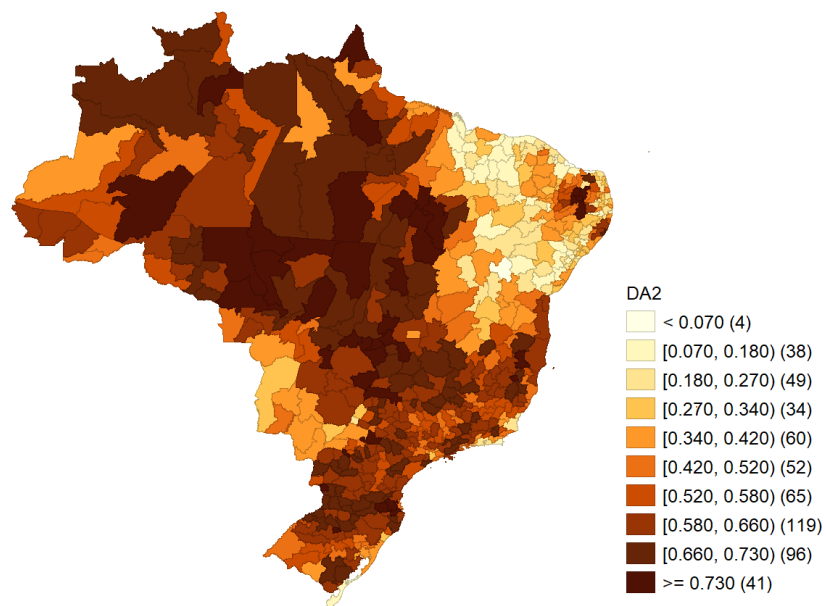


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo DA1\_te do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variáveis observáveis: DA1 – proporção de estabelecimentos agropecuários com acesso à água de nascentes.

O valor mínimo da variável DA2 (rios ou riachos) foi de 0,0384 (representou 3,84% do total de estabelecimentos agropecuários em Irecê – Bahia) e máximo de 0,8866 (representou 88,66% do total de estabelecimentos em Portel – Pará) para o ano de 2017 (Tabela 9) (Figura 45).

Figura 45 - Distribuição de valores da variável observável DA2 entre as microrregiões brasileiras em 2017.

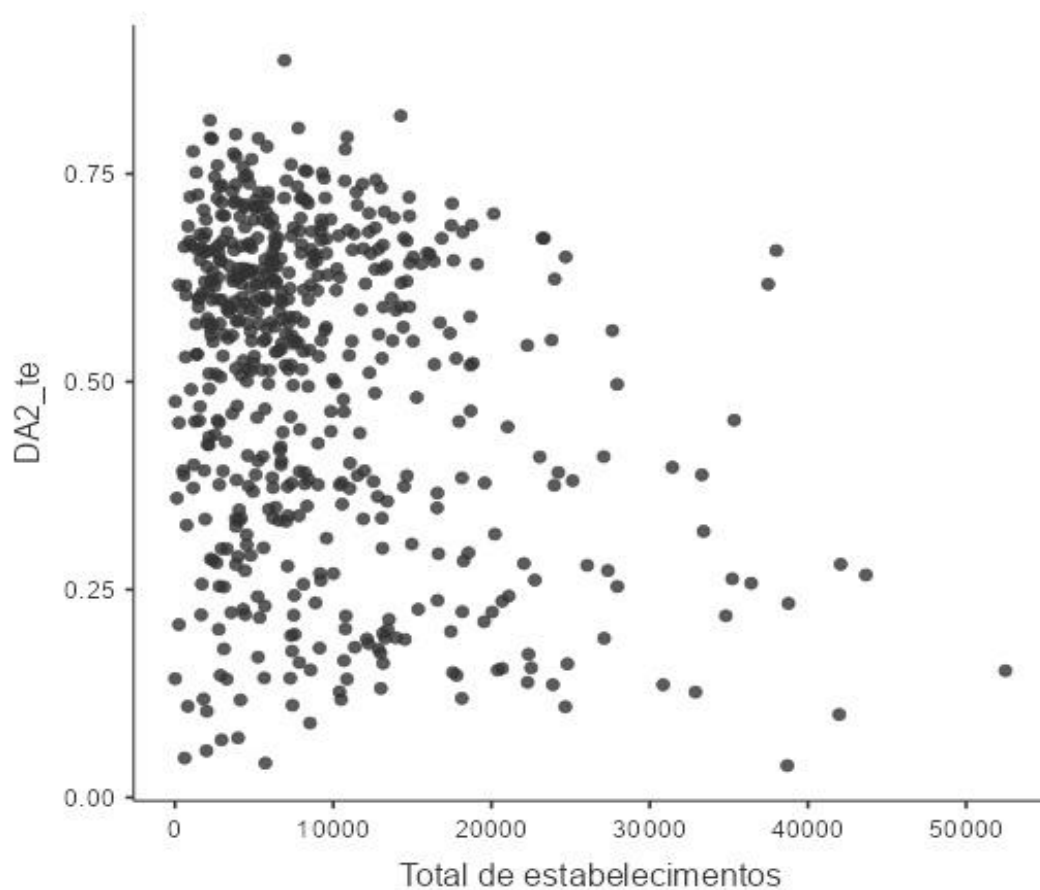


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Variável observável: DA2 – proporção de estabelecimentos agropecuários com acesso à água de rios ou riachos.

As microrregiões com a maior parte de estabelecimentos agropecuários com acesso de água de rios ou riachos estiveram concentradas em todas as regiões brasileiras no ano de 2017 (Figura 45). A maior parte das microrregiões brasileiras tiveram uma taxa de até 75% (0,75) do total de propriedades rurais com acesso à água de rios e riachos no ano de 2017 (Figura 46).

Figura 46 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável DA2 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.



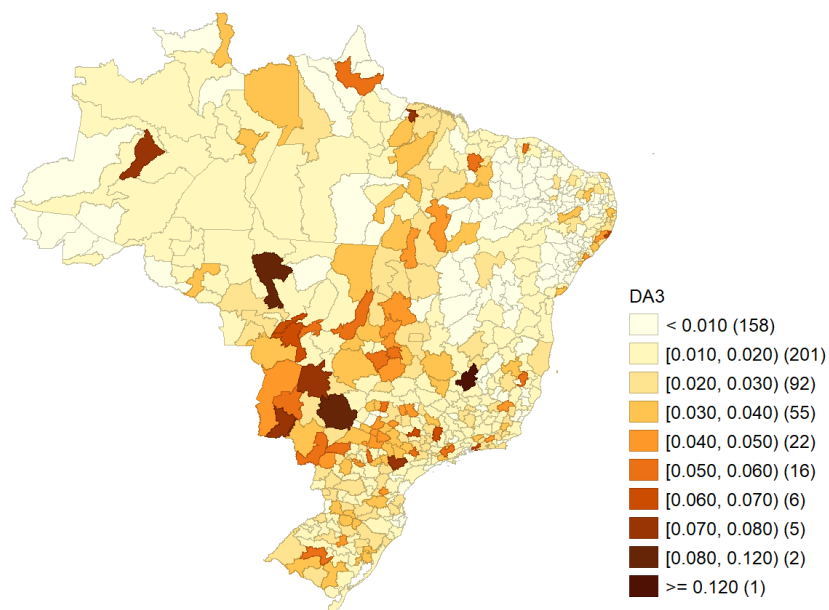
Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo DA2\_te do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variável observável: DA2 – proporção de estabelecimentos agropecuários com acesso à água de rios ou riachos.

O valor mínimo da variável DA3 (poços tubulares profundos jorrantes) foi de 0,000 (um total de 12 microrregiões) e máximo de 0,1183 (representou 11,83% do total de estabelecimentos agropecuários em Curvelo – Minas Gerais) em 2017 (Tabela 9) (Figura 47).



Figura 47 - Distribuição de valores da variável observável DA3 entre as microrregiões brasileiras em 2017.

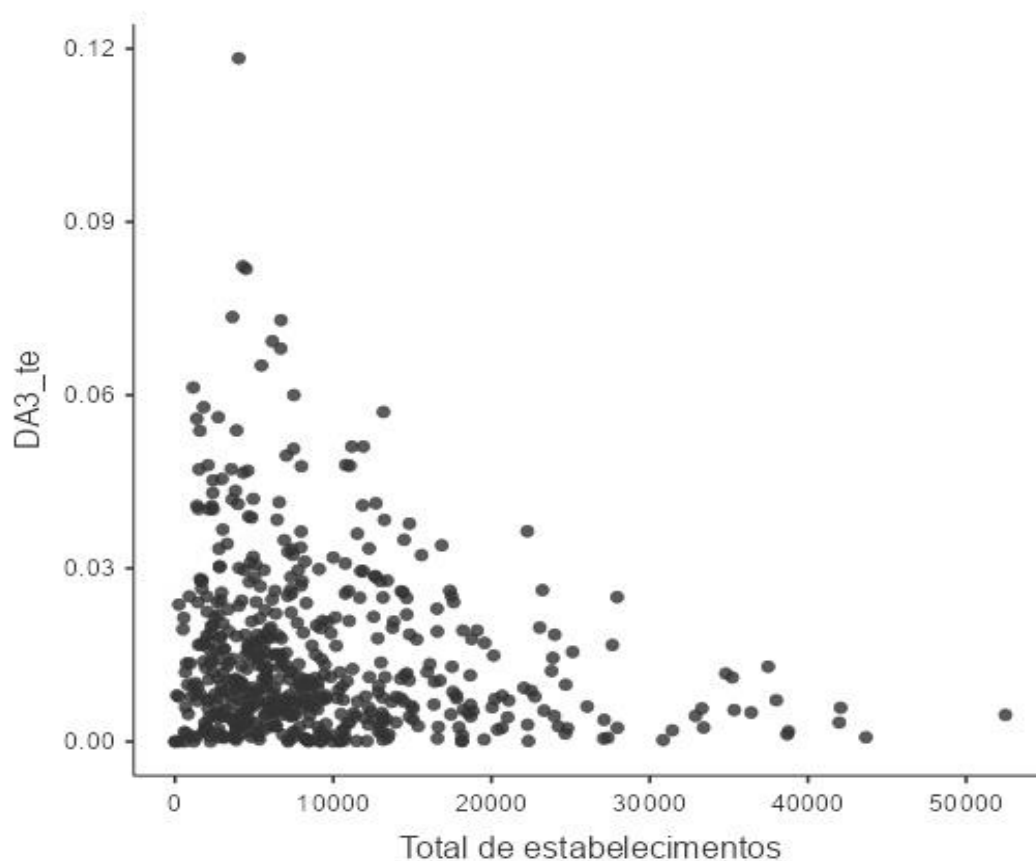


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Variável observável: DA3 – proporção de estabelecimentos agropecuários com acesso à água de poços tubulares profundos jorrantes.

As microrregiões brasileiras com a maior parte de estabelecimentos agropecuários com acesso de água de poços tubulares profundos jorrantes estiveram localizadas nas regiões Centro-Oeste e Sudeste em 2017 (Figura 47). A maior parte das microrregiões brasileiras tiveram uma taxa de até 3% (0,03) do total de propriedades rurais com acesso à água de poços tubulares profundos jorrantes no ano de 2017 (Figura 48).

Figura 48 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável DA3 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.

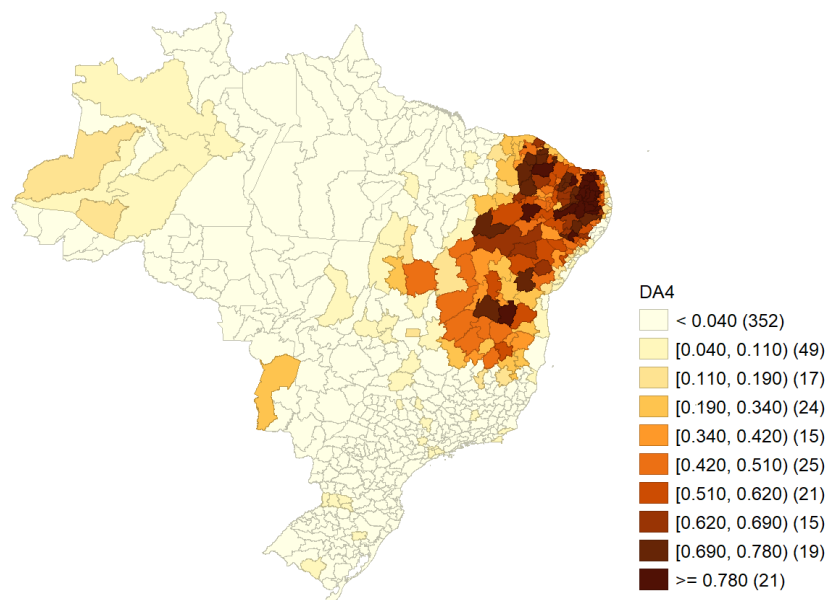


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo DA3\_te do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variável observável: DA3 – proporção de estabelecimentos agropecuários com acesso à água de poços tubulares profundos jorrantes.

O valor mínimo da variável DA4 (cisternas) foi de 0,0000 (em Portel – Pará, Fernando de Noronha – Pernambuco, Santos – São Paulo e Tijucas – Santa Catarina) e máximo de 0,9113 (representou 91,13% do total de estabelecimentos em Seridó Oriental Paraibano – Paraíba) no ano de 2017 (Tabela 9) (Figura 49).

Figura 49 - Distribuição de valores da variável observável DA4 entre as microrregiões brasileiras em 2017.

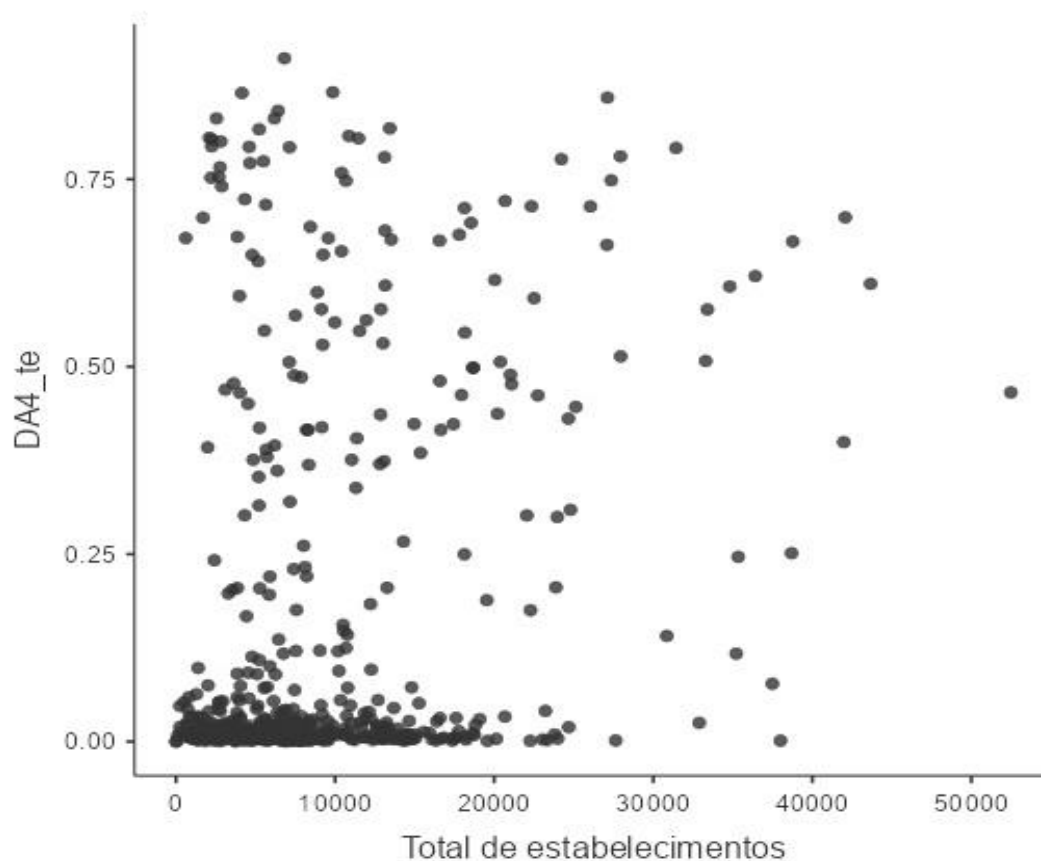


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Variável observável: DA4 – proporção de estabelecimentos agropecuários com acesso à água de cisternas.

As microrregiões com a maior parte de estabelecimentos agropecuários com acesso à água de cisternas estavam concentradas principalmente nas regiões Nordeste e Sudeste no ano de 2017 (Figura 49). A maior parte das microrregiões brasileiras tiveram uma taxa de até 25% (0,25) do total de propriedades rurais com acesso de água de cisternas no ano de 2017 (Figura 50).

Figura 50 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável DA4 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.



Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo DA4\_te do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do software Jamovi®. Variável observável: DA4 – proporção de estabelecimentos agropecuários com acesso à água de cisternas.

A presença de máquinas e equipamentos é importante para a implementação de novas práticas produtivas e uso de insumos nas propriedades rurais (CHAVES, 2002; VILELA *et al.*, 2007; ZONTA *et al.*, 2012; PASSOS *et al.*, 2018; TELLES *et al.*, 2021).

Observou-se uma desigualdade na existência de máquinas e equipamentos produtivos entre as regiões brasileiras no ano de 2017. A variável ME1 (tratores) teve um CV de 99,81%, seguido da ME2 (semeadeiras/plantadeiras) com um CV de 137,92% e ME3 (adubadeira, colheitadeira e/ou distribuidor de calcário) teve um CV de 136,04% (Tabela 10).

Tabela 10 - Estatísticas descritivas das variáveis observáveis que compõem o construto Máquinas e equipamentos produtivos (ME) para o setor agropecuário brasileiro em 2017

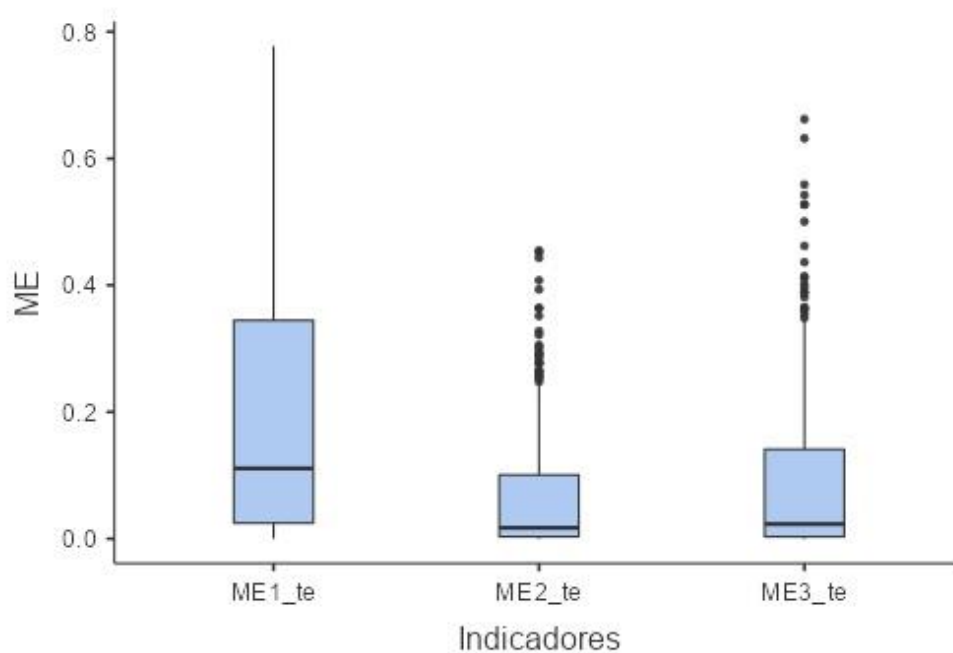
Variável	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-padrão	Coefficiente de variação (CV) (%)	Alfa de Cronbach
ME1	0,0000	0,7775	0,1922	0,1918	99,81	0,886
ME2	0,0000	0,4548	0,0628	0,0865	137,92	
ME3	0,0000	0,6621	0,0862	0,1172	136,04	

Fonte: Elaborado a partir de IBGE (2017).

Nota: O CV maior que 30% indica heterogeneidade na estrutura de dados da variável (FÁVERO e BELFIORE, 2017). Variáveis observáveis: ME1 – proporção de estabelecimentos agropecuários que possuíam tratores; ME2 – proporção de estabelecimentos agropecuários que possuíam semeadeiras/plantadeiras; e, ME3 – proporção de estabelecimentos agropecuários que possuíam adubadeira, colheitadeira e/ou distribuidor de calcário.

Para o conjunto de variáveis observáveis que compõem o construto ME, o valor do Alfa de Cronbach foi de 0,886, indicando um nível de confiabilidade interna significativa (valor do coeficiente acima de 0,60) (FÁVERO e BELFIORE, 2017) (Tabela 10). As variáveis observáveis ME1, ME2 e ME3 apresentaram um padrão heterogêneo nos indicadores de Q1, Q2 (Md) e Q3 (gráfico *boxplot*), indicando uma desigualdade nos tipos máquinas e equipamentos produtivos existentes nas propriedades rurais ao longo do território brasileiro no ano de 2017 (Figura 51).

Figura 51 - Gráfico de *boxplot* das variáveis observáveis que compõem o construto Máquinas e equipamentos produtivos (ME) para o setor agropecuário brasileiro em 2017.



Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo ME do gráfico de *boxplot* está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variáveis observáveis: ME1 – proporção de estabelecimentos agropecuários que possuíam tratores; ME2 – proporção de estabelecimentos agropecuários que possuíam semeadeiras/plantadeiras; e, ME3 – proporção de estabelecimentos agropecuários que possuíam adubadeira, colheitadeira e/ou distribuidor de calcário.

O valor mínimo da variável ME1 (tratores) foi de 0,0000 (em Meruoca – Ceará e Furos de Breves – Pará) e máximo de 0,7775 (representou 77,75% do total de estabelecimentos agropecuários em Ituporanga – Santa Catarina) em 2017 (Tabela 10). As microrregiões com a maior parte de propriedades rurais com tratores foram nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul no ano de 2017 (Figura 52).

Figura 52 - Distribuição de valores da variável observável ME1 entre as microrregiões brasileiras em 2017.

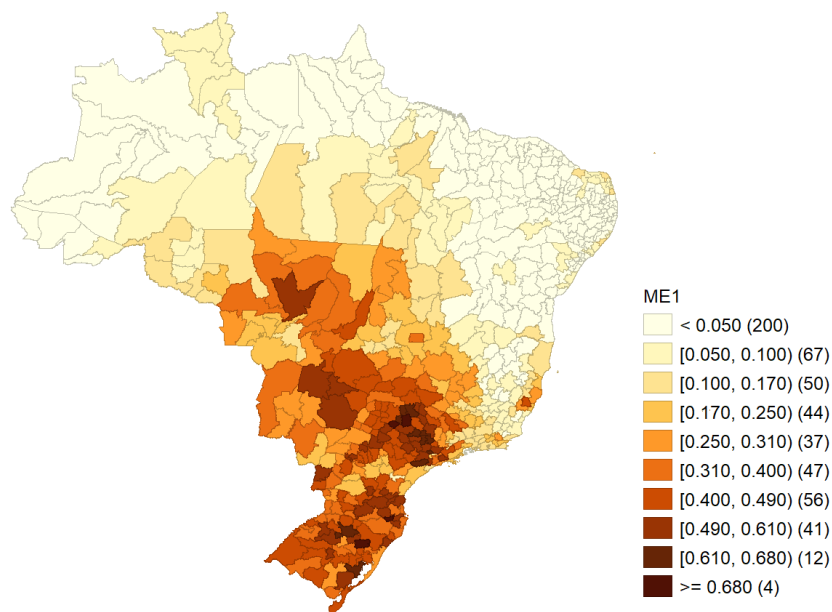


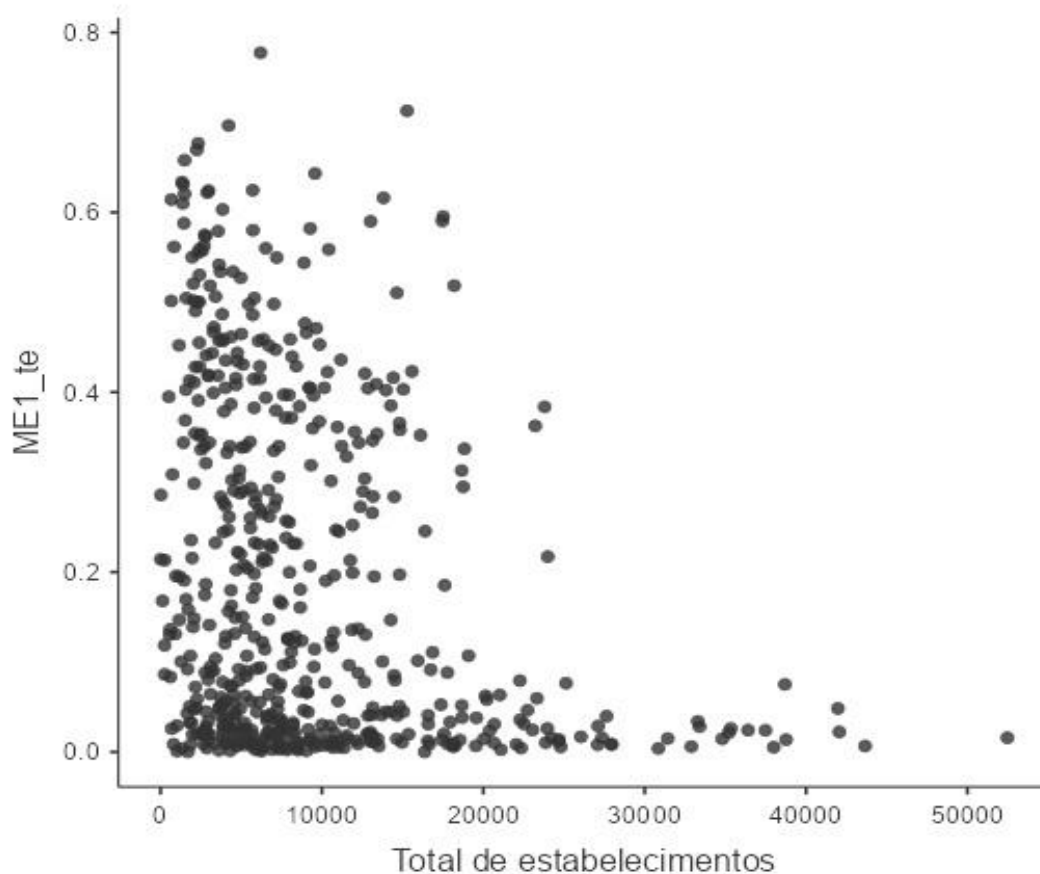
Figura 52.

Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Variável observável: ME1 – proporção de estabelecimentos agropecuários que possuíam tratores.

A maior parte das microrregiões brasileiras tiveram uma taxa de até 20% (0,20) do total de propriedades com tratores no ano de 2017 (Figura 53).

Figura 53 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável ME1 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.



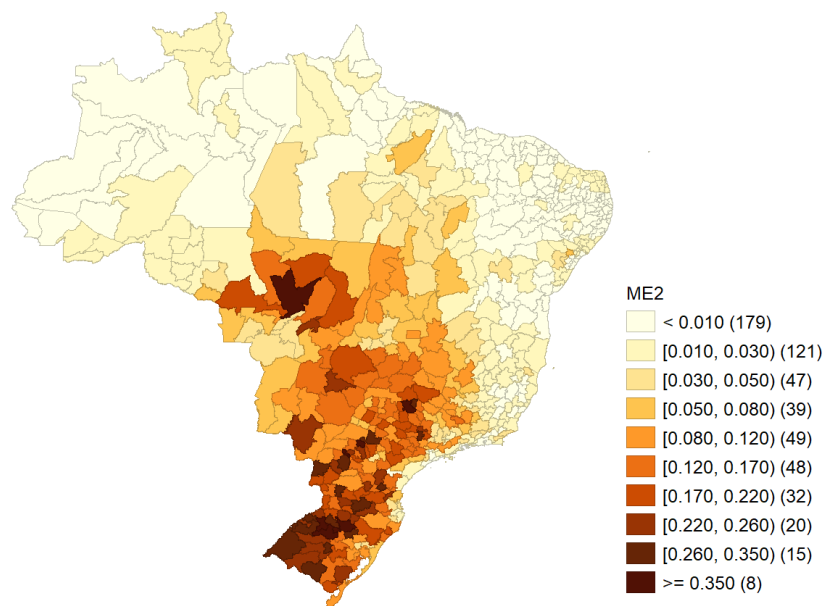
Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo ME1\_te do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variável observável: ME1 – proporção de estabelecimentos agropecuários que possuíam tratores.

A variável ME2 (semeadeiras/plantadeiras) teve um valor mínimo de 0,0000 (um total de 13 microrregiões) e máximo de 0,4548 (representou 45,48% do total de estabelecimentos agropecuários em Não-Me-Toque – Rio Grande do Sul) no ano de 2017 (Tabela 10). As microrregiões com a maior parte de estabelecimentos agropecuários com semeadeiras/plantadeiras estavam localizadas nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul em 2017 (Figura 54).



Figura 54 - Distribuição de valores da variável observável ME2 entre as microrregiões brasileiras em 2017.

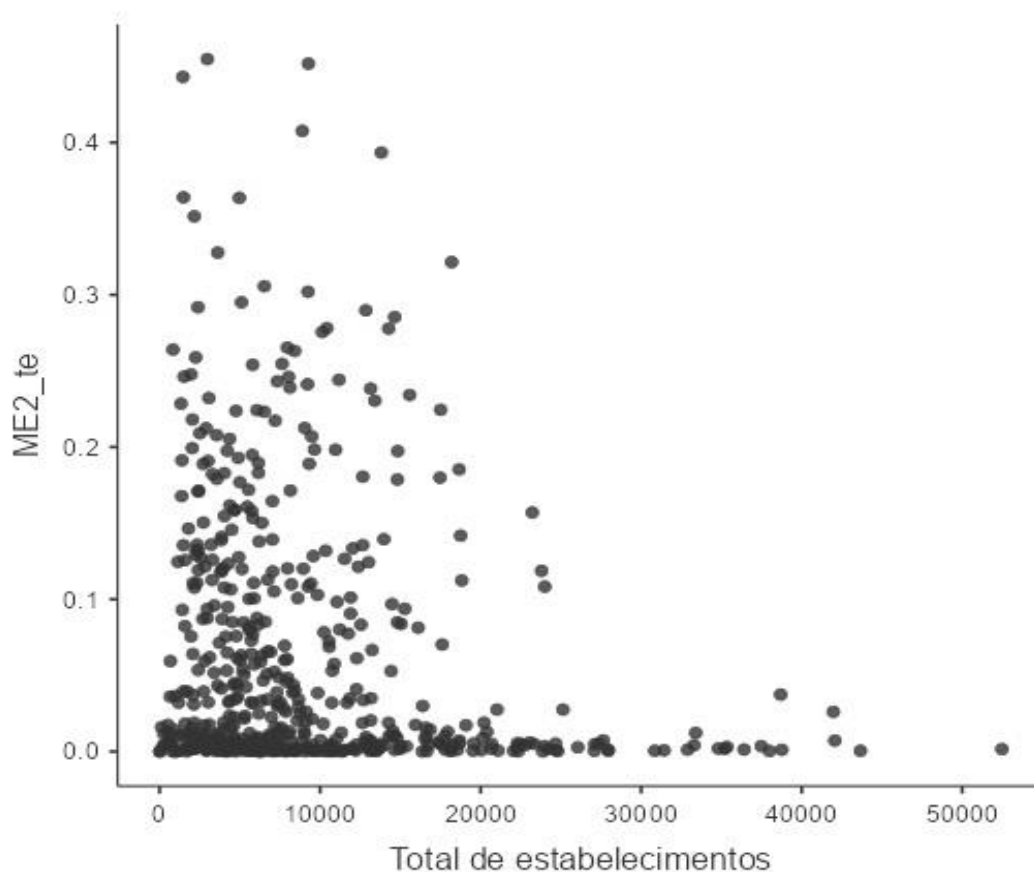


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Variável observável: ME2 – proporção de estabelecimentos agropecuários que possuíam semeadeiras/plantadeiras.

Foi possível observar que a maior parte das microrregiões brasileiras tiveram uma taxa de até 10% (0,10) do total de propriedades rurais com semeadeiras e plantadeiras no ano de 2017 (Figura 55).

Figura 55 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável ME2 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.

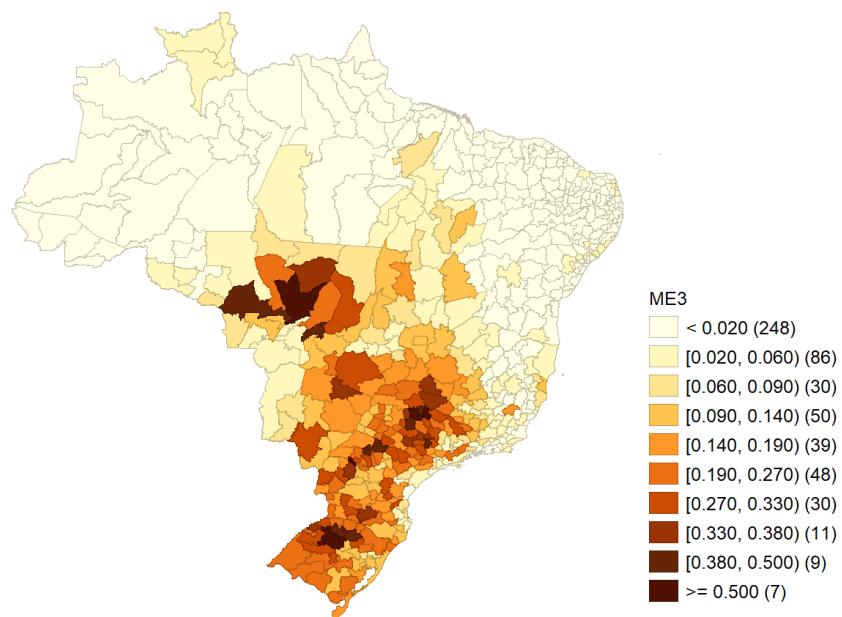


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo ME2\_te do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variável observável: ME2 – proporção de estabelecimentos agropecuários que possuíam sementeiras/plantadeiras.

O valor mínimo da variável ME3 (adubadeira, colheitadeira e/ou distribuidor de calcário) foi de 0,0000 (um total de 16 microrregiões) e máximo de 0,6621 (representou 66,21% do total de estabelecimentos rurais em Alto Teles Pires – Mato Grosso) em 2017 (Tabela 10). As microrregiões com a maior parte de estabelecimentos agropecuários com adubadeiras, colheitadeiras e/ou distribuidor de calcário estiveram localizadas principalmente nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul no ano de 2017 (Figura 56).

Figura 56 - Distribuição de valores da variável observável ME3 entre as microrregiões brasileiras em 2017.

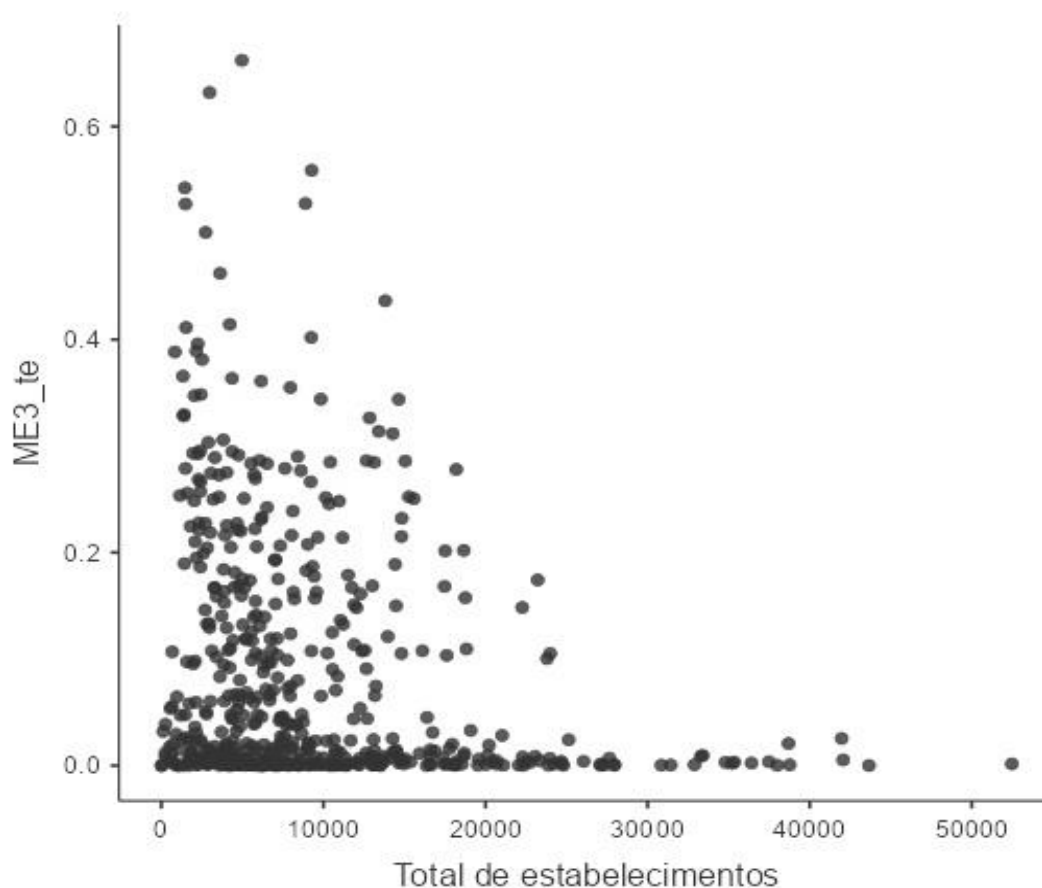


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Variável observável: ME3 – proporção de estabelecimentos agropecuários que possuíam adubadeira, colheitadeira e/ou distribuidor de calcário.

A maior parte das microrregiões brasileiras tiveram uma taxa de até 20% (0,20) do total de propriedades rurais com adubadeiras, colheitadeiras e/ou distribuidor de calcário no ano de 2017 (Figura 55).

Figura 57 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável ME3 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.



Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo ME3\_te do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variável observável: ME3 – proporção de estabelecimentos agropecuários que possuíam adubadeira, colheitadeira e/ou distribuidor de calcário.

As fontes de informação, como os jornais, rádios, revistas, televisão e aparelhos com conexão à internet são importantes formas para os produtores rurais terem acesso ao conhecimento e tecnologias que possibilitem uma melhora no desempenho econômico das propriedades rurais (SOUZA FILHO *et al.*, 2011).

Observou-se uma desigualdade em alguns tipos de fontes de informações técnicas no setor agropecuário brasileiro para as variáveis FI1 (revistas) com um CV de 101,21%, FI2 (jornais) com um CV de 84,84%, FI4 (rádio) com um CV de 54,40% e FI5 (aparelhos com conexão à internet) com um CV de 72,72% no ano de 2017. Para a variável FI3 (televisão), o CV foi de 28,25%, indicando uma homogeneidade maior na

estrutura de dados (Tabela 11).

Tabela 11 - Estatísticas descritivas das variáveis observáveis que compõem o construto Fontes de informação (FI) para o setor agropecuário brasileiro em 2017

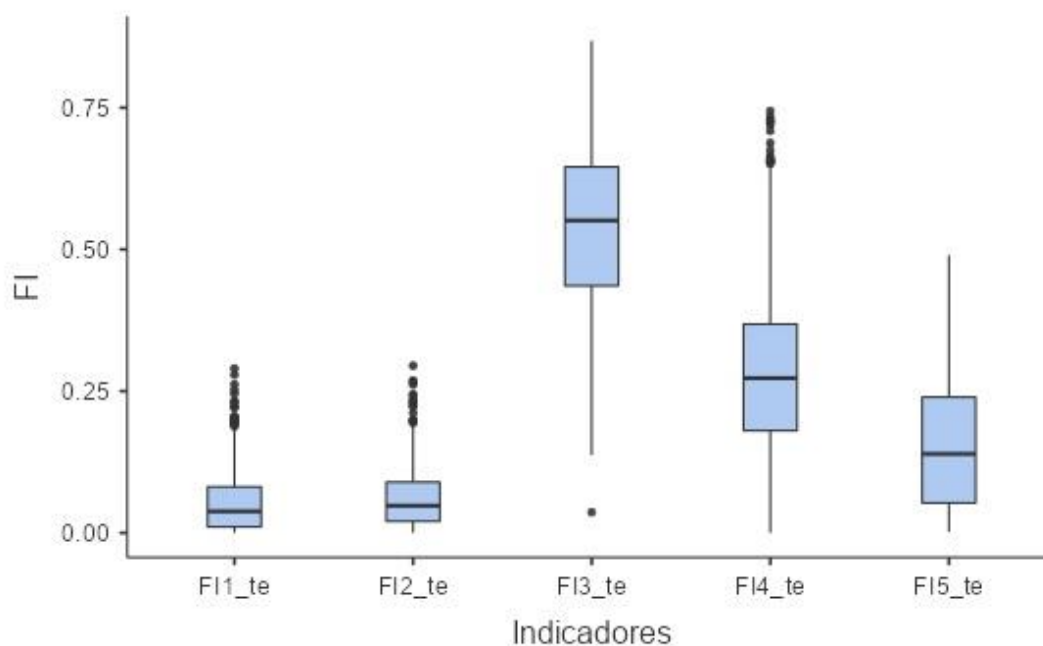
Variável	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-padrão	Coefficiente de variação (CV) (%)	Alfa de Cronbach
FI1	0,0000	0,2900	0,0539	0,0545	101,21	0,788
FI2	0,0000	0,2948	0,0624	0,0530	84,84	
FI3	0,0363	0,8680	0,5353	0,1512	28,25	
FI4	0,0000	0,7442	0,2903	0,1579	54,40	
FI5	0,0017	0,4899	0,1551	0,1128	72,72	

Fonte: Elaborado a partir de IBGE (2017).

Nota: O CV maior que 30% indica heterogeneidade na estrutura de dados da variável (FÁVERO e BELFIORE, 2017). Variáveis observáveis: FI1 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso a informações técnicas de revistas; FI2 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso a informações técnicas de jornais; FI3 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso a informações técnicas por meio de televisão; FI4 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso a informações técnicas por meio de rádio; e, FI5 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso a informações técnicas de aparelhos com conexão à internet.

Para o conjunto de variáveis observáveis que compõem o construto FI, o valor do Alfa de Cronbach foi de 0,788, indicando um nível de confiabilidade interna significativa (valor do coeficiente acima de 0,60) (FÁVERO e BELFIORE, 2017) (Tabela 11). As variáveis observáveis FI1, FI2, FI3, FI4 e FI5 apresentaram um padrão heterogêneo nos indicadores de Q1, Q2 (Md) e Q3 (gráfico *boxplot*), indicando uma desigualdade nos tipos de fontes de informação técnica utilizadas pelos produtores rurais ao longo do território brasileiro no ano de 2017 (Figura 58).

Figura 58 - Gráfico de *boxplot* das variáveis observáveis que compõem o construto Fontes de informação (FI) para o setor agropecuário brasileiro em 2017.

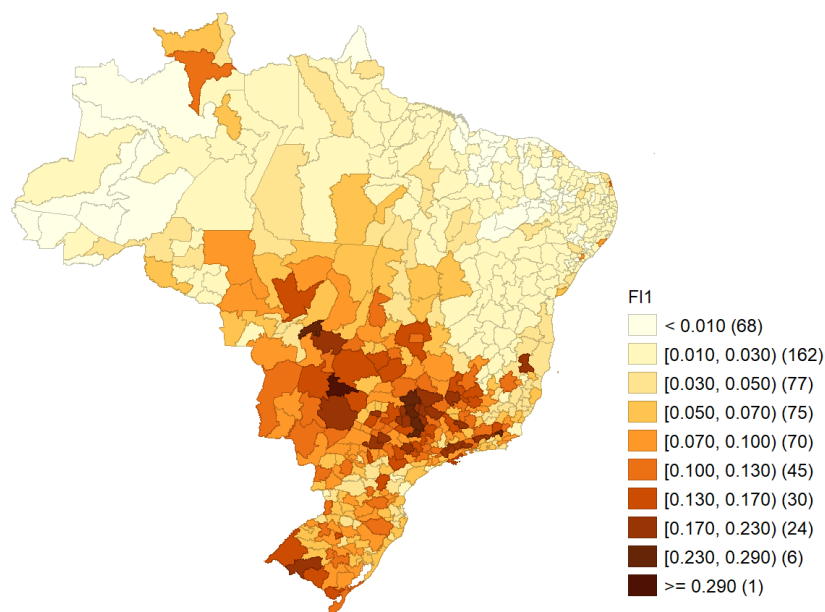


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo FI do gráfico de *boxplot* está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variáveis observáveis: FI1 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso a informações técnicas de revistas; FI2 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso a informações técnicas de jornais; FI3 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso a informações técnicas por meio de televisão; FI4 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso a informações técnicas por meio de rádio; e, FI5 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso a informações técnicas de aparelhos com conexão à internet.

O valor mínimo da variável FI1 (revistas) foi de 0,0000 (em Fernando de Noronha – Pernambuco) e máximo de 0,2900 (representou 29,00% do total de estabelecimentos agropecuários em Cassilândia – Mato Grosso do Sul) em 2017 (Tabela 11). As microrregiões com a maior parte de estabelecimentos agropecuários que acessaram informações técnicas em revistas estavam localizadas principalmente nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul no ano de 2017 (Figura 59).

Figura 59 - Distribuição de valores da variável observável FII entre as microrregiões brasileiras em 2017.

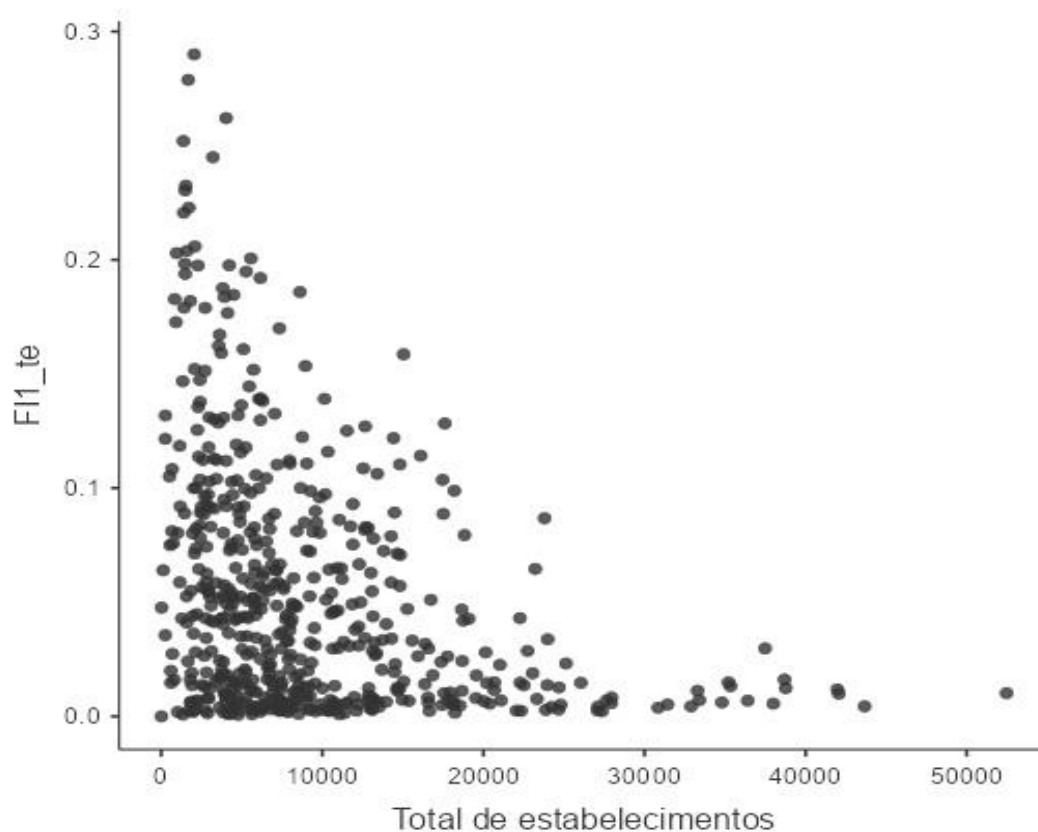


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Variável observável: FII – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso a informações técnicas de revistas.

A maior parte das microrregiões brasileiras tiveram uma taxa de até 10% (0,10) do total de propriedades rurais que tiveram acesso a informações técnicas advindas de revistas no ano de 2017 (Figura 60).

Figura 60 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável F11 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.



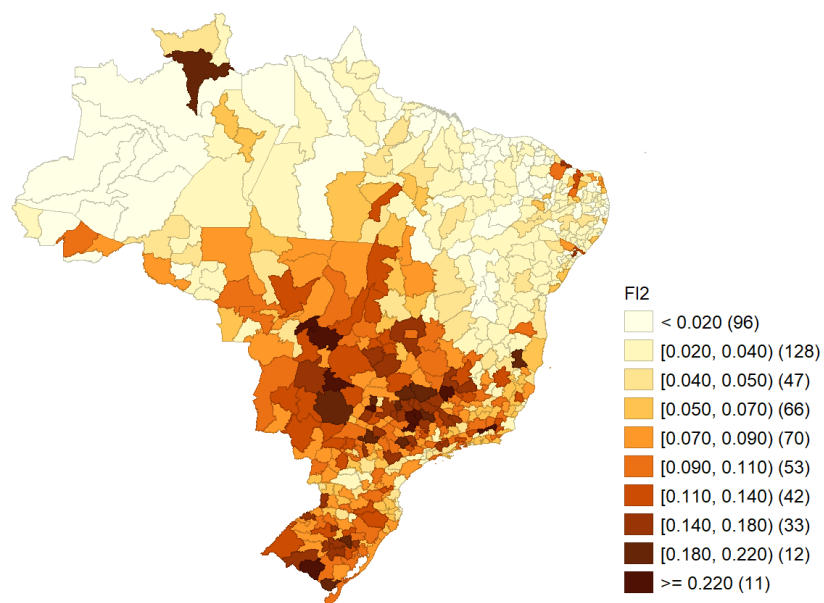
Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo F11\_te do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variável observável: F11 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso a informações técnicas de revistas.

A variável FI2 (jornais) teve um valor mínimo de 0,0000 (em Fernando de Noronha – Pernambuco) e máximo de 0,2948 (representou 29,48% do total de estabelecimentos agropecuários em São Carlos – São Paulo) no ano de 2017 (Tabela 11). As microrregiões com a maior parte de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso a informações técnicas de jornais estavam localizadas principalmente nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul em 2017 (Figura 61).



Figura 61 - Distribuição de valores da variável observável FI2 entre as microrregiões brasileiras em 2017.

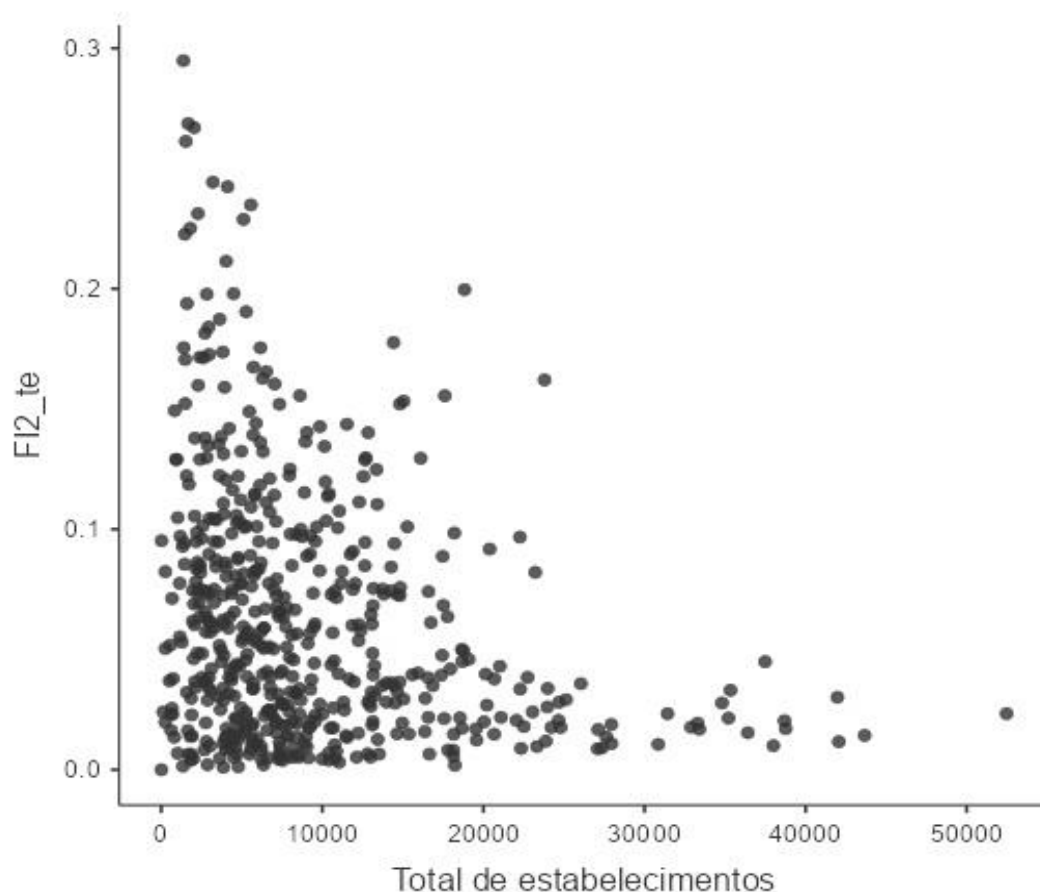


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Variável observável: FI2 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso a informações técnicas de jornais.

A maior parte de microrregiões brasileiras tiveram uma taxa de até 10% (0,10) do total de propriedades rurais com acesso a informações técnicas de jornais no ano de 2017 (Figura 62).

Figura 62 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável FI2 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.

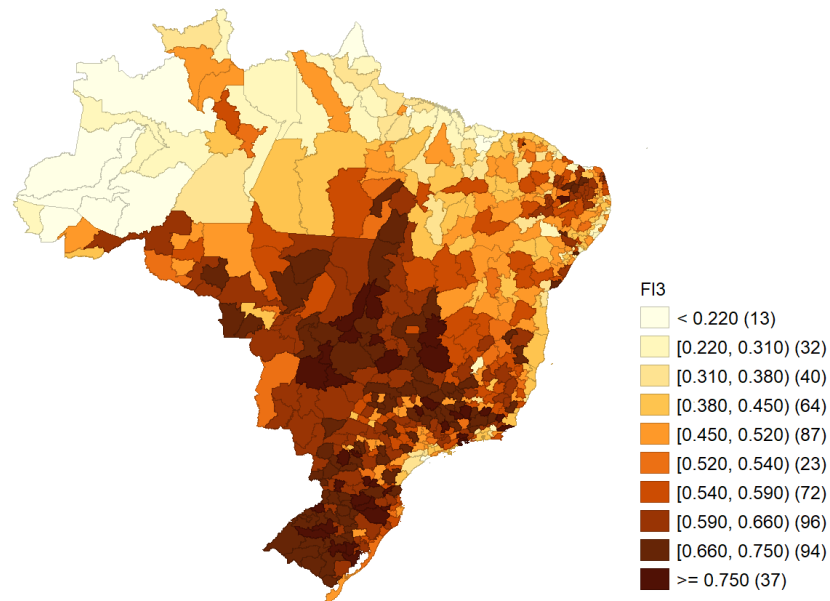


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo FI2\_te do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variável observável: FI2 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso a informações técnicas de jornais.

O valor mínimo da variável FI3 (televisão) foi de 0,0363 (representou 3,63% do total de estabelecimentos agropecuários em Oiapoque – Amapá) e máximo de 0,8680 (representou 86,80% do total de estabelecimentos agropecuários em Macaé – Rio de Janeiro) em 2017 (Tabela 11). As microrregiões com uma maior proporção de estabelecimentos rurais que tiveram acesso a informações técnicas por meio da televisão estiveram localizadas em todas as regiões brasileiras no ano de 2017 (Figura 63).

Figura 63 - Distribuição de valores da variável observável FI3 entre as microrregiões brasileiras em 2017.

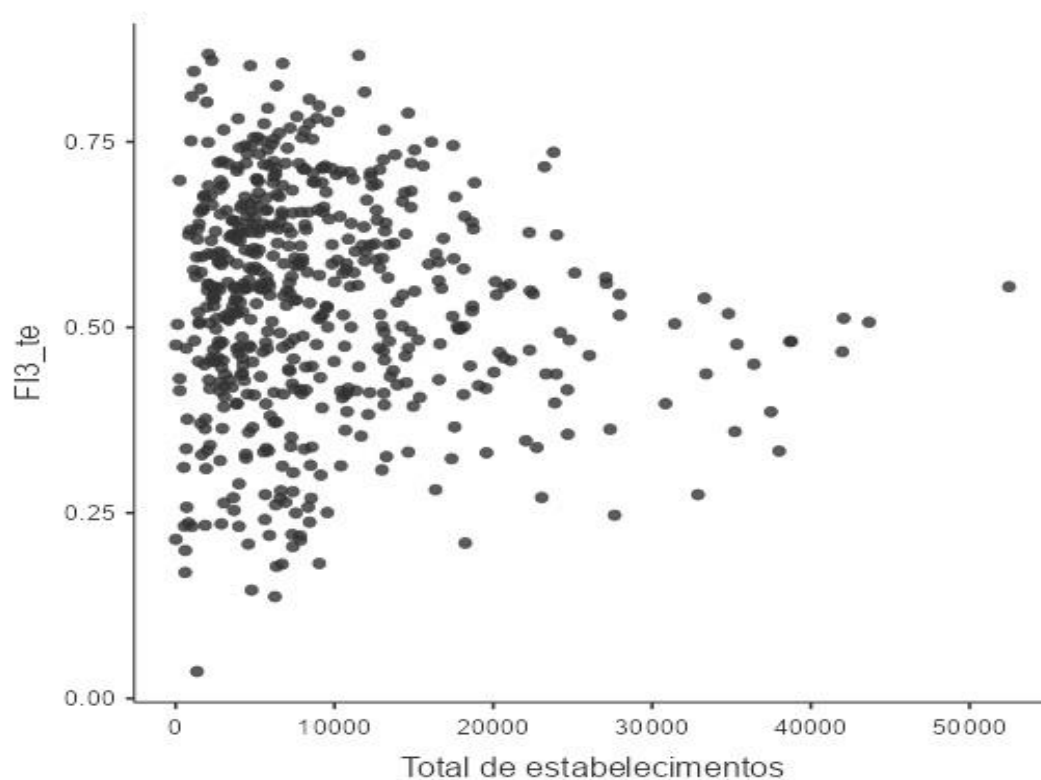


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Variável observável: FI3 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso a informações técnicas por meio de televisão.

A maior parte de microrregiões brasileiras tiveram taxas de até 75% (0,75) do total de propriedades rurais com acesso a informações técnicas advindas do uso da televisão em 2017 (Figura 64).

Figura 64 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável FI3 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.

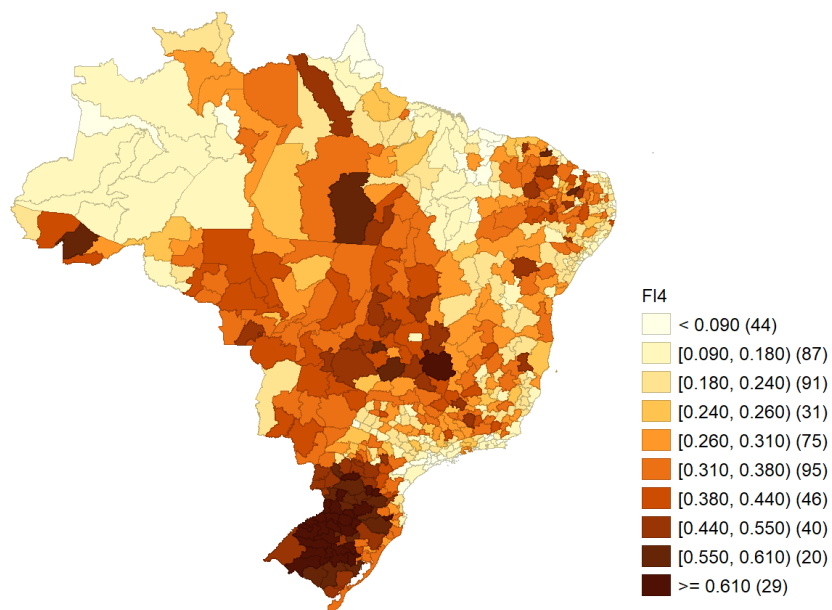


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo FI3\_te do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variável observável: FI3 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso a informações técnicas por meio de televisão.

A variável FI4 (rádio) teve um valor mínimo de 0,0000 (em Fernando de Noronha – Pernambuco) e máximo de 0,7442 (representou 74,42% do total de estabelecimentos agropecuários em Irati – Paraná) em 2017 (Tabela 11). As microrregiões com uma maior parte de estabelecimentos rurais que tiveram acesso a informações técnicas de rádios estiveram localizadas em todas as regiões brasileiras no ano de 2017 (Figura 65).

Figura 65 - Distribuição de valores da variável observável FI4 entre as microrregiões brasileiras em 2017.

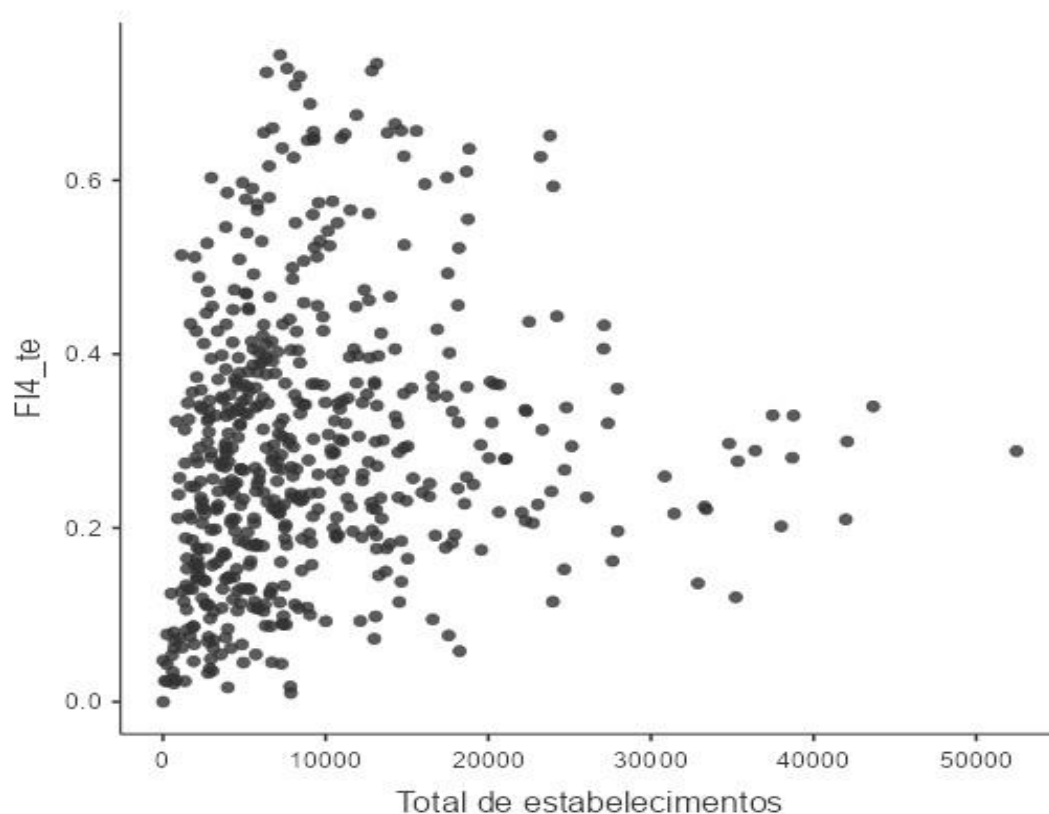


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Variável observável: FI4 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso a informações técnicas por meio de rádio.

A maior parte de microrregiões brasileiras tiveram uma taxa de até 40% (0,40) do total de propriedades rurais com acesso a informações técnicas de rádios no ano de 2017 (Figura 66).

Figura 66 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável FI4 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.

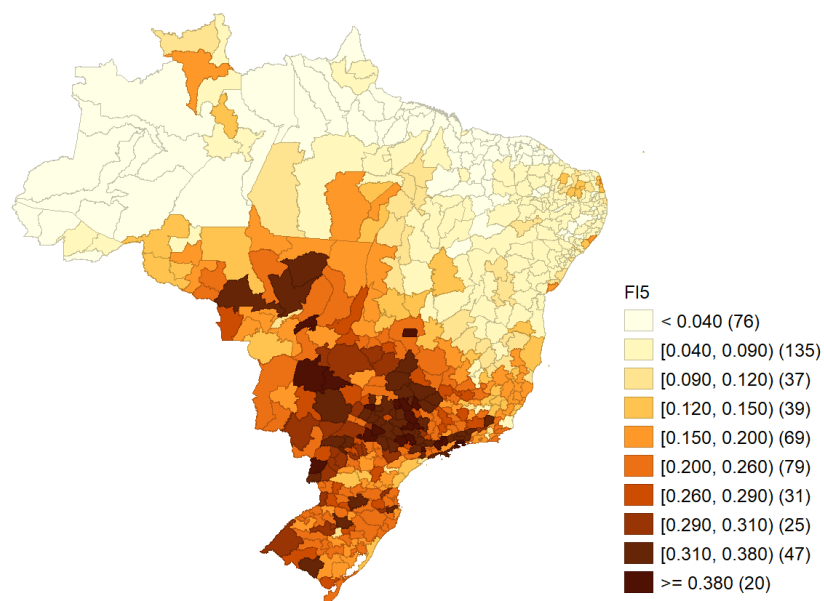


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo FI4\_te do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variável observável: FI4 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso a informações técnicas por meio de rádio.

O valor mínimo da variável FI5 (aparelhos com conexão à internet) teve um valor mínimo de 0,0017 (representou 0,17% do total de estabelecimentos agropecuários em Coelho Neto – Maranhão) e máximo de 0,4899 (representou 48,99% do total de estabelecimentos em Pirassununga – São Paulo) em 2017 (Tabela 11). As microrregiões com maior proporção de estabelecimentos que tiveram acesso a informações técnicas por meio de aparelhos com conexão à internet estavam localizadas nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul no ano de 2017 (Figura 67).

Figura 67 - Distribuição de valores da variável observável FI5 entre as microrregiões brasileiras em 2017.

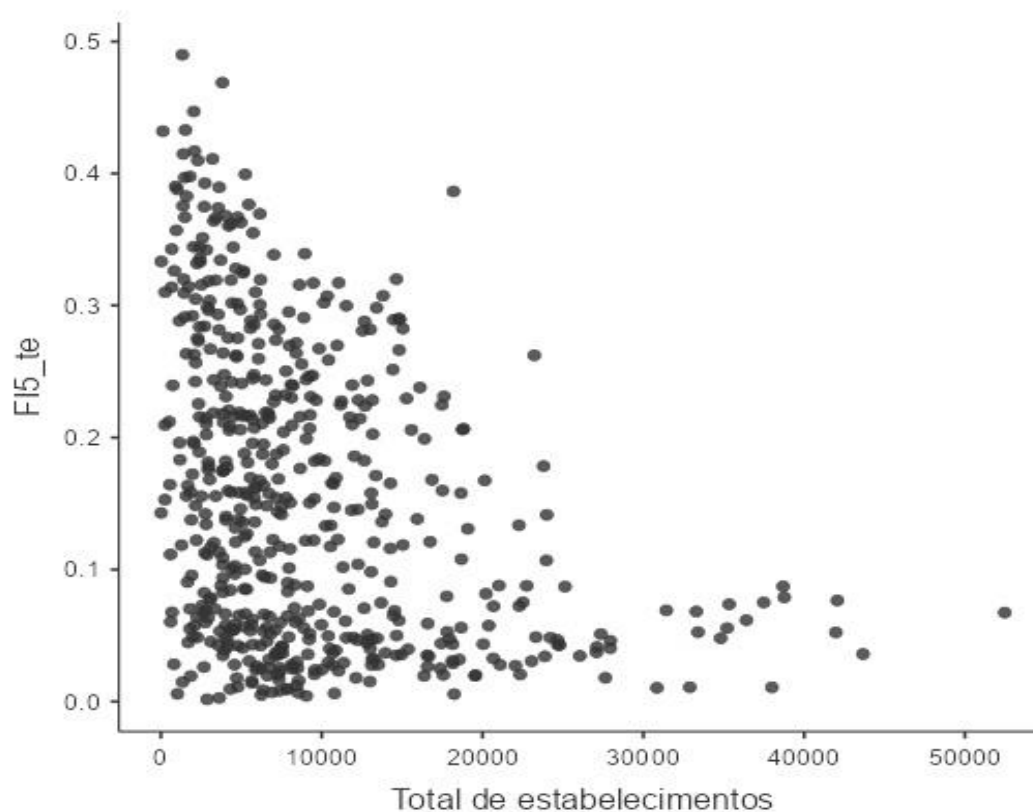


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Variável observável: FI5 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso a informações técnicas de aparelhos com conexão à internet.

A maior parte das microrregiões brasileiras tiveram uma taxa de até 40% (0,40) do total de propriedades rurais que tiveram acesso às informações técnicas de aparelhos com conexão à internet no ano de 2017 (Figura 68).

Figura 68 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável FI5 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.



Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo FI5\_te do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variável observável: FI5 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso a informações técnicas de aparelhos com conexão à internet.

Em relação às características das propriedades rurais (disponibilidade de água, existência de máquinas e equipamentos produtivos e as fontes de informações técnicas) que podem influenciar o processo de adoção de tecnologia no setor agropecuário, foi possível observar uma desigualdade na maior parte destes indicadores ao longo do território nacional no ano de 2017 (Quadro 12). Existe uma desigualdade entre as regiões brasileiras no que tange à infraestrutura produtiva e características das propriedades rurais no país (FORNAZIER e VIEIRA FILHO, 2012).



Quadro 13 - Síntese de informações das variáveis observáveis dos construtos DA, ME e FI

Construto	Síntese de informações
Disponibilidade de água (DA)	<p>(a) Desigualdade entre as microrregiões na participação relativa do total de propriedades rurais com diferentes fontes de água ao longo do território nacional em 2017;</p> <p>(b) Em todas as microrregiões brasileiras ocorreu a situação de propriedades rurais com fontes de água de nascentes e rios/riachos no ano de 2017;</p> <p>(c) As microrregiões com a maior parte de estabelecimentos agropecuários com acesso de água de nascentes estavam localizadas principalmente nas regiões Centro-Oeste, Norte, Sudeste e Sul no ano de 2017;</p> <p>(d) Em todas as regiões brasileiras teve a ocorrência de microrregiões com maior proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso à água de rios e riachos em 2017;</p> <p>(e) Nas regiões Centro-Oeste e Sudeste estiveram concentradas as microrregiões brasileiras com maior parte de estabelecimentos agropecuários com acesso à água de poços tubulares profundos jorrantes no ano de 2017; e,</p> <p>(f) As microrregiões com a maior parte de estabelecimentos agropecuários com acesso à água de cisternas estiveram concentradas nas regiões Nordeste e Sudeste em 2017.</p>
Máquinas e equipamentos produtivos (ME)	<p>(a) Desigualdade entre as microrregiões na participação relativa do total de propriedades rurais com máquinas e equipamentos produtivos entre as regiões brasileiras no ano de 2017; e,</p> <p>(b) As regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul foram as que apresentaram a maior quantidade de microrregiões com maior percentual de estabelecimentos agropecuários com a existência de máquinas e equipamentos produtivos (tratores; semeadores/plantadeiras; adubadeiras, colheitadeira e/ou distribuidor de calcário) no ano de 2017, em comparação com as regiões Nordeste e</p>

	Norte.
Fontes de informação (FI)	(a) Desigualdade entre as microrregiões na participação relativa do total de propriedades rurais com acesso a alguns tipos de fontes de informações técnicas (revistas, jornais, rádio e aparelhos com conexão à internet) entre as regiões brasileiras no ano de 2017; (b) Existiram em todas as microrregiões brasileiras estabelecimentos agropecuários que realizaram a busca de informações técnicas por meio de rádio e televisão no ano de 2017; e, (c) Nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul estavam localizadas as microrregiões com a maior parte de estabelecimentos agropecuários que realizaram a busca de informações técnicas de aparelhos com conexão à internet, jornais e revistas no ano de 2017.

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.1.4 Indicadores relacionados às características do produtor rural

As características dos produtores rurais também podem influenciar o processo de adoção de tecnologia no setor agropecuário (TEY e BRINDAL, 2012; MWANGI e KARIUKI, 2015; SADIGOV, 2018; MUNGIA e LLEWELLYN, 2020). O nível de escolaridade do indivíduo possui uma relação positiva com a adoção de tecnologia no campo (PEREIRA *et al.*, 2010; LÄPPLE *et al.*, 2015; ASHARF *et al.*, 2015; BROWN *et al.*, 2016; BROWN e ROPER, 2017; MULWA *et al.*, 2021; EMONGOR *et al.*, 2023).

Observou-se um nível de desigualdade entre as regiões quanto ao nível de escolaridade dos produtores rurais no ano de 2017. O CV da variável NE1 (ensino superior) foi de 83,20%, seguido das variáveis NE2 (regular ensino médio) com um CV de 31,93%, NE3 (antigo científico, clássico ou médio 2º ciclo) com um CV de 91,65%, NE4 (ensino fundamental) com um CV de 52,63%, NE5 (antigo ginásial ou médio 1º ciclo) com um CV de 51,39% e NE6 (antigo primário/elementar) com um CV de 48,72% (Tabela 12).

Tabela 12 - Estatísticas descritivas das variáveis observáveis que compõem o construto Nível de escolaridade dos produtores (NE) para o setor agropecuário brasileiro em 2017

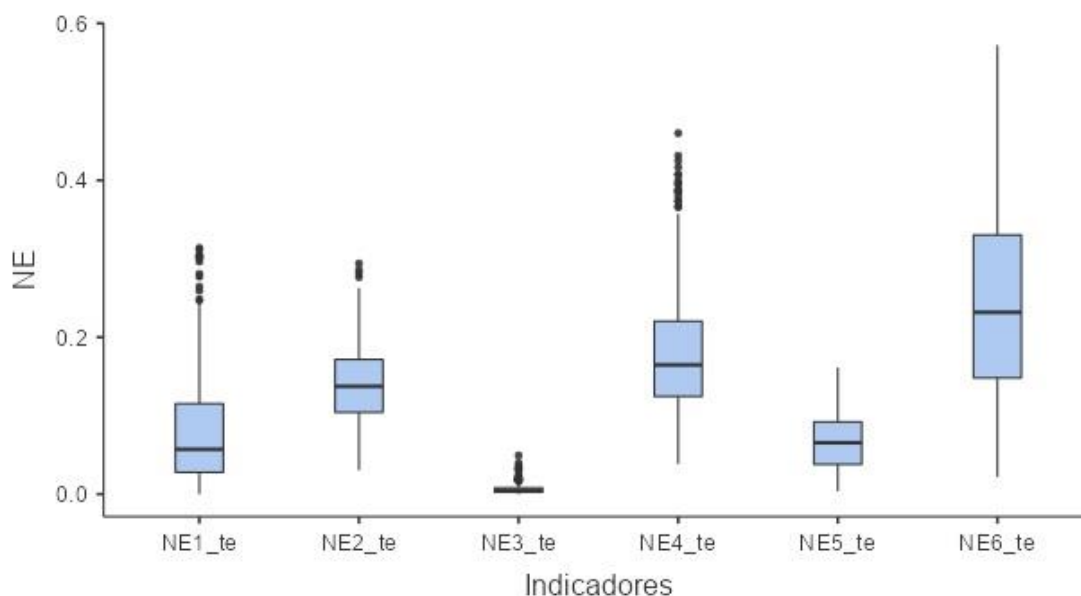
Variável	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-padrão	Coefficiente de variação (CV) (%)	Alfa de Cronbach
NE1	0,0000	0,3136	0,0795	0,0662	83,20	0,679
NE2	0,0305	0,2941	0,1410	0,0450	31,93	
NE3	0,0000	0,0493	0,0061	0,0055	91,65	
NE4	0,0385	0,4600	0,1797	0,0766	42,63	
NE5	0,0039	0,1614	0,0669	0,0344	51,39	
NE6	0,0217	0,5722	0,2443	0,1191	48,72	

Fonte: Elaborado a partir de IBGE (2017).

Nota: O CV maior que 30% indica heterogeneidade na estrutura de dados da variável (FÁVERO e BELFIORE, 2017). Variáveis observáveis: NE1 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural possuía o ensino superior; NE2 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor possuía o regular do ensino médio ou 2º grau; NE3 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural possuía o antigo científico, clássico ou médio 2º ciclo; NE4 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural possuía o regular ensino fundamental ou 1º grau; NE5 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural possuía o antigo ginásial ou médio 1º ciclo; e, NE6 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural possuía o antigo primário/elementar.

Para o conjunto de variáveis observáveis que compõem o construto NE, o valor do Alfa de Cronbach foi de 0,679, indicando um nível de confiabilidade interna significativa (valor do coeficiente acima de 0,60) (FÁVERO e BELFIORE, 2017) (Tabela 12). As variáveis observáveis NE1, NE2, NE3, NE4, NE5 e NE6 apresentaram um padrão heterogêneo nos indicadores de Q1, Q2 (Md) e Q3 (gráfico *boxplot*), indicando uma desigualdade nas diferentes categorias de nível de escolaridade dos produtores rurais ao longo do território brasileiro no ano de 2017 (Figura 69).

Figura 69 - Gráfico de *boxplot* das variáveis observáveis que compõem o construto Nível de escolaridade dos produtores (NE) para o setor agropecuário brasileiro em 2017.

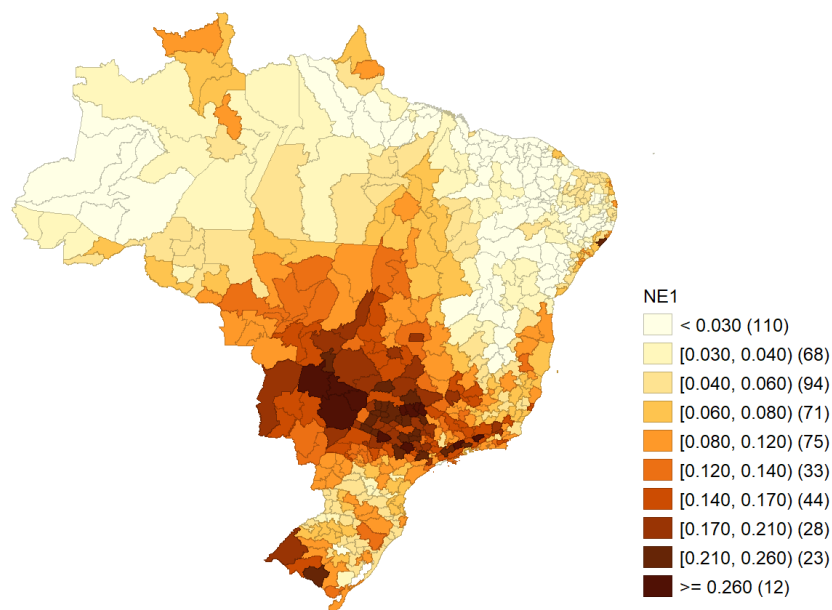


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo NE do gráfico de *boxplot* está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variáveis observáveis: NE1 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural possuía o ensino superior; NE2 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor possuía o regular do ensino médio ou 2º grau; NE3 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural possuía o antigo científico, clássico ou médio 2º ciclo; NE4 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural possuía o regular ensino fundamental ou 1º grau; NE5 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural possuía o antigo ginásial ou médio 1º ciclo; e, NE6 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural possuía o antigo primário/elementar.

O valor mínimo da variável NE1 (ensino superior) foi de 0,0000 (em Fernando de Noronha – Pernambuco e Santos – São Paulo) e máximo de 0,3136 (representou 31,36% do total de estabelecimentos agropecuários em São Joaquim da Barra – São Paulo) no ano de 2017 (Tabela 12) (Figura 70).

Figura 70 - Distribuição de valores da variável observável NE1 entre as microrregiões brasileiras em 2017.

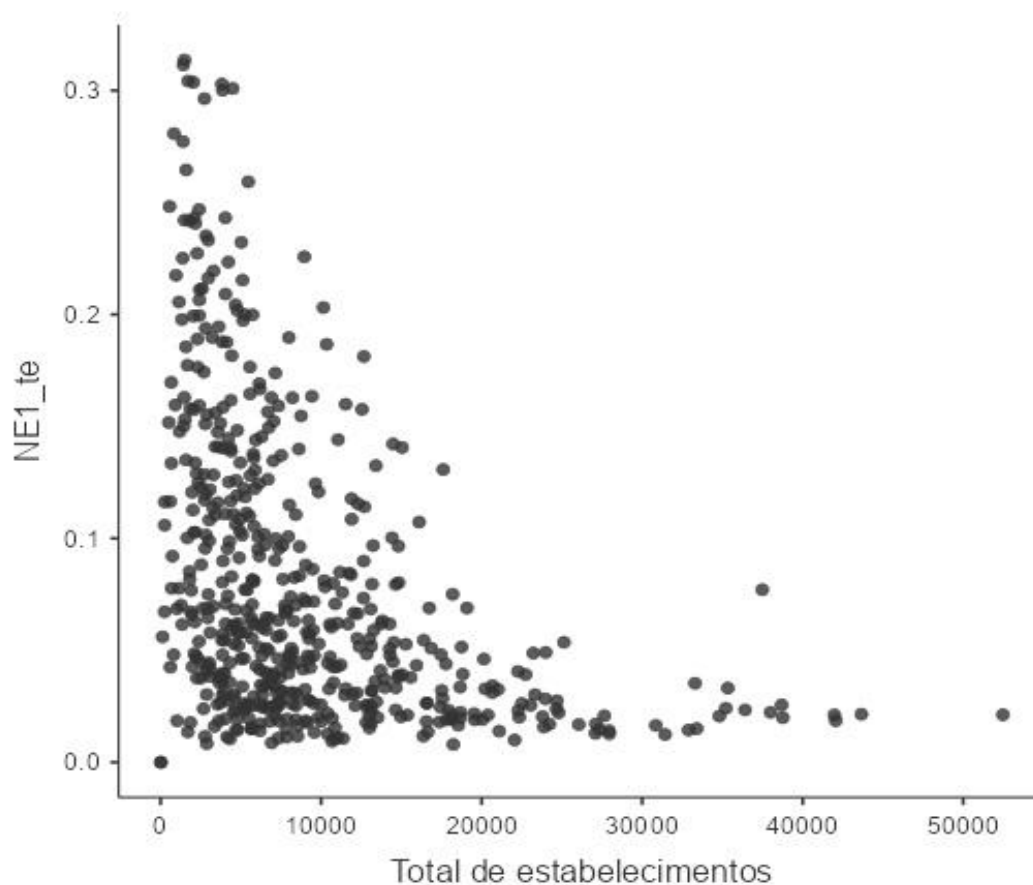


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Variável observável: NE1 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural possuía o ensino superior.

As microrregiões com a maior proporção de estabelecimentos agropecuários em que os produtores rurais tinham ensino superior estavam localizadas principalmente nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul no ano de 2017 (Figura 70). A maior parte das microrregiões brasileiras tiveram taxas de até 20% (0,20) do total de propriedades rurais em que o produtor tinha o ensino superior em 2017 (Figura 71).

Figura 71 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável NE1 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.

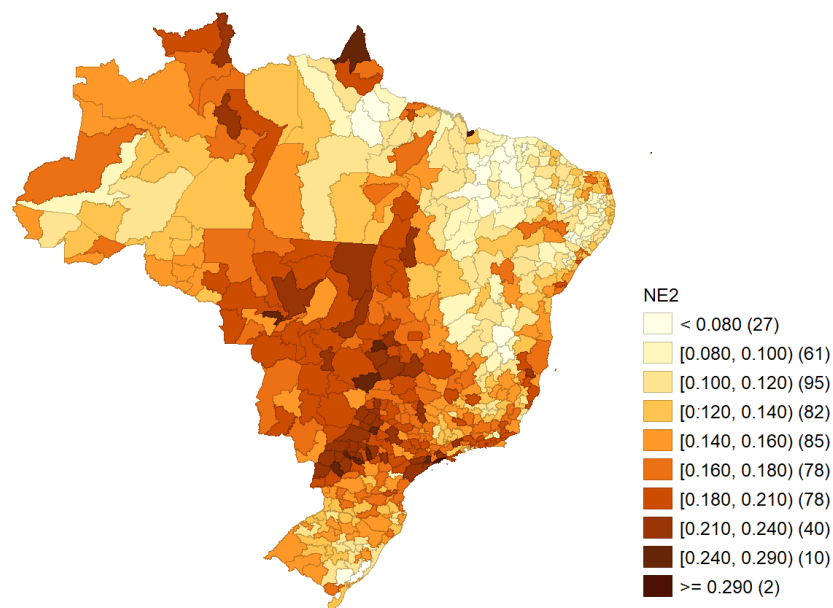


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo NE1\_te do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variável observável: NE1 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural possuía o ensino superior.

O valor mínimo da variável NE2 (regular ensino médio) foi de 0,0305 (representou 3,05% do total de estabelecimentos em Portel – Pará) e máximo de 0,2941 (representou 29,41% dos estabelecimentos agropecuários em Aglomeração Urbana de São Luís – Maranhão) em 2017 (Tabela 12) (Figura 72).

Figura 72 - Distribuição de valores da variável observável NE2 entre as microrregiões brasileiras em 2017.

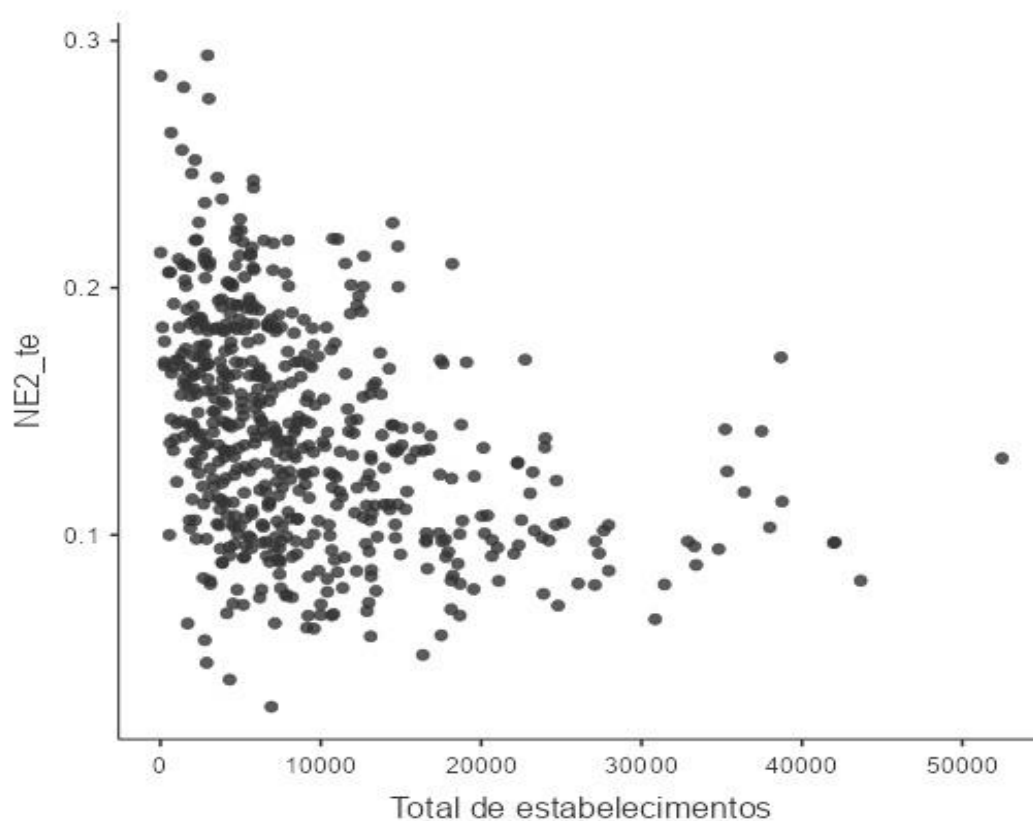


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Variável observável: NE2 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor possuía o regular do ensino médio ou 2º grau.

As microrregiões com a maior parte de estabelecimentos rurais em que os produtores rurais tinham o regular ensino médio estavam localizadas nas regiões Centro-Oeste, Norte e Sudeste em 2017 (Figura 72). A maior parte das microrregiões brasileiras tiveram uma taxa de até 20% (0,20) do total de propriedades rurais gerenciadas por indivíduos com o regular ensino médio no ano de 2017 (Figura 73).

Figura 73 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável NE2 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.



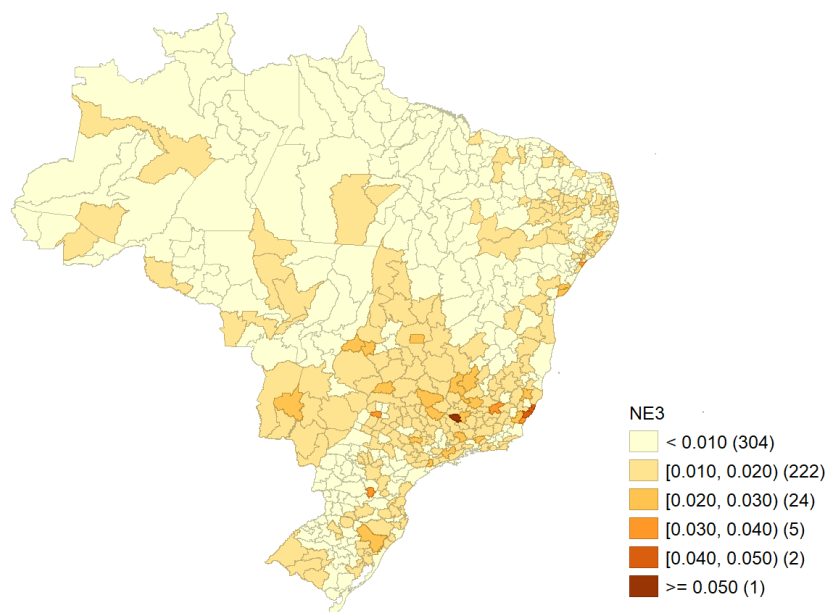
Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo NE2\_te do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variável observável: NE2 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor possuía o regular do ensino médio ou 2º grau.

O valor mínimo da variável NE3 (antigo científico, clássico ou médio 2º ciclo) foi de 0,0000 (total de 8 microrregiões) e máximo de 0,0493 (representou 4,93% do total de estabelecimentos rurais de Campo Belo – Minas Gerais) no ano de 2017 (Tabela 12) (Figura 74).



Figura 74 - Distribuição de valores da variável observável NE3 entre as microrregiões brasileiras em 2017.

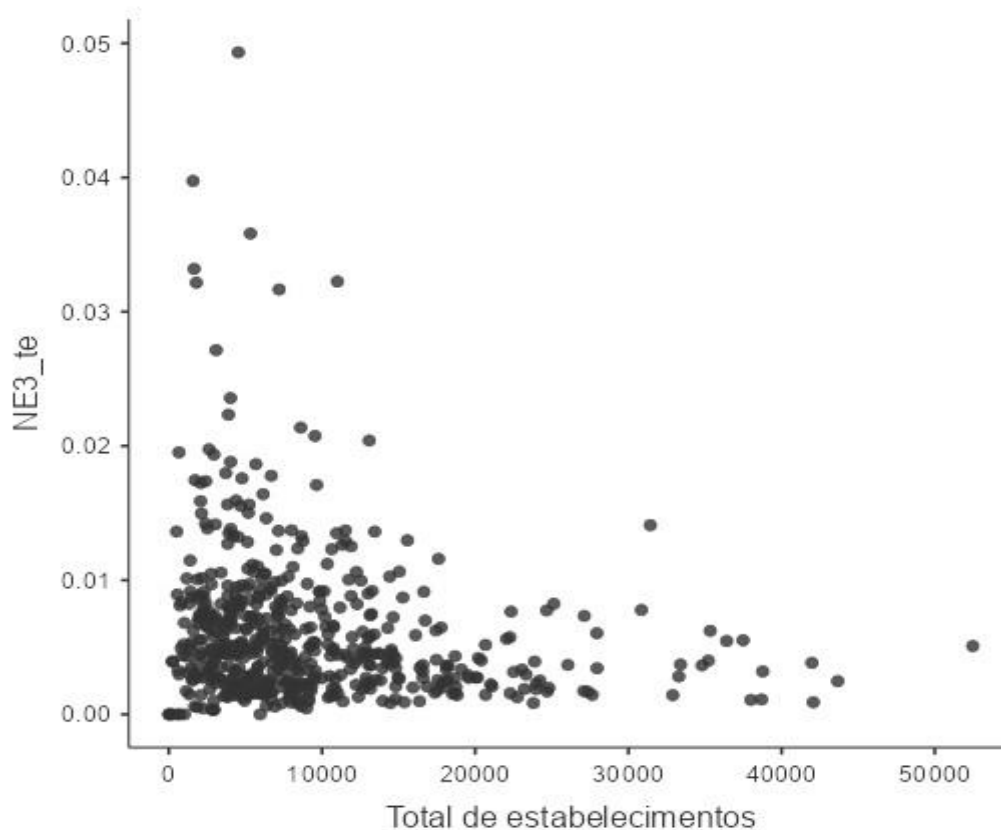


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Variável observável: NE3 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural possuía o antigo científico, clássico ou médio 2° ciclo.

As microrregiões com uma maior proporção de estabelecimentos agropecuários em que os produtores rurais tinham o antigo científico, clássico ou médio 2° ciclo estavam localizadas principalmente na região Sudeste no ano de 2017 (Figura 74). A maior parte das microrregiões brasileiras tiveram uma taxa de até 2% (0,02) do total de propriedades rurais gerenciados por indivíduos com nível de escolaridade de antigo científico, clássico ou médio 2° ciclo no ano de 2017 (Figura 75).

Figura 75 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável NE3 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.

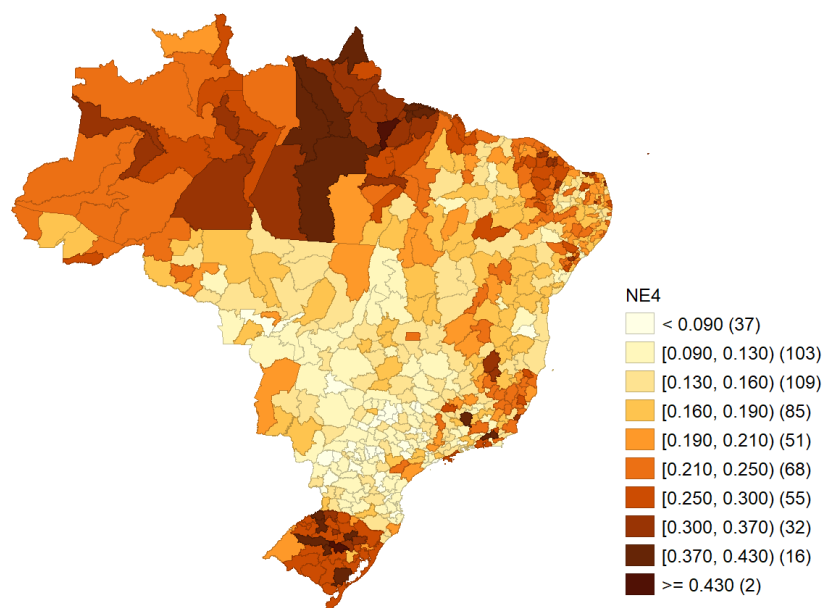


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo NE3\_te do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variável observável: NE3 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural possuía o antigo científico, clássico ou médio 2º ciclo.

A variável NE4 (ensino fundamental) teve um valor mínimo de 0,0385 (representou 3,85% de estabelecimentos agropecuários de Bananal – São Paulo) e máximo de 0,4600 (representou 46,00% do total de estabelecimentos rurais de Santa Cruz do Sul – Rio Grande do Sul) em 2017 (Tabela 12) (Figura 76).

Figura 76 - Distribuição de valores da variável observável NE4 entre as microrregiões brasileiras em 2017.

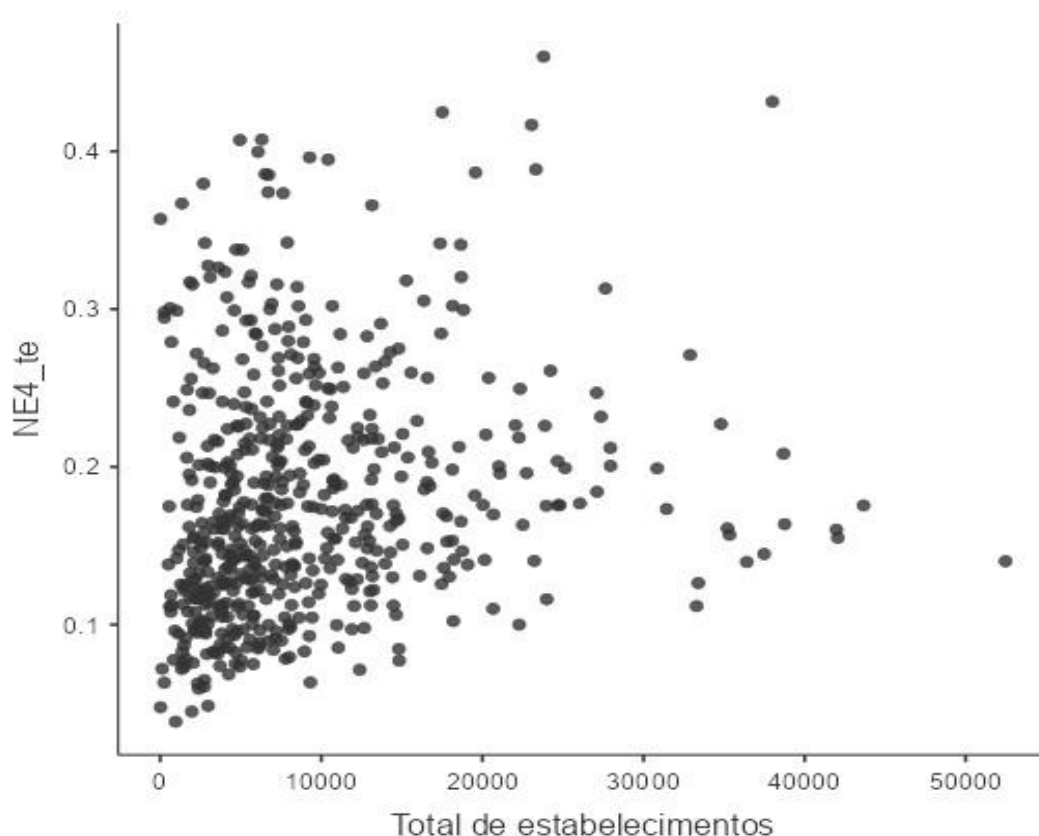


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Variável observável: NE4 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural possuía o regular ensino fundamental ou 1º grau.

As microrregiões com a maior parte de estabelecimentos agropecuários em que os produtores rurais tinham o ensino fundamental estavam localizadas principalmente nas regiões Nordeste, Norte, Sudeste e Sul no ano de 2017 (Figura 76). A maior parte das microrregiões brasileiras tiveram uma taxa de até 30% (0,30) do total de propriedades rurais gerenciadas por indivíduos com ensino fundamental no ano de 2017 (Figura 77).

Figura 77 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável NE4 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.

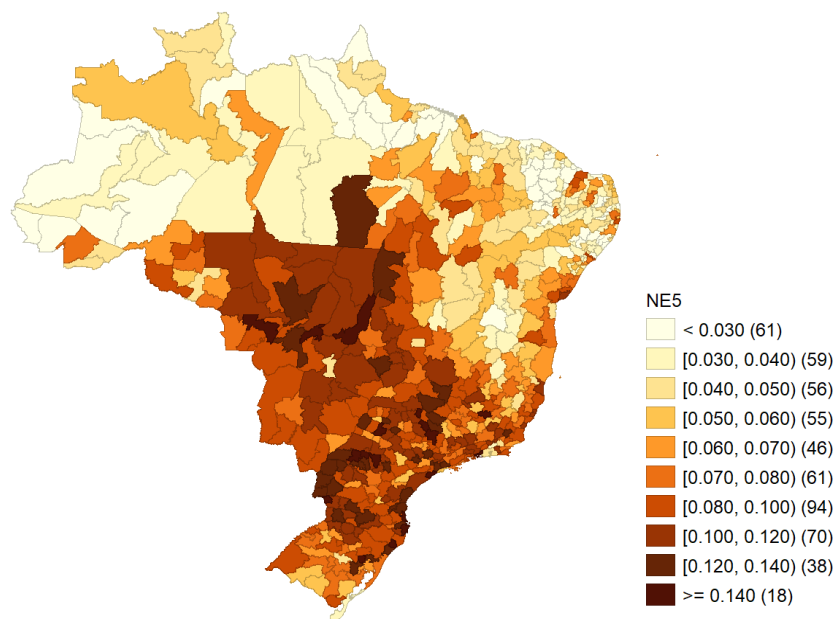


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo NE4\_te do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variável observável: NE4 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural possuía o regular ensino fundamental ou 1º grau.

O valor mínimo da variável NE5 (antigo ginasial ou médio 1º ciclo) foi de 0,0039 (representou 0,39% do total de estabelecimentos agropecuários em Chorozinho – Ceará) e máximo de 0,1614 (representou 16,14% do total de estabelecimentos rurais de Itanhaém – São Paulo) em 2017 (Tabela 12) (Figura 78).

Figura 78 - Distribuição de valores da variável observável NE5 entre as microrregiões brasileiras em 2017.

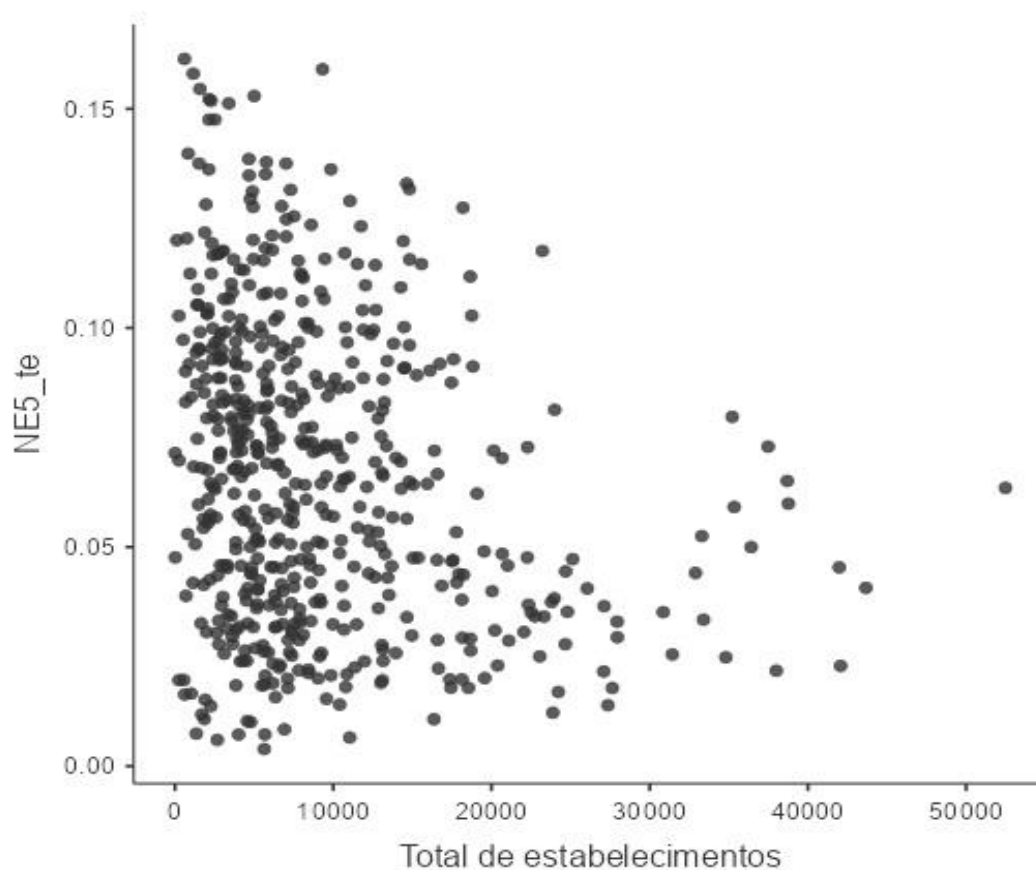


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Variável observável: NE5 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural possuía o antigo ginásial ou médio 1º ciclo.

As microrregiões com a maior parte de estabelecimentos agropecuários em que os produtores rurais tinham o antigo ginásial ou médio 1º ciclo estavam localizadas principalmente nas regiões Centro-Oeste, Nordeste, Sudeste e Sul no ano de 2017 (Figura 78). A maior parte das microrregiões brasileiras tiveram uma taxa de até 10% (0,10) do total de propriedades rurais gerenciadas por indivíduos com o nível de escolaridade de antigo ginásial ou médio 1º ciclo em 2017 (Figura 79).

Figura 79 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável NE5 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.

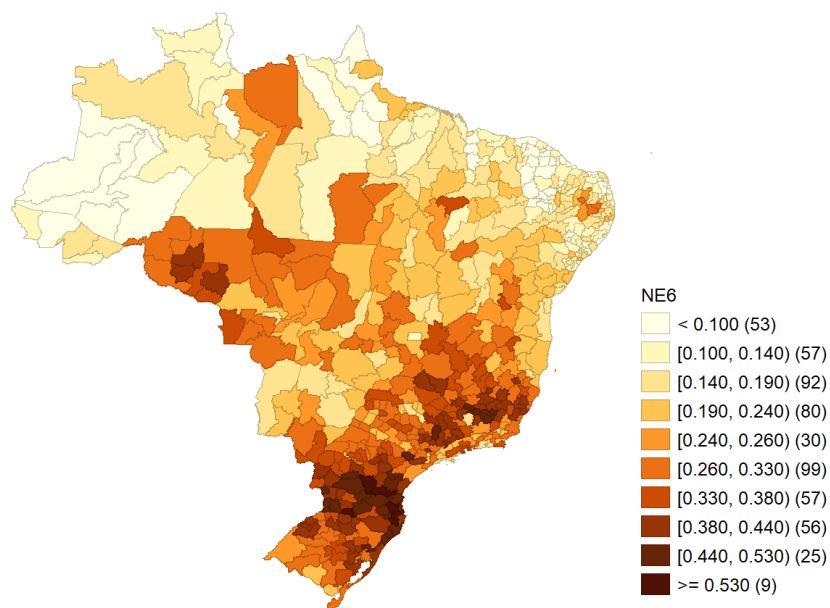


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo NE5\_te do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variável observável: NE5 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural possuía o antigo ginasial ou médio 1º ciclo.

A variável NE6 (antigo primário/elementar) teve um valor mínimo de 0,0217 (representou 2,17% do total de estabelecimentos agropecuários em Boca do Acre – Amazonas) e máximo de 0,5722 (representou 57,22% do total de estabelecimentos de Irati – Paraná) em 2017 (Tabela 12) (Figura 80).

Figura 80 - Distribuição de valores da variável observável NE6 entre as microrregiões brasileiras em 2017.

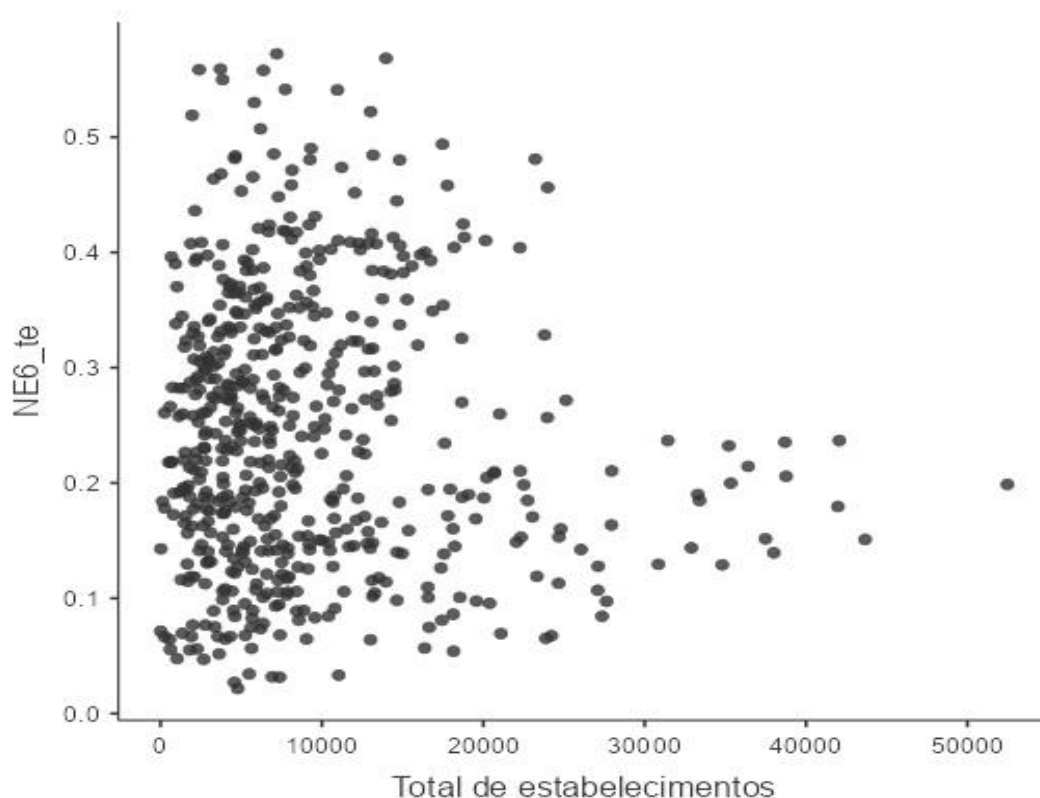


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Variável observável: NE6 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural possuía o antigo primário/elementar.

As microrregiões com a maior parte de estabelecimentos agropecuários em que os produtores rurais tinham o antigo primário/elementar estavam localizadas principalmente nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul no ano de 2017 (Figura 80). A maior parte das microrregiões brasileiras tiveram uma taxa de até 40% (0,40) do total de propriedades rurais gerenciadas por indivíduos com nível de escolaridade de antigo primário (elementar) em 2017 (Figura 81).

Figura 81 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável NE6 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.



Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo NE6\_te do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variável observável: NE6 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural possuía o antigo primário/elementar.

A idade dos produtores rurais é outro fator que pode exercer uma influência no processo de adoção de tecnologia no setor agropecuário (TEY e BRINDAL, 2012; MWANGI e KARIUKI, 2015; SADIGOV, 2018; MUNGIA e LLEWELLYN, 2020).

Para as variáveis IP1 (com idade inferior a 25 anos) (com um CV de 71,29%) e IP2 (com idade de 25 anos a menos de 35 anos) (com um CV de 44,27%) foi possível observar uma desigualdade de produtores rurais jovens (com idade de até 35 anos) ao longo do território nacional em 2017 (Tabela 13). O CV dessas variáveis foi superior à 30%, indicando uma heterogeneidade na estrutura de dados (FÁVERO e BELFIORE, 2017).

Nas variáveis IP3 (com idade de 35 anos a menos de 45 anos) (com um CV de 22,79%), IP4 (com idade de 45 anos a menos de 55 anos) (com um CV de 8,50%), IP5



(com idade de 55 anos a menos de 65 anos) (com um CV de 14,05%) e IP6 (com idade superior a 65 anos) (com um CV de 23,45%) observou-se uma homogeneidade na estrutura de dados para o caso brasileiro. Indicando assim, um equilíbrio na existência de produtores rurais com idade superior a 35 anos entre as regiões brasileiras no ano de 2017 (Tabela 13).

Tabela 13 - Estatísticas descritivas das variáveis observáveis que compõem o construto Idade dos produtores (IP) para o setor agropecuário brasileiro em 2017

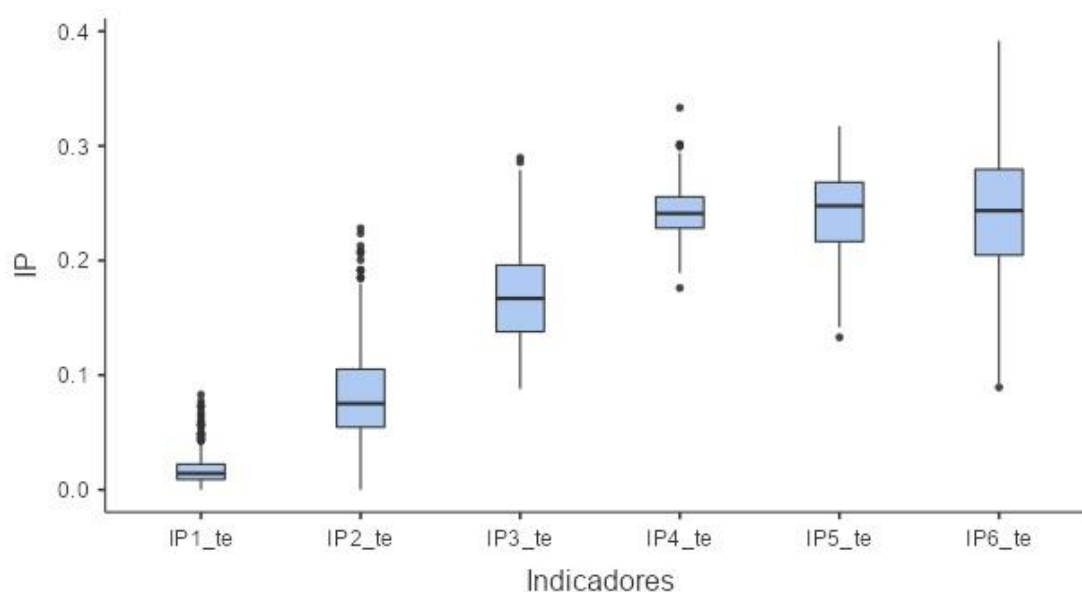
Variável	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-padrão	Coefficiente de variação (CV) (%)	Alfa de Cronbach
IP1	0,0000	0,0829	0,0176	0,0126	71,29	0,860
IP2	0,0000	0,2282	0,0833	0,0369	44,27	
IP3	0,0879	0,2896	0,1682	0,0383	22,79	
IP4	0,1760	0,3333	0,2420	0,0206	8,50	
IP5	0,1330	0,3173	0,2425	0,0341	14,05	
IP6	0,0894	0,3917	0,2395	0,0562	23,45	

Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: O CV maior que 30% indica heterogeneidade na estrutura de dados da variável (FÁVERO e BELFIORE, 2017). Variáveis observáveis: IP1 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural tinha uma idade inferior a 25 anos; IP2 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural tinha uma idade superior a 25 anos a menos de 35 anos; IP3 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural tinha uma idade superior a 35 anos a menos de 45 anos; IP4 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural tinha uma idade superior a 45 anos a menos de 55 anos; IP5 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural tinha uma idade superior a 55 anos a menos de 65 anos; IP6 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural tinha uma idade superior a 65 anos.

Para o conjunto de variáveis observáveis que compõem o construto IP, o valor do Alfa de Cronbach foi de 0,860, indicando um nível de confiabilidade interna significativa (valor do coeficiente acima de 0,60) (FÁVERO e BELFIORE, 2017) (Tabela 12). As variáveis observáveis IP1, IP2, IP3, IP4, IP5 e IP6 apresentaram um padrão heterogêneo nos indicadores de Q1, Q2 (Md) e Q3 (gráfico *boxplot*), indicando uma desigualdade nas diferentes categorias de idade dos produtores rurais ao longo do território brasileiro no ano de 2017 (Figura 82).

Figura 82 - Gráfico de *boxplot* das variáveis observáveis que compõem o construto Idade dos produtores (IP) para o setor agropecuário brasileiro em 2017.

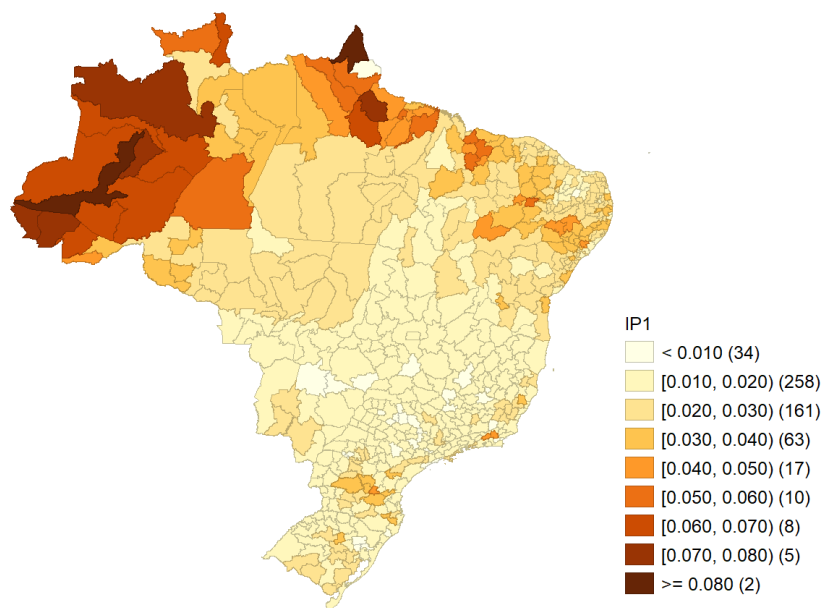


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo IP do gráfico de *boxplot* está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variáveis observáveis: IP1 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural tinha uma idade inferior a 25 anos; IP2 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural tinha uma idade superior a 25 anos a menos de 35 anos; IP3 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural tinha uma idade superior a 35 anos a menos de 45 anos; IP4 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural tinha uma idade superior a 45 anos a menos de 55 anos; IP5 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural tinha uma idade superior a 55 anos a menos de 65 anos; IP6 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural tinha uma idade superior a 65 anos.

O valor mínimo da variável IP1 (com idade inferior a 25 anos) foi de 0,0000 (em Fernando de Noronha – Pernambuco e Santos – São Paulo) e máximo de 0,0829 (representou 8,29% do total de estabelecimentos agropecuários em Juruá – Amazonas) em 2017 (Tabela 13). As microrregiões com a maior parte de estabelecimentos agropecuários chefiados por produtores rurais com idade inferior a 25 anos estavam localizadas principalmente na região Norte no ano de 2017 (Figura 83).

Figura 83 - Distribuição de valores da variável observável IP1 entre as microrregiões brasileiras em 2017.

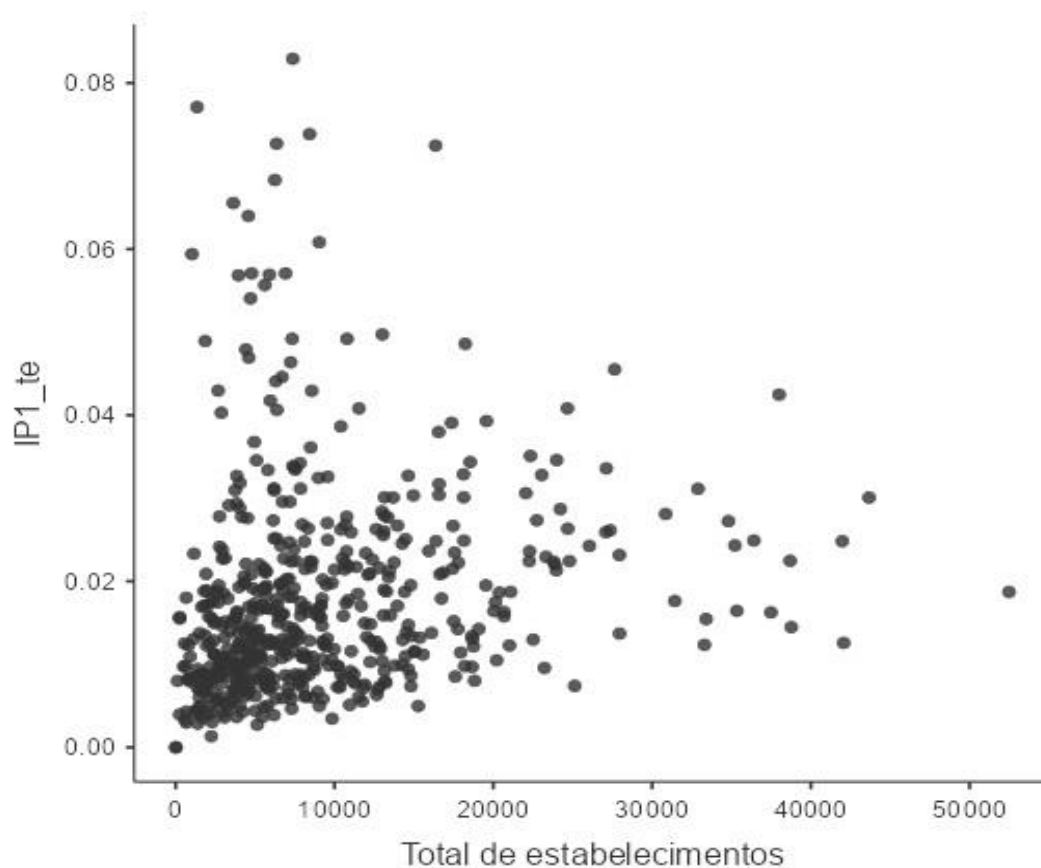


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Variável observável: IP1 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural tinha uma idade inferior a 25 anos.

A maior parte das microrregiões brasileiras tiveram uma taxa de até 4% (0,04) do total de propriedades rurais gerenciadas por indivíduos com idade de até 25 anos no ano de 2017 (Figura 84).

Figura 84 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável IP1 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.

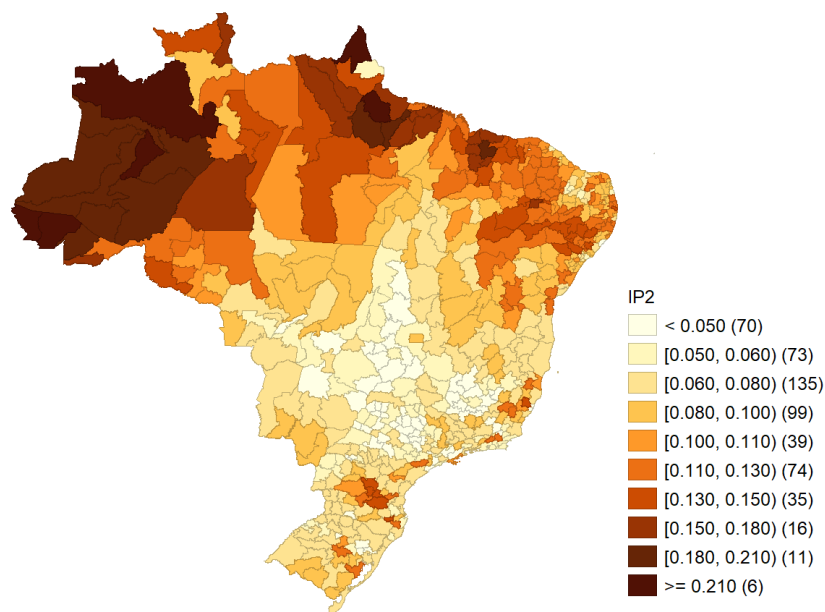


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo IP1\_te do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variável observável: IP1 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural tinha uma idade inferior a 25 anos.

A variável IP2 (com idade de 25 anos a menos de 35 anos) teve um valor mínimo de 0,0000 (em Fernando de Noronha – Pernambuco) e máximo de 0,2282 (representou 22,82% do total de estabelecimentos agropecuários em Furos de Breves – Pará) em 2017 (Tabela 13). As microrregiões com a maior parte de estabelecimentos agropecuários gerenciados por produtores rurais com idade de 25 anos a menos de 35 anos estavam localizadas principalmente nas regiões Nordeste, Norte e Sul no ano de 2017 (Figura 85).

Figura 85 - Distribuição de valores da variável observável IP2 entre as microrregiões brasileiras em 2017.

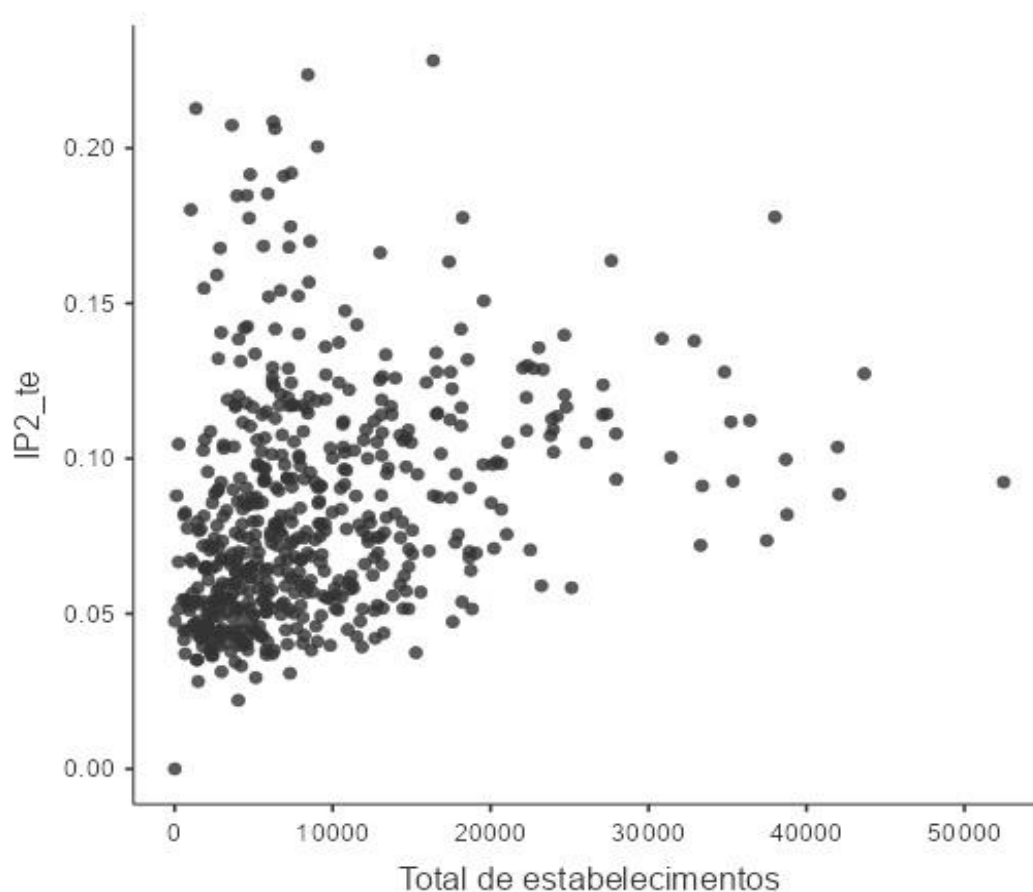


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Variável observável: IP2 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural tinha uma idade superior a 25 anos a menos de 35 anos.

A maior parte das microrregiões brasileiras tiveram uma taxa de até 15% (0,15) do total de propriedades rurais chefiados por indivíduos com idade de 25 anos a menos de 35 anos em 2017 (Figura 86).

Figura 86 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável IP2 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.

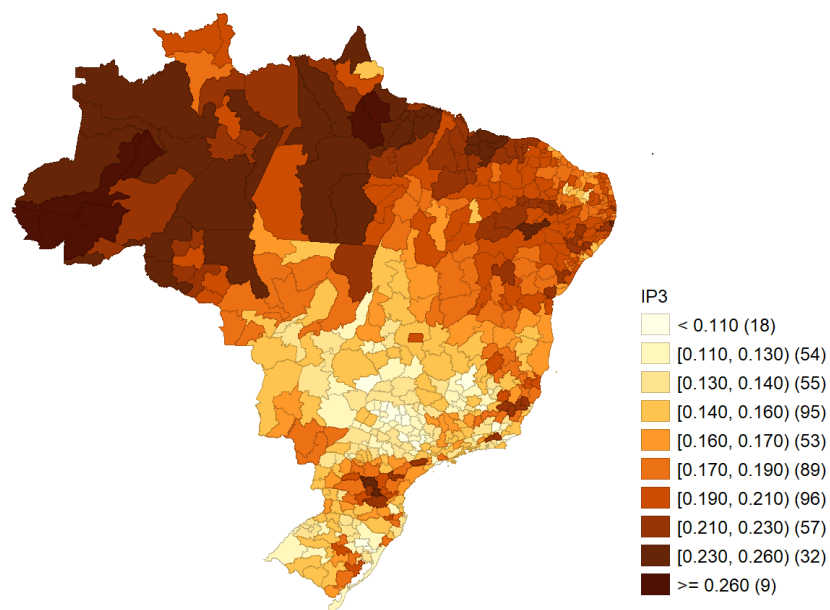


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo IP2\_te do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variável observável: IP2 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural tinha uma idade superior a 25 anos a menos de 35 anos.

O valor mínimo da variável IP3 (com idade de 35 anos a menos de 45 anos) foi de 0,0879 (representou 8,79% do total de estabelecimentos agropecuários em Votuporanga – São Paulo) e máximo de 0,2896 (representou 28,96% do total de estabelecimentos rurais em Portel – Pará) em 2017 (Tabela 13). As microrregiões com uma maior participação de estabelecimentos agropecuários gerenciados por produtores rurais com idade de 35 anos a menos de 45 anos estavam localizadas em todas as regiões brasileiras no ano de 2017 (Figura 87).

Figura 87 - Distribuição de valores da variável observável IP3 entre as microrregiões brasileiras em 2017.

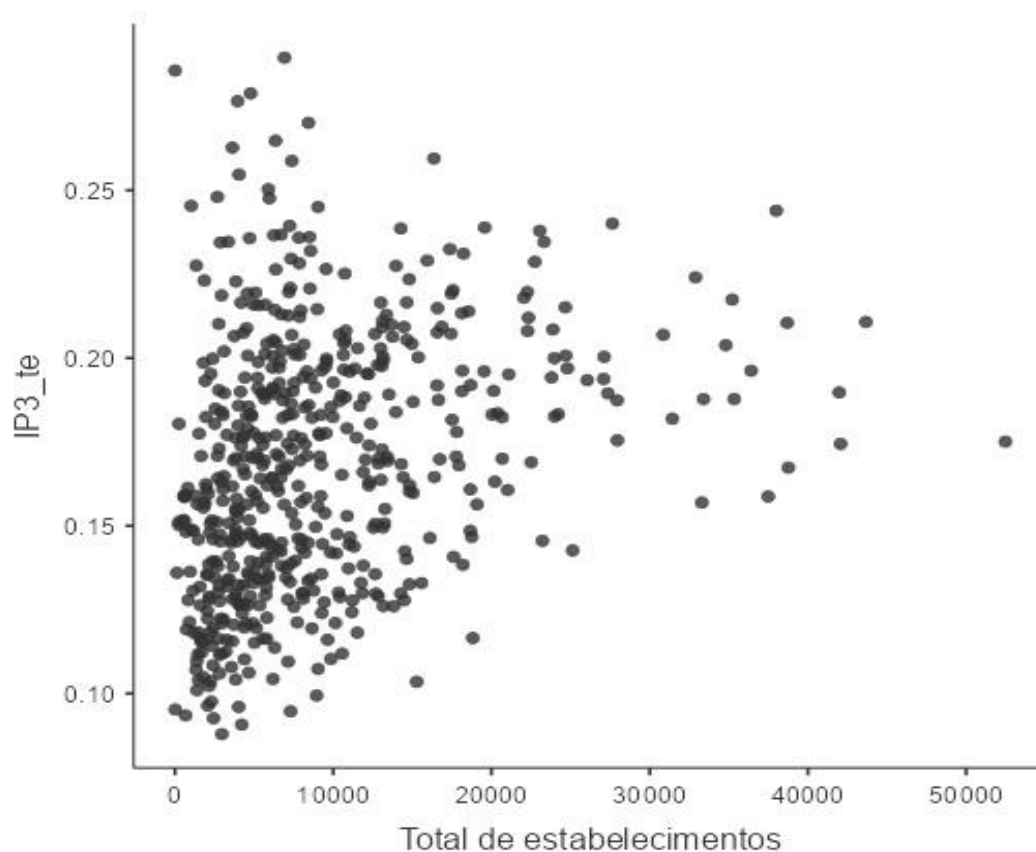


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Variável observável: IP3 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural tinha uma idade superior a 35 anos a menos de 45 anos.

A maior parte das microrregiões brasileiras tiveram uma taxa de até 23% (0,23) do total de propriedades rurais gerenciadas por indivíduos com idade de 35 anos a menos de 45 anos em 2017 (Figura 88).

Figura 88 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável IP3 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.



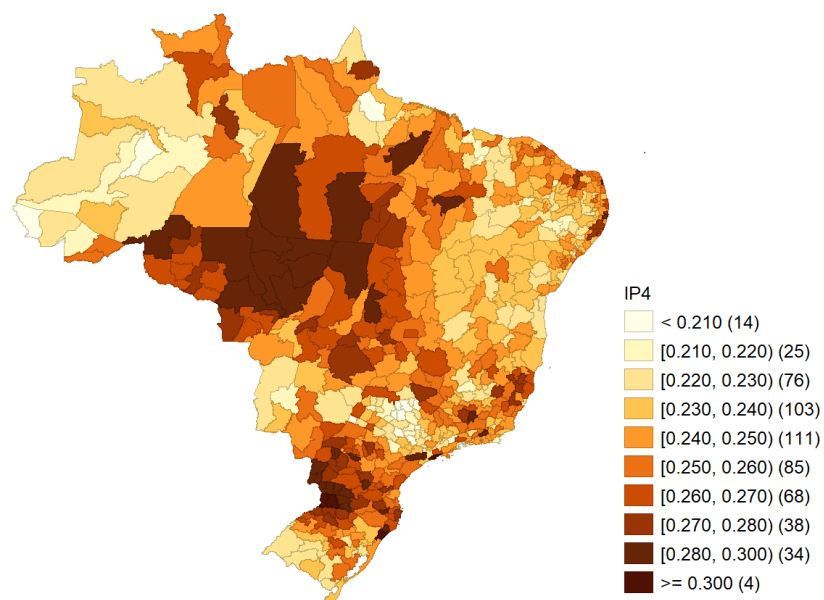
Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo IP3\_te do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variável observável: IP3 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural tinha uma idade superior a 35 anos a menos de 45 anos.

A variável IP4 (com idade de 45 anos a menos de 55 anos) teve um valor mínimo de 0,1760 (representou 17,60% do total de estabelecimentos agropecuários em Osasco – São Paulo) e máximo de 0,3333 (representou 33,33% do total de estabelecimentos rurais de Santos – São Paulo) em 2017 (Tabela 13). As microrregiões com uma maior parte de estabelecimentos rurais chefiados por produtores rurais com idade de 45 anos a menos de 55 anos estavam localizadas em todas as regiões brasileiras no ano de 2017 (Figura 89).



Figura 89 - Distribuição de valores da variável observável IP4 entre as microrregiões brasileiras em 2017.

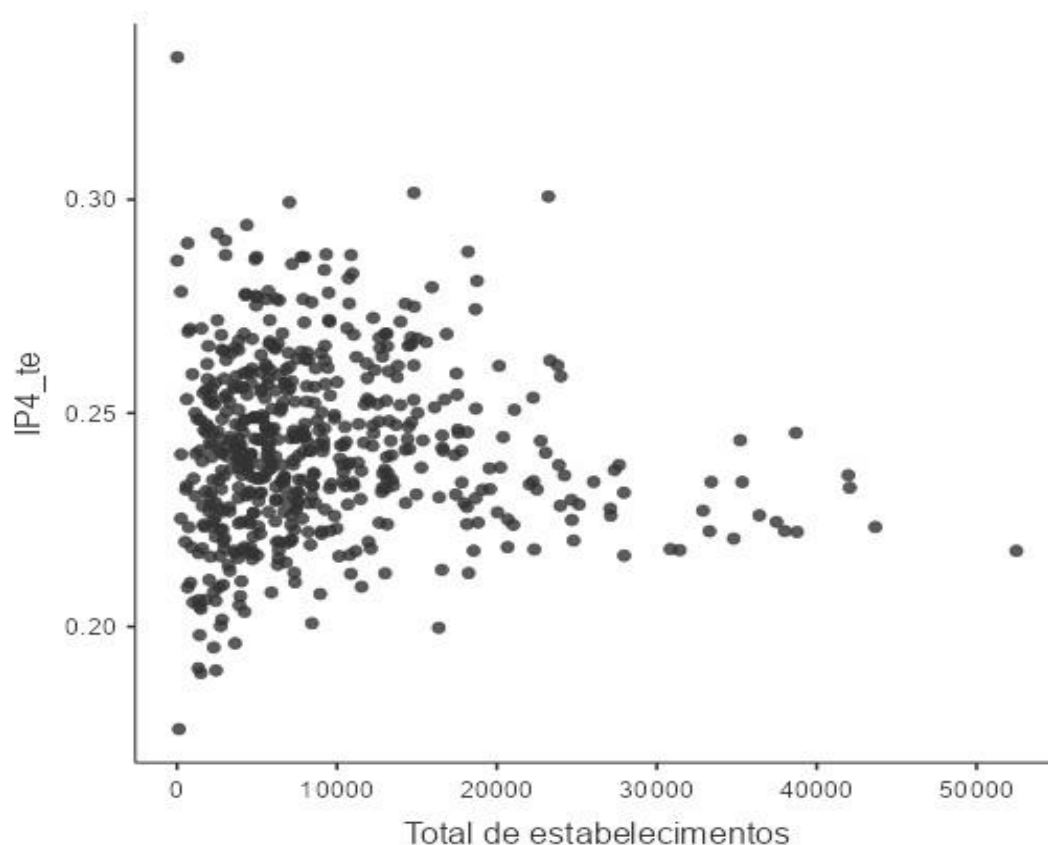


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Variável observável: IP4 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural tinha uma idade superior a 45 anos a menos de 55 anos.

A maior parte das microrregiões brasileiras tiveram uma taxa de até 30% (0,30) do total de propriedades rurais chefiados por indivíduos com idade de 45 anos a menos de 55 anos em 2017 (Figura 90).

Figura 90 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável IP4 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.

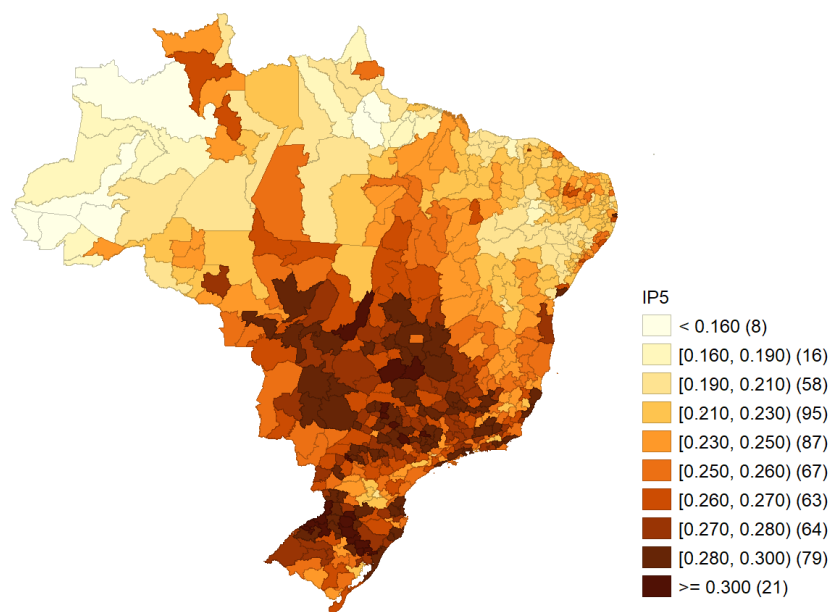


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo IP4\_te do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variável observável: IP4 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural tinha uma idade superior a 45 anos a menos de 55 anos.

A variável IP5 (com idade de 55 anos a menos de 65 anos) teve um valor mínimo de 0,1330 (representou 13,30% do total de estabelecimentos agropecuários em Furos de Breves – Pará) e máximo de 0,3173 (representou 31,73% do total de estabelecimentos rurais em Médio Araguaia – Mato Grosso) no ano de 2017 (Tabela 13). As microrregiões com a maior parte de estabelecimentos agropecuários gerenciados por produtores rurais com idade de 55 anos a menos de 65 anos estavam localizadas principalmente nas regiões Centro-Oeste, Nordeste, Sudeste e Sul em 2017 (Figura 91).

Figura 91 - Distribuição de valores da variável observável IP5 entre as microrregiões brasileiras em 2017.

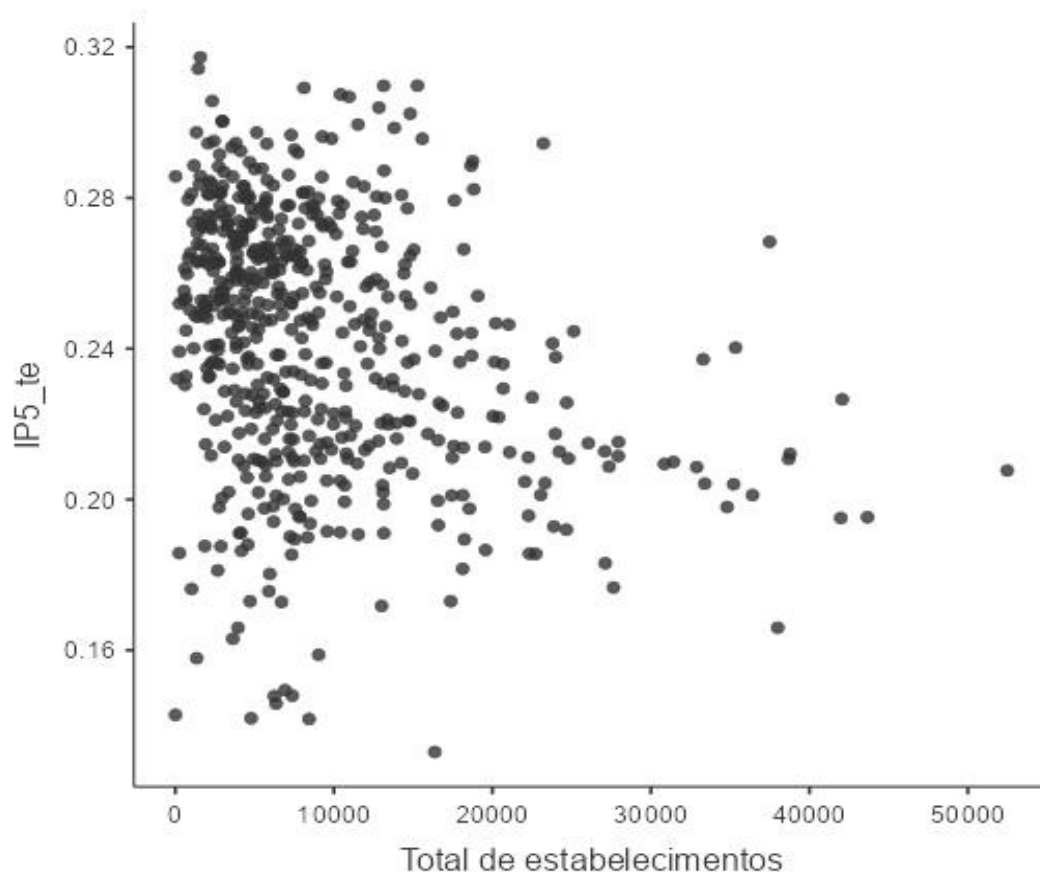


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Variável observável: IP5 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural tinha uma idade superior a 55 anos a menos de 65 anos.

A maior parte das microrregiões brasileiras tiveram uma taxa de até 30% (0,30) do total de propriedades rurais chefiados por indivíduos com idade de 55 anos a menos de 65 anos em 2017 (Figura 92).

Figura 92 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável IP5 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.

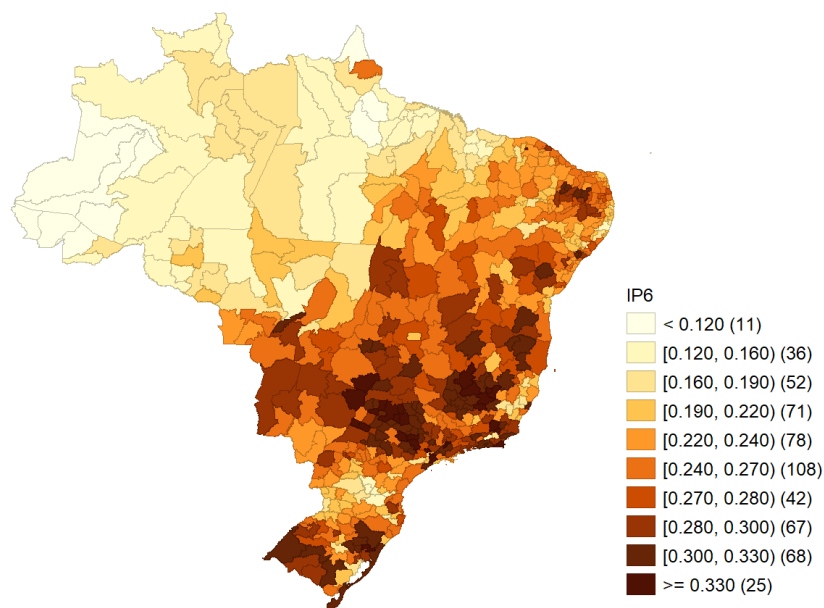


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo IP5\_te do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variável observável: IP5 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural tinha uma idade superior a 55 anos a menos de 65 anos.

O valor mínimo da variável IP6 (com idade superior a 65 anos) foi de 0,0894 (representou 8,94% do total de estabelecimentos agropecuários em Cruzeiro do Sul – Acre) e máximo de 0,3917 (representou 39,17% do total de estabelecimentos rurais em Jundiá – São Paulo) em 2017 (Tabela 13). As microrregiões com a maior parte de estabelecimentos agropecuários gerenciadas por produtores com idade superior a 65 anos estavam localizadas principalmente nas regiões Centro-Oeste, Nordeste, Sudeste e Sul no ano de 2017 (Figura 93).

Figura 93 - Distribuição de valores da variável observável IP6 entre as microrregiões brasileiras em 2017.



Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Variável observável: IP6 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural tinha uma idade superior a 65 anos.

A maior parte das microrregiões brasileiras tiveram uma taxa de até 35% (0,35) do total de propriedades rurais gerenciadas por indivíduos com idade superior a 65 anos em 2017 (Figura 94).

Figura 94 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável IP6 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.

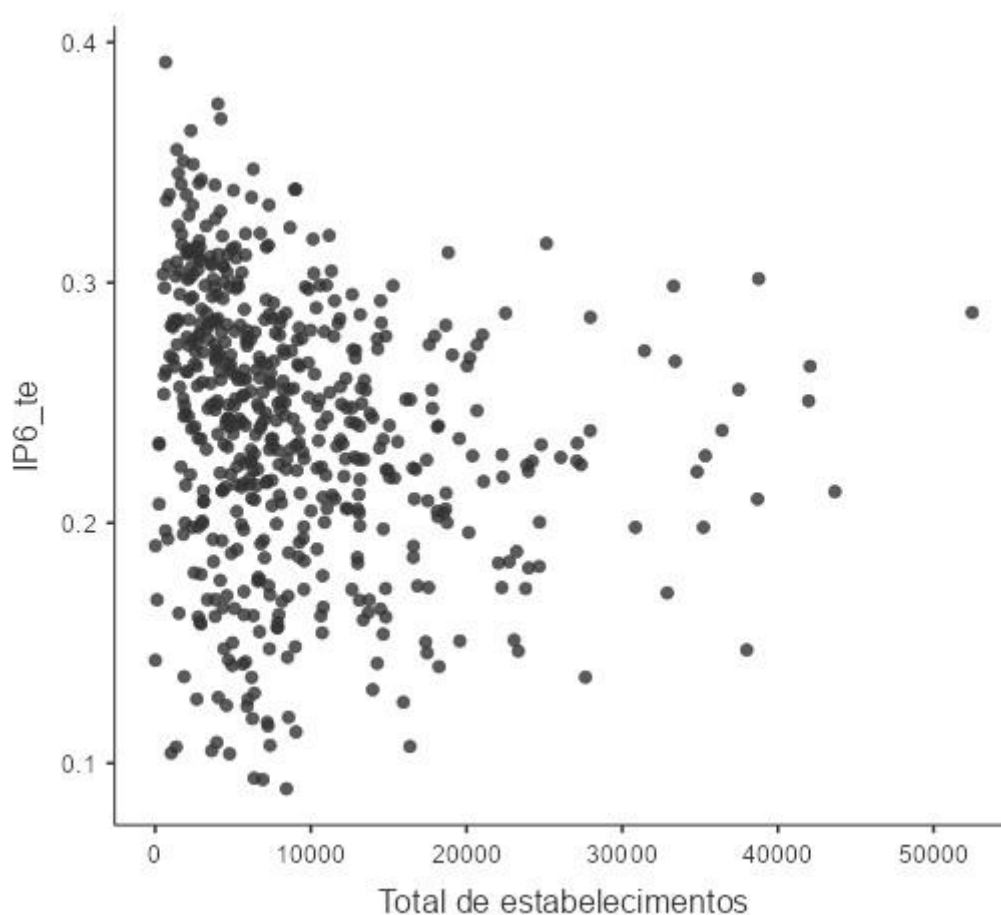


Figura 94.

Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo IP6\_te do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variável observável: IP6 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor rural tinha uma idade superior a 65 anos.

Observou-se um nível de desigualdade entre os diferentes níveis de escolaridades (NE1, NE2, NE3, NE4, NE5 e NE6) dos produtores rurais e para os indivíduos mais jovens (IP1 e IP2) entre as regiões brasileiras. Para os produtores rurais com idade superior a 35 anos (IP3, IP4, IP5 e IP6), foi possível observar uma maior homogeneidade neste tipo de perfil de produtor rural entre as regiões brasileiras no ano de 2017 (Quadro 14).

Quadro 14 - Síntese de informações das variáveis observáveis dos construtos NE e IP

<b>Construtos</b>	<b>Síntese de informações</b>
Nível de escolaridade dos produtores rurais (NE)	<p>(a) Desigualdade nas microrregiões quanto ao nível de escolaridade dos produtores rurais ao longo do território nacional em 2017;</p> <p>(b) Nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul tiveram a maior parte das microrregiões com predominância de produtores rurais com os níveis de escolaridade de ensino superior, antigo ginásial (médio do 1º ciclo) e antigo primário (elementar) no ano de 2017; e,</p> <p>(c) Em todas as microrregiões brasileiras tiveram produtores rurais com os níveis de escolaridade de regular ensino médio, ensino fundamental, antigo ginásial (médio 1º ciclo) e antigo primário (elementar) em 2017.</p>
Idade dos produtores rurais (IP)	<p>(a) Desigualdade entre as microrregiões na participação relativa do total de estabelecimentos gerenciados por produtores rurais com idade de até 35 anos ao longo do território nacional no ano de 2017;</p> <p>(b) Homogeneidade entre as microrregiões na participação relativa do total de estabelecimentos gerenciados por produtores rurais com idade superior a 35 anos ao longo do território nacional em 2017;</p> <p>(c) Em todas as microrregiões brasileiras haviam produtores rurais com idade superior a 35 anos no ano de 2017; e,</p> <p>(d) Na região Norte concentrou-se as microrregiões com maior proporção de estabelecimentos agropecuários gerenciados por produtores com idade de até 25 anos no ano de 2017.</p>

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.1.5 Indicadores relacionados ao Valor Bruto da Produção (VBP)

O uso de tecnologias sustentáveis pode contribuir para a manutenção ou aumento da produtividade nas propriedades rurais (ALVARENGA *et al.*, 2018). Dentre tais tecnologias, destacam-se a rotação de culturas (BORDOVSKY *et al.*, 1994; ADHIKARI e BASNYAT, 1998; PALA *et al.*, 2007; FRANCHINI *et al.*, 2011; N'DAYEGAMIYE *et al.*, 2017; DEGANI *et al.*, 2019; BRANKOV *et al.*, 2021; VOLSI *et al.*, 2022), o SPD (BORDOVSKY *et al.*, 1994; DERPSCH *et al.*, 2010; SOMASUNDARAM *et al.*, 2020; HARUNA e ANDERSON, 2022; WEIDHUNER *et al.*, 2022; YOKOYAMA *et al.*, 2022; FOLONI *et al.*, 2023), os fertilizantes químicos e/ou orgânicos (SENEVIRATNE *et al.*, 2000; LINQUIST *et al.*, 2007; PALA *et al.*, 2007; WAIREGI e ASTEN, 2010; BROWN *et al.*, 2016; MELLO *et al.*, 2018; YANG *et al.*, 2018; BRANDT *et al.*, 2020; LI *et al.*, 2021; SANCHES *et al.*, 2021; CHEN, Limei, *et al.*, 2022; LI *et al.*, 2022; ZHAI *et al.*, 2022; EJIGU *et al.*, 2023; FOLONI *et al.*, 2023) e os corretivos (CONYERS *et al.*, 2003; TANG *et al.*, 2003; MULLEN *et al.*, 2006; NATALE *et al.*, 2007; HOLLAND *et al.*, 2018; HOLLAND e BEHRENDT, 2021; HIJBEEK *et al.*, 2021; WANG, Y. *et al.*, 2021; EJIGU *et al.*, 2023).

Foi possível observar uma desigualdade nos indicadores de VBP do setor agropecuário ao longo do território nacional no ano de 2017. O VBP1 (valor bruto da produção dividido pelo total de estabelecimentos) teve um CV de 179,93%, o VBP2 (valor bruto da produção dividido pela área total dos estabelecimentos) teve um CV de 171,43% e o VBP3 (valor bruto da produção dividido pelo pessoal ocupado) com um CV de 124,81% (Tabela 14).

Tabela 14 - Estatísticas descritivas das variáveis observáveis que compõem o construto Valor Bruto da Produção (VBP) para o setor agropecuário brasileiro em 2017

Variável	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-padrão	Coefficiente de variação (CV) (%)	Alfa de Cronbach
VBP1	4,2031	3.361,3414	145,7123	262,1733	179,93	
VBP2	0,0858	73,0500	2,0606	3,5325	171,43	0,365
VBP3	1,6677	446,5754	37,9272	47,3360	124,81	

Fonte: Elaborado a partir de IBGE (2017).

Nota: O CV maior que 30% indica heterogeneidade na estrutura de dados da variável (FÁVERO e BELFIORE, 2017). Variáveis observáveis: VBP1 – valor bruto da produção total dividido pelo total de estabelecimentos agropecuários; VBP2 – valor bruto da produção total dividido pela área total dos



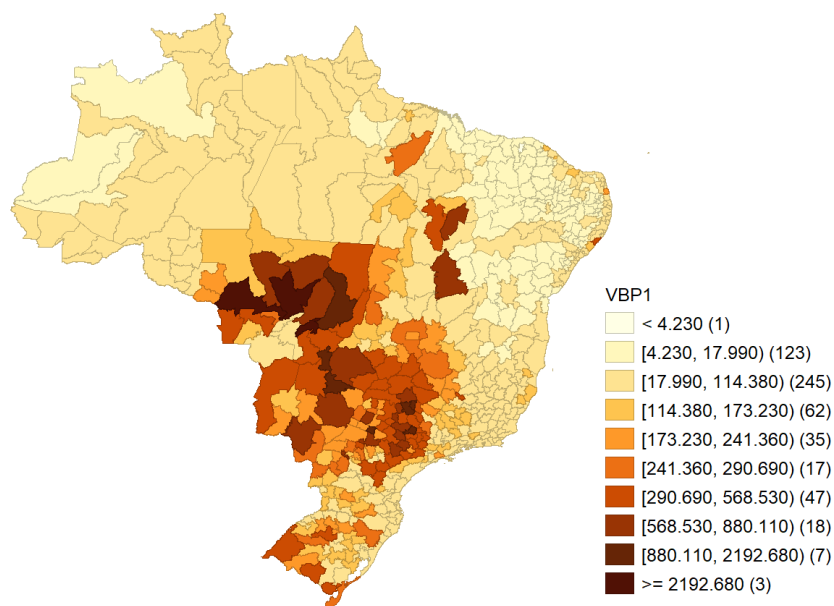
estabelecimentos agropecuários; e, VBP3 – valor bruto da produção total dividido pelo pessoal ocupado dos estabelecimentos agropecuários.

Para o conjunto de variáveis observáveis que compõem o construto VBP, o valor do Alfa de Cronbach foi de 0,365, indicando um baixo nível de confiabilidade interna (valor do coeficiente abaixo de 0,60) (FÁVERO e BELFIORE, 2017) (Tabela 14). A ausência de outros indicadores para a composição do construto VBP é uma limitação da presente pesquisa em função da disponibilidade de dados do Censo Agropecuário.

Para as variáveis observáveis VBP1, VBP2 e VBP3, o gráfico *boxplot* não foi realizado em virtude da diferença na magnitude de valores monetários.

O valor mínimo de VBP1 (valor bruto da produção dividido pelo total de estabelecimentos) foi de 4,2031 (representou R\$4,2031 por estabelecimento em Coreaú – Ceará) e máximo de 3.361,3414 (representou R\$3.361,3414 por estabelecimento agropecuário em Parecis – Mato Grosso) no ano de 2017 (Tabela 14). As microrregiões com as maiores proporções de propriedades rurais com uma maior relação entre o VBP/total de estabelecimentos estiveram localizadas nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul em 2017 (Figura 95).

Figura 95 - Distribuição de valores da variável observável VBP1 entre as microrregiões brasileiras em 2017.

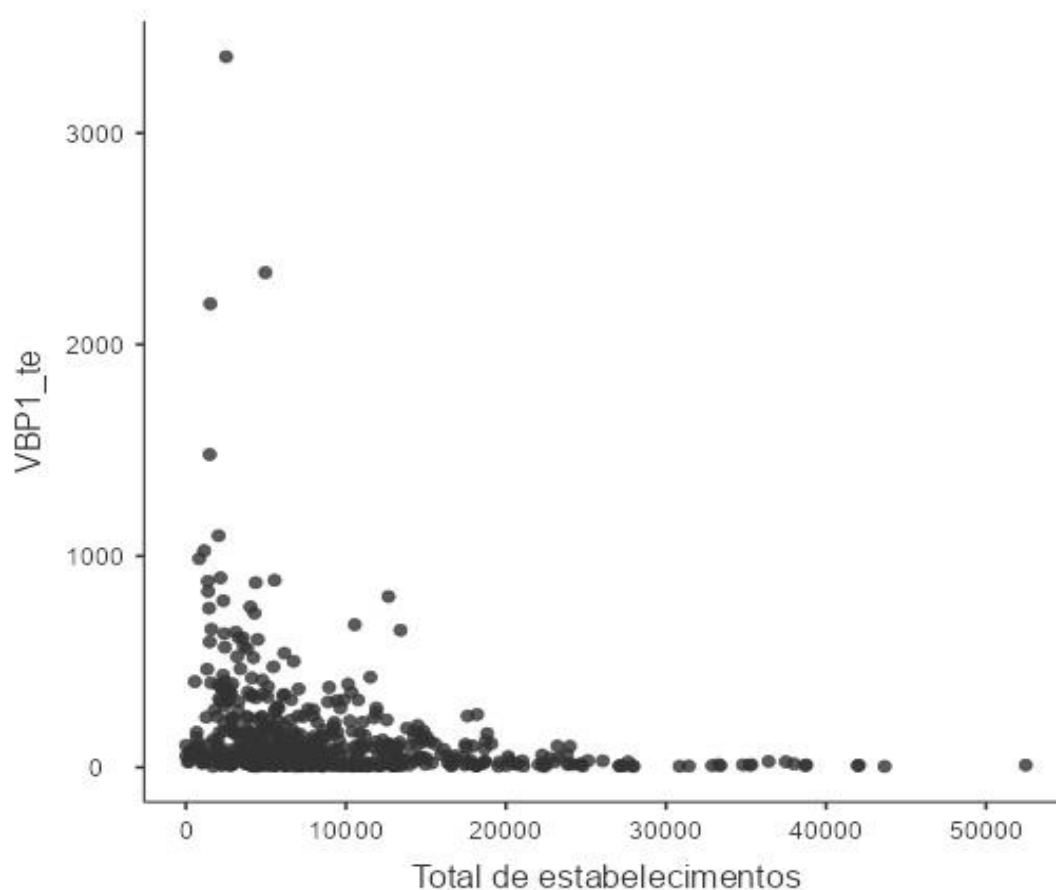


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Variável observável: VBP1 – valor bruto da produção total dividido pelo total de estabelecimentos agropecuários.

O valor médio do VBP1 da maior parte das microrregiões brasileiras foi inferior ao patamar de R\$1.000,00/propriedade no ano de 2017 (Figura 96).

Figura 96 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável VBP1 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.



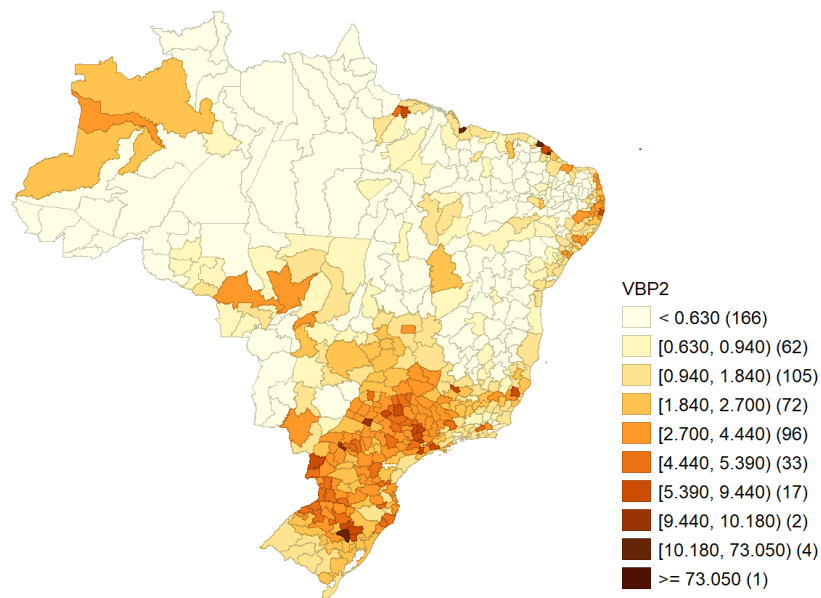
Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo VBP1\_te do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variável observável: VBP1 – valor bruto da produção total dividido pelo total de estabelecimentos agropecuários.

O valor mínimo da variável VBP2 (valor bruto da produção dividido pela área total dos estabelecimentos) foi de 0,0858 (representou R\$0,0858 por hectare em Amapá – Amapá) e máximo de 73,0500 (representou R\$73,0500 por hectare em Fernando de Noronha – Pernambuco) em 2017 (Tabela 14). As microrregiões com a maior proporção de propriedades rurais com uma maior relação entre o VBP/área total dos

estabelecimentos estavam localizadas principalmente nas regiões Sudeste e Sul no ano de 2017 (Figura 97).

Figura 97 - Distribuição de valores da variável observável VBP2 entre as microrregiões brasileiras em 2017.

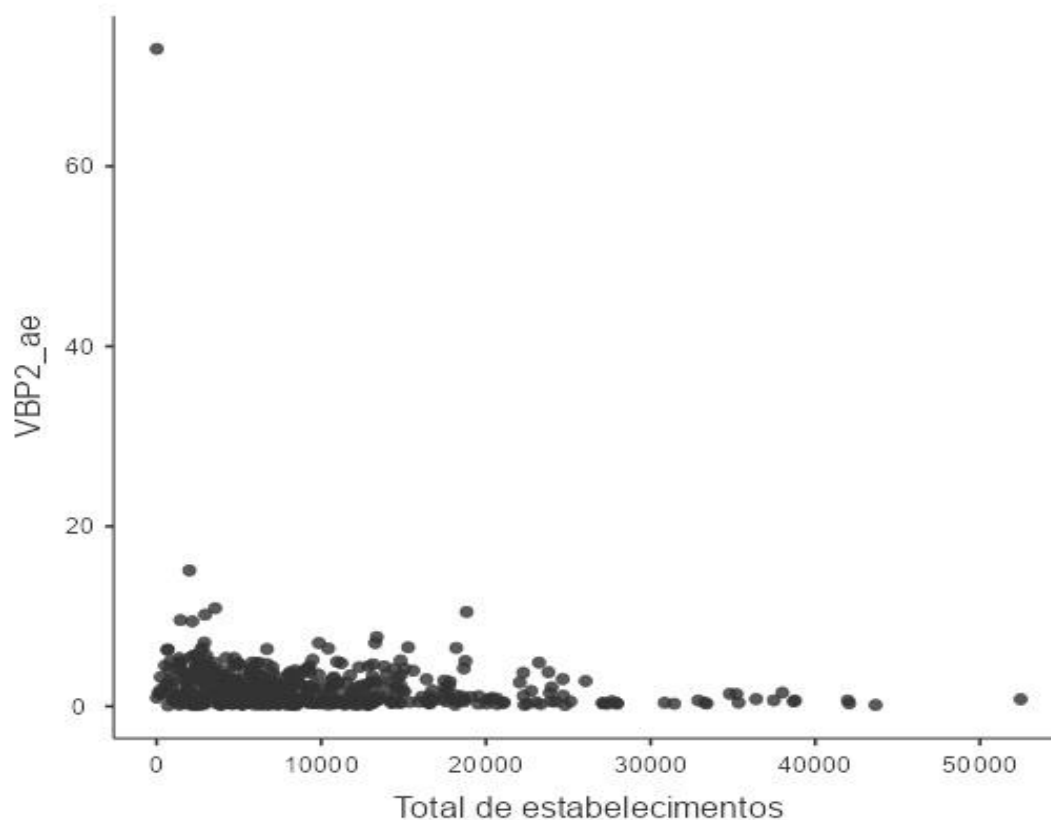


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Variável observável: VBP2 – valor bruto da produção total dividido pela área total dos estabelecimentos agropecuários.

A maior parte das microrregiões brasileiras teve um valor médio de VBP/hectare inferior a R\$20,00 no ano de 2017 (Figura 98).

Figura 98 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável VBP2 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.

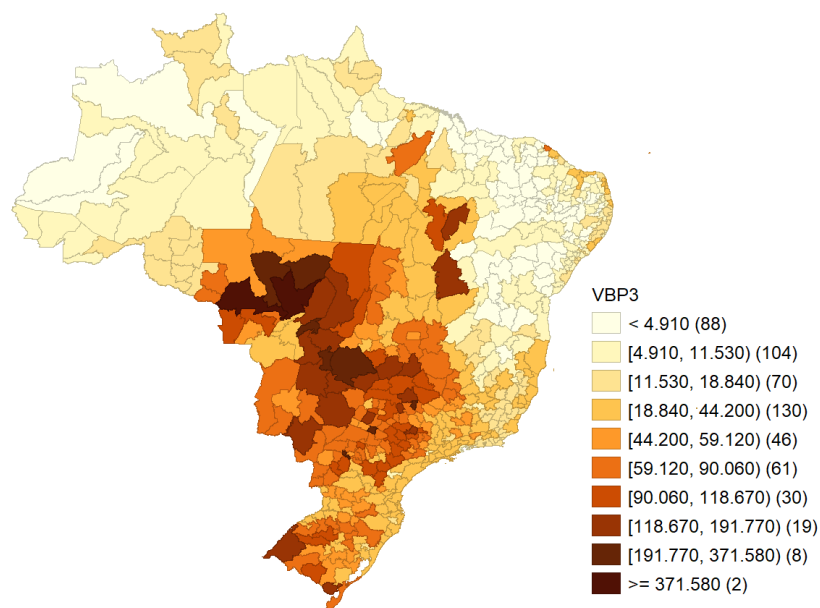


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo VBP2\_ae do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variável observável: VBP2 – valor bruto da produção total dividido pela área total dos estabelecimentos agropecuários.

A variável VBP3 (valor bruto da produção dividido pelo pessoal ocupado) teve um valor mínimo de 1,6677 (representou R\$1,6677 por trabalhador dos estabelecimentos agropecuários em São Raimundo Nonato – Piauí) e máximo de 46,5754 (representou R\$446,5754 por trabalhador em Alto Teles Pires – Mato Grosso) em 2017 (Tabela 14). As microrregiões com a maior parte de propriedades rurais com uma maior relação entre o VBP/pessoal ocupado nos estabelecimentos estavam localizadas principalmente nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul no ano de 2017 (Figura 99).

Figura 99 - Distribuição de valores da variável observável VBP3 entre as microrregiões brasileiras em 2017.

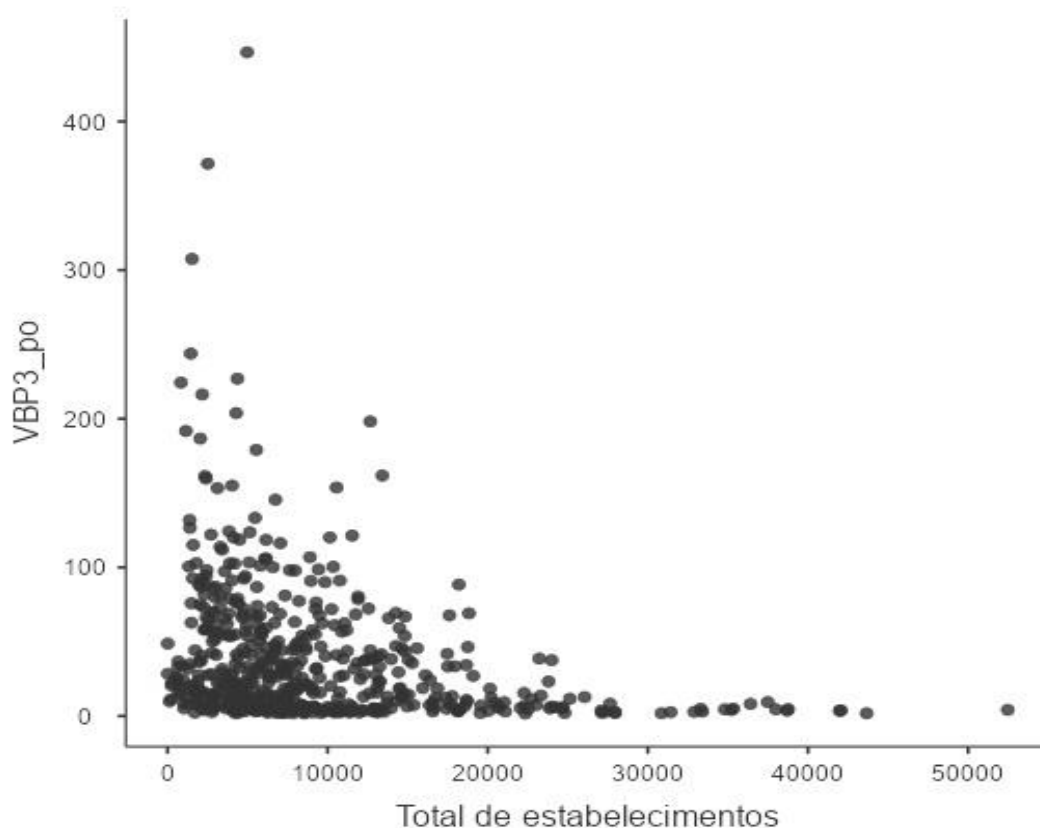


Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®.

A maior parte das microrregiões brasileiras teve um valor médio de VBP/trabalhador inferior a R\$100,00 no ano de 2017 (Figura 100).

Figura 100 - Gráfico de dispersão de pontos entre a variável observável VBP3 e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.



Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo VBP3\_ae do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Variável observável: VBP3 – valor bruto da produção total dividido pelo pessoal ocupado dos estabelecimentos agropecuários.

Observou-se uma desigualdade nos valores de VBP (dividido pelos indicadores de total de estabelecimentos, área total dos estabelecimentos e pessoal ocupado) ao longo do território nacional. As microrregiões com a maior parte de estabelecimentos agropecuários que tiveram os maiores valores de VBP1, VBP2 e VBP3 concentraram-se principalmente nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul (Figuras 95, 97 e 99) no ano de 2017. O setor agropecuário possui regiões com propriedades rurais que sofrem com a falta de recursos e escassez tecnológica, o que contribui para um baixo nível de produtividade e valor bruto da produção (VIEIRA FILHO *et al.*, 2013).

De uma forma geral, o setor agropecuário brasileiro foi caracterizado por um cenário de desigualdade no acesso aos serviços de assistência técnica e crédito rural, na

participação dos produtores rurais em diferentes tipos de organizações coletivas, nas características da propriedade rural (disponibilidade de água, existência de equipamentos e máquinas produtivas e fontes de informação técnica) e dos indivíduos (idade e nível de escolaridade) no ano de 2017 (Quadro 15).

Quadro 15 - Síntese dos indicadores socioeconômicos e produtivos relacionados ao processo de adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário brasileiro

(a) **Construto AT:** Desigualdade entre as regiões brasileiras na taxa de adoção de tecnologias sustentáveis nas propriedades rurais. A região Sul foi a que possuiu as maiores taxas de adoção desses tipos de tecnologias (rotação de culturas, sistema de plantio direto na palha e o uso de fertilizantes e corretivos) em 2017;

(b) **Construto AC:** Desigualdade entre as regiões brasileiras nas taxas de propriedades rurais com acesso ao crédito rural em diferentes modalidades (bancos via empréstimos e programas governamentais, cooperativas de crédito e governos federal, estadual e municipal). A região Sul foi a que possuiu as maiores taxas de acesso ao crédito de banco e cooperativas em 2017;

(c) **Construto AS:** Desigualdade entre as regiões brasileiras nas taxas de propriedades rurais com acesso aos serviços de assistência técnica em diferentes modalidades (governamental, própria ou contratada, cooperativas e empresas integradoras). Na região Sul concentrou-se as maiores taxas de acesso aos serviços de assistência técnica de cooperativas e empresas integradoras em 2017;

(d) **Construto OC:** Desigualdade entre as regiões brasileiras nas taxas de participação dos produtores rurais em diferentes tipos de organizações coletivas (cooperativas, entidades de classe, associação e reuniões técnicas e seminários). As regiões Sudeste e Sul apresentaram as maiores taxas de participação dos produtores em cooperativas e entidades de classe no ano de 2017;

(e) **Construto DA:** Desigualdade entre as regiões brasileiras nas taxas de propriedades rurais com acesso à diferentes tipos de fontes de água (nascentes, rios/riachos, poços tubulares profundos jorrantes e cisternas) das propriedades rurais. A região Nordeste apresentou os maiores níveis de escassez de acesso das propriedades rurais à água proveniente de nascentes e rios e riachos em 2017;

(f) **Construto ME:** Desigualdade entre as regiões brasileiras nas taxas de propriedades rurais com máquinas e equipamentos produtivos (adubadeiras, colheitadeiras,

distribuidor de calcário, semeadores/plantadeiras e tratores). As regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul apresentaram os maiores níveis de propriedades rurais com máquinas e equipamentos produtivos em detrimento do Norte e Nordeste no ano de 2017;

(g) **Construto FI:** Desigualdade entre as regiões brasileiras nas taxas de propriedades com acesso a alguns tipos de fontes de informações técnicas (revistas, jornais, rádio e aparelhos com conexão à internet). Nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul apresentaram as maiores taxas de propriedades rurais que utilizaram os aparelhos com conexão à internet, jornais e revistas para a busca de informações técnicas em 2017;

(h) **Construto NE:** Desigualdade entre as regiões brasileiras quanto aos diferentes níveis de escolaridade dos produtores rurais. As regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul apresentaram as maiores taxas de propriedades rurais gerenciadas por indivíduos com os níveis de escolaridade de ensino superior, antigo ginásial (médio 1º ciclo) e antigo primário em 2017; e,

(i) **Construto IP:** Desigualdade entre as regiões nas taxas de propriedades rurais gerenciadas por indivíduos com idade de até 35 anos. Na região Norte concentrou-se a maior proporção de propriedades rurais chefiadas por indivíduos com idade de até 25 anos em 2017.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota: Construtos: AC – acesso ao crédito; AS – acesso à assistência técnica; AT – adoção de tecnologias sustentáveis; DA – disponibilidade de água; FI – fonte de informação técnica; IP – idade dos produtores rurais; ME – máquinas e equipamentos produtivos; NE – nível de escolaridade dos produtores; OC – organizações coletivas.

## 4.2 Avaliação do modelo de mensuração

A primeira etapa da MEE é a validação do modelo de mensuração, por meio da avaliação das Validades Convergente e Discriminante e a Confiabilidade Composta (NASCIMENTO e MACEDO, 2016; HAIR *et al.*, 2017). A Validade Convergente é feita a partir da análise das Variâncias Médias Extraídas (*Average Variance Extracted* – AVE) dos construtos. Utiliza-se o critério de Fornell-Larcker indicando que os valores das AVEs devem ser superiores a 0,50 (RINGLE *et al.*, 2014).

A AVE é a parcela dos dados das variáveis observáveis que é explicada para cada um dos respectivos construtos (RINGLE *et al.*, 2014; NASCIMENTO e MACEDO, 2016). A Validade Discriminante busca verificar a distinção de um construto em relação aos demais, por meio de uma avaliação das cargas cruzadas dos indicadores com os



respectivos construtos (HAIR *et al.*, 2017; GRACIOLA, 2019). Foi utilizado o critério de Fornell e Larcker (1981) que compara a raiz quadrada dos valores da AVE com as correlações dos demais construtos. A raiz quadrada da AVE de cada variável latente deve ser maior que as correlações ao quadrado de todos os outros fatores do modelo.

A Confiabilidade Composta (CC) dos construtos é feita com o objetivo de verificar se a amostra está livre de vieses. O indicador tradicional é o Alfa de Cronbach (AC), que é baseado em intercorrelações das variáveis observáveis. A CC é mais adequada para o PLS-SEM, pois, prioriza as variáveis de acordo com as suas confiabilidades. Enquanto o AC é muito sensível ao número de variáveis em cada construto. Recomenda-se que os valores de CC sejam superiores a 0,70 (RINGLE *et al.*, 2014; HAIR *et al.*, 2017).

Pelo critério de Fornell-Larcker, é recomendável que os valores da diagonal principal sejam maiores que as demais correlações entre os construtos (RINGLE *et al.*, 2014; HAIR *et al.*, 2017; GRACIOLA, 2019). Foi possível verificar que alguns valores da diagonal foram inferiores que as demais correlações entre os construtos, para os construtos AS, AT, NE e OC. O que comprometeu a Validade Discriminante do modelo em questão (Tabela 15).

Tabela 15 - Matriz de correlações entre as variáveis latentes

Construtos	AC	AS	AT	DA	FI	IP	ME	NE	OC	VBP
AC	<b>0,740</b>									
AS	0,689	<b>0,642</b>								
AT	0,640	<i>0,793</i>	<b>0,773</b>							
DA	0,267	0,463	0,481	<b>0,704</b>						
FI	0,393	<i>0,666</i>	0,559	0,527	<b>0,725</b>					
IP	-0,269	-0,400	-0,334	-0,245	-0,539	<b>0,615</b>				
ME	0,602	<i>0,802</i>	0,747	0,482	0,722	-0,439	<b>0,919</b>			
NE	0,311	0,542	0,536	0,580	<i>0,636</i>	-0,538	<i>0,589</i>	<b>0,586</b>		
OC	<i>0,725</i>	<i>0,853</i>	<i>0,774</i>	0,429	0,642	-0,411	<i>0,805</i>	0,493	<b>0,658</b>	
VBP	0,431	<i>0,613</i>	<i>0,643</i>	0,322	0,404	-0,278	<i>0,605</i>	0,392	<i>0,575</i>	<b>0,586</b>
AVE	0,547	<i>0,412</i>	0,597	<i>0,496</i>	0,526	<i>0,378</i>	0,844	<i>0,344</i>	<i>0,433</i>	<i>0,344</i>
CC	0,774	0,726	0,855	<i>0,380</i>	0,841	<i>0,221</i>	0,942	<i>0,628</i>	<i>0,496</i>	<i>0,358</i>

Fonte: Resultado da pesquisa.

Nota: AVE – Variância média extraída; CC – Confiabilidade composta. Construtos: AC – acesso ao crédito; AS – acesso à assistência técnica; AT – adoção de tecnologias sustentáveis; DA – disponibilidade de água; FI – fonte de informação técnica; IP – idade dos produtores rurais; ME – máquinas e equipamentos produtivos; NE – nível de escolaridade dos produtores; OC – organizações coletivas; VBP – valor bruto da produção. Os valores marcados em vermelho, indicam algum tipo de problema no modelo analisado.

A Validade Convergente foi comprometida em função de alguns construtos terem tido um valor inferior da AVE ao valor mínimo recomendável (0,50) (RINGLE *et*

*al.*, 2014). Os construtos com problema foram o AS (com um AVE de 0,412), DA (com um AVE de 0,496), IP (com um AVE de 0,378), NE (com um AVE de 0,344), OC (com um AVE de 0,433) e VBP (com um AVE de 0,344) (Tabela 15).

A Confiabilidade Composta também alcançou alguns valores insatisfatórios (inferiores a 0,70) para os construtos DA (com um CC de 0,380), IP (com um CC de 0,221), NE (com um CC de 0,628), OC (com um CC de 0,496) e VBP (com um CC de 0,358) (Tabela 15). Pelo critério do Chin (1998), recomenda-se que os indicadores (variáveis observáveis) tenham as cargas fatoriais mais altas nos seus respectivos construtos em relação às demais variáveis latentes.

A avaliação das cargas cruzadas dos indicadores é importante para a avaliação do modelo de mensuração (Validade Discriminante) e a indicação de possíveis variáveis observáveis que possam ser excluídas para um melhor ajuste do modelo (RINGLE *et al.*, 2014). Alguns indicadores apresentaram uma carga fatorial maior em outros construtos, indicando um problema de carga cruzada alta. Essas situações foram para as variáveis observáveis de AS2\_te em FI, FI2\_te em AC e OC2\_te em AC, DA, FI e NE (Tabela 16).

Tabela 16 - Cargas cruzadas das variáveis observáveis nos construtos do modelo

Variáveis observáveis	AC	AS	AT	DA	FI	IP	ME	NE	OC	VBP
AC1_te	<b>0,820</b>	0,521	0,436	0,126	0,318	-0,255	0,478	0,225	0,547	0,257
AC2_te	<b>0,863</b>	0,646	0,639	0,353	0,358	-0,194	0,558	0,298	0,689	0,460
AC3_te	<b>0,473</b>	0,281	0,253	-0,008	0,146	-0,157	0,219	0,130	0,276	0,165
AS1_te	0,307	<b>0,397</b>	0,283	0,106	0,182	-0,14	0,168	0,173	0,301	0,123
AS2_te	0,258	<b>0,619</b>	0,401	0,419	<b>0,687</b>	-0,483	0,649	0,538	0,513	0,399
AS3_te	0,619	<b>0,817</b>	0,665	0,338	0,510	-0,316	0,679	0,395	0,774	0,586
AS4_te	0,508	<b>0,665</b>	0,597	0,290	0,300	-0,093	0,453	0,275	0,497	0,343
AT1_te	0,411	0,599	<b>0,835</b>	0,337	0,416	-0,316	0,502	0,468	0,552	0,579
AT2_te	0,568	0,559	<b>0,770</b>	0,242	0,288	-0,124	0,498	0,245	0,541	0,403
AT3_te	0,297	0,623	<b>0,732</b>	0,516	0,606	-0,386	0,668	0,594	0,578	0,561
AT4_te	0,715	0,657	<b>0,750</b>	0,365	0,386	-0,182	0,621	0,317	0,709	0,426
DA1_te	0,280	0,424	0,462	<b>0,866</b>	0,493	-0,259	0,406	0,507	0,408	0,264
DA2_te	0,277	0,307	0,267	<b>0,643</b>	0,321	-0,135	0,299	0,342	0,273	0,121
DA3_te	0,060	0,180	0,135	<b>0,410</b>	0,269	-0,130	0,241	0,265	0,154	0,173
DA4_te	-0,100	-0,342	-0,385	<b>-0,807</b>	-0,374	0,148	-0,394	-0,474	-0,312	-0,322
FI1_te	0,191	0,535	0,438	0,448	<b>0,844</b>	-0,458	0,634	0,514	0,503	0,363
FI2_te	0,221	0,485	0,351	0,391	<b>0,798</b>	-0,417	0,520	0,466	0,463	0,262
FI3_te	0,286	0,324	0,286	0,205	<b>0,597</b>	-0,314	0,318	0,328	0,338	0,113
FI4_te	<b>0,456</b>	0,331	0,302	0,240	<b>0,450</b>	-0,134	0,311	0,226	0,354	0,072
FI5_te	0,324	0,635	0,557	0,517	<b>0,847</b>	-0,525	0,694	0,642	0,594	0,489
IP1_te	-0,235	-0,331	-0,286	-0,195	-0,463	<b>0,816</b>	-0,359	-0,465	-0,335	-0,223
IP2_te	-0,148	-0,269	-0,229	-0,221	-0,427	<b>0,784</b>	-0,325	-0,439	-0,274	-0,194
IP3_te	-0,140	-0,264	-0,191	-0,096	-0,317	<b>0,642</b>	-0,299	-0,300	-0,277	-0,220
IP4_te	0,133	0,095	0,128	0,032	0,005	<b>-0,173</b>	0,033	0,054	0,069	0,070
IP5_te	0,200	0,272	0,214	0,223	0,345	<b>-0,565</b>	0,287	0,314	0,293	0,157
IP6_te	0,073	0,135	0,099	0,017	0,262	<b>-0,474</b>	0,188	0,257	0,155	0,087
ME1_te	0,465	0,722	0,669	0,496	0,690	-0,445	<b>0,888</b>	0,631	0,674	0,568
ME2_te	0,631	0,742	0,705	0,418	0,629	-0,366	<b>0,927</b>	0,486	0,777	0,511
ME3_te	0,559	0,745	0,683	0,416	0,672	-0,401	<b>0,940</b>	0,509	0,766	0,590
NE1_te	0,064	0,391	0,266	0,395	0,607	-0,444	0,513	<b>0,590</b>	0,336	0,311
NE2_te	0,089	0,259	0,249	0,354	0,395	-0,262	0,327	<b>0,532</b>	0,201	0,197
NE3_te	-0,058	0,085	0,083	0,110	0,208	-0,219	0,085	<b>0,297</b>	0,065	0,067
NE4_te	0,007	-0,087	-0,054	-0,064	-0,207	0,301	-0,119	<b>-0,385</b>	-0,068	-0,080
NE5_te	0,251	0,408	0,422	0,465	0,450	-0,412	0,480	<b>0,814</b>	0,385	0,266
NE6_te	0,374	0,426	0,481	0,405	0,366	-0,337	0,357	<b>0,729</b>	0,409	0,311
OC1_te	0,686	0,818	0,725	0,455	0,628	-0,383	0,750	0,486	<b>0,911</b>	0,573
OC2_te	<b>0,197</b>	0,012	-0,010	<b>-0,239</b>	<b>-0,148</b>	0,075	-0,027	<b>-0,260</b>	<b>0,092</b>	-0,085
OC3_te	-0,139	-0,270	-0,263	-0,277	-0,281	0,194	-0,304	-0,256	<b>-0,377</b>	-0,256
OC4_te	0,635	0,718	0,668	0,288	0,515	-0,344	0,689	0,391	<b>0,868</b>	0,443
VBP1_te	-0,002	-0,022	-0,045	-0,042	-0,013	-0,009	0,005	0,012	-0,012	<b>-0,125</b>
VBP2_ae	0,428	0,611	0,645	0,323	0,401	-0,282	0,600	0,396	0,571	<b>0,991</b>
VBP3_po	0,106	0,118	0,061	0,010	0,091	-0,015	0,161	0,036	0,132	<b>0,180</b>

Fonte: Resultado da pesquisa.

Nota: AE – Área total dos estabelecimentos; PO – Pessoal ocupado; TE – Total de estabelecimentos. Construtos: AC – acesso ao crédito; AS – acesso à assistência técnica; AT – adoção de tecnologias sustentáveis; DA – disponibilidade de água; FI – fonte de informação técnica; IP – idade dos produtores rurais; ME – máquinas e equipamentos produtivos; NE – nível de escolaridade dos produtores; OC – organizações coletivas; VBP – valor bruto da produção. Os valores marcados em vermelho, indicam algum tipo de problema no modelo analisado.

Na situação da existência de cargas cruzadas altas de indicadores em outros construtos, o recomendável é a retirada dessas variáveis para um melhor ajuste do modelo (BIDO e SILVA, 2019). Dessa forma, para tentar alcançar um melhor ajuste no

modelo de mensuração dos fatores associados à adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário brasileiro, ocorreu a remoção e transformação de algumas variáveis observáveis (Quadro 16).

Quadro 16 - Ações realizadas para o ajuste no modelo de mensuração

<b>Construtos</b>	<b>Ações realizada para o ajuste do modelo de mensuração</b>
<b>AC</b>	Nenhuma modificação
<b>AS</b>	(a) retirada das variáveis AS1_te e AS4_te; e, (b) substituição da variável AS2_te por AS2_ae.
<b>AT</b>	(a) substituição da variável AT3_te por AT3_po.
<b>DA</b>	(a) retirada da variável DA4_te.
<b>FI</b>	(a) retirada das variáveis FI3_te e FI4_te; (b) substituição da variável FI1_te por FI1_ae; e, (c) substituição da variável FI2_te por FI2_ae.
<b>IP</b>	(a) retirada das variáveis IP4_te, IP5_te e IP6_te.
<b>ME</b>	Nenhuma modificação
<b>NE</b>	(a) substituição da variável NE1_te por NE1_po; (a) retirada das variáveis NE2_te, NE3_te e NE4_te.
<b>OC</b>	(a) retirada das variáveis OC2_te e OC3_te
<b>VBP</b>	(a) retirada da variável VBP3_po; e, (b) transformação da variável VBP1_te em logaritmo lvbp1.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota: AE – Área total dos estabelecimentos; PO – Pessoal ocupado; TE – Total de estabelecimentos. Construtos: AC – acesso ao crédito; AS – acesso à assistência técnica; AT – adoção de tecnologias sustentáveis; DA – disponibilidade de água; FI – fonte de informação técnica; IP – idade dos produtores rurais; ME – máquinas e equipamentos produtivos; NE – nível de escolaridade dos produtores; OC – organizações coletivas; VBP – valor bruto da produção.

As variáveis AS2\_ae, AT3\_po, FI1\_ae, FI2\_ae, NE1\_po e lvbp1 foram incluídas no modelo e os testes de normalidade univariada (Shapito-Wilk e Shapiro-Francia) foram realizados com o intuito de verificar se a estrutura de dados dessas variáveis seguem uma distribuição normal (Tabela 17) (FÁVERO e BELFIORE, 2016).

Tabela 17 - Testes de normalidade univariada de Shapiro-Wilk e Shapiro-Francia das variáveis inseridas no modelo de mensuração

Variáveis observáveis	Shapiro-Wilk (S-W)		Shapiro-Francia (S-F)	
	Estatística	Significância (p)	Estatística	Significância (p)
AS2_ae	0,7524	0,0000*	0,7528	0,0000*
AT3_po	0,9023	0,0000*	0,9034	0,0000*
FI1_ae	0,8139	0,0000*	0,8202	0,0000*
FI2_ae	0,6460	0,0000*	0,6451	0,0000*
NE1_po	0,8874	0,0000*	0,8875	0,0000*
lvbp1	0,9852	0,0000*	0,9864	0,0001*

Fonte: Resultado da pesquisa.

Nota: \* 1% de significância. Variáveis observáveis: AS2 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso ao serviço de assistência técnica própria (do indivíduo) ou contratada; AT3 – proporção de estabelecimentos agropecuários que fizeram uso da rotação de culturas; FI1 – proporção de estabelecimentos agropecuários que tiveram acesso a informações técnicas de revistas; FI2 – proporção de estabelecimentos que tiveram acesso a informações técnicas de jornais; NE1 – proporção de estabelecimentos agropecuários em que o produtor possuía ensino superior; lvbp1 – logaritmo neperiano da variável observável VBPI.

Todas as variáveis inseridas para o ajuste do modelo de mensuração tiveram um nível de significância de 1% ( $p < 0,01$ ) para os dois testes (Shapiro-Wilk e Shapiro-Francia), indicando que a estrutura de dados de cada variável analisada não segue uma distribuição normal (FÁVERO e BELFIORE, 2016) (Tabela 17).

A transformação da variável VBPI\_te em logaritmo para lvbp1 foi realizada por meio do *software* Stata® versão 17. A transformação em logaritmo de uma variável é importante para a redução de problemas de assimetria na distribuição dos dados (FÁVERO *et al.*, 2014). Após a remoção e transformação de algumas variáveis, foi possível resolver o problema de carga cruzada no modelo de mensuração (Tabela 18).

Tabela 18 - Cargas cruzadas das variáveis observáveis nos construtos do modelo

Variáveis observáveis	AC	AS	AT	DA	FI	IP	ME	NE	OC	VBP
AC1_te	<b>0,821</b>	0,431	0,447	0,190	0,183	-0,217	0,478	0,254	0,556	0,283
AC2_te	<b>0,862</b>	0,603	0,658	0,368	0,324	-0,156	0,559	0,347	0,686	0,455
AC3_te	<b>0,473</b>	0,236	0,238	0,053	0,156	-0,129	0,219	0,120	0,297	0,156
AS2_ae	0,291	<b>0,658</b>	0,462	0,169	0,540	-0,232	0,246	0,330	0,319	0,37
AS3_te	0,619	<b>0,911</b>	0,630	0,325	0,490	-0,278	0,679	0,361	0,777	0,576
AT1_te	0,411	0,593	<b>0,823</b>	0,313	0,615	-0,292	0,502	0,454	0,552	0,555
AT2_te	0,568	0,446	<b>0,785</b>	0,236	0,351	-0,103	0,499	0,282	0,548	0,407
AT3_po	0,378	0,547	<b>0,775</b>	0,499	0,629	-0,332	0,543	0,611	0,537	0,515
AT4_te	0,715	0,586	<b>0,764</b>	0,374	0,329	-0,142	0,621	0,358	0,700	0,426
DA1_te	0,280	0,323	0,468	<b>0,911</b>	0,431	-0,226	0,407	0,513	0,399	0,343
DA2_te	0,277	0,212	0,270	<b>0,729</b>	0,125	-0,100	0,299	0,320	0,274	0,211
DA3_te	0,060	0,092	0,117	<b>0,379</b>	0,149	-0,129	0,241	0,191	0,144	0,256
FI1_ae	0,226	0,536	0,538	0,271	<b>0,886</b>	-0,256	0,311	0,383	0,398	0,394
FI2_ae	0,126	0,292	0,305	-0,008	<b>0,635</b>	-0,081	0,069	0,118	0,182	0,193
FI5_te	0,324	0,517	0,511	0,489	<b>0,719</b>	-0,505	0,693	0,554	0,593	0,586
IP1_te	-0,235	-0,283	-0,270	-0,203	-0,377	<b>0,867</b>	-0,360	-0,430	-0,334	-0,303
IP2_te	-0,148	-0,240	-0,221	-0,214	-0,340	<b>0,836</b>	-0,325	-0,392	-0,275	-0,278
IP3_te	-0,140	-0,248	-0,183	-0,105	-0,249	<b>0,710</b>	-0,298	-0,275	-0,256	-0,254
ME1_te	0,465	0,551	0,623	0,454	0,561	-0,424	<b>0,889</b>	0,564	0,666	0,668
ME2_te	0,631	0,611	0,663	0,397	0,418	-0,334	<b>0,928</b>	0,454	0,771	0,595
ME3_te	0,559	0,600	0,610	0,385	0,466	-0,367	<b>0,938</b>	0,430	0,761	0,674
NE1_po	0,031	0,214	0,175	0,385	0,392	-0,454	0,399	<b>0,479</b>	0,273	0,325
NE5_te	0,251	0,349	0,416	0,423	0,397	-0,375	0,480	<b>0,819</b>	0,377	0,338
NE6_te	0,374	0,359	0,525	0,404	0,395	-0,316	0,358	<b>0,851</b>	0,403	0,329
OC1_te	0,685	0,774	0,698	0,435	0,560	-0,343	0,750	0,478	<b>0,919</b>	0,607
OC4_te	0,635	0,563	0,641	0,307	0,427	-0,307	0,689	0,378	<b>0,886</b>	0,496
VBP2_ae	0,428	0,640	0,609	0,267	0,539	-0,264	0,600	0,359	0,565	<b>0,915</b>
lvbp1	0,282	0,329	0,371	0,396	0,351	-0,344	0,594	0,367	0,457	<b>0,749</b>

Fonte: Resultado da pesquisa.

Nota: AE – Área total dos estabelecimentos; PO – Pessoal ocupado; TE – Total de estabelecimentos. Construtos: AC – acesso ao crédito; AS – acesso à assistência técnica; AT – adoção de tecnologias sustentáveis; DA – disponibilidade de água; FI – fonte de informação técnica; IP – idade dos produtores rurais; ME – máquinas e equipamentos produtivos; NE – nível de escolaridade dos produtores; OC – organizações coletivas; VBP – valor bruto da produção.

Algumas cargas fatoriais dos indicadores ficaram menor que 0,70 (valor mínimo para a validade discriminante), como por exemplo, os valores de 0,473 (AC3\_te para AC), 0,658 (AS2\_ae para AS), 0,379 (DA3\_te para DA), 0,635 (FI2\_ae para FI) e 0,479 (NE1\_po para NE) (Tabela 18). É recomendável manter a maior quantidade possível de indicadores no modelo de mensuração para não prejudicar a validade de conteúdo dos construtos (BIDO e SILVA, 2019). Após a remoção e transformação de algumas variáveis observáveis, foi possível alcançar as Validades Convergente e Discriminante e a confiabilidade composta (Tabela 19).

Tabela 19 - Matriz de correlações entre as variáveis latentes

Construtos	AC	AS	AT	DA	FI	IP	ME	NE	OC	VBP
<b>AC</b>	<b>0,740</b>									
<b>AS</b>	0,612	<b>0,795</b>								
<b>AT</b>	0,653	0,695	<b>0,787</b>							
<b>DA</b>	0,319	0,329	0,458	<b>0,708</b>						
<b>FI</b>	0,314	0,618	0,620	0,379	<b>0,754</b>					
<b>IP</b>	-0,222	-0,319	-0,283	-0,221	-0,405	<b>0,807</b>				
<b>ME</b>	0,603	0,640	0,689	0,449	0,523	-0,407	<b>0,919</b>			
<b>NE</b>	0,351	0,426	0,550	0,523	0,506	-0,461	0,525	<b>0,736</b>		
<b>OC</b>	0,733	0,749	0,743	0,416	0,552	-0,361	0,799	0,477	<b>0,903</b>	
<b>VBP</b>	0,438	0,613	0,609	0,371	0,549	-0,346	0,702	0,425	0,615	<b>0,836</b>
<b>AVE</b>	0,547	0,631	0,620	0,502	0,568	0,652	0,844	0,542	0,815	0,699
<b>CC</b>	0,774	0,769	0,867	0,732	0,795	0,848	0,942	0,771	0,898	0,821

Fonte: Resultado da pesquisa.

Nota: AVE – Variância média extraída; CC – Confiabilidade composta. Construtos: AC – acesso ao crédito; AS – acesso à assistência técnica; AT – adoção de tecnologias sustentáveis; DA – disponibilidade de água; FI – fonte de informação técnica; IP – idade dos produtores rurais; ME – máquinas e equipamentos produtivos; NE – nível de escolaridade dos produtores; OC – organizações coletivas; VBP – valor bruto da produção.

Em todos os construtos, os valores da AVE foram superiores a 0,50 e para a confiabilidade composta, os valores foram maiores que 0,70. Além disso, os valores da diagonal foram superiores que as correlações dos demais construtos. Indicando assim, que o modelo de mensuração está adequado para a mensuração do modelo estrutural (BIDO e SILVA, 2019) (Tabela 19).

Na Tabela foram apresentadas as informações do modelo de mensuração ajustado, com as variáveis observáveis e as cargas fatoriais correspondentes (com um valor mínimo de 0,379 e máximo de 0,938).

Tabela 20 - Variáveis observáveis do modelo de mensuração ajustado

<b>Construtos</b>	<b>Variáveis observáveis</b>	<b>Cargas fatoriais</b>
AT – adoção de tecnologias sustentáveis	AT1 – fertilizantes	0,823
	AT2 – rotação de culturas	0,785
	AT3 – corretivos	0,775
	AT4 – sistema de plantio direto na palha	0,764
AC – acesso ao crédito	AC1 – bancos (incluem também recursos financeiros provenientes de linhas de crédito rural, como o PRONAF, PROCERA, etc.)	0,821
	AC2 – cooperativas de crédito	0,862
	AC3 – governos (federal, estadual e/ou municipal) (outros tipos de recursos fornecidos fora das linhas de crédito rural)	0,473
AS – acesso à assistência técnica	AS2 – produtor rural (ou contratada)	0,658
	AS3 – cooperativas	0,911
OC – organizações coletivas	OC1 – cooperativas	0,919
	OC4 – reuniões técnicas/seminários	0,886
DA – disponibilidade de água	DA1 – nascentes	0,911
	DA2 – rios/riachos	0,729
	DA3 – poços tubulares profundos jorrantes	0,379
ME – máquinas e equipamentos produtivos	ME1 – tratores	0,889
	ME2 – semeadeira/plantadeira	0,928
	ME3 – adubadeira, colheitadeiras e/ou colheitadeira	0,938
FI – fontes de informação	FI1 – revistas	0,886
	FI2 – jornais	0,635
	FI5 – aparelhos com conexão à internet	0,719
NE – nível de escolaridade dos produtores rurais	NE1 – ensino superior	0,479
	NE5 – antigo ginásial (médio 1º ciclo)	0,819
	NE6 – antigo primário (elementar)	0,851
IP – idade dos produtores rurais	IP1 – menos de 25 anos	0,867
	IP2 – de 25 anos a menos de 35 anos	0,836
	IP3 – de 35 anos a menos de 45 anos	0,710
VBP – valor bruto da produção	VBP2 – valor bruto da produção dividido pela área dos estabelecimentos	0,915
	lvbp1 – logaritmo de VBP1	0,749

Fonte: Resultado da pesquisa.



### 4.3 Avaliação do modelo estrutural

O modelo estrutural foi avaliado por meio dos coeficientes de determinação de Pearson ( $R^2$ ), análise de multicolinearidade, o tamanho do efeito de  $f^2$  e a significância dos coeficientes estruturais (RINGLE *et al.*, 2014; BIDO e SILVA, 2019) (Tabela 21) (Figura 101).

O  $R^2$  avalia a porção da variância das variáveis latentes endógenas (construtos AT, AC, AS e VBP – “*os que recebem seta dos construtos exógenos*”) que é explicada pelo modelo estrutural (RINGLE *et al.*, 2014). Os valores de  $R^2$  podem variar de 0 a 1, os coeficientes com um valor de 0,75 podem ser classificados como substancial, 0,50 de moderado e 0,25 de fraco (HAIR *et al.*, 2017). O  $R^2$  ajustado leva em consideração a complexidade do modelo e o tamanho amostral (HENSELER *et al.*, 2016; GRACIOLA, 2019).

O modelo foi capaz de explicar 70,00% ( $R^2$ ) e 69,50% ( $R^2$  ajustado) da variância na adoção de tecnologias sustentáveis (AT) no setor agropecuário brasileiro, com uns valores próximos da classificação de substancial (0,75 ou 75%). No acesso ao crédito (AC), os valores de  $R^2$  e  $R^2$  ajustado foram de 53,70% e 53,60%, respectivamente. Indicando valores moderados (um pouco superior a 50,00%) (Tabela 20).

No acesso ao serviço de assistência técnica (AT), os valores de  $R^2$  e  $R^2$  ajustado foram de 56,10% e 56,00%, respectivamente. Indicando também valores moderados (um pouco superior a 50,00%). Por fim, para o valor bruto da produção (VBP) do setor agropecuário brasileiro, os valores alcançados foram de 37,10% ( $R^2$ ) e 37,00% ( $R^2$  ajustado), sendo classificados de fracos (corresponde a 25,00%) (Tabela 21).

A análise de colinearidade foi realizada por meio da avaliação do valor do VIF (*variance inflate factor*) das variáveis latentes. No contexto de PLS-SEM, é recomendável que o valor do VIF esteja no intervalo de 0,20 a 5,00 para que não exista o problema de colinearidade (HAIR *et al.*, 2017; GRACIOLA, 2019). Foi verificada a ausência de multicolinearidade no modelo em questão, já que todos os valores de VIF foram maiores que 0,20 e menores que 5,00 (Tabela 21).

Tabela 21 - Resultados do Modelo estrutural

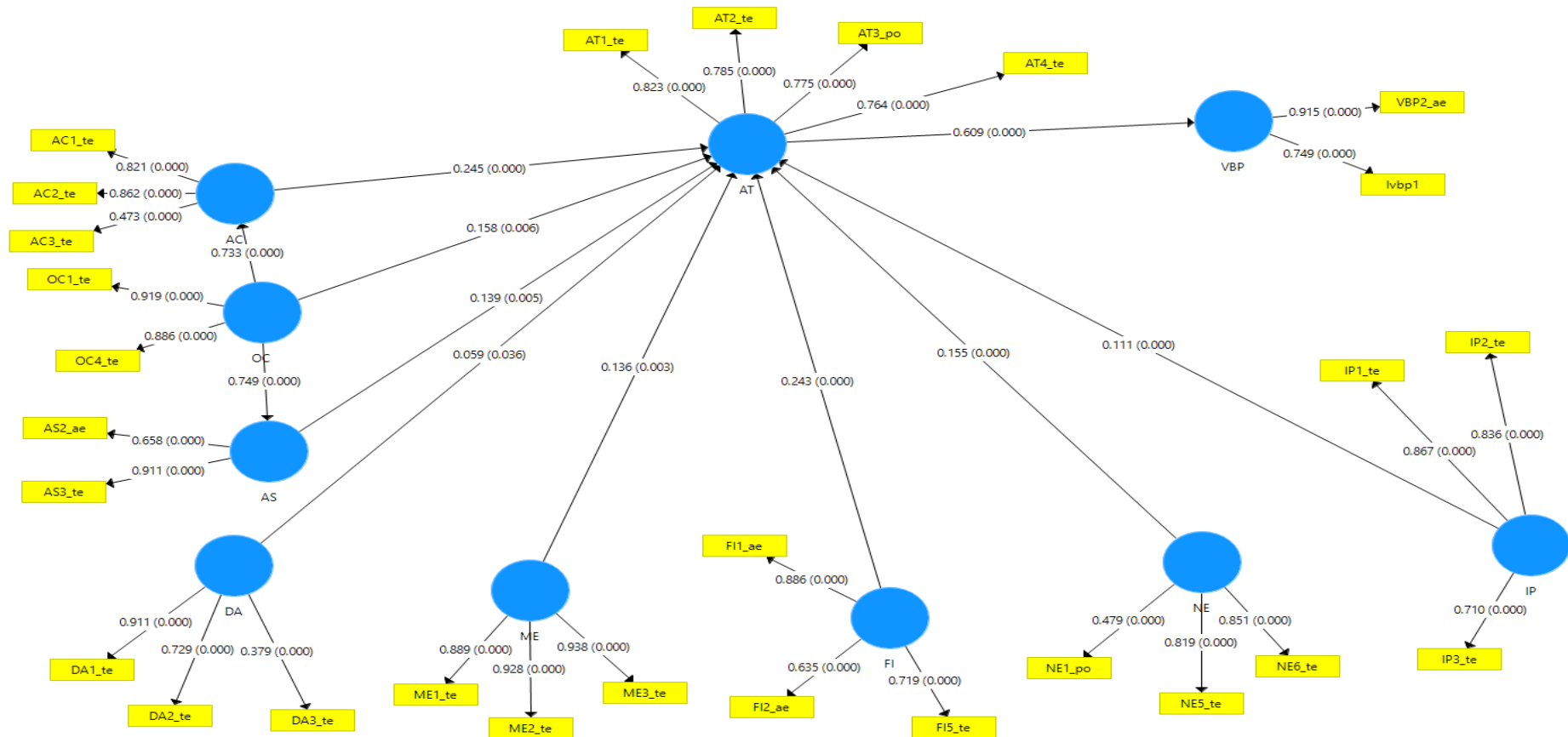
Relações entre construtos	Hipóteses	VIF	f <sup>2</sup>	Coefficiente estrutural	Erro padrão	Significância (valor-p)	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajustado
AC -> AT	H1	2,350	0,085	0,245	0,039	0,000*		
AS -> AT	H2	2,789	0,023	0,139	0,049	0,005*		
OC -> AT	H3	4,670	0,018	0,158	0,057	0,005*		
DA -> AT	H6	1,494	0,008	0,059	0,028	0,036**	0,700	0,695
ME -> AT	H7	3,109	0,020	0,136	0,047	0,003*		
FI -> AT	H8	2,028	0,097	0,243	0,037	0,000*		
NE -> AT	H9	1,888	0,043	0,155	0,037	0,000*		
IP -> AT	H10	1,386	0,030	0,111	0,026	0,000*		
OC -> AC	H4	1,000	1,160	0,733	0,026	0,000*	0,537	0,536
OC -> AS	H5	1,000	1,277	0,749	0,026	0,000*	0,561	0,560
AT -> VBP	H11	1,000	0,589	0,609	0,027	0,000*	0,371	0,370

Fonte: Resultado da pesquisa.

Nota:\* 1% de significância; \*\* 5% de significância. Construtos: AC – acesso ao crédito; AS – acesso à assistência técnica; AT – adoção de tecnologias sustentáveis; DA – disponibilidade de água; FI – fonte de informação técnica; IP – idade dos produtores rurais; ME – máquinas e equipamentos produtivos; NE – nível de escolaridade dos produtores; OC – organizações coletivas; VBP – valor bruto da produção.

Valores-p dos coeficientes estruturais alcançados por meio da técnica de reamostragem de *bootstrapping* com 5.000 repetições.

Figura 101 - Modelo estrutural estimado.



Fonte: Elaborado a partir do SMARTPLS® 3.2.9. Nota: valor entre parênteses representa o p-valor

O tamanho do efeito ( $f^2$ ) ou indicador de Cohen avalia o quanto cada construto é considerado “útil” para o modelo. Valores de 0,02, 0,15 e 0,35 indicam efeitos pequenos, médios e grandes, respectivamente (COHEN, 1988; RINGLE *et al.*, 2014; HAIR *et al.*, 2017). O tamanho de efeito pode ser definido como a significância prática de um resultado alcançado (KELLEY e PREACHER, 2012). A maior parte das relações entre os construtos tiveram um tamanho pequeno, com exceção de (OC -> AC, com um  $f^2$  de 1,160), (OC -> AS, com um  $f^2$  de 1,277) e (AT -> VBP, com um  $f^2$  de 0,589) que tiveram um efeito grande (Tabela 21).

A avaliação da significância dos coeficientes estruturais foi realizada por meio da técnica de reamostragem de *bootstrapping* com 5.000 repetições. Ou seja, objetiva-se testar a significância das relações entre os construtos (hipóteses elaboradas) (BIDO e SILVA, 2019). A primeira hipótese (**H1**) de que o acesso ao crédito exerce influência positiva na adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário brasileiro foi confirmada (significância do coeficiente estrutural), com efeito pequeno ( $f^2$  igual a 0,085) (Tabela 21).

A significância estatística do coeficiente estrutural representa a validação teórica da hipótese analisada (relação causal entre os construtos do modelo teórico) (HAIR *et al.*, 2017). Por sua vez, o tamanho do efeito ( $f^2$ ) indica a importância prática do resultado alcançado (COHEN, 1988). Ou seja, para a presente tese, relaciona-se com a indicação de políticas públicas que possam contribuir para o processo de difusão de tecnologias sustentáveis nas microrregiões brasileiras.

No contexto brasileiro, a elaboração de políticas públicas de acesso ao crédito pode contribuir para a difusão de tecnologias sustentáveis (rotação de culturas, SPD, fertilizantes e corretivos) entre as propriedades rurais brasileiras (tamanho do efeito de Cohen –  $f^2$ ) (Tabela 21).

O acesso ao crédito (AC) também contribuiu para a adoção de novas cultivares de milho e tabaco entre os produtores de Malawi (ZELLER *et al.*, 1998), máquinas e equipamentos de beneficiamento de café no Brasil (PEREIRA *et al.*, 2010), fertilizantes na Etiópia (TADESSE, 2014; TESFAY e MORAL, 2021), sistemas de gerenciamento em propriedades rurais especializadas na produção de carne bovina e leite na Irlanda (LÄPPLE *et al.*, 2015) e sementes melhoradas geneticamente de arroz, milho e trigo na Índia (KUMAR *et al.*, 2021).

A disponibilidade de crédito é fundamental para que os produtores rurais tenham condições de implementar novos insumos e práticas produtivas na propriedade e para a

realização de testes de uso de tecnologia (experimentabilidade) (GHADIM e PANNELL, 1999; PANNELL *et al.*, 2006; SOUZA FILHO *et al.*, 2011; WEERSINK e FULTON, 2020).

A ausência de crédito se torna um entrave para a adoção de tecnologia no setor agropecuário brasileiro (ALVES *et al.*, 2012). Então, a elaboração de políticas públicas que tratem da expansão do acesso ao crédito (em diferentes modalidades, programas governamentais via bancos, cooperativas de crédito e diretamente pelos governos federal, estadual e/ou municipal) é uma estratégia adequada para a promoção da adoção de tecnologias sustentáveis ao longo do território brasileiro.

No entanto, o setor agropecuário brasileiro é caracterizado por um cenário de desigualdades nos acessos aos diferentes tipos de serviços e condições de vida da população rural (FORNAZIER e VIEIRA FILHO, 2012). Por meio dos escores fatoriais definidos no modelo de mensuração, foi possível indicar a posição relativa de cada observação (microrregião) ao conceito expresso pelo fator (MONTEIRO e PINHEIRO, 2004).

Os escores fatoriais podem ser definidos como uma medida composta criada para cada observação de cada fator extraído na análise fatorial. Os pesos fatoriais são usados em conjunção com os valores da variável original para calcular o escore de cada observação. Os escores fatoriais devem ser padronizados para que tenham valores no intervalo entre zero e um (LEMOS, 2001; HAIR *et al.*, 2009). A padronização foi feita conforme apresentado na Equação 1:

$$F_{ji} = \frac{F_{ji} - F_{ji}^{min}}{F_j^{max} - F_j^{min}} \quad (1)$$

Em que:

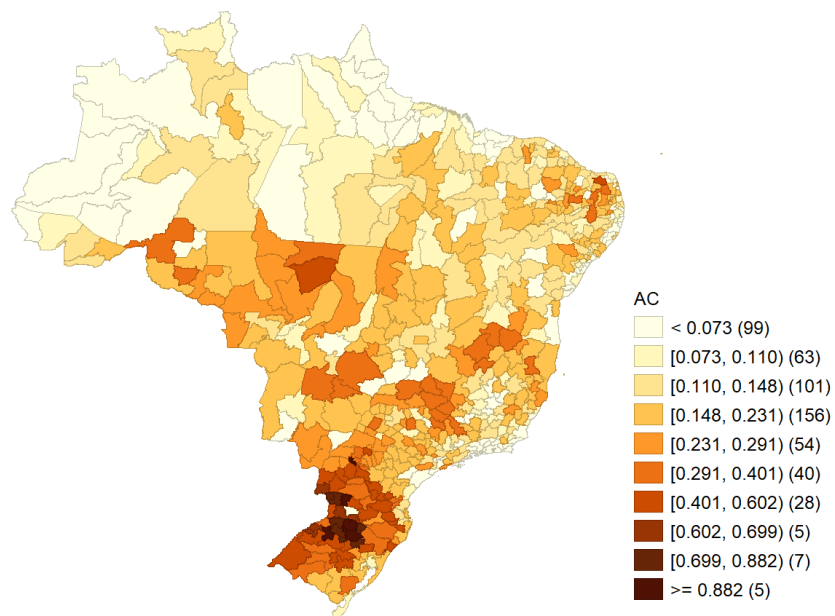
$F_{ji}$  = relacionam-se com os escores fatoriais;

$F_j^{max}$  = valor máximo da j-ésimo escore fatorial associado a i-ésima microrregião;

$F_j^{min}$  = valor mínimo do j-ésimo escore fatorial associado a i-ésima microrregião.

Os maiores valores dos escores fatoriais padronizados da variável latente AC estiveram concentradas principalmente na região Sul no ano de 2017 (Figura 102).

Figura 102 - Distribuição de valores dos escores fatoriais da variável latente AC entre as microrregiões brasileiras em 2017.

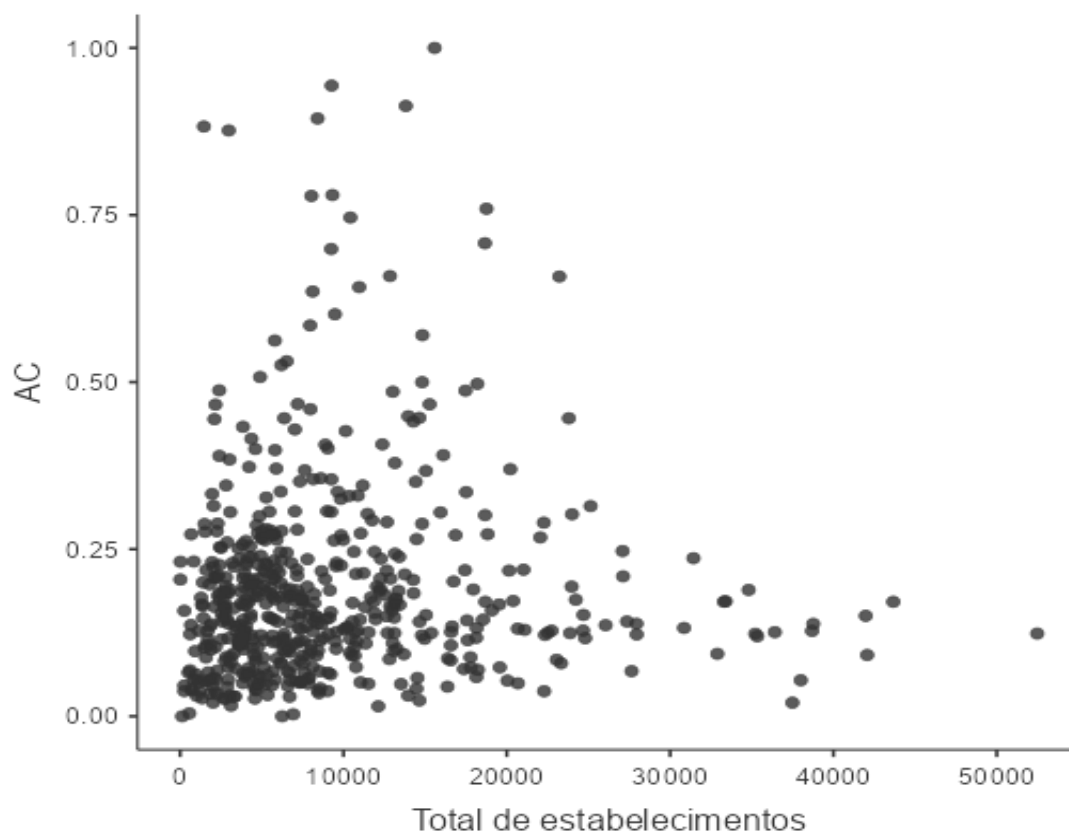


Fonte: Resultado da pesquisa.

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Construto: AC – Acesso ao crédito.

A maior parte das microrregiões brasileiras tiveram um escore fatorial de até 0,25 para o construto AC (acesso ao crédito) no ano de 2017 (Figura 103).

Figura 103 - Gráfico de dispersão de pontos entre os escores fatoriais do construto AC e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.



Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo AC do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Construto: AC – acesso ao crédito.

As dez microrregiões com os maiores valores de escores fatoriais padronizados do construto AC (acesso ao crédito) estiveram localizadas principalmente na região Sul, com destaque para os estados de Rio Grande do Sul e Paraná no ano de 2017. Por sua vez, as dez microrregiões com os menores valores estiveram localizadas nas regiões Norte (Amazonas e Pará), Nordeste (Alagoas, Bahia, Piauí e Pernambuco) e Sudeste (Rio de Janeiro e São Paulo) (Tabela 22).

Tabela 22 - *Ranking* das 10 melhores e piores microrregiões brasileiras de acordo com os valores dos escores fatoriais padronizados do construto AC

Posição	Microrregião	Valor do escore fatorial padronizado
1°	Erechim (RS)	1,0000
2°	Ijuí (RS)	0,9436
3°	Passo Fundo (RS)	0,9132
4°	Pato Branco (PR)	0,8945
5°	Florai (PR)	0,8824
6°	Não-Me-Toque (RS)	0,8765
7°	Capanema (PR)	0,7799
8°	Sananduva (RS)	0,7785
9°	Francisco Beltrão (PR)	0,7594
10°	Guaporé (RS)	0,7463
449°	Macacu-Caceribu (RJ)	0,0265
550°	Mata Meridional Pernambucana (PE)	0,0237
551°	Lagos (RJ)	0,0205
552°	Ilhéus-Itabuna (BA)	0,0204
553°	Alto Parnaíba Piauiense (PI)	0,0158
554°	Médio Parnaíba Piauiense (PI)	0,0149
555°	Maceió (AL)	0,0044
556°	Portel (PA)	0,0030
557°	Rio Negro (AM)	0,0000
558°	Osasco (SP)	0,0000

Fonte: Resultado da pesquisa.

Nota: AC – acesso ao crédito. Unidades federativas: AL – Alagoas; AM – Amazonas; BA – Bahia; PA – Pará; PE – Pernambuco; PI – Piauí; PR – Paraná; RJ – Rio de Janeiro; RS – Rio Grande do Sul; SP – São Paulo.

A segunda hipótese (**H2**) de que o acesso à assistência técnica exerce influência positiva na adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário brasileiro foi confirmada (significância do coeficiente estrutural), com um efeito pequeno ( $f^2$  igual a 0,023) (Tabela 21).

Para o contexto brasileiro, a elaboração de políticas públicas de expansão ao acesso ao serviço de assistência técnica pode contribuir para a difusão de tecnologias sustentáveis (rotação de culturas, SPD, uso de fertilizantes e corretivos) ao longo do território brasileiro. O serviço de assistência técnica é importante para o processo de aprendizagem dos produtores rurais sobre o uso de determinada tecnologia (MARRA *et al.*, 2003).

O acesso ao serviço de assistência (AS) teve uma influência positiva na adoção de práticas que promoviam a conservação do solo e da água em Níger (BAIDU-FORSON, 1999), sistemas de irrigação nos Estados Unidos (LEIB *et al.*, 2002), novas



cultivares de batata pelos produtores rurais na Etiópia (ABEBE *et al.*, 2013), sistemas de gerenciamento da propriedade rural na Irlanda (LÄPPLE *et al.*, 2015), na diversidade de práticas produtivas (como por exemplo, sistema de preparo do solo de cultivo mínimo, cultura de cobertura, etc.) entre os produtores rurais de Gana (ZAKARIA *et al.*, 2020), técnicas de monitoramento da área de cultivo e uso de fertilizantes no cultivo de dendê na Colômbia (BERNAL-HERNÁNDEZ *et al.*, 2021), no uso de práticas integradas de fertilidade do solo pelos produtores rurais no Quênia (EMONGOR *et al.*, 2023), uso de equipamentos de agricultura de precisão (drones e sensores) na Tailândia (WETCHASIT e LILAVANICHAKUL, 2023), práticas sustentáveis (consórcio e rotação de culturas, cobertura verde, SPD, etc.) pelos produtores rurais de Camarões (NGAIWI *et al.*, 2023) e novas cultivares de palmeira oleagenosa na Tailândia (NASERELDIN *et al.*, 2023).

Em relação à assistência técnica (AS), o construto foi composto somente por duas variáveis observáveis, AS2 (pelo produtor ou contratada pelo indivíduo) e AS3 (cooperativas) (Figura 101). O primeiro indicador (AS2) corresponde a situação de quando o produtor possui a formação técnica adequada para o gerenciamento da atividade ou quando realiza a contratação de assistência técnica com recursos próprios. A segunda variável relaciona-se com a assistência técnica fornecida pelas cooperativas (IBGE, 2019).

A falta de assistência técnica pode ser considerada um entrave para a adoção de tecnologia no setor agropecuário brasileiro (ALVES *et al.*, 2012). A maior parte das propriedades rurais são usuárias de tecnologias e conhecimentos desenvolvidos no ambiente externo (instituições de pesquisa e Universidades, por exemplo), atribuindo a importância do serviço de assistência técnica para a difusão tecnológica no campo (BESSANT, 2005).

Um fato importante foi a não permanência da variável observável AS1 (assistência técnica governamental) no modelo estrutural final (Figura 101). O serviço de Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER) pública ofertada atualmente no Brasil não possui a mesma força de quando foi criada e disseminada ao longo do território brasileiro, que contava com uma estrutura robusta e abrangente a partir da década de 1960 (movimento de Revolução Verde). Essa situação foi significativamente afetada pela extinção da EMBRATER (Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural) na década de 1990, que representou a redução expressiva de recursos e o sucateamento dos serviços de ATER pública nos estados e municípios. A maior parte

dos beneficiários desse tipo de serviço público são os agricultores familiares<sup>3</sup> das regiões Nordeste e Norte (PEREIRA e CASTRO, 2021).

Enquanto ocorreu uma redução do acesso da assistência técnica governamental aos produtores rurais brasileiros a partir da década de 1990, outros tipos de orientações técnicas passaram a se expandir no setor agropecuário brasileiro, como as de cooperativas, empresas integradoras e as do produtor (se relaciona com a situação em que o indivíduo possui o conhecimento técnico que auxilia na condução das atividades da propriedade ou quando realiza a contratação da assistência técnica com recursos próprios) (PEREIRA e CASTRO, 2021).

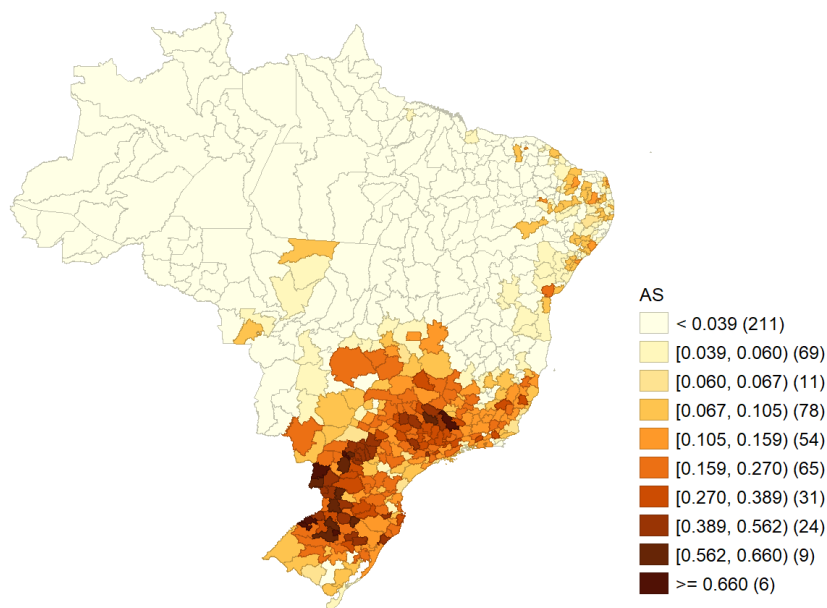
A elaboração de políticas públicas de capacitação técnica e de crédito rural (na modalidade de custeio para a contratação de assistência técnica) pode contribuir para a difusão de tecnologias sustentáveis ao longo do território nacional. Bem como, medidas governamentais de incentivo à formação de cooperativas como estratégia para ampliar o acesso dos produtores rurais ao serviço de assistência técnica.

As microrregiões com os maiores valores de escores fatoriais padronizados do construto AS estiveram localizadas principalmente nas regiões Sudeste e Sul no ano de 2017 (Figura 104).

---

<sup>3</sup> A definição de agricultor familiar foi regulamentada pela Lei número 11.326 de 24 de julho de 2006 e deve obedecer de forma simultânea aos seguintes critérios: (a) não detenha uma área maior que quatro módulos fiscais; (b) utilize predominantemente mão de obra da própria família nas atividades econômicas da propriedade; (c) tenha um percentual mínimo da renda familiar advinda de atividades econômicas do seu estabelecimento; e, (d) gerencie o estabelecimento com a família. Além desses quesitos, enquadram-se também as categorias de produtores rurais como os silvicultores, aquicultores, extrativistas, pescadores artesanais, povos indígenas e indivíduos de comunidades quilombolas e tradicionais (BRASIL, 2006).

Figura 104 - Distribuição de valores dos escores fatoriais da variável latente AS entre as microrregiões brasileiras em 2017.

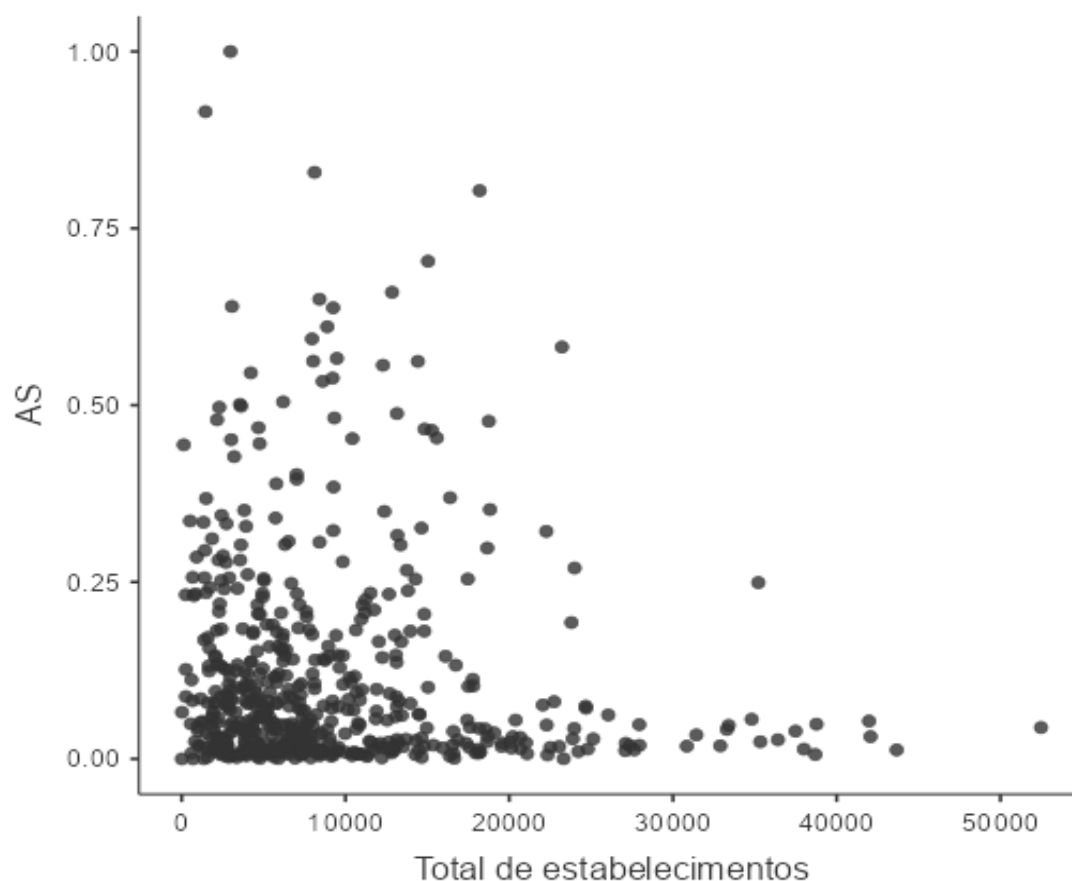


Fonte: Resultado da pesquisa.

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Construto: AS – acesso à assistência técnica.

A maior parte das microrregiões brasileiras tiveram um escore fatorial de até 0,25 para o construto AS (acesso à assistência técnica) para o ano de 2017 (Figura 105).

Figura 105 - Gráfico de dispersão de pontos entre os escores fatoriais do construto AS e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.



Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo AS do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Construto: AS – acesso à assistência técnica.

As dez microrregiões com os maiores valores de escores fatoriais padronizados do construto AS (acesso à assistência técnica) estiveram localizadas principalmente nas regiões Sudeste (Minas Gerais) e Sul (Paraná e Rio Grande do Sul) no ano de 2017. As que tiveram os menores valores estiveram localizadas nas regiões Norte (Amapá, Amazonas e Pará) e Nordeste (Ceará, Piauí e Pernambuco) (Tabela 23).

Tabela 23 - *Ranking* das 10 melhores e piores microrregiões brasileiras de acordo com os valores dos escores fatoriais padronizados do construto AS

Posição	Microrregião	Valor do escore fatorial padronizado
1°	Não-Me-Toque (RS)	1,0000
2°	Floraí (PR)	0,9149
3°	Cerro Largo (RS)	0,8292
4°	Toledo (PR)	0,8033
5°	Varginha (MG)	0,7035
6°	Santa Rosa (RS)	0,6596
7°	Pato Branco (PR)	0,6498
8°	Maringá (PR)	0,6396
9°	Carazinho (RS)	0,6376
10°	Cruz Alta (RS)	0,6108
449°	Itaituba (PA)	0,0015
550°	Valença do Piauí (PI)	0,0015
551°	Portel (PA)	0,0011
552°	Iguatu (CE)	0,0009
553°	Boca do Acre (AM)	0,0006
554°	Coari (AM)	0,0005
555°	Altamira (PA)	0,0003
556°	Oiapoque (AP)	0,0002
557°	Amapá (AP)	0,0000
558°	Fernando de Noronha (PE)	0,0000

Fonte: Resultado da pesquisa.

Nota: AS – acesso à assistência técnica. Unidades federativas: AP – Amapá; AM – Amazonas; CE – Ceará; MG – Minas Gerais; PA – Pará; PE – Pernambuco; PI – Piauí; PR – Paraná; RS – Rio Grande do Sul.

A terceira hipótese (**H3**) de que a participação de produtores rurais em organizações coletivas exerce influência positiva na adoção de tecnologias sustentáveis foi confirmada para o setor agropecuário brasileiro (significância do coeficiente estrutural) (Tabela 21). A participação dos produtores rurais em organizações coletivas possibilita a obtenção de informações técnicas e experiências sobre novas tecnologias do campo (LLEWELLYN, 2007; SOUZA FILHO *et al.*, 2011; WOSSEN *et al.*, 2015; NANKYA *et al.*, 2017). Bem como essencial para a promoção da difusão de tecnologias sustentáveis nos países (KNOWLER e BRADSHAW, 2007).

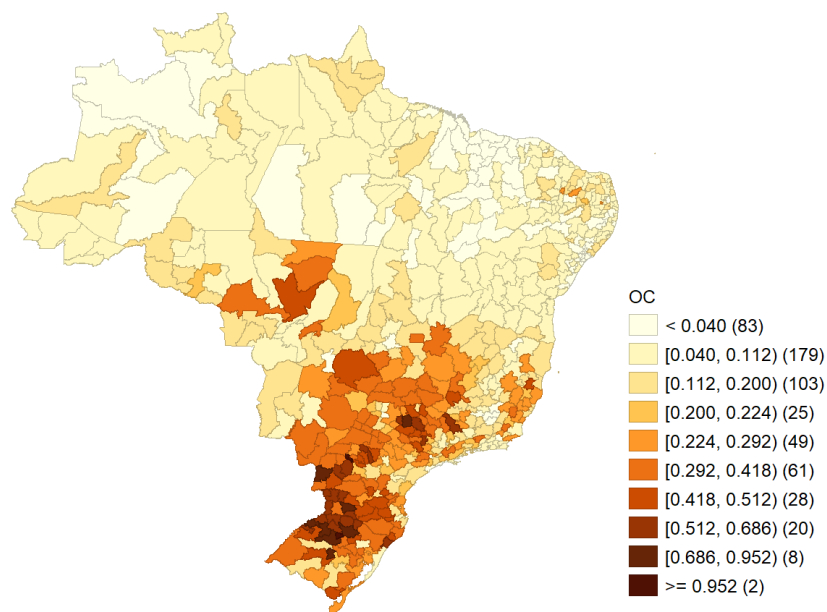
A participação dos produtores rurais em organizações coletivas (OC) contribuiu para a adoção de máquinas e equipamentos de beneficiamento do café no Brasil (PEREIRA *et al.*, 2010), práticas de manejo de cacau em Gana (ISAAC, 2012), técnicas produtivas de queijo no México (ENRIQUE-SANCHEZ *et al.*, 2017), novas cultivares de feijão e banana em Uganda (NANKYA *et al.*, 2017), técnicas produtivas de

monitoramento da área de cultivo e no uso de fertilizantes entre os produtores rurais de dendê na Colômbia (BERNAL-HERNÁNDEZ *et al.*, 2021), práticas produtivas na bovinocultura leiteira no Brasil (SIQUEIRA *et al.*, 2021), uso de smartphones para fins profissionais na Itália (FILIPPINI *et al.*, 2021), práticas produtivas de cultivo de milho em países do Hemisfério Sul (JONES-GARCIA e KRISHNA, 2021), sementes melhoradas geneticamente de arroz, milho e trigo na Índia (KUMAR *et al.*, 2021), sementes melhoradas geneticamente e uso de fertilizantes no Quênia (MULWA *et al.*, 2021), sementes melhoradas geneticamente no Sudão (NASERELDIN *et al.*, 2023), práticas de manejo integrado de pragas no Quênia (OTIENO *et al.*, 2023) e na utilização de máquinas e equipamentos de agricultura de precisão (drones e sensores) na Tailândia (WETCHASIT e LILAVANICHAKUL, 2023).

O construto organizações coletivas (OC) foi composto pelas variáveis observáveis OC1 (cooperativas) e OC4 (reuniões técnicas/seminários) (Figura 101). A adoção de tecnologia no setor agropecuário é um processo social, pois o produtor rural tende a buscar informações sobre a tecnologia nas redes de contatos, representado principalmente pelas organizações coletivas em que está inserido (PANNELL *et al.*, 2006).

As microrregiões com os maiores valores de escores fatoriais padronizados para a variável latente OC estiveram localizadas principalmente nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul para o ano de 2017 (Figura 106).

Figura 106 - Distribuição de valores dos escores fatoriais da variável latente OC entre as microrregiões brasileiras em 2017.

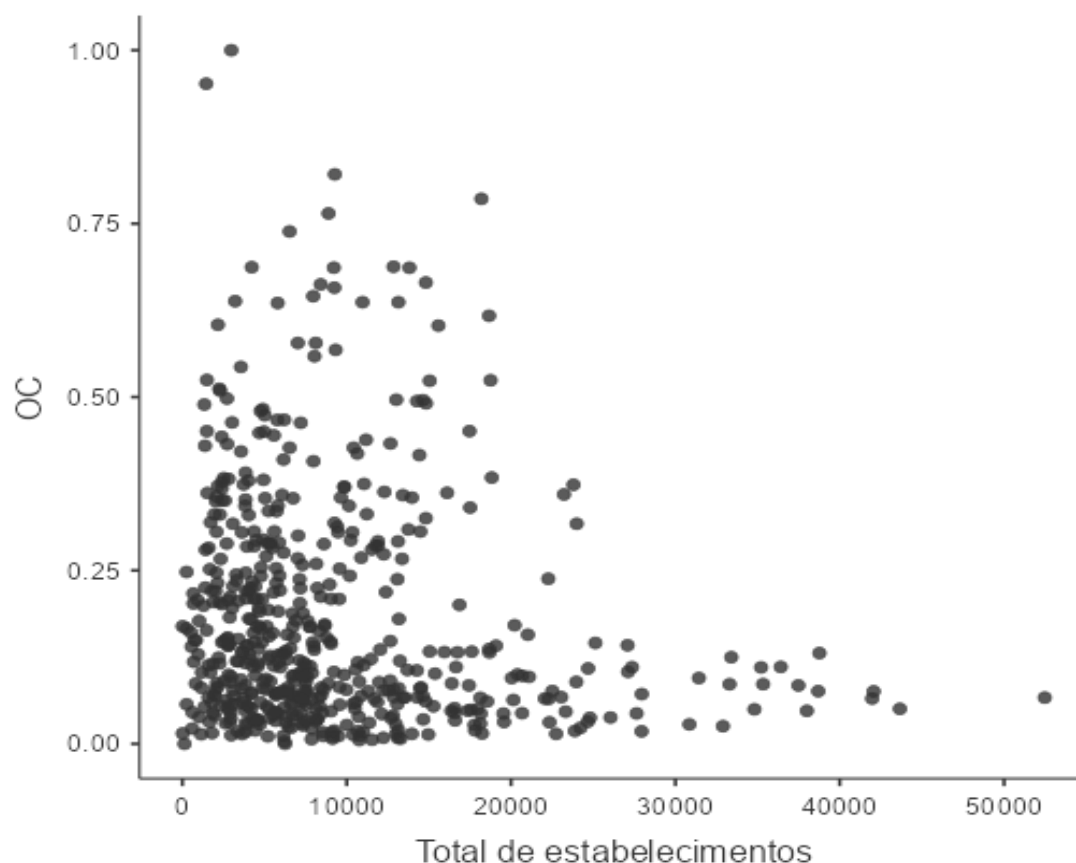


Fonte: Resultado da pesquisa.

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Construto: OC – organizações coletivas.

A maior parte das microrregiões brasileiras tiveram um um escore fatorial de até 0,25 para o construto OC (organizações coletivas) em 2017 (Figura 107).

Figura 107 - Gráfico de dispersão de pontos entre os escores fatoriais do construto OC e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.



Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo OC do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Construto: OC – organizações coletivas.

As dez microrregiões com os maiores valores de escores fatoriais padronizados da variável latente OC estiveram localizadas principalmente nas regiões Sudeste (São Paulo) e Sul (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul) no ano de 2017. As que tiveram os menores valores estiveram localizadas nas regiões Norte (Amazonas), Nordeste (Alagoas, Ceará, Piauí, Pernambuco e Sergipe) e Sudeste (São Paulo) (Tabela 24).



Tabela 24 - *Ranking* das 10 melhores e piores microrregiões brasileiras de acordo com os valores dos escores fatoriais padronizados do construto OC

Posição	Microrregião	Valor do escore fatorial padronizado
1°	Não-Me-Toque (RS)	1,0000
2°	Floraí (PR)	0,9517
3°	Ijuí (RS)	0,8211
4°	Toledo (PR)	0,7858
5°	Cruz Alta (RS)	0,7647
6°	Restinga Seca (RS)	0,7387
7°	Santa Rosa (RS)	0,6879
8°	Jaboticabal (SP)	0,6872
9°	Xanxerê (SC)	0,6865
10°	Passo Fundo (RS)	0,6864
449°	Valença do Piauí (PI)	0,0088
550°	Santana do Ipanema (AL)	0,0084
551°	Fortaleza (CE)	0,0076
552°	Tobias Barreto (SE)	0,0074
553°	Baixo Parnaíba Maranhense (MA)	0,0068
554°	Itaparica (PE)	0,0059
555°	Mata Setentrional Pernambucana (PE)	0,0054
556°	Caririaçu (CE)	0,0035
557°	Rio Negro (AM)	0,0000
558°	Osasco (SP)	0,0000

Fonte: Resultado da pesquisa.

Nota: OC – organizações coletivas. Unidades federativas: AL - Alagoas; AM – Amazonas; CE – Ceará; MA – Maranhão; PE – Pernambuco; PI – Piauí; PR – Paraná; RS – Rio Grande do Sul; SC – Santa Catarina; SE - Sergipe; SP – São Paulo.

As hipóteses **H4** (a participação dos produtores em organizações coletivas exerce influência positiva no acesso ao crédito) ( $f^2$  de 1,160, classificado como um efeito grande) e **H5** (a participação dos produtores rurais organizações coletivas exerce influência positiva no acesso à assistência técnica) ( $f^2$  de 1,277, classificado como um efeito grande) foram confirmadas para o setor agropecuário brasileiro (significância dos coeficientes estruturais) (Tabela 21).

Recomenda-se o desenvolvimento de ações governamentais de incentivo à formação de cooperativas e a realização de reuniões técnicas e seminários direcionados aos produtores rurais como mecanismo para incentivar a expansão do acesso aos serviços de assistência técnica e crédito (tamanho do efeito de Cohen –  $f^2$ ) (Tabela 21).

A participação dos produtores rurais em organizações coletivas contribuiu para o acesso ao crédito na Etiópia (WOSSEN *et al.*, 2015) e ao serviço de assistência técnica em Gana (ZAKARIA *et al.*, 2020).

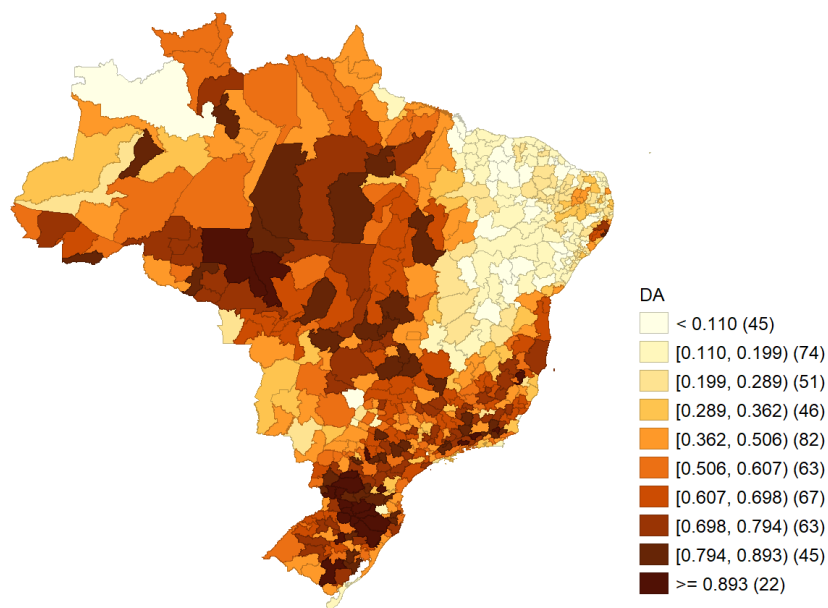
No contexto brasileiro, localidades que possuem um baixo acesso dos produtores rurais aos serviços de crédito e assistência técnica, destaca-se a importância de elaboração de políticas públicas de fomento à formação de cooperativas e na realização de reuniões técnicas e seminários direcionadas à população rural com o objetivo de difusão de informações técnicas entre os indivíduos. Essa medida é importante para que incentive o acesso ao crédito e à assistência técnica entre os produtores rurais e, conseqüentemente, haja um estímulo na adoção de tecnologias sustentáveis (rotação de culturas, SPD, uso de fertilizantes e corretivos) nestas localidades.

A sexta hipótese (**H6**) de que a disponibilidade de água na propriedade rural exerce influência positiva na adoção de tecnologias sustentáveis (rotação de culturas, SPD, uso de fertilizantes e corretivos) foi confirmada para o setor agropecuário brasileiro (significância do coeficiente estrutural) (Tabela 21). A disponibilidade de água é um recurso essencial para a expansão da produção de alimentos no Brasil (BOLFE *et al.*, 2016). A disponibilidade de água (DA) foi importante a adoção de fertilizantes na Índia (CHANDRAN e SURENDRAN, 2015), China (YANG *et al.*, 2020; YANG *et al.*, 2021) e Nepal (KHAREL *et al.*, 2023).

A elaboração de políticas públicas que promovam a conservação e preservação de nascentes e rios nas áreas rurais e a concessão de linhas de crédito para a construção de poços artesianos em propriedades rurais tende a contribuir para a adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário brasileiro.

As microrregiões que tiveram os maiores valores dos escores fatoriais da variável latente DA estiveram localizadas principalmente nas regiões Centro-Oeste, Norte, Sudeste e Sul em 2017 (Figura 108).

Figura 108 - Distribuição de valores dos escores fatoriais da variável latente DA entre as microrregiões brasileiras em 2017.

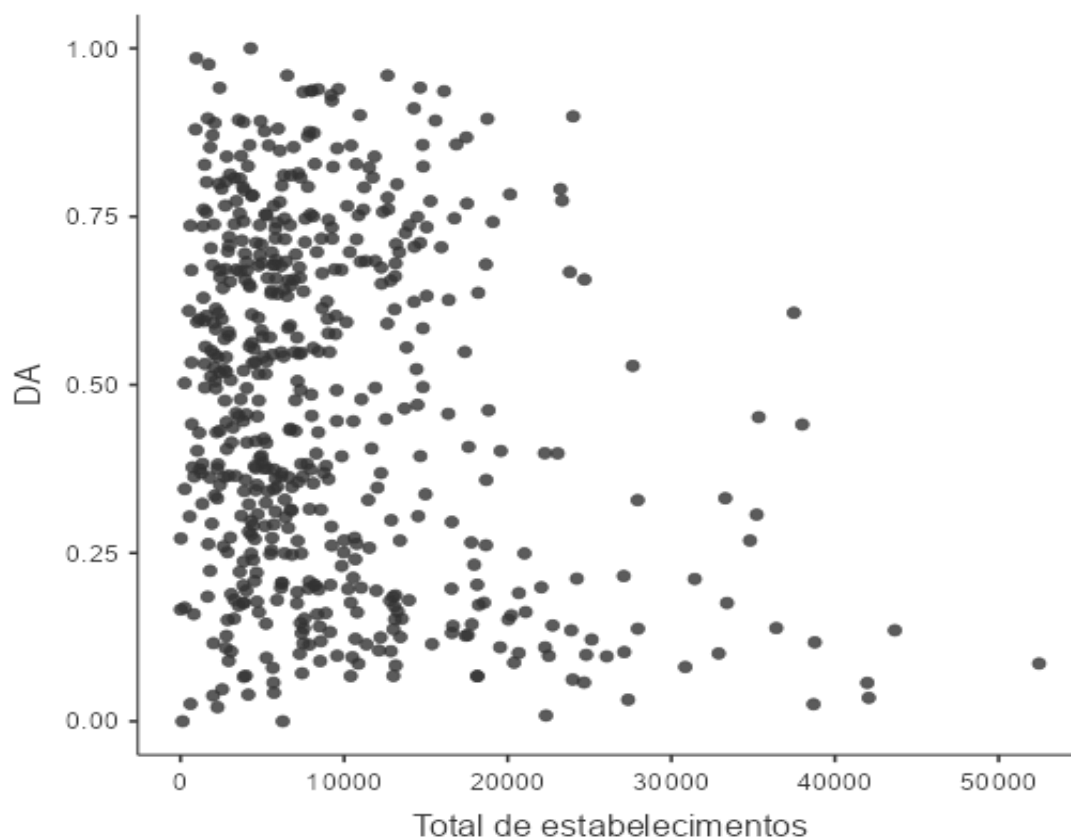


Fonte: Resultado da pesquisa.

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Construto: DA – disponibilidade de água.

A maior parte das microrregiões brasileiras tiveram um escore de até 0,75 para o construto DA (disponibilidade de água) para o ano de 2017 (Figura 109).

Figura 109 - Gráfico de dispersão de pontos entre os escores fatoriais do construto DA e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.



Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo DA do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Construto: DA – disponibilidade de água.

As dez microrregiões com os maiores valores de escores fatoriais padronizados para a variável latente DA (disponibilidade de água) estiveram localizadas principalmente nas regiões Centro-Oeste (Mato Grosso), Sudeste (Rio de Janeiro e São Paulo) e Sul (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul) em 2017. Por sua vez, as que tiveram os menores valores estiveram localizadas nas regiões Norte (Amazonas), Nordeste (Bahia, Ceará, Paraíba, Piauí e Rio Grande do Norte) e Sudeste (São Paulo) (Tabela 25).

Tabela 25 - *Ranking* das 10 melhores e piores microrregiões brasileiras de acordo com os valores dos escores fatoriais padronizados do construto DA

Posição	Microrregião	Valor do escore fatorial padronizado
1°	Arinos (MT)	1,0000
2°	Bananal (SP)	0,9853
3°	Barra do Piraí (RJ)	0,9762
4°	Curitibanos (SC)	0,9597
5°	Serras de Sudeste (RS)	0,9597
6°	Joaçaba (SC)	0,9416
7°	Lapa (PR)	0,9413
8°	Vacaria (RS)	0,9395
9°	Pato Branco (PR)	0,9392
10°	Sananduva (RS)	0,9369
449°	Esperança (PB)	0,0396
550°	Pacajus (CE)	0,0380
551°	Guanambi (BA)	0,0349
552°	Sertão de Cratêus (CE)	0,0321
553°	Macau (RN)	0,0259
554°	Irecê (BA)	0,0253
555°	Baixa Verde (RN)	0,0209
556°	São Raimundo Nonato (PI)	0,0085
557°	Rio Negro (AM)	0,0000
558°	Osasco (SP)	0,0000

Fonte: Resultado da pesquisa.

Nota: DA – disponibilidade de água. Unidades federativas: AM – Amazonas; BA – Bahia; CE – Ceará; MT – Mato Grosso; PB – Paraíba; PI – Piauí; PR – Paraná; RJ – Rio de Janeiro; RN – Rio Grande do Norte; RS – Rio Grande do Sul; SC – Santa Catarina; SP – São Paulo.

A sétima hipótese (**H7**) de que a existência de máquinas e equipamentos (tratores, semeadeiras/plantadeiras, adubadeiras, colheitadeiras e distribuidores de calcário) nas propriedades rurais exerce influência positiva na adoção de tecnologias sustentáveis foi confirmada para o setor agropecuário brasileiro (significância do coeficiente estrutural), com efeito pequeno ( $f^2$  de 0,020) (Tabela 21).

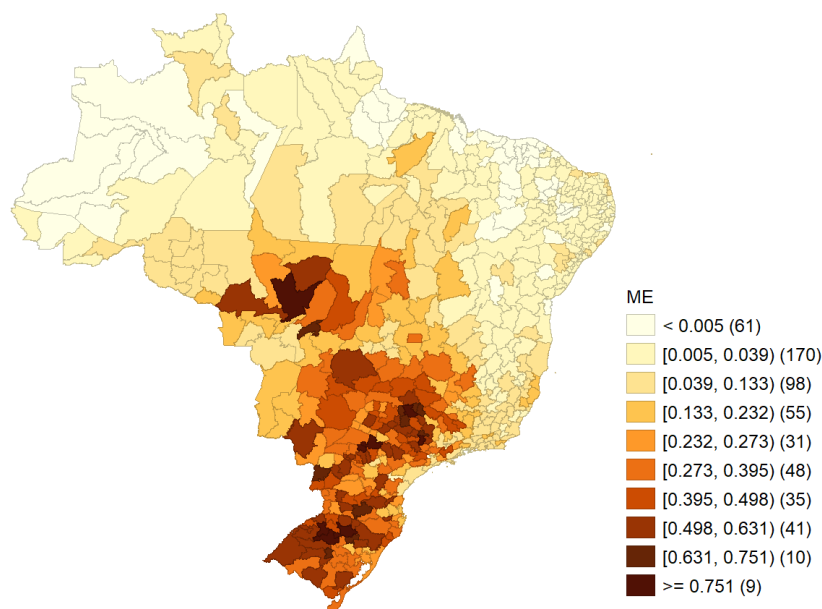
A expansão de políticas públicas de concessão de crédito rural na modalidade de investimento, para fomentar a aquisição de máquinas e equipamentos em geral (adubadeira, colheitadeira, distribuidor de calcário, plantadeira/semeadeira, tratores, etc.) se torna um importante mecanismo para incentivar a adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário brasileiro (tamanho do efeito de Cohen –  $f^2$ ) (Tabela 21).

A existência de máquinas e equipamentos na propriedade rural possibilita a incorporação de práticas produtivas como o SPD (PASSOS *et al.*, 2018; TELLES *et al.*,

2021) e o uso de insumos como os fertilizantes (ZONTA *et al.*, 2012) e corretivos (CHAVES, 2002; VILELA *et al.*, 2007).

As microrregiões que tiveram os maiores valores de escores fatoriais padronizados do construto ME (máquinas e equipamentos produtivos) estiveram localizadas principalmente nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul no ano de 2017 (Figura 110).

Figura 110 - Distribuição de valores dos escores fatoriais da variável latente ME entre as microrregiões brasileiras em 2017.

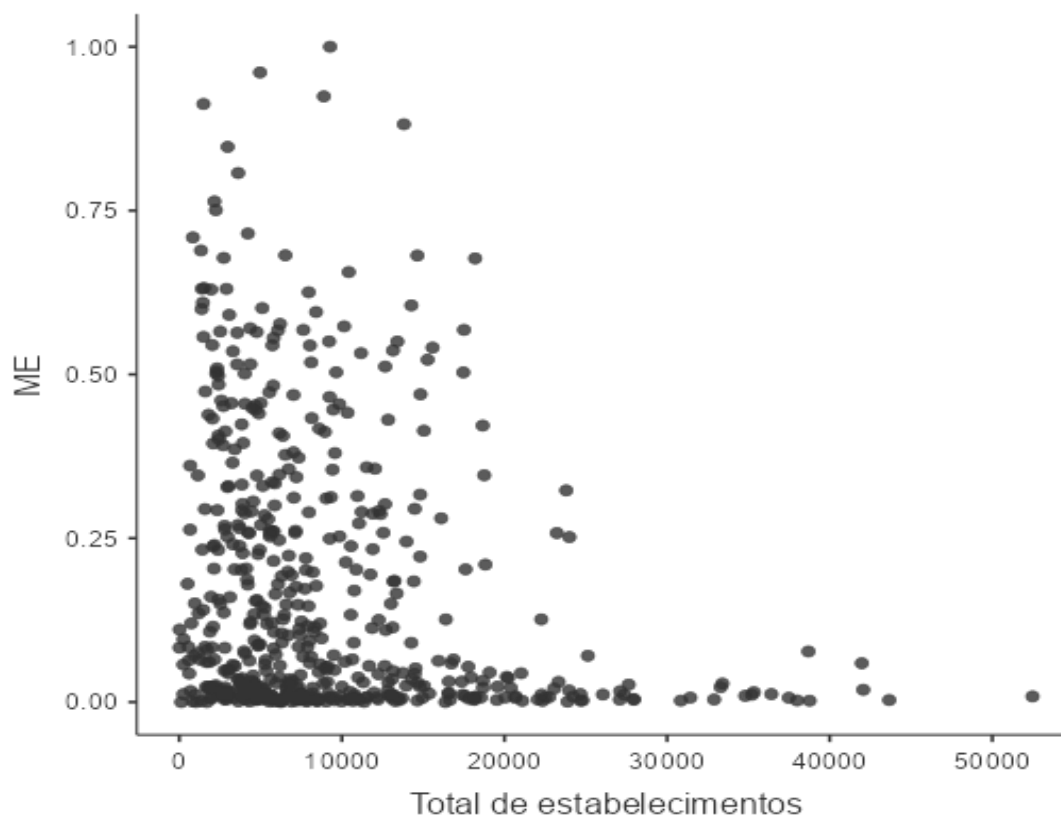


Fonte: Resultado da pesquisa.

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Construto: ME – máquinas e equipamentos produtivos.

A maior parte das microrregiões brasileiras tiveram um escore fatorial de até 0,25 para o construto ME (máquinas e equipamentos produtivos) no ano de 2017 (Figura 111).

Figura 111 - Gráfico de dispersão de pontos entre os escores fatoriais do construto ME e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.



Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo ME do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Construto: ME – máquinas e equipamentos produtivos.

As dez microrregiões com os maiores valores de escores fatoriais padronizados para o construto ME (máquinas e equipamentos produtivos) estiveram localizadas principalmente nas regiões Centro-Oeste (Mato Grosso), Sudeste (São Paulo) e Sul (Paraná e Rio Grande do Sul) para o ano de 2017. As que tiveram os menores valores estiveram localizadas nas regiões Norte (Amazonas e Pará), Nordeste (Ceará) e Sudeste (São Paulo) (Tabela 26).

Tabela 26 - *Ranking* das 10 melhores e piores microrregiões brasileiras de acordo com os valores dos escores fatoriais padronizados do construto ME

Posição	Microrregião	Valor do escore fatorial padronizado
1°	Ijuí (RS)	1,0000
2°	Alto Teles Pires (MT)	0,9608
3°	Cruz Alta (RS)	0,9242
4°	São Joaquim da Barra (SP)	0,9126
5°	Passo Fundo (RS)	0,8817
6°	Não-Me-Toque (RS)	0,8472
7°	Assis (SP)	0,8073
8°	Porecatu (PR)	0,7639
9°	Limeira (SP)	0,7507
10°	Jaboticabal (SP)	0,7150
449°	Coreaú (CE)	0,0008
550°	Portel (PA)	0,0006
551°	Litoral de Camocim e Acaraú (CE)	0,0006
552°	Médio Jaguaribe (CE)	0,0006
553°	Ipu (CE)	0,0002
554°	Rio Negro (AM)	0,0000
555°	Japurá (AM)	0,0000
556°	Furos de Breves (PA)	0,0000
557°	Meruoca (CE)	0,0000
558°	Osasco (SP)	0,0000

Fonte: Resultado da pesquisa.

Nota: ME – máquinas e equipamentos produtivos. Unidades federativas: AM – Amazonas; CE – Ceará; MT – Mato Grosso; PA – Pará; - PR – Paraná; RS – Rio Grande do Sul; SP – São Paulo.

A oitava hipótese (**H8**) de que a existência de fontes de informações técnicas nas propriedades rurais exercem influência positiva na adoção de tecnologias sustentáveis (rotação de culturas, SPD, uso de fertilizantes e corretivos) no setor agropecuário brasileiro foi confirmada (significância do coeficiente estrutural), com um efeito pequeno ( $f^2$  de 0,097) (Tabela 21).

Ações governamentais que tenham como objetivo a expansão do acesso à internet nas áreas rurais e a concessão de linhas de crédito específicas para a aquisição de equipamentos de TIC (tecnologia de informação e comunicação) podem incentivar a adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário brasileiro (tamanho do efeito de Cohen –  $f^2$ ). As informações técnicas são um importante recurso que auxiliam o processo de tomada de decisão do produtor rural (SOUZA FILHO *et al.*, 2011).

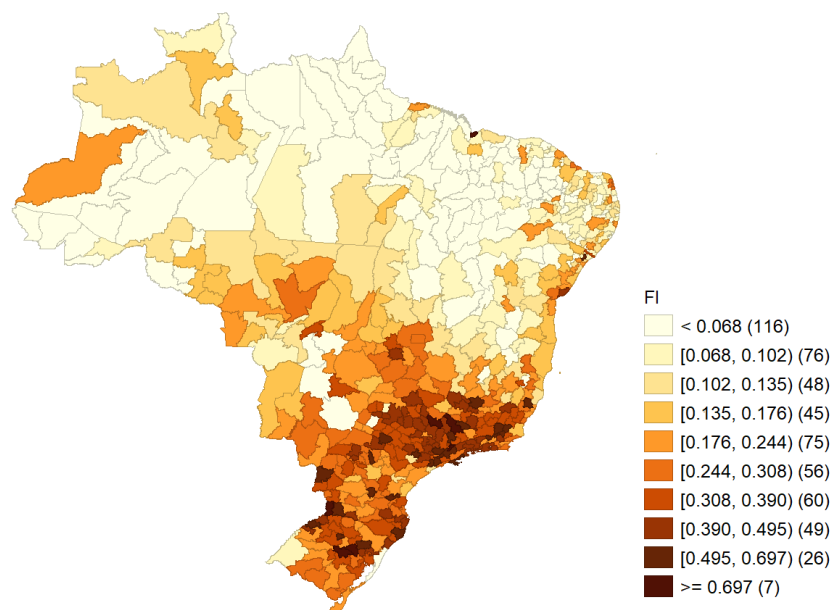
As informações técnicas podem ser acessadas pelos produtores rurais por meio de aparelhos com conexão à internet (computadores, smartphones, tablets, etc.), jornais, revistas, rádios e televisões (SOUZA FILHO *et al.*, 2011). O uso de computadores foi



importante para a implantação de sistemas de irrigação em propriedades rurais nos Estados Unidos (LEIB *et al.*, 2002) e na implantação de sistemas de gerenciamento de atividades administrativas em empreendimentos agropecuários (GIUA *et al.*, 2021). A utilização de celulares (FILIPPINI *et al.*, 2020) e rádio (SALIK *et al.*, 2021) foi importante para os produtores rurais terem acesso à informações de mercado, práticas produtivas de manejo do solo, seleção de cultivares e uso adequado de fertilizante.

As microrregiões que tiveram os maiores valores dos escores fatoriais padronizados da variável latente FI (fontes de informação) estiveram localizadas principalmente nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul no ano de 2017 (Figura 112).

Figura 112 - Distribuição de valores dos escores fatoriais da variável latente FI entre as microrregiões brasileiras em 2017.

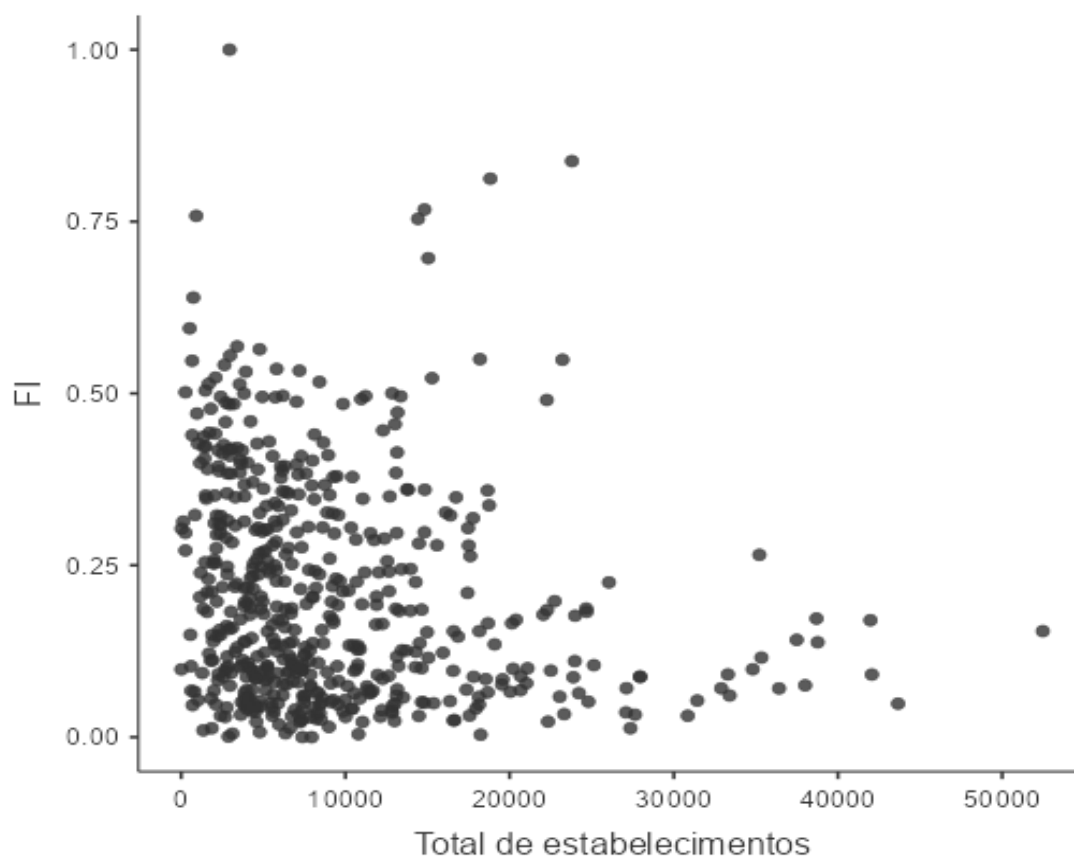


Fonte: Resultado da pesquisa.

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Construto: FI – fontes de informação.

A maior parte das microrregiões brasileiras tiveram um escore fatorial de até 0,50 para o construto FI (fontes de informação) para o ano de 2017 (Figura 113).

Figura 113 - Gráfico de dispersão de pontos entre os escores fatoriais do construto FI e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.



Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo FI do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Construto: FI – fontes de informação.

As dez microrregiões com os maiores valores de escores fatoriais padronizados para a variável latente FI (fontes de informação) estiveram localizadas principalmente nas regiões Nordeste (Maranhão), Sudeste (Minas Gerais e São Paulo) e Sul (Santa Catarina e Rio Grande do Sul) para o ano de 2017. As que tiveram os menores valores estiveram localizadas nas regiões Norte (Acre, Amazonas e Pará) e Nordeste (Ceará, Maranhão e Piauí) (Tabela 27).

Tabela 27 - *Ranking* das 10 melhores e piores microrregiões brasileiras de acordo com os valores dos escores fatoriais padronizados do construto FI

Posição	Microrregião	Valor do escore fatorial padronizado
1°	Aglomeração Urbana de São Luís (MA)	1,0000
2°	Santa Cruz do Sul (RS)	0,8379
3°	Lajeado-Estrela (RS)	0,8124
4°	São Miguel do Oeste (SC)	0,7675
5°	Campos do Jordão (SP)	0,7582
6°	São Sebastião do Paraíso (MG)	0,7539
7°	Varginha (MG)	0,6966
8°	São Paulo (SP)	0,6394
9°	Guarulhos (SP)	0,5947
10°	Bragança Paulista (SP)	0,5684
449°	Sertão de Cratêus (CE)	0,0130
550°	Oiapoque (AP)	0,0099
551°	Boca do Acre (AM)	0,0074
552°	Tarauacá (AC)	0,0056
553°	Alto Parnaíba Piauiense (PI)	0,0051
554°	Codó (MA)	0,0043
555°	Chapadinha (MA)	0,0035
556°	Coelho Neto (MA)	0,0008
557°	Juruá (AM)	0,0002
558°	Paragominas (PA)	0,0000

Fonte: Resultado da pesquisa.

Nota: FI – fontes de informação. Unidades federativas: AC – Acre; AM – Amazonas; AP – Amapá; CE – Ceará; MA – Maranhão; MG – Minas Gerais; PA – Pará; PI – Piauí; RS – Rio Grande do Sul; SC – Santa Catarina; SP – São Paulo.

A nona hipótese (**H9**) de que o maior grau de escolaridade dos produtores rurais exerce influência positiva na adoção de tecnologias sustentáveis (rotação de culturas, SPD, uso de fertilizantes e corretivos) foi confirmada para o contexto brasileiro (significância do coeficiente estrutural), com efeito pequeno ( $f^2$  de 0,043) (Tabela 21).

No setor agropecuário brasileiro, 1,16 milhões de produtores rurais não sabiam ler e nem escrever no ano de 2017, representando 23% do total nacional. No entanto, apenas 783,92 mil produtores nunca frequentaram a escola (IBGE, 2019). Representando assim, que uma parte dos produtores rurais brasileiros, mesmo com baixo nível de escolaridade, não tinham a capacidade cognitiva necessária para a adoção de tecnologias sustentáveis (rotação de culturas, SPD, fertilizantes e corretivos) nos estabelecimentos agropecuários.

Nas tecnologias sustentáveis, é necessário que o produtor tenha algum tipo de conhecimento técnico para empregá-las na propriedade rural. Como por exemplo, no

uso de fertilizantes e corretivos, é necessário seguir as recomendações técnicas de análise do solo (LINQUIST *et al.*, 2007). No SPD, exige-se a utilização de máquinas e equipamentos especializados para o preparo do solo e semeadura (TELLES, 2015) e, na rotação de culturas, o planejamento adequado da área de cultivo (ISGA, 2010; FRANCHINI *et al.*, 2011).

Dessa forma, o desenvolvimento de políticas educacionais direcionadas à população rural devem possuir um caráter de formação técnica dos indivíduos para a condução das atividades produtivas e administrativas nos estabelecimentos agropecuários. Como por exemplo, a criação de escolas técnicas no campo se torna uma estratégia adequada para a difusão de tecnologias sustentáveis ao longo do território nacional. é uma forma de incentivar a adoção de tecnologias sustentáveis ao longo do território nacional, principalmente para o público com baixo nível de escolaridade.

O construto NE (nível de escolaridade dos produtores rurais) foi composto pelas variáveis observáveis NE1 (ensino superior) (com 283,20 mil produtores, corresponde a 5,58% do total nacional), NE5 (antigo ginásial – médio 1º ciclo) (com 302,93 mil produtores, corresponde a 5,97% do total nacional) e NE6 (antigo primário – elementar) (com 1,20 milhões de produtores, corresponde a 23,77% do total nacional) (Figura 101) (IBGE, 2017).

O ensino superior (NE1) compreende a situação em que o indivíduo realizou um curso de graduação tradicional ou tecnológico. Ou seja, quando o indivíduo obteve o conhecimento técnico específico durante a graduação (IBGE, 2017). Dessa forma, o efeito pequeno ( $f^2$  de 0,043) deve ter ocorrido em virtude de apenas uma parte do construto NE (nível de escolaridade dos produtores rurais) ter sido formado pelo indicador NE1 (ensino superior – indivíduos com formação técnica). Os demais indicadores que constituem o construto NE, foram os NE5 e NE6 que representam uma parcela de produtores rurais com baixo grau de escolaridade.

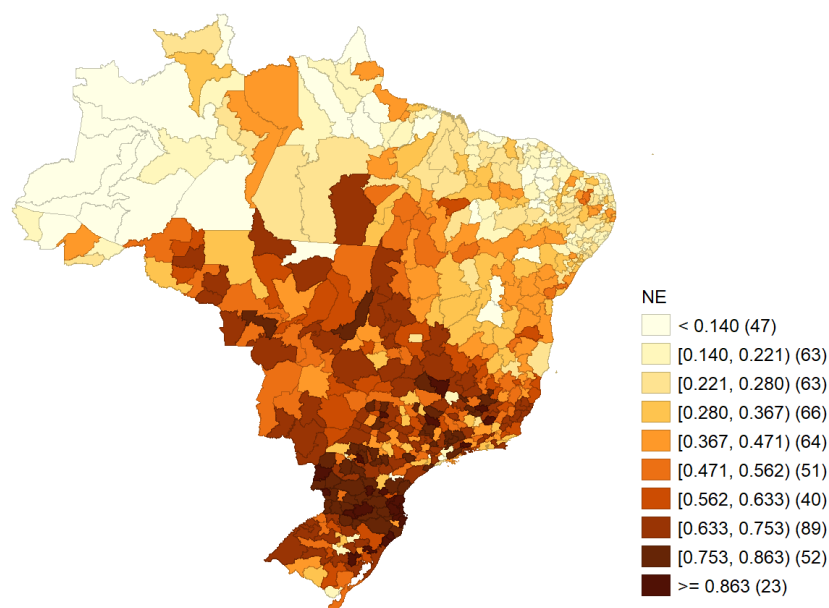
É necessário que o produtor rural adquira novos conhecimentos para ser capaz de utilizar as tecnologias sustentáveis na propriedade (KNOWLER e BRADSHAW, 2007). O nível de escolaridade do produtor está relacionado com a capacidade do indivíduo em utilizar técnicas de gerenciamento mais sofisticadas na propriedade rural (SOUZA FILHO e VINHOLIS, 2021).

O nível de escolaridade do produtor rural teve uma relação positiva com a adoção de máquinas e equipamentos de beneficiamento do café no Brasil (PEREIRA *et al.*, 2010), no uso de sistemas de gerenciamento de propriedades rurais especializadas

na produção de leite na Irlanda (LÄPPLE *et al.*, 2015), no uso de práticas produtivas de citrus no Paquistão (ASHARF *et al.*, 2015), no uso de práticas sustentáveis em propriedades rurais na Nova Zelândia (BROWN *et al.*, 2016; BROWN e ROPER, 2017), uso de fertilizantes e sementes melhoradas geneticamente (MULWA *et al.*, 2021) e práticas integradas de fertilidade do solo (EMONGOR *et al.*, 2023) no Quênia.

As microrregiões que tiveram os maiores valores dos escores fatoriais padronizados do construto NE (nível de escolaridade dos produtores rurais) estiveram localizadas principalmente nas regiões Centro-Oeste, Norte, Sudeste e Sul no ano de 2017 (Figura 114).

Figura 114 - Distribuição de valores dos escores fatoriais da variável latente NE entre as microrregiões brasileiras em 2017.

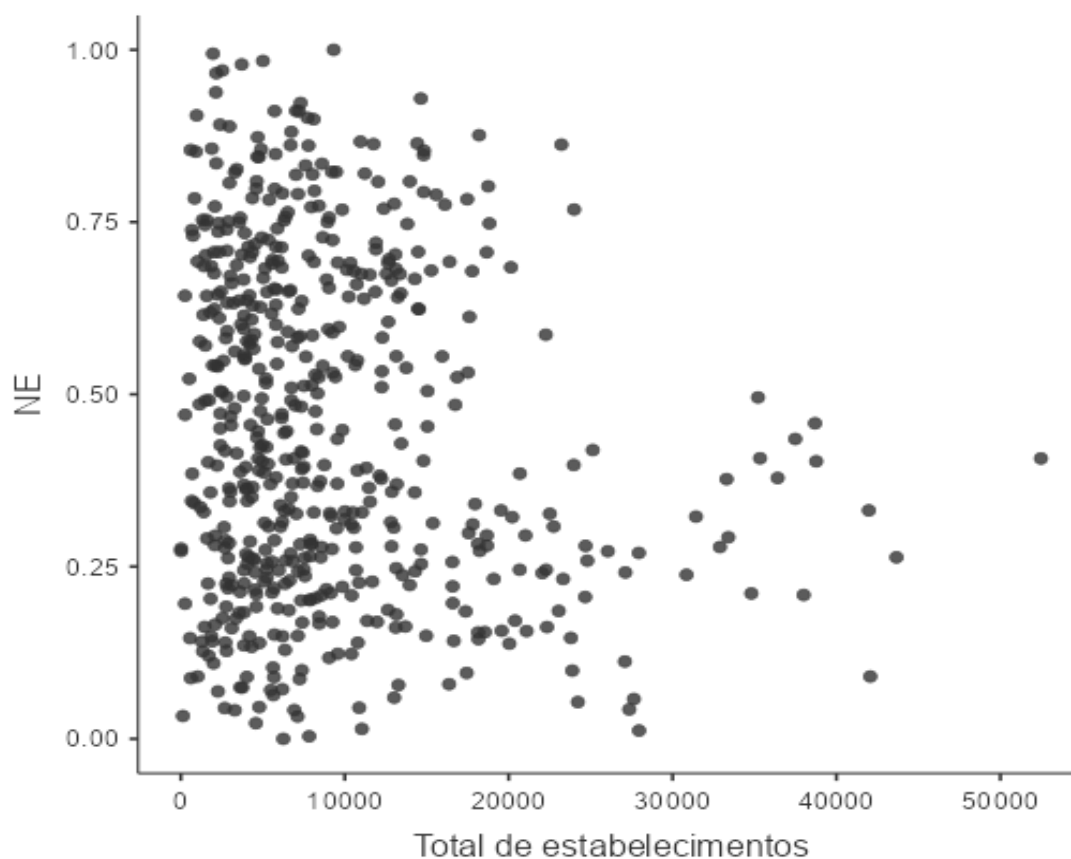


Fonte: Resultado da pesquisa.

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Construto: NE – nível de escolaridade dos produtores rurais.

A maior parte das microrregiões brasileiras tiveram um escore fatorial de até 0,75 para o construto NE (nível de escolaridade dos produtores) no ano de 2017 (Figura 115).

Figura 115 - Gráfico de dispersão de pontos entre os escores fatoriais do construto NE e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.



Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo NE do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Construto: NE – nível de escolaridade dos produtores rurais.

As dez microrregiões com os maiores valores de escores fatoriais padronizados para o construto NE (nível de escolaridade dos produtores) estiveram localizadas principalmente nas regiões Sudeste (Minas Gerais) e Sul (Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul) para o ano de 2017. As que tiveram os menores valores estiveram localizadas nas regiões Norte (Amazonas e Pará), Nordeste (Bahia, Ceará, Maranhão, Piauí e Rio Grande do Norte) e Sudeste (São Paulo) (Tabela 28).

Tabela 28 - *Ranking* das 10 melhores e piores microrregiões brasileiras de acordo com os valores dos escores fatoriais padronizados do construto NE

Posição	Microrregião	Valor do escore fatorial padronizado
1°	Capanema (PR)	1,0000
2°	São Bento do Sul (SC)	0,9944
3°	Criciúma (SC)	0,9839
4°	Tijucas (SC)	0,9788
5°	Florianópolis (SC)	0,9700
6°	Ouro Preto (MG)	0,9661
7°	Itajaí (SC)	0,9383
8°	Joaçaba (SC)	0,9293
9°	Gramado-Canela (RS)	0,9229
10°	Araranguá (SC)	0,9114
449°	Sertão de Cratêus (CE)	0,0427
550°	Portel (PA)	0,0417
551°	Macaíba (RN)	0,0415
552°	Osasco (SP)	0,0332
553°	Itabaiana (PB)	0,0324
554°	Purus (AM)	0,0227
555°	Várzea Alegre (CE)	0,0144
556°	Boquira (BA)	0,0120
557°	Lençóis Maranhenses (MA)	0,0037
558°	Rio Negro (AM)	0,0000

Fonte: Resultado da pesquisa.

Nota: NE – nível de escolaridade dos produtores rurais. Unidades federativas: AM – Amazonas; BA – Bahia; CE – Ceará; MA – Maranhão; MG – Minas Gerais; PA – Pará; PB – Paraíba; PR – Paraná; RN – Rio Grande do Norte; RS – Rio Grande do Sul; SP – São Paulo; SC – Santa Catarina.

A décima hipótese (**H10**) de que a maior faixa etária dos produtores rurais exerce influência negativa na adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário brasileiro não foi confirmada. Encontrou-se uma relação positiva no coeficiente estrutural (com significância ao nível de 1%), com efeito pequeno ( $f^2$  de 0,030) (Tabela 21).

Esse resultado pode ser justificado pelo fato de após ter sido realizados os ajustes no modelo de mensuração (retirada e mudanças de algumas variáveis observáveis – Quadro 16), no construto IP terem ficado apenas variáveis observáveis de classes de produtores rurais jovens (com idade de até 45 anos) (IP1\_te, IP2\_te e IP3\_te). Os produtores rurais mais jovens são mais facilmente atraídos por novidades e, conseqüentemente, mais dispostos à adotar determinada tecnologia (SOUZA FILHO *et al.*, 2011).

Numa comparação entre as classes de idade dos produtores rurais no Brasil, foi

possível observar uma redução na participação dos indivíduos mais jovens na população rural. Em 2006, a participação dos indivíduos com idade de até 45 anos foi de 38,79% e, passou para 29,14% em 2017 (Tabela 29).

Tabela 29 - Classes de idade dos produtores rurais brasileiros nos Censos Agropecuários de 2006 e 2017

Classes de idade	Produtores rurais		Percentual em relação ao total (%)	
	2006	2017	2006	2017
Menos que 25 anos	170.583	100.357	3,30	1,98
De 25 anos a menos de 35 anos	701.727	469.068	13,56	9,28
De 35 anos a menos de 45 anos	1.135.153	904.143	21,93	17,88
De 45 anos a menos de 55 anos	1.208.120	1.224.488	23,34	24,22
De 55 anos a menos de 65 anos	1.053.352	1.186.702	20,35	23,47
De 65 anos e mais	906.701	1.171.767	17,52	23,17

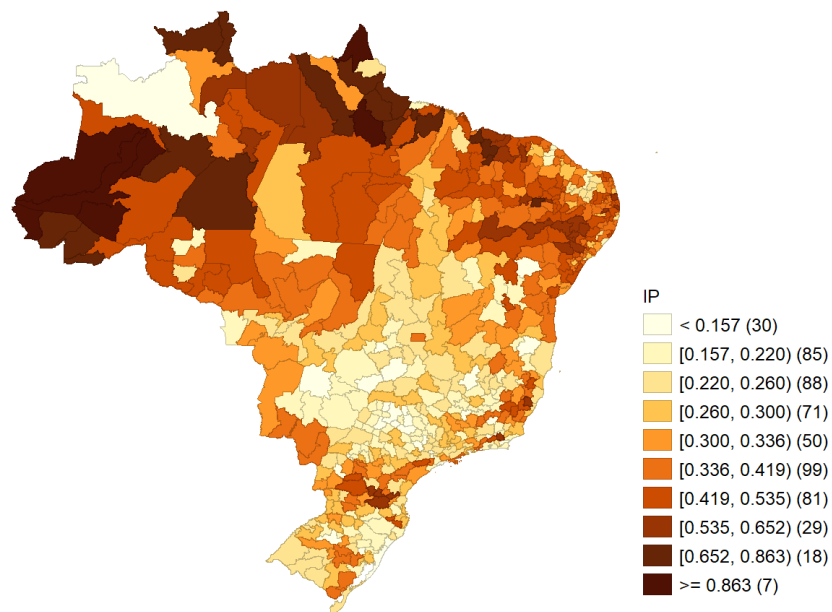
Fonte: IBGE (2006, 2017).

Dessa forma, recomenda-se a elaboração de políticas públicas que fomentem a sucessão rural no setor agropecuário brasileiro, para que haja uma continuidade dos negócios rurais na mesma família e a expansão de linhas de crédito para produtores rurais mais jovens. Essas medidas são importantes para incentivar a adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário brasileiro.

As microrregiões que tiveram os maiores valores dos escores fatoriais padronizados da variável latente IP (idade dos produtores rurais) estiveram localizadas ao longo do território nacional em 2017 (Figura 116).



Figura 116 - Distribuição de valores dos escores fatoriais da variável latente IP entre as microrregiões brasileiras em 2017.

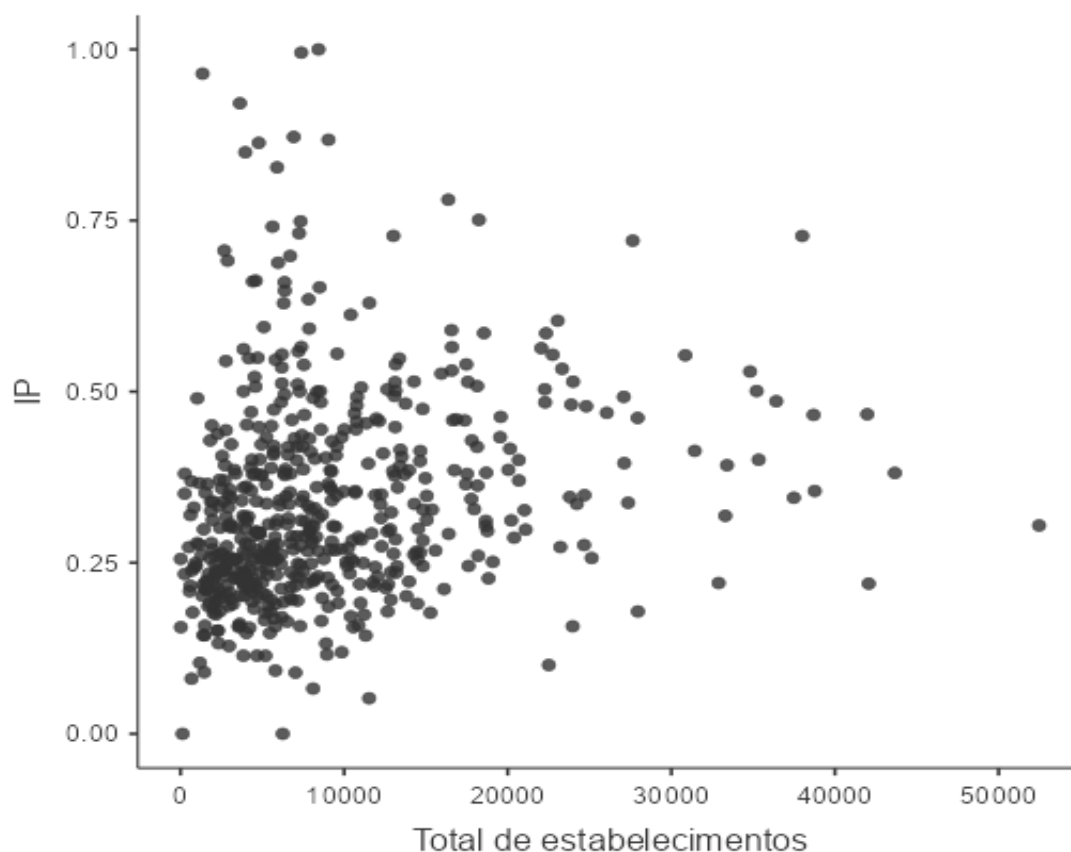


Fonte: Resultado da pesquisa.

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Construto: IP – idade dos produtores rurais.

A maior parte das microrregiões brasileiras tiveram um escore fatorial de até 0,50 para o construto IP (idade dos produtores rurais) no ano de 2017 (Figura 117).

Figura 117 - Gráfico de dispersão de pontos entre os escores fatoriais do construto IP e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.



Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo IP do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Construto: IP – idade dos produtores rurais.

As dez microrregiões com os maiores valores de escores fatoriais padronizados para a variável latente IP (idade dos produtores) estiveram localizadas principalmente na região Norte (Acre, Amazonas, Amapá e Pará) para o ano de 2017. As que tiveram os menores valores estiveram localizadas nas regiões Centro-Oeste (Góias), Norte (Amazonas), Nordeste (Bahia), Sudeste (Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo) e Sul (Paraná e Santa Catarina) (Tabela 30).

Tabela 30 - *Ranking* das 10 melhores e piores microrregiões brasileiras de acordo com os valores dos escores fatoriais padronizados do construto IP

<b>Posição</b>	<b>Microrregião</b>	<b>Valor do escore fatorial padronizado</b>
1°	Cruzeiro do Sul (AC)	1,0000
2°	Juruá (AM)	0,9953
3°	Oiapoque (AP)	0,9645
4°	Tefé (AM)	0,9213
5°	Portel (PA)	0,8721
6°	Alto Solimões (AM)	0,8680
7°	Boca do Acre (AM)	0,8634
8°	Sena Madureira (AC)	0,8497
9°	Coari (AM)	0,8276
10°	Furos de Breves (PA)	0,7804
449°	Bacia de São João (RJ)	0,1037
550°	Jacobina (BA)	0,1005
551°	Goioerê (PR)	0,0924
552°	Floraí (PR)	0,0900
553°	Araranguá (SC)	0,0894
554°	Jundiá (SP)	0,0806
555°	Ubá (MG)	0,0661
556°	Meia Ponte (GO)	0,0519
557°	Rio Negro (AM)	0,0000
558°	Osasco (SP)	0,0000

Fonte: Resultado da pesquisa.

Nota: IP – Idade dos produtores. Unidades federativas: AC – Acre; AM – Amazonas; AP – Amapá; BA – Bahia; GO – Goiás; MG – Minas Gerais; PA – Pará; PR – Paraná; RJ – Rio de Janeiro; SC – Santa Catarina; SP – São Paulo.

Das oito hipóteses relacionadas aos fatores que relacionados à adoção de tecnologias sustentáveis (rotação de culturas, SPD, uso de fertilizantes e corretivos) para o setor agropecuário brasileiro, sete foram confirmadas (**H1, H2, H3, H6, H7, H8, H9**) e uma teve uma relação inversa ao preconizado na literatura (**H10**) (Figura 101) (Quadro 17).

Quadro 17 - Testes das hipóteses associadas aos fatores de adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário brasileiro

<b>Dimensões</b>	<b>Hipóteses</b>	<b>Resultado</b>	<b>Conclusão</b>
Ambiente socioeconômico	<b>H1:</b> O acesso ao crédito exerce influência positiva na adoção de tecnologias sustentáveis.	Rejeita	Corroborar com a teoria
	<b>H2:</b> O acesso à assistência técnica exerce influência positiva na adoção de tecnologias sustentáveis.	Rejeita	Corroborar com a teoria
	<b>H3:</b> A participação de produtores rurais em organizações coletivas exerce influência positiva na adoção de tecnologias sustentáveis.	Rejeita	Corroborar com a teoria
Características das propriedades rurais	<b>H6:</b> A disponibilidade de água nas propriedades rurais exerce influência positiva na adoção de tecnologias sustentáveis.	Rejeita	Corroborar com a teoria
	<b>H7:</b> A existência de máquinas e equipamentos nas propriedades rurais exerce influência positiva na adoção de tecnologias sustentáveis.	Rejeita	Corroborar com a teoria
	<b>H8:</b> A existência de fontes de informações técnicas nas propriedades rurais exercem influência positiva na adoção de tecnologias sustentáveis.	Rejeita	Corroborar com a teoria
Características dos produtores rurais	<b>H9:</b> O maior grau de escolaridade dos produtores rurais exerce influência positiva na adoção de tecnologias sustentáveis.	Rejeita	Corroborar com a teoria
	<b>H10:</b> A maior faixa etária de produtores rurais exerce influência negativa na adoção de tecnologias sustentáveis.	Rejeita	Não corroborar com a teoria

Fonte: Resultado da pesquisa.

A determinação dos fatores associados à adoção de tecnologias conservacionistas no setor agropecuário em países em Desenvolvimento é uma lacuna existente na literatura. Esse tipo de avaliação é importante para a elaboração de políticas públicas direcionadas ao desenvolvimento agrário inclusivo (LLEWELLYN e BROWN, 2020; MUNGUIA e LLEWELLYN, 2020; PANNELL e CLAASSEN, 2020; JONES-GARCIA e KRISHNA, 2021). A literatura sobre os determinantes da adoção de tecnologia no setor agropecuário para a adoção de tecnologia no campo tem feito pouco esforço para sintetizar os resultados em formas particularmente úteis para os formuladores de políticas públicas (PANNELL e CLAASSEN, 2020).

Um conjunto de ações governamentais podem ser realizadas para impulsionar a adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário brasileiro, sendo relacionados às áreas ambiental, crédito rural, educação, organizações coletivas e dentre outros (Quadro 18).

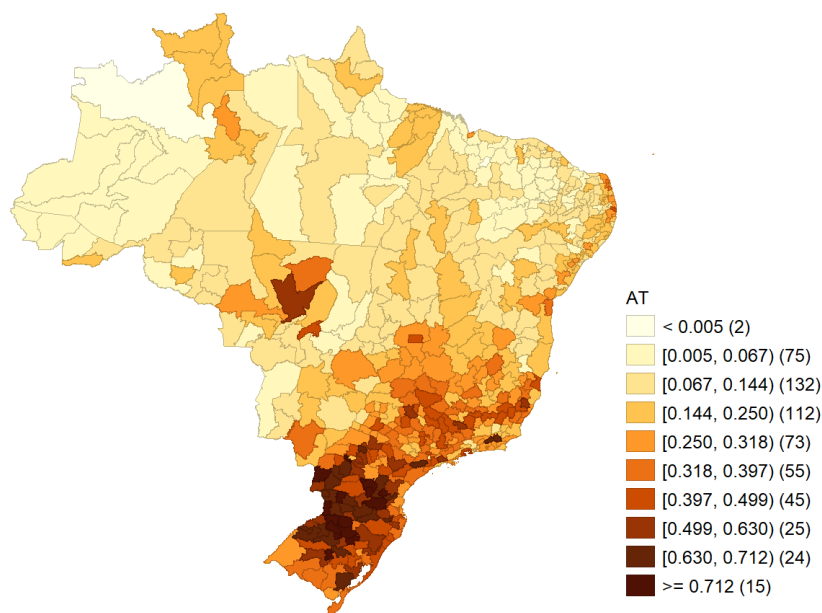
Quadro 18 - Síntese de políticas públicas para fomentar a adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário brasileiro

- (a) Expansão do acesso ao crédito em diferentes modalidades e fontes:
- Fontes:
    - (i) Bancos, cooperativas de crédito e governos federal, estadual e/ou municipal;
  - Modalidades:
    - (i) Linhas de crédito direcionadas para a construção de poços artesianos em propriedades rurais;
    - (ii) Linhas de crédito direcionadas para a aquisição de máquinas e equipamentos produtivos em geral (adubadeira, colheitadeira, distribuidor de calcário, plantadeira/semeadora, tratores, etc.);
    - (iii) Linhas de crédito direcionadas para a aquisição de equipamentos de TIC;
    - (iv) Linhas de crédito específicas para os produtores rurais mais jovens; e,
    - (v) Linhas de crédito específicas para a contratação de assistência técnica.
  - (b) Capacitação técnica de produtores rurais;
  - (c) Incentivo à criação de cooperativas;
  - (d) Realização de reuniões técnicas e seminários para a difusão de conhecimento entre os produtores rurais;
  - (e) Ações que promovam a conservação e preservação de nascentes e rios em áreas rurais;
  - (f) Expansão do acesso à internet nas áreas rurais;
  - (g) Políticas educacionais à população rural (com enfoque em formação técnica para um melhor gerenciamento dos sistemas produtivos agropecuários); e,
  - (h) Ações que fomentem a sucessão rural nos negócios agropecuários.

Fonte: Resultado da pesquisa.

As microrregiões que tiveram os maiores valores dos escores fatoriais padronizados da variável latente AT (adoção de tecnologias sustentáveis) estiveram localizadas nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul no ano de 2017 (Figura 118).

Figura 118 - Distribuição de valores dos escores fatoriais da variável latente AT entre as microrregiões brasileiras em 2017.

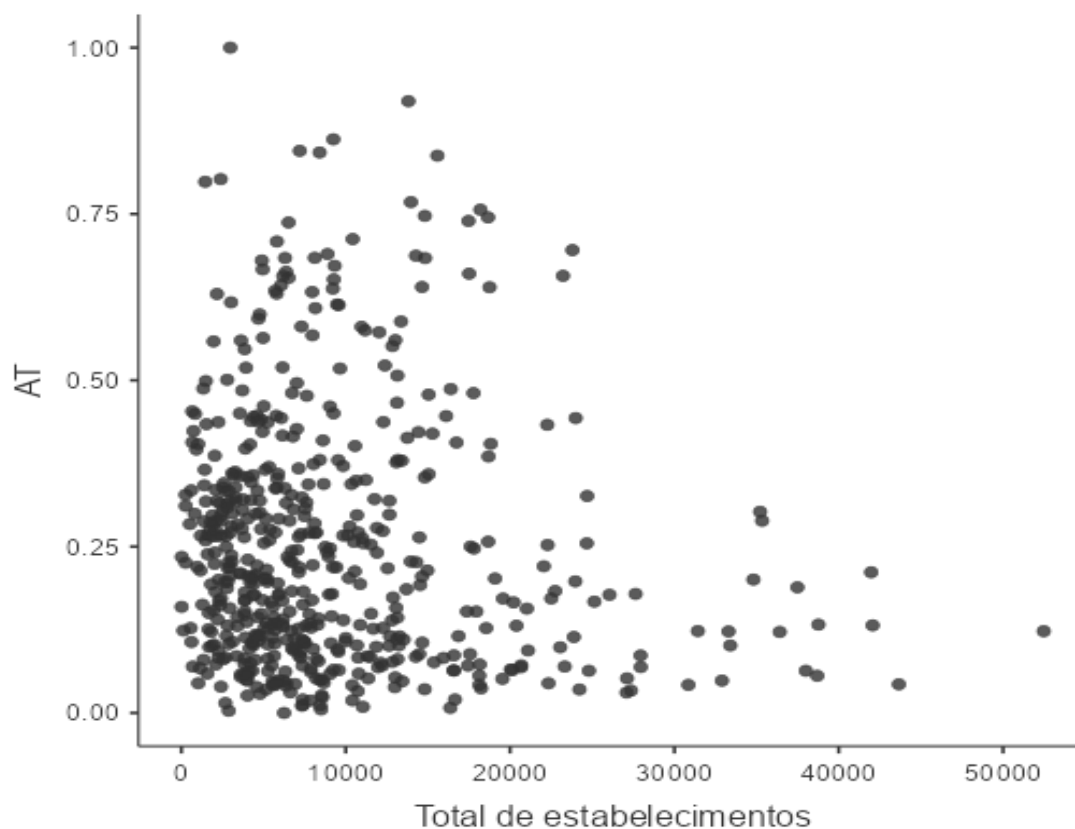


Fonte: Resultado da pesquisa.

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Construto: AT – adoção de tecnologias sustentáveis.

A maior parte das microrregiões brasileiras tiveram um escore fatorial de até 0,50 para o construto AT (adoção de tecnologias sustentáveis) para o ano de 2017 (Figura 119).

Figura 119 - Gráfico de dispersão de pontos entre os escores fatoriais do construto AT e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.



Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo AT do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Construto: AT – adoção de tecnologias sustentáveis.

As dez microrregiões com os maiores valores de escores fatoriais padronizados para a variável latente AT (adoção de tecnologias sustentáveis) estiveram localizadas principalmente na região Sul (Paraná e Rio Grande do Sul) para o ano de 2017. As que tiveram os menores valores estiveram localizadas nas regiões Nordeste (Ceará e Maranhão) e Norte (Amazonas e Pará) (Tabela 31).

Tabela 31 - *Ranking* das 10 melhores e piores microrregiões brasileiras de acordo com os valores dos escores fatoriais padronizados do construto AT

Posição	Microrregião	Valor do escore fatorial padronizado
1°	Não-Me-Toque (RS)	1,0000
2°	Passo Fundo (RS)	0,9196
3°	Carazinho (RS)	0,8622
4°	Irati (PR)	0,8449
5°	Pato Branco (PR)	0,8424
6°	Erechim (RS)	0,8377
7°	Lapa (PR)	0,8024
8°	Floraí (PR)	0,7984
9°	Prudentópolis (PR)	0,7679
10°	Toledo (PR)	0,7565
449°	Baixo Parnaíba Maranhense (MA)	0,0187
550°	Almeirim (PA)	0,0149
551°	Juruá (AM)	0,0120
552°	Santa Quitéria (CE)	0,0114
553°	Rosário (MA)	0,0109
554°	Várzea Alegre (CE)	0,0091
555°	Furos de Breves (PA)	0,0076
556°	Arari (PA)	0,0053
557°	Coelho Neto (MA)	0,0032
558°	Rio Negro (AM)	0,0000

Fonte: Resultado da pesquisa.

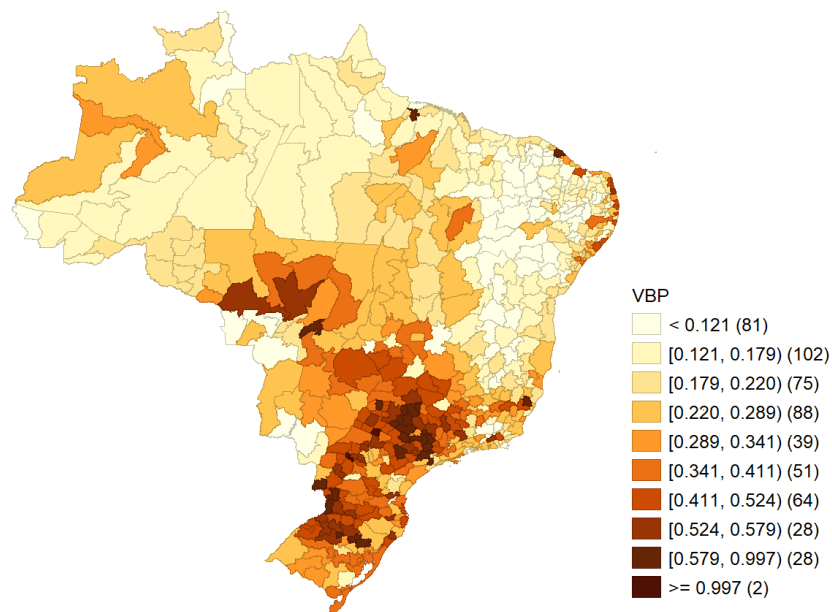
Nota: AT – adoção de tecnologias sustentáveis. Unidades federativas: AM – Amazonas; CE – Ceará; MA – Maranhão; PA – Pará; PR – Paraná; RS – Rio Grande do Sul.

A décima primeira hipótese (**H11**) de que a adoção de tecnologias sustentáveis exerce uma influência positiva no VBP do setor agropecuário foi confirmada para o contexto brasileiro, teve efeito grande ( $f^2$  de 0,589) (Tabela 21). O uso de tecnologias sustentáveis pode contribuir para a manutenção ou aumento da produtividade nas atividades agropecuárias. Dentre as tecnologias, destacam-se a rotação de culturas (DEGANI *et al.*, 2019; BRANKOV *et al.*, 2021; VOLSI *et al.*, 2022), SPD (WEIDHUNER *et al.*, 2022; YOKOYAMA *et al.*, 2022; FOLONI *et al.*, 2023), fertilizantes (ZHAI *et al.*, 2022; EJIGU *et al.*, 2023; FOLONI *et al.*, 2023) e corretivos (HIJBEEK *et al.*, 2021; WANG, Y. *et al.*, 2021; EJIGU *et al.*, 2023).

As microrregiões que tiveram os maiores valores dos escores fatoriais padronizados para o construto VBP (valor bruto da produção) estiveram localizadas principalmente nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul em 2017 (Figura 120).



Figura 120 - Distribuição de valores dos escores fatoriais da variável latente VBP entre as microrregiões brasileiras em 2017.

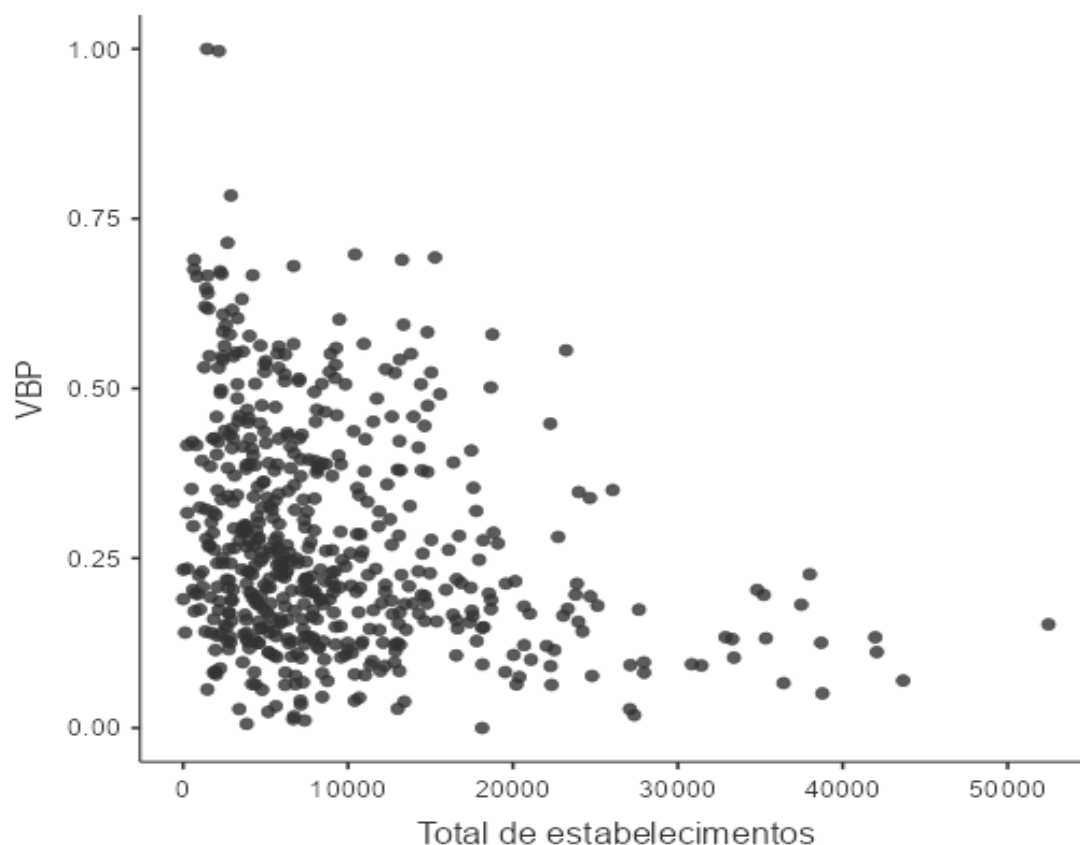


Fonte: Resultado da pesquisa.

Nota: Na legenda da Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem as categorias de valores da variável observável está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* GeoDa®. Construto: VBP – valor bruto da produção.

A maior parte das microrregiões brasileiras tiveram um escore fatorial de até 0,50 para o construto VBP (valor bruto da produção) no ano de 2017 (Figura 121).

Figura 121 - Gráfico de dispersão de pontos entre os escores fatoriais do construto VBP e as microrregiões brasileiras (representadas pela quantidade de estabelecimentos agropecuários em cada localidade) no ano de 2017.



Fonte: Elaborado a partir do IBGE (2017).

Nota: Na Figura, a unidade de separação decimal dos números que compõem o eixo VBP do gráfico de dispersão está com ponto ao invés da vírgula. Essa apresentação foi em função do *software* Jamovi®. Construto: VBP – valor bruto da produção.

As dez microrregiões com os maiores valores de escores fatoriais padronizados para o construto VBP (valor bruto da produção) estiveram localizadas principalmente nas regiões Nordeste (Ceará), Norte (Pará), Sudeste (São Paulo) e Sul (Paraná e Rio Grande do Sul) para o ano de 2017. As que tiveram os menores valores estiveram localizadas nas regiões Centro-Oeste (Mato Grosso e Mato Grosso do Sul), Nordeste (Ceará e Maranhão) e Norte (Amazonas e Pará) (Tabela 32).

Tabela 32 - *Ranking* das 10 melhores e piores microrregiões brasileiras de acordo com os valores dos escores fatoriais padronizados do construto VBP

<b>Posição</b>	<b>Microrregião</b>	<b>Valor do escore fatorial padronizado</b>
1°	Floraí (PR)	1,0000
2°	Tupã (SP)	0,9969
3°	Mogi Mirim (SP)	0,7841
4°	Campinas (SP)	0,7144
5°	Guaporé (RS)	0,6973
6°	Caxias do Sul (RS)	0,6928
7°	Fortaleza (CE)	0,6894
8°	Jundiá (SP)	0,6894
9°	Castanhal (PA)	0,6803
10°	Itapecerica da Serra (SP)	0,6753
449°	Chapada do Araripe (CE)	0,0283
550°	Tangará da Serra (MT)	0,0278
551°	Sertão de Senador Pompeu (CE)	0,0277
552°	Piancó (PB)	0,0237
553°	Sertão de Cratêus (CE)	0,0189
554°	Salgado (PA)	0,0172
555°	Bodoquena (MS)	0,0129
556°	Alto Pantanal (MT)	0,0111
557°	Sudeste de Roraima (RR)	0,0060
558°	Sertão de Inhamuns (CE)	0,0000

Fonte: Resultado da pesquisa.

Nota: VBP – valor bruto da produção. Unidades federativas: CE – Ceará; MS – Mato Grosso do Sul; MT – Mato Grosso; PA – Pará; PB – Paraíba; PR – Paraná; RR – Roraima; RS – Rio Grande do Sul; SP – São Paulo.

Além da promover a expansão do VBP (Tabela 21), a adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário brasileiro irá contribuir para o cumprimento dos objetivos e metas do Plano ABC+ como o de estimular a adoção e manutenção de sistemas agropecuários conservacionistas de produção, com aumento de produtividade e renda aos produtores e incentivando o controle da emissão de GEE ao longo do território nacional (CONCEIÇÃO, 2022).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta tese foi elaborada com o objetivo principal de analisar os fatores associados à adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário brasileiro no ano de 2017. E, se a adoção de tais tecnologias pode contribuir para a expansão do valor bruto da produção agropecuária brasileira. A adoção de tecnologia no setor agropecuário é um fenômeno multidimensional, sendo influenciado por uma série de fatores, relacionados com o ambiente socioeconômico em que a propriedade rural está inserida e com as características da propriedade rural e do produtor. Foi possível verificar que a adoção de tais tecnologias (rotação de culturas, sistemas de plantio direto na palha e o uso de fertilizantes e corretivos) exerceram uma influência positiva no valor bruto da produção agropecuária brasileira.

As tecnologias de rotação de culturas, sistema de plantio direto, uso de fertilizantes e corretivos fornecem uma série de benefícios aos sistemas produtivos agropecuários, tais como o aumento ou manutenção da produtividade das atividades agropecuárias, redução do processo erosivo do solo, melhora na estrutura biológica, física e química do solo (relaciona-se com a ciclagem e disponibilidade de nutrientes e água para o desenvolvimento das plantas) e a redução na emissão dos gases que promovem o efeito estufa. Num contexto de mudanças climáticas e aumento da demanda mundial por alimentos, a promoção dessas tecnologias nos países se torna uma estratégia essencial para a garantia da segurança alimentar e nutricional nos países.

O primeiro objetivo específico foi a realização de uma análise comparativa dos indicadores produtivos e socioeconômicos relacionados ao processo de adoção de tecnologia no setor agropecuário brasileiro. A principal constatação foi que o setor rural brasileiro é caracterizado pela desigualdade entre as regiões no que tange aos acessos aos de serviços de assistência técnica e crédito, características edafoclimáticas da propriedade rural (disponibilidade de água), infraestrutura produtiva e gerencial (existência de máquinas e equipamentos produtivos e fontes de informações técnicas), participação dos produtores em organizações coletivas e nas características dos indivíduos (nível de escolaridade e idade).

Em 2017, a região Sul se destacou em várias áreas relacionadas ao desenvolvimento rural. Essa região apresentou as maiores taxas de acesso ao crédito por meio de bancos e cooperativas, além dos serviços de assistência técnica fornecidos por cooperativas e empresas integradoras. Os produtores rurais do Sul também tiveram

maior participação em cooperativas e entidades de classe, e as propriedades rurais da região contavam com alta posse de máquinas e equipamentos produtivos e um maior acesso de informações técnicas através de aparelhos com conexão à internet, jornais e revistas.

Por outro lado, a região Norte se destacou por apresentar a maior proporção de propriedades rurais gerenciadas por indivíduos com idade de até 25 anos. Essa característica sugere uma renovação e participação ativa dos jovens no gerenciamento das atividades rurais nessa região. O Nordeste apresentou as maiores taxas de propriedades rurais com escassez de água proveniente de nascentes, rios e riachos. Essa situação indica maior dificuldade de acesso à água para atividades agropecuárias nessa região.

Em resumo, em 2017, a região Sul destacou-se no acesso ao crédito, assistência técnica, participação em cooperativas e posse de equipamentos produtivos. A região Norte teve maior envolvimento dos jovens no gerenciamento das propriedades rurais, enquanto o Nordeste enfrentou desafios com a escassez de água nas propriedades.

O segundo objetivo foi a determinação de quais fatores relacionados com o ambiente socioeconômico em que a propriedade rural está inserida exerceu influência na adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário brasileiro. O primeiro fator foi o acesso ao serviço de assistência técnica (do produtor ou contratada e de cooperativas) e é importante para auxiliar os produtores rurais no uso adequado da tecnologia e no acesso à informações técnicas desenvolvidas por instituições de pesquisa. O acesso ao crédito (via bancos, cooperativas e governos federal, estadual e municipal) também foi identificado como fator e é importante para a concessão de recursos financeiros essenciais para os produtores rurais terem a capacidade de realizarem testes de uso da tecnologia e para investirem na implementação de novas práticas produtivas ou incorporação de novos insumos no sistema de produção do empreendimento agropecuário.

A participação dos produtores rurais em organizações coletivas (cooperativas e reuniões técnicas e seminários) foi outro importante componente do ambiente socioeconômico que exerceu influência no processo de adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário brasileiro. A inserção dos produtores rurais em organizações coletivas pode contribuir para o acesso à informações técnicas e experiências de outros indivíduos sobre o uso de novas tecnologias, bem como no acesso aos serviços de assistência técnica e crédito.

A adoção de tecnologia do setor agropecuário é um processo social (PANNELL *et al.*, 2006). Foi evidenciado a influência positiva da participação dos produtores rurais em organizações coletivas (cooperativas e reuniões técnicas e seminários) no acesso aos serviços de assistência técnica e crédito no Brasil. A elaboração de políticas públicas direcionadas à criação de cooperativas e realização de eventos técnicos (reuniões e seminários) pode contribuir para uma expansão desses serviços entre os produtores rurais brasileiros.

De uma forma geral, nas regiões Nordeste e Norte, foram identificados os maiores níveis de escassez de acesso dos produtores rurais aos serviços de assistência técnica e crédito e na participação dos indivíduos em organizações coletivas (cooperativas e reuniões técnicas e seminários).

Os fatores relacionados às características da propriedade rural desempenharam papel significativo no processo de adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário brasileiro. Dentre esses fatores, destacam-se a disponibilidade de água e a existência de máquinas e equipamentos adequados, juntamente com o acesso a fontes de informações técnicas.

A disponibilidade de água proveniente de nascentes, rios/riachos e poços tubulares profundos jorrantes tem influência positiva na adoção dessas tecnologias. A presença de água adequada na propriedade rural proporciona condições favoráveis para a implementação de práticas conservacionistas que proporcionem a manutenção da umidade do solo. Essas práticas contribuem para a conservação do solo e a maximização da eficiência produtiva.

A existência de máquinas e equipamentos específicos nas propriedades rurais é outro fator relevante para a adoção de tecnologias sustentáveis. Equipamentos como adubadeiras, colheitadeiras, distribuidores de calcário, semeadeira/plantadeira e tratores desempenham papel fundamental na implementação eficiente e precisa dessas práticas. Eles permitem o uso adequado de insumos, a mecanização das operações agrícolas e o emprego de técnicas como o plantio direto, que ajudam a evitar a erosão e a degradação do solo.

O acesso a informações técnicas desempenha papel crucial nesse processo. Dispositivos com conexão à internet, jornais e revistas especializadas fornecem aos proprietários rurais acesso a conhecimentos atualizados sobre tecnologias sustentáveis, inovações agrícolas e recomendações técnicas. Essas informações embasadas permitem tomadas de decisões informadas e a implementação efetiva de práticas sustentáveis.

Em resumo, ao considerar a disponibilidade de água, a existência de máquinas e equipamentos adequados e o acesso a informações técnicas, é possível compreender melhor os fatores que impulsionam a adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário brasileiro. A difusão de tais tecnologias (rotação de culturas, sistema de plantio direto na palha e o uso de fertilizantes e corretivos) pode contribuir para o ganho de produtividade nos sistemas produtivos agropecuários e na conservação do solo.

No setor agropecuário brasileiro, foi observado que tanto o nível de escolaridade quanto a faixa etária dos produtores rurais exercem influência positiva na adoção de tecnologias sustentáveis. Em relação ao nível de escolaridade, destacam-se o grupo de produtores rurais com ensino superior e a formação educacional correspondente ao antigo ginásio e primário. A educação formal e o acesso a conhecimentos atualizados podem capacitar os produtores a compreender os benefícios das práticas conservacionistas e implementá-las de maneira eficaz nas propriedades rurais.

A faixa etária dos produtores rurais também desempenha papel relevante nesse contexto. Indivíduos com idade de até 45 anos foram identificados como mais dispostos a adotar tecnologias sustentáveis. Essa faixa etária geralmente está mais aberta a novas tecnologias.

Portanto, os resultados indicam que tanto o nível de escolaridade quanto a idade dos produtores rurais são fatores-chave na promoção da adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário brasileiro. Investimentos em educação agrícola e acesso a informações técnicas atualizadas podem impulsionar ainda mais a implementação dessas práticas conservacionistas ao longo do território brasileiro.

Algumas contribuições teóricas foram possíveis de serem realizadas para uma melhor compreensão do processo de adoção de tecnologia no setor agropecuário:

(a) Foi feito o levantamento dos benefícios de algumas tecnologias sustentáveis (rotação de culturas, SPD, uso de fertilizantes e corretivos) para os sistemas produtivos agropecuários, que vão desde a manutenção ou aumento da produtividade, melhora nos atributos e redução do processo erosivo do solo e a redução da emissão de gases que promovem o efeito estufa. A promoção de tais tecnologias nos países se torna relevante para a garantia da segurança alimentar e nutricional da população mundial e na conservação do solo em propriedades rurais;

(b) Elaboração de um modelo teórico (com detalhamento de variáveis explicativas) de fatores associados à adoção de tecnologia no setor agropecuário que pode ser empregado para outros grupos de tecnologias e para outras localidades (países

ou regiões específicas do Brasil). Foi possível também detalhar e especificar as variáveis que compõem a dimensão “*influências sociais, culturais e pessoais*” do modelo proposto por Weersink e Fulton (2020);

(c) Expansão do modelo teórico de Weersink e Fulton (2020) ao avaliar a influência da adoção de tecnologias sustentáveis sobre o valor bruto da produção do setor agropecuário brasileiro;

(d) Determinação dos fatores associados à adoção de tecnologias sustentáveis em um país em Desenvolvimento foi uma lacuna identificada na literatura e atendida com a presente tese. Outra lacuna preenchida foi a especificação do tipo de tecnologia empregada nas propriedades rurais (rotação de culturas, SPD, uso de fertilizantes e corretivos), ao invés de se avaliar apenas categorias de tecnologias como “*melhores práticas de gestão*” e “*práticas sustentáveis*”; e,

(e) Validação empírica da importância da participação dos produtores rurais em organizações coletivas para ter acesso à uma gama de serviços (assistência técnica e crédito) que podem auxiliar no desempenho econômico da propriedade rural.

A adoção de tecnologias sustentáveis foi desigual entre as regiões brasileiras no ano de 2017. Nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul concentraram-se a maior parte de microrregiões brasileiras com uma maior proporção de estabelecimentos agropecuários que fizeram uso de tecnologias sustentáveis no ano de 2017. Nas demais localidades que possuem baixa taxa de adoção de tais tecnologias (regiões Nordeste e Norte), foi possível propor políticas públicas (contribuições práticas) para incentivar a adoção de tecnologias sustentáveis:

(a) Incentivo à expansão do crédito rural em diferentes fontes (bancos, cooperativas de crédito e governos federal, estadual e/ou municipal) e modalidades (construção de poços artesianos, aquisição de máquinas e equipamentos produtivos, equipamentos de TIC, para os produtores rurais mais jovens e contratação de assistência técnica) nas regiões Nordeste e Norte;

(b) Incentivo à criação de cooperativas de produtores rurais nas regiões Nordeste e Norte;

(c) Incentivo à capacitação técnica dos produtores rurais e a promoção do serviço de assistência técnica de cooperativas nas regiões Nordeste e Norte;

(d) Incentivo à promoção de reuniões técnicas e seminários (para a difusão de informações sobre as tecnologias disponíveis no setor agropecuário) direcionados aos produtores rurais nas regiões Nordeste e Norte;



(e) Políticas educacionais direcionadas à população rural que não sabe ler e nem escrever, localizadas principalmente nas regiões Nordeste e Norte. Ressalta-se que tais políticas devem ter um direcionamento da capacitação técnica (conhecimento técnico para o gerenciamento produtivo e administrativo) dos produtores rurais; e,

(f) Ações que promovam a sucessão rural nos sistemas produtivos agropecuários em todas as regiões brasileiras.

A principal contribuição metodológica da presente pesquisa foi a utilização da Modelagem de Equações Estruturais com a base de dados do Censo Agropecuário de 2017 desenvolvido pelo IBGE. Por meio deste método foi possível realizar uma análise da complexidade do fenômeno do processo de adoção de tecnologia no setor agropecuário brasileiro. Esse método se torna pertinente para a avaliação de outros problemas complexos da sociedade brasileira, como a pobreza (Censo Demográfico) e outros problemas sociais que afetam as condições de vida das pessoas.

Uma das principais limitações da presente pesquisa foi a exclusão não intencional de algum fator que possa exercer a influência no processo de adoção de tecnologias sustentáveis no setor agropecuário brasileiro. O modelo teórico (Figura 4) pode ser expandido para a inclusão de novos fatores que possam influenciar o processo de aprendizagem dinâmica dos produtores rurais em adotar determinada tecnologia. Esse tipo de avaliação para um país em desenvolvimento, como o Brasil, se torna relevante para a promoção da segurança alimentar e nutricional e a conservação do solo nos sistemas produtivos agropecuários.

Além disso, outra limitação foi a não inclusão de outras tecnologias sustentáveis no modelo teórico (Figura 4) e que se encontram disponíveis na base de dados do Censo Agropecuário de 2017 como o plantio em nível, sistema de preparo do solo de cultivo mínimo, pousio ou descanso do solo, proteção e/ou conservação de encostas, recuperação de mata ciliar e reflorestamento para proteção de nascentes.

Outra limitação foi que a análise dos fatores associados à adoção de tecnologias sustentáveis levou em consideração todas as categorias de produtores rurais do país, os agricultores familiares e não familiares. Agricultores familiares enfrentam dificuldades devido a limitação de recursos financeiros para custear as atividades na propriedade e para a realização de investimentos, baixo nível de produtividade e limitação no tamanho da área destinada à produção agropecuária. Bem como em acessar os serviços de assistência técnica e crédito rural e dentre outros aspectos (VIEIRA FILHO *et al.*, 2013).

Essas dificuldades enfrentadas pelos agricultores familiares podem, de alguma maneira, influenciar o processo de adoção de tecnologia. Dessa forma, recomenda-se a realização de avaliação dos fatores associados à adoção de tecnologias sustentáveis entre as classes de produtores rurais no Brasil (familiares e não familiares). Existe escassez na literatura internacional de estudos que tratem do processo de adoção de tecnologia de diferentes perfis de produtores rurais, especialmente os que possuem baixo nível de produção (PANNELL e ZILBERMAN, 2020).

Outra recomendação é que seja feita avaliação dos fatores associados à adoção de tecnologias sustentáveis das regiões e unidades federativas brasileiras com a unidade de análise a nível municipal. Na presente pesquisa foi realizada uma avaliação nacional com a unidade de análise a nível de microrregião, o que pode não ter sido suficiente para captar todas as especificidades existentes ao longo do território nacional. Uma avaliação das regiões e unidades federativas pode contribuir para a elaboração de políticas públicas mais específicas aos contextos das localidades analisadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALLA, M.; ESPENBERG, M.; ZAVATTARO, L.; LELLEI-KOVACS, E.; MANDER, U.; SMITH, K.; THORMAN, R.; DAMATIRCA, C.; SCHILS, R.; TENBERGE, H.; NEWELL-PRICE, P.; SMITH, P. Does liming grasslands increase biomass productivity without causing detrimental impacts on net greenhouse gas emissions? **Environmental Pollution**, v. 300, p. 118999, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.118999>

ABEBE, G. K.; BIJMAN, J.; PASCUCCI, S.; OMTA, O. Adoption of improved potato varieties in Ethiopia: The role of agricultural knowledge and innovation system and smallholder farmers' quality assessment. **Agricultural Systems**, v. 122, p. 22-32, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.07.008>

ABPA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Relatório anual de 2022**. Disponível em: <https://abpa-br.org/relatorios/>. Acesso em 25 de janeiro de 2023.

ADHIKARI, T. B.; BASNYAT, R. C. Effect of crop rotation and cultivar resistance on bacterial wilt of tomato in Nepal. **Canadian Journal of Plant Pathology**, v. 20, n. 3, p. 283-287, 1998. Doi: <https://doi.org/10.1080/07060669809500394>

ADIKU, S. G. K.; NARH, S.; JONES, J. W.; LARYEA, K. B.; DOWUONA, G. N. Short-term effects of crop rotation, residue management, and soil water on carbon mineralization in a tropical cropping system. **Plant and Soil**, v. 311, p. 29-38, 2008. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9652-y>

ALVARENGA, R. C.; PASSOS, A. M. A.; COELHO, A. M.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; RESENDE, A. V.; GONTIJO NETO, M. M.; BORGHI, E. Manejo do solo com foco em sistemas integrados de produção. In: NOBRE, M. M.; OLIVEIRA, I. R. (Editores técnicos). **Agricultura de baixo carbono: tecnologias e estratégias de implantação** (pp. 33-60). Brasília: EMBRAPA, 2018.

ALVES, E.; SOUZA, G. S.; ROCHA, D. P. Lucratividade na agricultura. **Revista de Política Agrícola**, v. 21, n. 2, p. 45-63, 2012.

ALVES, E. Políticas agrícolas e extensão rural. **Revista de Política Agrícola**, v. 27, n. 3, p. 3-8, 2018.

AMORIM, L. D. A. F.; FIACCONE, R. L.; SANTOS, C. A. S. T.; MORAES, L. T. L. P.; OLIVEIRA, N. F.; OLIVEIRA, S. B.; SANTOS, T. N. L. **Modelagem com equações estruturais: princípios básicos e aplicações**. Salvador, UFBA, 2012. (Relatório de pesquisa)

ANDRADE, A. G.; FREITAS, P. L. Prevention of advancing degradation and recovery of degraded lands. In: VILELA, G. F.; BENTES, M. P. M.; OLIVEIRA, Y. M. M.; MARQUES, D. K. S.; SILVA, J. C. B. (Technical Editors). **Life on land: contributions of EMBRAPA** (pp. 61-70). Brasília: EMBRAPA, 2019.

ASHRAF, S.; KHAN, G. A.; ALI, S.; IFTIKHAR, M. Socio-economic determinants of the awareness and adoption of citrus production practices in Pakistan. **Ciência Rural**, v.

45, n. 9, p. 1701-1706, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20131227>

BAIDU-FORSON, J. Factors influencing adoption of land-enhancing technology in the Sahel: lessons from a case study in Niger. **Agricultural Economics**, v. 20, n. 3, p. 231-239, 1999. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.1999.tb00569.x>

BAUMHARDT, R. L.; JOHNSON, G. L.; SCHWARTZ, R. C. Residue and long-term tillage and crop rotation effects on simulated rain infiltration and sediment transport. **Soil Science Society of America Journal**, v. 76, n. 4, p. 1370-1378, 2012. Doi: <https://doi.org/10.2136/sssaj2011.0331>

BEILLOUIN, D.; BEN-ARI, T.; MALÉZIEUX, E.; SEUFERT, V.; MAKOWSKI, D. Positive but variable effects of crop diversification on biodiversity and ecosystem services. **Global Change Biology**, v. 27, n. 19, p. 4697-4710, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1111/gcb.15747>

BECKMANN, E.; SANTANA, A. C. Indicadores de modernização agrícola do estado de Mato Grosso. **Extensão Rural**, v. 24, n. 1, p. 100-119, 2017. Doi: <https://doi.org/10.5902/2318179622992>

BERNAL-HERNÁNDEZ, P.; RAMIREZ, M.; MOSQUERA-MONTOYA, M. Formal rules and its role in centralised-diffusion systems: a study of small-scale producers of oil palm in Colombia. **Journal of Rural Studies**, v. 83, p. 215-225, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2020.11.006>

BERTOL, I.; COGO, N. P.; BARBOSA, F. T.; SCHICK, J. Manejo e conservação do solo e da água no Brasil: retrospectiva e projeção para o futuro. In: LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; ARAÚJO, A. S. F. (Editores técnicos). **Agricultura conservacionista no Brasil** (pp. 43-68). Brasília: EMBRAPA, 2014.

BERTOLLO, A. M.; LEVIEN, R. Compactação do solo em sistema de plantio direto na palha. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 25, n. 3, p. 208-218, 2019. Doi: <https://doi.org/10.36812/pag.2019253208-218>

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 2010.

BESSANT, J. Getting the tail to wag: enabling innovation in small and medium-sized enterprises. In: GIBSON, D. V.; HEITOR, M. V.; IBARRA-YUNEZ, A. (Eds.). **Learning and Knowledge for the network society** (pp. 141-163). Indiana: Purdue University, 2005.

BIDO, D. S.; SILVA, D. SmartPLS 3: especificação, estimação, avaliação e relato. **Administração: Ensino e Pesquisa**, v. 20, n. 2, p. 488-536, 2019. Doi: <https://doi.org/10.13058/raep.2019.v20n2.1545>

BOLFE, E. L.; VICTÓRIA, D. C.; CONTINI, E.; BAYMA-SILVA, G.; SPINELLI-ARAÚJO, L.; GOMES, D. Matopiba em crescimento agrícola: aspectos territoriais e socioeconômicos. **Revista de Política Agrícola**, v. 25, n. 4, p. 38-62, 2016.

BORDOVSKY, J. P.; LYLE, W. M.; KEELING, J. W. Crop rotation and tillage effects

on soil water and cotton yield. **Agronomy Journal**, v. 86, n. 1, p. 1-6, 1994. Doi: <https://doi.org/10.2134/agronj1994.00021962008600010001x>

BOULANGER, P.; DUDU, H.; FERRARI, E.; MAINAR-CAUSAPÉ, A. J.; RAMOS, M. P. Effectiveness of fertilizer policy reforms to enhance food security in Kenya: a macro-micro simulation analysis. **Applied Economics**, v. 54, n. 8, p. 841-861, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1080/00036846.2020.1808180>

BRANDT, P.; YESUF, G.; HEROLD, M.; RUFINO, M. C. Intensification of dairy production can increase the GHG mitigation potential of the land use sector in East Africa. **Global Change Biology**, v. 26, n. 2, p. 568-585, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1111/gcb.14870>

BRANKOV, M.; SIMIĆ, M.; DRAGIČEVIĆ, V. The influence of maize-winter wheat rotation and pre-emergence herbicides on weeds and maize productivity. **Crop Protection**, v. 143, 105558, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105558>

BRASIL. **Lei número 11.326 de 24 de julho de 2006**. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2006/lei/111326.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/111326.htm). Acesso em: 18 de abril de 2023.

BROWN, P.; HART, G.; SMALL, B.; MUNGUIA, O. M. O. Agents for diffusion of agricultural innovations for environmental outcomes. **Land Use Policy**, v. 55, p. 318-326, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.04.017>

BROWN, P.; ROPER, S. Innovation and networks in New Zealand farming. **The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics**, v. 61, n. 3, p. 422-442, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1111/1467-8489.12211>

BUCCI, G.; BENTIVOGLIO, D.; FINCO, A. Factors affecting ict adoption in agriculture: a case study in Italy. **Calitatea**, v. 20, p. 122-129, 2019.

BULLOCK, D. G. Crop rotation. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 11, n. 4, p. 308-326, 1992. Doi: <https://doi.org/10.1080/07352689209382349>

CAMPOS, S. A. C.; PEREIRA, M. W. G.; TEIXEIRA, E. C. Trajetória de modernização da agropecuária mineira no período de 1996 a 2006. **Economia Aplicada**, v. 18, n. 4, p. 717-739, 2014. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1413-8050/ea115282>

CANALLI, L. B. S.; COSTA, G. V.; VOLSI, B.; LEOCÁDIO, A. L. M.; NEVES, C. S. V. J.; TELLES, T. S. Production and profitability of crop rotation systems in southern Brazil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 41, n. 6, p. 2541-2554, 2020. Doi: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2020v41n6p2541>

CARROLL, C.; HALPIN, M.; BURGER, P.; BELL, K.; SALLAWAY, M. M.; YULE, D. F. The effect of crop type, crop rotation, and tillage practice on runoff and soil loss on a vertisol in central Queensland. **Australian Journal of Soil Research**, v. 35, n. 4, p. 925-940, 1997. Doi: <https://doi.org/10.1071/S96017>

CARVALHO, D. M.; PRÉVOT, F.; MACHADO, J. A. D. O uso da teoria da visão baseada em recursos em propriedades rurais: uma revisão sistemática da literatura. **Revista de Administração**, v. 49, n. 3, p. 506-518, 2014. Doi: <https://doi.org/10.5700/rausp1164>

CARVALHO, J. L. N.; RAUCCI, G. S.; FRAZÃO, L. A.; CERRI, C. E. P.; BERNOUX, M.; CERRI, C. C. Crop-pasture rotation: a strategy to reduce soil greenhouse gas in the Brazilian Cerrado. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 183, p. 167-175, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.11.014>

CASTRO, C. N.; PEREIRA, C. N. **Estado e desenvolvimento rural**. Rio de Janeiro: IPEA, 2020. (Texto para discussão número 2564)

CEPEA – CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. **PIB do agronegócio brasileiro**. Disponível em: <https://cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>. Acesso em: 25 de janeiro de 2023.

CHANDRAN, K. M.; SURENDRAN, U. Effect on crop yield and perceptions of farmers on drip fertigation: study from Kerala state, India. **International Journal of Scientific Research**, v. 4, n. 10, 456-458, 2015. Doi: <https://doi.org/10.36106/ijsr>

CHAN, K. Y.; HEENAN, D. P. The influence of crop rotation on soil structure and soil physical properties under conventional tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 37, n. (2-3), p. 113-125, 1996. Doi: [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(96\)01008-2](https://doi.org/10.1016/0167-1987(96)01008-2)

CHAVAS, J. P.; NAUGES, C. Uncertainty, learning, and technology adoption in agriculture. **Applied Economics Perspectives and Policy**, v. 46, n. 1, p. 42-53, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1002/aapp.13003>

CHAVES, J. C. D. **Manejo do solo: adubação e calagem, antes e após a implantação da lavoura cafeeira**. Londrina: IAPAR, 2002.

CHEN, L.; REJESUS, R. M.; AGLASAN, S.; HAGEN, S.; SALAS, W. The impact of no-till on agricultural land values in the United States Midwest. **American Journal of Agricultural Economics**, p. 1-24, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1111/ajae.12338>

CHEN, L.; XIAOYING, L.; PENG, Y.; XIANG, P.; ZHOU, Y.; YAO, B.; ZHOU, Y.; SUN, C. Co-application of biochar and organic fertilizer promotes the yield and quality of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) by improving soil properties. **Chemosphere**, v. 294, 133619, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133619>

CHIN, W. W. The partial least squares approach for structural equation modeling. In: MARCOULIDES, G. A. (Ed.). **Modern methods for business research** (pp. 295-336). London: Lawrence Erlbaum Associates, 1998.

COHEN. J. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. New York: Psychology Press, 1988.

COLLIER, P. Social capital and poverty: a microeconomic perspective. In: GROOTAERT, C.; VAN BASTALAER, T. (Eds). **The role of social capital in**

**development** (pp. 19-41). New York: Cambridge University Press, 2002.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Série histórica das safras: grãos por produtos**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/itemlist/category/908-graos-por-produtos>. Acesso em: 25 de janeiro de 2023.

CONCEIÇÃO, J. C. P. R.; CONCEIÇÃO, P. H. Z. **Agricultura: evolução e importância para a balança comercial brasileira**. Brasília: IPEA, 2014. (Texto para discussão número 1944).

CONCEIÇÃO, J. C. P. R. **Principais conquistas do plano ABC e desafios do plano ABC+**. Brasília: IPEA, 2022. (Nota técnica número 36)

CONYERS, M. K.; MULLEN, C. L.; SCOTT, B. J.; POILE, G. J.; BRAYSHER, B. D. Long-term benefits of limestone applications to soil properties and to cereal crop yields in southern and central New South Wales. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 43, n. 1, p. 71-78, 2003. Doi: <https://doi.org/10.1071/EA01121>

CORRÊA, A. M. C. J.; FIGUEIREDO, N. M. S. Modernização da agricultura brasileira no início dos anos 2000: uma aplicação da Análise Fatorial. **Revista GEPEC**, v. 10, n. 2, p. 82-99, 2006. Doi: <https://doi.org/10.48075/igepec.v10i2.394>

COSTA, C. C. M.; REIS, P. R. C.; FERREIRA, M. A. M.; MOREIRA, N. C. Modernização agropecuária e desempenho relativo dos estados brasileiros. **Agroalimentaria**, v. 18, n. 34, p. 43-56, 2012.

D'SOUSA, G.; CYPHERS, D.; PHIPPS, T. Factors affecting the adoption sustainable agricultural practices. **Agricultural and Resources Economics Review**, v. 22, n. 2, p. 159-165, 1993. Doi: <https://doi.org/10.1017/S1068280500004743>

DEGANI, E.; LEIGH, S. G.; BARBER, H. M.; JONES, H. E.; LUKAC, M.; SUTTON, P.; POTTS, S. G. Crop rotations in a climate change scenario: short-term effects of crop diversity on resilience and ecosystem service provision under drought. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 285, 106625, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106625>

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FAGANELLO, A.; COGO, N. P. Agricultura conservacionista no Brasil: uma análise do conceito à adoção. In: LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; ARAÚJO, A. S. F. (Editores técnicos). **Agricultura conservacionista no Brasil** (pp. 23-41). Brasília: EMBRAPA, 2014.

DERPSCH, R.; FRIEDRICH, T.; KASSAM, A.; LI, H. Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 3, n. 1, p. 1-25, 2010. Doi: <https://doi.org/10.3965/j.issn.1934-6344.2010.01.0-0>

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: o que é e como evitar**. Brasília: EMBRAPA, 2017.

EJIGU, W.; SELASSIE, Y. G.; ELIAS, E. Integrated use of compost and lime enhances soil properties and wheat (*Triticum aestivum* L.) yield in acidic soils of Northwestern Ethiopia. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 12, n. 2, p. 193-207, 2023. Doi: <https://doi.org/10.30486/IJROWA.2022.1941048.1343>

EMONGOR, R. A.; KATUNGI, E.; USIDE, R. Factors affecting adoption of integrated soil fertility management technologies in Machakos and Bungoma Counties, Kenya. **East African Agricultural and Forestry Journal**, v. 87, n. (1-2), p. 17-24, 2023.

ENRIQUEZ-SANCHEZ, J.; MUNOZ-RODRIGUEZ, M.; ALTAMIRANO-CARDENAS, J. R.; GANTE, A. V. Activation process analysis of the localized agri-food system using social networks. **Czech Academy of Agricultural Sciences**, v. 63, p. 121-135, 2017. Doi: <https://doi.org/10.17221/254/2015-AGRICECON>

ERNANI, P. R.; RIBEIRO, M. F. S.; BAYER, C. Chemical modifications caused by liming below the limed layer in a predominantly variable charge acid soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 35, n. 5-6, p. 889-901, 2004. Doi: <https://doi.org/10.1081/CSS-120030365>

FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P.; TAKAMATSU, R. T.; SUZART, J. **Métodos quantitativos com Stata**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P. **Manual de análise de dados: estatística e modelagem multivariada com Excel<sup>®</sup>, SPSS<sup>®</sup> e Stata<sup>®</sup>**. São Paulo: Elsevier, 2017.

FERREIRA JUNIOR, S.; BAPTISTA, A. J. M. S.; LIMA, J. E. A modernização agropecuária nas mesorregiões do estado de Minas Gerais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 42, n. 1, p. 73-89, 2004. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-20032004000100004>

FILIPPINI, R.; MARESCOTTI, M. E.; DEMARTINI, E.; GAVIGLIO, A. Social networks as drivers for technology adoption: a study from a rural mountain area in Italy. **Sustainability**, v. 12, n. 22, p. 1-18, 2020. Doi: <https://doi.org/10.3390/su12229392>

FIRTH, A. G.; BROOKS, J. P.; LOCKE, M. A.; MORIN, D. J.; BROWN, A.; BAKER, B. H. Soil bacterial community dynamics in plots managed with cover crops and no-till farming in the Lower Mississippi Alluvial Valley, USA. **Journal of Applied Microbiology**, Ixac051, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1093/jambio/ixac051>

FOLONI, J. S. S.; SILVA, S. R.; ABATI, J.; OLIVEIRA JUNIOR, A.; CASTRO, C.; OLIVEIRA, F. A.; NOGUEIRA, M. A.; BASSOI, M. C. Yield of soybean-wheat succession in no-tillage system and soil chemical properties affected by liming, aluminum tolerance of wheat cultivars, and nitrogen fertilization. **Soil and Tillage Research**, v. 226, 105576, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105576>

FORNAZIER, A.; VIEIRA FILHO, J. E. R. **Heterogeneidade estrutural do setor agropecuário brasileiro: evidências a partir do Censo Agropecuário de 2006**. Rio de Janeiro: IPEA, 2012. (Texto para discussão número 1708)

FORNELL, C.; LARCKER, D. F. Evaluating structural equation models with



unobservable variables and measurement error. **Journal of Marketing Research**, v. 18, n. 1, p. 39-50, 1981. Doi: <https://doi.org/10.2307/3151312>

FORTINI, R. M. **Adoção de práticas agrícolas conservacionistas e eficiência produtiva na agricultura brasileira**. 2018. 136f. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018.

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; SACOMAN, A.; NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B. **Manejo do solo para redução das perdas de produtividade pela seca**. Londrina, EMBRAPA, 2009.

FRANCHINI, J. C.; COSTA, J. M.; DEBIASI, H.; TORRES, E. **Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná**. Londrina: EMBRAPA, 2011.

FREITAS, C. A.; PAZ, M. V.; NICOLA, D. S. Analisando a modernização da agropecuária gaúcha: uma aplicação de análise fatorial e cluster. **Análise Econômica**, v. 25, n. 47, p. 121-149, 2007. Doi: <https://doi.org/10.22456/2176-5456.10873>

FREITAS, R. E.; CASTRO, C. N. O Pronaf no Nordeste. In: VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. G. (Orgs.). **Uma jornada pelos contrastes do Brasil: cem anos do Censo Agropecuário** (pp. 311-322). Brasília: IPEA, 2020.

FUENTES-LLANILLO, R.; TELLES, T. S.; SOARES JUNIOR, D.; MELO, T. R.; FRIEDRICH, T.; KASSAM, A. Expansion of no-tillage practice in conservation agriculture Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 208, 104877, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104877>

GAGNON, B.; ZIADI, N. Forest-derived liming by-products: potential benefits to remediate soil acidity and increase soil fertility. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 6, p. 4788-4798, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1002/agj2.20421>

GAN, Y.; LIANG, C.; CHAI, Q.; LEMKE, R. L.; CAMPBELL, C. A.; ZENTNER, R. P. Improving farming practices reduces the carbon footprint of spring wheat production. **Nature Communications**, v. 5, 5012, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1038/ncomms6012>

GARNETT, T.; GODFRAY, C. J. H. **Sustainable intensification in agriculture: navigating a course through competing food systems priorities**. Oxford: Oxford Martin Programme on the Future of Food & Food Climate Research Network, 2012.

GARNETT, T.; APPLEBY, M. C.; BALMFORD, A.; BATEMAN, I. J.; BENTON, T. G.; BLOOMER, P.; BURLINGAME, B.; DAWKINS, M.; DOLAN, L.; FRASER, D.; HERRERO, M.; HOFFMANN, I.; SMITH, P.; THORNTON, P. K.; TOULMIN, C.; VERMEULEN, S. J.; GODFRAY, H. C. J. Sustainable intensification in agriculture: premisses and policies. **Science**, v. 341, n. 6141, p. 33-34, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1126/science.1234485>

GASQUES, J. G. Source of growth in Brazilian Agriculture: total factor productivity. **EuroChoices**, v. 16, n. 1, p. 24-25, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1111/1746-692X.12146>

GHADIM, A. K. A.; PANNELL, D. J. A conceptual framework of adoption of agricultural innovation. **Agricultural Economics**, v. 21, n. 2, p. 145-154, 1999. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0169-5150\(99\)00023-7](https://doi.org/10.1016/S0169-5150(99)00023-7)

GIUA, C.; MATERIA, V. C.; CAMANZI, L. Management information system adoption at the farm level: evidence from the literature. **British Food Journal**, v. 123, n. 3, p. 884-909, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1108/BFJ-05-2020-0420>

GONÇALVES, S. L.; GAUDENCIO, C. A.; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R.; GARCIA, A. **Rotação de culturas**. Londrina: EMBRAPA, 2007.

GRACIOLA, A. P. **Imagem de preço de loja no contexto *omni-channel* e a intenção de recompra**. 2019. 199f. Tese (Doutorado em Administração) – Universidade de Caixas do Sul, Caxias do Sul, 2019.

GRAZIANO DA SILVA, J. F. O progresso técnico na agricultura. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 7, n. (1/3), p. 13-46, 1990. Doi: <http://dx.doi.org/10.35977/0104-1096.cct1990.v7.9119>

GRILICHES, Z. Hybrid corn: na exploration in the economics of technological change. **Econometrica**, v. 25, n. 4, 501-522, 1957. Doi: <https://doi.org/10.2307/1905380>

GUO, X. W.; FERNANDO, W. G. D.; ENTZ, M. Effects of crop rotation and tillage on blackleg disease of canola. **Canadian Journal of Plant Pathology**, v. 27, n. 1, p. 53-57, 2005. Doi: <https://doi.org/10.1080/07060660509507193>

HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HAIR, J. F.; GABRIEL, M. L. D. S.; PATEL, V. K. Modelagem de equações estruturais baseada em covariância (CB-SEM) com Amos: orientações sobre a sua aplicação como ferramenta de pesquisa de Marketing. **Revista Brasileira de Marketing**, v. 13, n. 2, p. 44-55, 2014. Doi: <https://doi.org/10.5585/remark.v13i2.2718>

HAIR, J. F.; HULT, G. T. M.; RINGLE, C. M.; SARSTEDT, M. **A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM)**. Los Angeles: SAGE, 2017.

HAN, J.; SHI, J.; ZENG, L.; XU, J.; WU, L. Effects of nitrogen fertilization on the acidity and salinity of greenhouse soils. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, p. 2976-2986, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3542-z>

HARUNA, S. I.; ANDERSON, S. H. Influence of no-till cover crop management on soil thermal Properties. **Soil Research**, v. 60, n. 6, p. 580-589, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1071/SR21197>

HECKLER, J. C.; SALTON, J. C. **Palha: fundamento do sistema plantio direto**. Dourados: EMBRAPA, 2002.

HENDRIKSE, G.; FENG, L. Interfirm cooperatives. In: GRANDORI, A. (Ed.). **Handbook of Economic Organization: integrating economic and organization**

**theory.** (pp. 501-521). Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2013.

HENSELER, J.; HUBONA, G.; RAY, P. A. Using PLS path modeling in new technology research: updated guidelines. **Industrial Management & Data Systems**, v. 116, n. 1, 0. 2-20, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1108/IMDS-09-2015-0382>

HIJBEEK, R.; van LOOK, M. P.; OUARET, W.; BOEKELLO, B.; van ITTERSUM, M. K. Liming agricultural soils in Western Kenya: can long-term economic and environmental benefits pay off short term investments? **Agricultural Systems**, v. 190, 103095, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103095>

HIRAKURI, M. H.; DEBIASI, H.; PROCÓPIO, S. O.; FRANCHINI, J. C.; CASTRO, C. **Sistemas de produção: conceitos e definições no contexto agrícola.** Londrina: EMBRAPA, 2012.

HOLLAND, J. E.; BENNETT, A. E.; NEWTON, A. C.; WHITE, P. J.; MCKENZIE, B. M.; GEORGE, T. S.; PAKEMAN, R. J.; BAILEY, J. S.; FORNARA, D. A.; HAYES, R. C. Liming impacts on soils, crops and biodiversity in the UK: a review. **Science of The Total Environment**, v. 610-611, p. 316-332, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.020>

HOLLAND, J. E.; BEHRENDT, K. The economics of liming in arable crop rotations: analysis of the 35-year Rothamsted and Woburn liming experiments. **Soil Use and Management**, v. 37, n. 2, p. 342-352, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1111/sum.12682>

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário de 2006.** Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2006/segunda-apuracao>. Acesso em: 25 de julho de 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário de 2017.** Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>. Acesso em: 25 de julho de 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual do recenseador: CA – 1.09.** Rio de Janeiro: IBGE, 2017.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2017: resultados definitivos.** Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Pecuária Municipal.** Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/quadros/brasil/2021>. Acesso em: 5 de abril de 2023.

IRMAK, S.; KUKAL, M. S. Alteration in surface energy balance fluxes induced from long-term disk-tilled versus no-till management in maize production. **Soil & Tillage Research**, v. 221, 105383, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105383>

ISAAC, M. E. Agricultural information exchange and organizational ties: the effect of

network topology on managing agri diversity. **Agricultural Systems**, v. 109, p. 9-15, 2012. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.01.011>

ISGA – INTERNATIONAL SOYBEAN GROWERS ALLIANCE. **Manual de melhores práticas agrícolas, ano de 2010**. Disponível em: [http://www.aprosoja.com.br/storage/site/files/projetos/Manual\\_de\\_Melhores\\_Praticas\\_Agricolas.pdf](http://www.aprosoja.com.br/storage/site/files/projetos/Manual_de_Melhores_Praticas_Agricolas.pdf). Acesso em: 23 de novembro de 2022.

JENSEN, L. P.; PICOZZI, K.; ALMEIDA, O. C. M.; COSTA, M. J.; SPYCKERELLE, L.; ERSKINE, W. Social relationships impact adoption of agricultural technologies: the case of food crop varieties in Timor-Leste. **Food Security**, v. 6, p. 397-409, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12571-014-0345-5>

JONES-GARCIA, E.; KRISHNA, V. V. Farmer adoption of sustainable intensification Technologies in the maize systems of the Global South: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 41, n. 8, p. 1-20, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00658-9>

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, n. 1, p. 1-13, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.08.020>

KELLEY, K.; PREACHER, K. J. On effect size. **Psychological methods**, v. 17, n. 2, p. 137-152, 2012. Doi: <https://doi.org/10.1037/a0028086>

KHAREL, M.; RAUT, N.; DAHAL, B. M. An assessment of good agriculture practices for safe and sustainable vegetable production in mid-hills of Nepal. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 11, 100518, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100518>

KONSTADINOU, M.; HERRIER, G.; STOUTJESDIJK, T.; LOSMA, F.; ZWANENBURG, C.; DOBBE, R. Lime treatment: evaluation for use in dike applications in the Netherlands. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 35, n. 3, p. 1-17, 2023. Doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0004623](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0004623)

KNOWLER, D.; BRADSHAW, B. Farmers' adoption of conservation agriculture: a review and synthesis of recent research. **Food Policy**, v. 32, n. 1, p. 25-48, 2007. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2006.01.003>

KUMAR, A.; HAZRANA, J.; NEGI, D. S.; BIRTHAL, P. S.; TRIPATHI, G. Understanding the geographic pattern of diffusion of modern crop varieties in India: a multilevel modeling approach. **Food Security**, v. 13, p. 637-651, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12571-020-01114-y>

LÄPPLE, D.; RENWICK, A.; THORNE, F. Measuring and understanding the drivers of agricultural innovation: evidence from Ireland. **Food Policy**, v. 51, p. 1-8, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2014.11.003>

LAVORATO, M. P.; FERNANDES, E. A. Índice de modernização agrícola dos

municípios da Região Centro-Oeste do Brasil. **Revista de Economia do Centro-Oeste**, v. 2, n. 2, p. 2-18, 2016. Doi: <https://doi.org/10.5216/reoeste.v2i2.40571>

LEE, L.; PETTER, S.; FAYARD, D.; ROBINSON, S. On the use of partial least squares path modeling in accounting research. **International Journal of Accounting Information Systems**, v. 12, n. 4, p. 305-328, 2011. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.accinf.2011.05.002>

LEIB, B. G.; HATTENDORF, M.; ELLIOTT, T.; MATTHEWS, G. Adoption and adaptation os scientific irrigation scheduling: trends from Washington, USA as of 1998. **Agricultural Water Management**, v. 55, n. 2, p. 105-120, 2002. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(01\)00191-3](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(01)00191-3)

LEMOS, J. J. S. Níveis de degradação no Nordeste brasileiro. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 32, n. 3, p. 406-429, 2001.

LI, C.; HUNT, D.; KOENIG, K.; SMUKLER, S.; BITTMAN, S. Integrated farm management systems to improve nutrient management using semi-virtual farmlets: agronomic responses. **Environmental Research Communications**, v. 3, 075009, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1088/2515-7620/ac13c6>

LI, Y.; XU, J.; LIU, X.; LIU, B.; LIU, W.; JIAO, X.; ZHOU, J. Win-win for monosodium glutamate industry and paddy agriculture: replacing chemical nitrogen with liquid organic fertilizer from wasterwater mitigates reactive nitrogen losses while sustaining yields. **Journal of Cleaner Production**, v. 347, 131287, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131287>

LINQUIST, B. A.; PHENGSOUVANNA, V.; SENGXUE, P. Benefits of organic residues and chemical fertilizer to productivity of rain-fed lowland rice and to soil nutrient balances. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 79, n. 59-72, 2007. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10705-007-9095-5>

LLEWELLYN, R. S. Information quality and effectiveness for more rapid adoption decisions by farmers. **Field Crops Research**, v. 104, n. 1-3, p. 148-156, 2007. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2007.03.022>

LLEWELLYN, R. S.; BROWN, B. Predicting adoption of innovations by farmers: what is different in smallholder agriculture? **Applied Economics Perspectives and Policy**, v. 42, n. 1, p. 100-112, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1002/aep.13012>

LOBÃO, M. S. P.; CORRÊA, A. S.; WENNINGKAMP, K. R.; SHIKIDA, P. F. A.; ALENCAR, J. J. Modernização agrícola do Paraná. **Revista de Política Agrícola**, v. 25, n. 3, p. 21-35, 2016.

LOBÃO, M. S. P.; STADUTO, J. A. R. Modernização agrícola na Amazônia brasileira. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 58, n. 2, e188276, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2020.182276>

LONG, R. P.; BAILEY, S. W.; HORSLEY, S. B.; HALL, T. J. Thirty-year effects of liming on soil and foliage chemistry and growth of northern hardwoods in

Pennsylvania, USA. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 52, n. 4, p. 539-552, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1139/cjfr-2021-0246>

LOPES, M. A. O futuro da gestão de riscos na agropecuária. **Revista de Política Agrícola**, v. 26, n. 3, p. 3-7, 2017.

MACEDO, M. C. M.; ARAÚJO, A. R. Sistemas de integração lavoura-pecuária: alternativas para recuperação de pastagens degradadas. In: BUNGENSTAB, D. J. (Editor técnico). **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável** (pp.28-48). Brasília: EMBRAPA, 2012.

MADEIRA, S. A.; KHAN, A. S.; SOUSA, E. P.; BARROS, F. L. A. Análise da modernização agrícola cearense no período de 1996 a 2006. **Geosul**, v. 34, n. 72, p. 307-334, 2019. Doi: <http://doi.org/10.5007/1982-5153.2019v34n72p307>

MADEIRA, M. A.; RUSSINI, A.; VARGAS, R. R.; FARIAS, M. S., SCHLOSSER, J. F.; HERZOG, D. Adoção de tecnologias agrícolas em propriedades rurais na fronteira oeste do Rio Grande do Sul. **Revista Tecnológica**, v. 26, n. 1, p. 109-117, 2022. Doi: <https://doi.org/10.17058/tecnolog.v26i1.17114>

MANSFIELD, E. Technical change and the rate of imitation. **Econometrica**, v. 29, n. 4, p. 741-766, 1961. Doi: <https://doi.org/10.2307/1911817>

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Agrostat – Estatísticas do Comércio Exterior do Agronegócio Brasileiro**. Disponível em: de <http://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm>. Acesso em: 25 de janeiro de 2023.

MAPBIOMAS. **Mapa mural do Brasil – 2021**. Disponível em: <https://mapbiomas.org/mapa-mural>. Acesso em: 26 de janeiro de 2023.

MARRA, M.; PANNELL, D. J.; GHADIM, A. A. The economics of risk, uncertainty and learning in the adoption of new agricultural Technologies: where are we on the learning curve? **Agricultural Systems**, v. 75, n. (2-3), p. 215-234, 2003. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(02\)00066-5](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00066-5)

McDANIEL, M. D.; GRANDY, A. S.; TIEMANN, L. K.; WEINTRAUB, M. N. Crop rotation complexity regulates the decomposition of high and low quality residues. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 78, p. 243-254, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.07.027>

MELLO, I.; LAURENT, F.; KASSAM, A.; MARQUES, G. F.; OKAWA, C. M. P.; MONTE, K. Benefits of conservation agricultura in watershed management: participatory governance to improve the quality of no-till systems in the Paraná 3 watershed, Brazil. **Agronomy**, v. 11, n. 12, 2455, 2021. Doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy11122455>

MELLO, S. C.; TONHATI, R.; DURVAL NETO, D.; DARAPUNENI, M.; PAVULURI, K. Response of tomato to polyhalite as a multi-nutrient fertilizer in southeast Brazil. **Journal of Plant Nutrition**, v. 41, n. 16, p. 2126-2140, 2018. Doi:

<https://doi.org/10.1080/01904167.2018.1497178>

MERTEN, G. H.; ARAÚJO, A. G.; BISCAIA, R. C. M.; BARBOSA, G. M. C.; CONTE, O. No-till surface runoff and soil losses in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 152, p. 85-93, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.03.014>

MOHAMED, K. S.; TEMU, A. E. Access to credit and its effect on the adoption of agricultural Technologies: the case of Zanzibar. **African Review of Money Finance and Banking**, p. 45-89, 2008.

MONTEIRO, V. P.; PINHEIRO, J. C. Critério para implantação de tecnologias de suprimentos de água potável em municípios cearenses afetados pelo alto teor de sal. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 42, n. 02, p. 365-387, 2004. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-20032004000200009>

MUBVUMBA, P.; DELAUNE, P. B.; HONS, F. M. Enhancing long-term no-till wheat systems with cover crops and flash grazing. **Soil Secutity**, v. 8, 100067, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2022.100067>

MULLEN, C. L.; SCOTT, B. J.; EVANS, C. M.; CONYERS, M. K. Effect of soil acidity and liming on lucerne and following crops in central-western New South Wales. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 46, n. 10, p. 1291-1300, 2006. Doi: <https://doi.org/10.1071/EA04042>

MULWA, C. K.; MUYANGA, M.; VISSER, M. The role of large traders in driving sustainable agricultural intensification in smallholder farms: evidence from Kenya. **Agricultural Economics**, v. 52, n. 2, p. 329-341, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1111/agec.12621>

MUNER, L. H.; LANI, J. A.; GOMES, J. A.; SALGADO, J. S.; DARÉ, J. C. **Calagem: saiba fazer e colha muitos benefícios**. Vitória: INCAPER, 2007.

MUNGUIA, O. M. O.; LLEWELLYN, R. The adopters versus the technology: which matters more when predicting or explaining adoption? **Applied Economics Perspectives and Policy**, v. 42, n. 1, p. 80-91, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1002/aepp.13007>

MWANGI, M.; KARIUKI, S. Factors determining adoption of new agricultural technology by smallholder farmers in developing countries. **Journal of Economics and Sustainable Development**, v. 6, n. 5, p. 208-217, 2015.

NANKYA, R.; MULUMBA, J. W.; CARACCILO, F.; RAIMONDO, M.; SCHIAVELLO, F.; GOTOR, E.; KIKULWE, E.; JARVIS, D. I. Yield perceptions, determinants and adoption impact of farm varietal mixtures for common bean and banana in Uganda. **Sustainability**, v. 9, n. 8, p. 1-15, 2017. Doi: <https://doi.org/10.3390/su9081321>

NASCIMENTO, J. C. H. B.; MACEDO, M. A. S. Modelagem de Equações Estruturais com mínimos quadrados parciais: um exemplo da aplicação do SmartPLS® em pesquisas em Contabilidade. **Revista de Educação e Pesquisa em Contabilidade**, v.

10, n. 3, p. 289-313, 2016. Doi: <http://dx.doi.org/10.17524/repec.v10i3.1376>

NASERELDIN, Y. A.; CHANDIO, A. A.; OSEWE, M.; ABDULLAH, M.; JI, Y. The credit accessibility and adoption of new agricultural inputs nexus: assessing the role of financial institutions in Sudan. **Sustainability**, v. 15, n. 2, 1297, 2023. Doi: <https://doi.org/10.3390/su15021297>

NATALE, W.; PRADO, R. M.; ROZANE, D. E.; ROMUALDO, L. M. Efeitos da calagem na fertilidade do solo e na nutrição e produtividade da goiabeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1475-1485, 2007. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000600024>

N'DAYEGAMIYE, A.; NYIRANEZA, J.; GRENIER, M.; BIPFUBUSA, M.; DRAPEAU, A. The benefits of crop rotation including cereals and green manures on potato yield and nitrogen nutrition and soil properties. **Advances in Crops Science and Technology**, v. 5, n. 3, p. 1-13, 2017. Doi: <https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000279>

NEVES, J. A. B. **Modelo de equações estruturais: uma introdução aplicada**. Brasília: ENAP, 2018.

NGAIWI, M. E.; MOLUA, E. L.; SONWA, D. J.; MELIKO, M. O.; BOMDZELE, E. J.; AYUK, J. E.; CASTRO-NUNES, J.; LATALA, M. M. Do farmers' socioeconomic status determine the adoption of conservation agriculture? An empirical evidence from Eastern and Southern regions of Cameroon. **Scientific African**, v. 19, e01498, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2022.e01498>

NICHOLS, D. P. My coeficiente a is negative! **SPSS Keywords**, n. 68, 1999.

NORTH, D. C. Institutions. **Journal of Economic Perspectives**, v. 5, n. 1, p. 97-112, 1991.

NORTON, G. W.; ALWANG, J. Changes in agricultural extension and implications for farmer adoption of new practices. **Applied Economics Perspectives and Policy**, v. 42, n. 1, p. 8-20, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1002/aepp.13008>

OFSTEHAGE, A.; NEHRING, R. No-till agriculture and the deception of sustainability in Brazil. **International Journal of Agricultural Sustainability**, v. 19, n. (3-4), p. 335-348, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1080/14735903.2021.1910419>

OLIVEIRA, I. R.; GONTIJO NETO, M. M.; NOBRE, M. M. Mudanças climáticas e a agricultura de baixa emissão de carbono. In: NOBRE, M. M.; OLIVEIRA, I. R. (Editores técnicos). **Agricultura de baixo carbono: tecnologias e estratégias de implantação** (pp. 10-32). Brasília: EMBRAPA, 2018.

OLSSON, L.; BARBOSA, H.; BHADWAL, S.; COWIE, A.; DELUSCA, K.; FLORES-RENTERIA, D.; HERMANS, K.; JOBBAGY, E.; KURZ, W.; LI, D.; SONWA, D. J.; STRINGER, L. Land degradation. In: SHUKLA, P. R.; SKEA, J.; BUENDIA, E. C.; MASSON-DELMOTTE, V.; PÖRTNER, H. O.; ROBERTS, D. C.; ZHAI, P.; SLADE, R.; CONNORS, S.; van DIEMEN, R.; FERRAT, M.; HAUGHEY, E.; LUZ, S.; NEOGI, S.; PATHAK, M.; PETZOLD, J.; PEREIRA, J. P.; VYAS, P.; HUNTLEY, E.; KISSICK,



K.; BELKACEMI, M.; MALLEY, J. **Climate change and land: na IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems** (pp. 345-436). Geneva: IPCC, 2019.

OSO, S. O.; OGUNYEMI, A. I. Analysis of factors influencing the adoption of improved cassava production technology in Ekiti state, Nigeria. **International Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources**, v. 1, n. 3, p. 40-44, 2014.

OTIENO, S. J.; RITHO, C. N.; NZUMA, J. M.; MURIITHI, B. W. Determinants of adoption and dis-adoption of integrated pest management practices in the suppression of mango fruit fly infestation: evidence from Embu county, Kenya. **Sustainability**, v. 15, n. 3, 1891, 2023. Doi: <https://doi.org/10.3390/su15031891>

OYETUNDE-USMAN, Z. Heterogenous factors of adoption of agricultural technologies in West and East Africa Countries: a review. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 6, 761498, 2022. Doi: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.761498>

PALA, M.; RYAN, J.; ZHANG, H.; SINGH, M.; HARRIS, H. C. Water-use efficiency of wheat-based rotation systems in a Mediterranean environment. **Agricultural Water Management**, v. 93, n. 3, p. 136-144, 2007. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.07.001>

PANNELL, D. J.; MARSHALL, G. R.; BARR, N.; CURTIS, A.; VANCLAY, F.; WILKINSON, R. Understanding and promoting adoption of conservation practices by rural landholders. **Australian Journal International Agriculture**, v. 46, n. 11, p. 1407-1424, 2006. Doi: <https://doi.org/10.1071/EA05037>

PANNELL, D. J.; CLAASSEN, R. The roles of adoption and behavior change in agricultural policy. **Applied Economic Perspectives and Policy**, v. 46, n. 11, p. 31-41, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1002/aep.13009>

PANNELL, D. J.; ZILBERMAN, D. Understanding adoption of innovations and behavior change to improve agricultural policy. **Applied Economic Perspectives and Policy**, v. 46, n. 11, p. 3-7, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1002/aep.13013>

PASSOS, A. M. A.; ALVARENGA, R. C.; SANTOS, F. C. Sistema de plantio direto. In: NOBRE, M. M.; OLIVEIRA, I. R. (Editores técnicos). **Agricultura de baixo carbono: tecnologias e estratégias de implantação** (pp. 61-104). Brasília: EMBRAPA, 2018.

PATHAK, H. S.; BROWN, P.; BEST, T. A systematic literature review of the factors affecting the precision agriculture adoption process. **Precision Agriculture**, v. 20, p. 1292-1316, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11119-019-09653-x>

PEREIRA, M. W. G.; TEIXEIRA, E. C.; LIMA, J. E. Adoção sequencial de tecnologia pós-colheita aplicada à cafeicultura em Viçosa (MG). **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 47, n. 2, p. 381-404, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0103-20032010000200006>

PEREIRA, A. S.; BIGÓIS, L.; OLIVEIRA, J. B. **Modelagem de equação estrutural:**

**uma análise com o SMARTPLS 2.0 M3®.** Passo Fundo: UPF: 2019. (Texto para discussão número 07 de 2019).

PEREIRA, C. N.; CASTRO, C. N. **Assistência técnica na agricultura brasileira: uma análise sobre a origem da orientação técnica por meio do Censo Agropecuário de 2017.** Rio de Janeiro: IPEA, 2021. (Textos para discussão número 2704)

PETRY, J. F.; SEBASTIÃO, S. A.; MARTINS, E. G.; BARROS, P. B. A. Inovação e difusão de tecnologia na agricultura de várzea na Amazônia. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 23, n. 5, p. 619-635, 2019. Doi: <http://doi.org/10.1590/1982-7849rac2019190024>

PINTO, N. G. M.; CORONEL, D. A. Modernização agrícola do Rio Grande do Sul: um estudo nos municípios e mesorregiões. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, v. 36, n. 128, p. 167-182, 2015.

POPP, J.; PETÓ, K.; NAGY, J. Pesticide productivity and food security. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 33, p. 243-255, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1007/s13593-012-0105-x>

PRETTY, J.; TOULMIN, C.; WILLIAMS, S. Sustainable intensification in African agriculture. **International Journal of Agricultural Sustainability**, v. 9, n. 1, p. 5-24, 2011. Doi: <https://doi.org/10.3763/ijas.2010.0583>

PRETTY, J.; BRARUCHA, Z. P. Sustainable intensification in agricultural systems. **Annals of Botany**, v. 114, n. 8, p. 1571-1596, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1093/aob/mcu205>

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico.** Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

RAMOS, F. T.; DORES, E. F. G. C.; WEBER, O. L. S.; BEBER, D. C.; CAMPELO JUNIOR, J. H.; MAIA, J. C. S. Soil organic matter doubles the cation exchange capacity of tropical soil under no-till farming in Brazil. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, n. 9, p. 3595-3602, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.8881>

REBELLO, F. K.; SANTOS, M. A. S.; HOMMA, A. K. O. Modernização da agricultura do nordeste paraense: determinantes e hierarquização no ano de 2006. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 9, n. 2, p. 209-232, 2011. Doi: <https://doi.org/10.25070/rea.v9i2.184>

REETZ, H. F. **Fertilizantes e o seu uso eficiente.** São Paulo, ANDA, 2017.

REYNA, E. F.; BRAGA, M. J.; MORAIS, G. A. S. Impactos do uso de agrotóxicos sobre a eficiência técnica na agricultura brasileira. In: VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. G. (Orgs.). **Uma jornada pelos contrastes do Brasil: cem anos do Censo Agropecuário** (pp. 173-187). Brasília: IPEA, 2020.

RINGLE, C. M.; SILVA, D.; BIDO, D. Modelagem de equações estruturais com utilização do Smartpls. **Revista Brasileira de Marketing**, v. 13, n. 2, p. 56-73, 2014.

Doi: <https://doi.org/10.5585/remark.v13i2.2717>

ROGERS, E. M. **Diffusion of innovations**. New York: The Free Press, 2003.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: EMBRAPA, 2020. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento número 35)

ROY, D.; DATTA, A.; JAT, H. S.; CHOUDHARY, M.; SHARMA, P. C.; SINGH, P. K.; JAT, M. L. Impact of long term conservation agriculture on soil quality under cereal based systems of North West India. **Geoderma**, v. 405, 115391, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115391>

RURANGWA, E.; VANLAUWE, B.; GILLER, K. E. Benefits of inoculation, P fertilizer and manure on yields of common bean and soybean also increase yield of subsequent maize. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 261, p. 219-229, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.08.015>

SADIGOV, T. Adoption of agricultural innovation in Azerbaijan: no prospects for modernization. **Caucasus Survey**, v. 6, n. 1, p. 42-61. Doi: <https://doi.org/10.1080/23761199.2017.1402570>

SALIK, M. H.; TANWIR, F.; SABOOR, A.; AKRAM, M. B.; ANJUM, F.; MEHDI, M.; ASHRAF, I.; NAAZER, M. A.; SULEMAN, M.; LATIF, M.; AHMAD, M. S.; YASMIN, S.; ASGHAR, K. Role of radio communication and adoption of modern agricultural technology: a study of farmers in district Jhang, Punjab-Pakistan. **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, v. 58, n. 2, p. 731-738, 2021. Doi: <https://doi.org/10.21162/PAKJAS/21.1101>

SANCHES, G. M.; MAGALHÃES, P. S. G.; KOLLN, O. T.; OTTO, R.; RODRIGUES, F.; CARDOSO, T. F.; CHAGAS, M. F.; FRANCO, H. C. J. Agronomic, economic, and environmental assessment of site-specific fertilizer management of Brazilian sugarcane fields. **Geoderma Regional**, v. 24, e00360, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2021.e00360>

SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; ACOSTA, A. S.; CARVALHO, O. S. **Princípios básicos de consorciação de culturas**. Passo Fundo: EMBRAPA, 2007.

SANTOS, G. R.; VIEIRA FILHO, J. E. R. **Heterogeneidade produtiva na agricultura brasileira: elementos estruturais e dinâmicos da trajetória produtiva recente**. Brasília: IPEA, 2012. (Texto para discussão número 1740).

SANTOS, C. A. P.; SANO, E. E.; SANTOS, P. S. Formação do índice de modernização da fronteira agrícola – oeste da Bahia. **Geo UERJ**, n. 32, p. 1-17, 2018. Doi: <http://dx.doi.org/10.12957/geouerj.2018.25526>

SANTOS, L. O.; CAMPOS, K. C. Modernização da agropecuária dos municípios do estado do Ceará. **Economia & Região**, v. 9, n. 2, p. 115-130, 2021. Doi: <http://dx.doi.org/10.5433/2317-627X.2021v9n2p115>

SARWAR, G.; SCHMEISKY, H.; HUSSAIN, N.; MUHAMMAD, S.; IBRAHIM, M.; SAFDAR, E. Improvement of soil physical and chemical properties with compost application in rice-wheat cropping system. **Pakistan Journal of Botany**, v. 40, n. 1, p. 275-282, 2008.

SENEVIRATNE, G.; HOLM, L. H. J. V.; EKANAYAKE, E. M. H. G. S. Agronomic benefits of rhizobial inoculant use over nitrogen fertilizer application in tropical soybean. **Field Crops Research**, v. 68, n.3, p. 199-203, 2000. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(00\)00123-4](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(00)00123-4)

SEREBRENNIKOV, D.; THORNE, F.; KALLAS, Z.; McCARTHY, S. N. Factors influencing adoption of sustainable farming practices in Europe: a systematic review of empirical literature. **Sustainability**, v. 12, n. 22, 9719, 2020. Doi: <https://doi.org/10.3390/su12229719>

SIQUEIRA, T. T. S.; GALLIANO, D.; NGUYEN, G.; BÁNKUTI, F. I. Organizations forms and agri-environmental practices: the case of Brazilian dairy farms. **Sustainability**, v. 13, n. 7, p. 1-19, 2021. Doi: <https://doi.org/10.3390/su13073762>

SILVA, R. F. R. **Determinantes da intenção de consumo de insetos comestíveis**. 2018. 120f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2018.

SOMASUNDARAM, J.; SINHA, N. K.; DALAL, R. C.; LAL, R.; MOHANTY, M.; NAOREM, A. K.; HATI, K. M.; CHAUDHARY, R. S.; BISWAS, A. K.; PATRA, A. K.; CHAUDHARI, S. K. No-till farming and conservation agriculture in south Asia – issues, challenges, prospects and benefits. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 39, n. 3, p. 1-44, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1080/07352689.2020.1782069>

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Correção da acidez do solo. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Editores técnicos). **Cerrado: correção do solo e adubação** (pp. 81-96). Brasília: EMBRAPA, 2004.

SOUZA, A. C.; ALEXANDRE, N. M. C.; GUIRARDELLO, E. B. Propriedades psicométricas na avaliação de instrumentos: avaliação da confiabilidade e da validade. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 26, n. 3, p. 647-657, 2017. Doi: <http://dx.doi.org/10.5123/S1679-49742017000300022>

SOUZA, P. M.; FORNAZIER, A.; SILVA, A. M.; PONCIANO, N. J. Tecnologia na agricultura brasileira: uma análise das desigualdades para os segmentos familiar e não familiar. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 49, n. 3, p. 147-169, 2018.

SOUZA FILHO, H. M.; BUAINAIN, A. M.; SILVEIRA, J. M. F. J.; VINHOLIS, M. M. B. Condicionantes da adoção de inovações tecnológicas na agricultura. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 28, n. 1, p. 223-255, 2011. Doi: <http://dx.doi.org/10.35977/0104-1096.cct2011.v28.12041>

SOUZA FILHO, H. M.; VINHOLIS, M. M. B. Desenvolvimento agrícola sustentável. In: BATALHA, M. O. (Coord.). **Gestão Agroindustrial** (pp. 367-400). São Paulo: Atlas, 2021.

STUCHI, J. F. **Políticas públicas e governança ambiental para a construção do Plano Nacional de Gestão Sustentável do Solo e da Água no Brasil**. 2022. 615f. Tese (Doctorado en Recursos Naturales Y Gestión Sostenible) – Universidad d Córdoba, Córdoba, 2022.

SUNDING, D.; ZILBERMAN, D. The agricultural innovation process: research and technology adoption in a changing agricultural sector. In: GARDNER, B. L.; RAUSSER, G. L. (Editors). **Handbook of agricultural economics: agricultural production** (pp. 208-258). New York: Elsevier Science, 2001.

TADESSE, M. Fertilizer adoption, credit access, and safety nets in rural Ethiopia. **Agricultural Finance Review**, v. 74, n. 3, p. 290-310, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1108/AFR-09-2012-0049>

TANG, C.; RENGEL, Z.; DIATLOFF, E.; GAZEY, C. Responses of wheat and barley to liming on a sandy soil with subsoil acidity. **Field Crops Research**, v. 80, n. 3, p. 235-244, 2003. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(02\)00192-2](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(02)00192-2)

TCU - TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. **Levantamento: governança de solos não urbanos**. Disponível em: <https://portal.tcu.gov.br/biblioteca-digital/levantamento-em-governanca-de-solos-em-areas-nao-urbanas.htm>. Acesso em: 26 de janeiro de 2023. (Documento elaborado em 22 de julho de 2015)

TEIXEIRA, J. C. Modernização da agricultura no Brasil: impactos econômicos, sociais e ambientais. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros**, v. 2, n. 2, p. 21-42, 2005.

TELLES, R. A efetividade da “matriz de amarração” de Mazzon nas pesquisas em Administração. **Revista de Administração**, v. 36, n. 4, p. 64-72, 2001.

TELLES, T. S. **Conservação dos solos e preços de terras agrícolas no Brasil**. 2015. 155f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Econômico) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.

TELLES, T. S.; REYDON, B. P.; MAIA, A. G. Effects of no-tillage on agricultural land values in Brazil. **Land Use Policy**, v. 76, p. 124-129, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.04.053>

TELLES, T. S.; VIEIRA FILHO, J. E. R.; RIGHETTO, A. J.; RIBEIRO, M. R. **Desenvolvimento da agricultura de baixo carbono no Brasil**. Rio de Janeiro: IPEA, 2021. (Texto para discussão número 2638)

TESFAY, M. G.; MORAL, M. T. The impact of participation in rural credit program on adoption of inorganic fertilizer: a panel data evidence from Northern Ethiopia. **Cogent Food & Agriculture**, v. 7, n.1, 1919388, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1080/23311932.2021.1919388>

TEY, Y. S.; BRINDAL, M. Factors influencing the adoption of precision agricultural Technologies: a review for policy implications. **Precision Agriculture**, v. 13, n. 6, p.

713-730, 2012. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9273-6>

TIGRE, P. B. **Gestão da inovação: a economia da tecnologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

UGOCHUKWU, A. I.; PHILLIPS, P. W. B. Technology adoption by agricultural producers: a review of the literature. In: KALAITZANDONAKES, N.; CARAYANNIS, E. G.; GRIGOROUDIS, E.; ROZAKIS, S. (Editors). **From agriscience to agribusiness: theories, policies and practices in technology transfer and commercialization** (pp. 361-377). Washington: Springer, 2018.

van GRINSVEN, H. J. M.; EBANYAT, P.; GLENDINING, M.; GU, B.; HIJBEEK, R.; LAM, S. K.; LASSALETTA, L.; MUELLER, N. D.; PACHECO, F. S.; QUEMADA, M.; BRUULSEMA, T. W.; JACOBSEN, B. H.; BERGE, H. F. M. Establishing long-term nitrogen response of global cereals to assess sustainable fertilizer rates. **Nature Food**, v. 3, p. 122-132, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1038/s43016-022-00475-1>

VAN DER VEEN, M. Agricultural innovation: invention and adoption or change and adaptation? **World Archaeology**, v. 42, n. 1, p. 1-12, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1080/00438240903429649>

VIEIRA FILHO, J. E. R.; SILVEIRA, J. M. F. J. Modelo evolucionário de aprendizado agrícola. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 10, n. 2, p. 265-300, 2011. Doi: <https://doi.org/10.20396/rbi.v10i2.8649017>

VIEIRA FILHO, J. E. R.; SANTOS, G. R.; FORNAZIER, A. **Distribuição produtiva e tecnológica da agricultura brasileira e sua heterogeneidade estrutural**. Brasília: IPEA, 2013. (Texto para discussão CEPAL-IPEA número 54)

VIEIRA FILHO, J. E. R.; FISHLOW, A. **Agricultura e indústria no Brasil: inovação e competitividade**. Brasília: IPEA, 2017.

VILELA, L.; SOUSA, D. M. G.; MARTHA JÚNIOR, G. B. Calagem. In: MARTHA JÚNIOR, G. B.; VILELA, L.; SOUSA, D. M. G. (Editores técnicos). **Cerrado: uso eficiente de corretivos e fertilizantes em pastagens** (pp. 93-106). Planaltina: EMBRAPA, 2007.

VOLSI, B.; HIGASHI, G. E.; BORDIN, I.; TELLES, T. S. The diversification of species in crop rotation increases the profitability of grain production systems. **Scientific Reports**, v. 12, 19849, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-23718-4>

WAIREGI, L. W. I.; ASTEN, P. J. A. V. The agronomic and economic benefits of fertilizer and mulch use in highland banana systems in Uganda. **Agricultural Systems**, v. 103, n. 8, p. 543-550, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.06.002>

WANG, H.; ZHANG, X.; YU, X.; HOU, H.; FANG, Y.; MA, Y.; ZHANG, G. Maize-potato rotation maintains soil water balance and improves productivity. **Agronomy Journal**, v. 113, n. 1, p. 645-656, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1002/agj2.20434>

WANG, Y.; ZHISHENG, Y.; ZHAN, Y.; ZHENG, X.; ZHOU, M.; YAN, G.; WANG, L.; WERNER, C.; BUTTERBACH-BAHL, K. Potential benefits of liming to acid soils on climate change mitigation and food security. **Global Change Biology**, v. 27, n. 12, p. 2807-2821, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1111/gcb.15607>

WEIDHUNER, A.; ZANDVAKILI, O. R.; KRAUSZ, R.; CRITTENDEN, S. J.; DENG, M.; HUNTER, D.; SADEGHPOUR, A. Continuous no-till decreased soil nitrous oxide emissions during corn years after 48 and 50 years in a poorly-drained Alfisol. **Science of the Total Environment**, v. 838, 156296, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156296>

WEERSINK, A.; FULTON, M. Limits to profit maximization as a guide to behavior change. **Applied Economics Perspectives and Policy**, v. 42, n. 1, p. 1-13, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1002/aapp.13004>

WETCHASIT, P.; LILAVANICHAKUL, A. Durian farmer adoption of smart farming technology: a case study of Chumphon province. **Journal of Food Science and Agricultural Technology**, v. 7, Special Issue, p. 8-13, 2023.

WOSSEN, T., BERGER, T., & FALCO, S. D. (2015). Social capital, risk preference and adoption of improved farm land management practices in Ethiopia. **Agricultural Economics**, v. 46, n. 1, p. 81-97, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1111/agec.12142>

WRIGHT, P. J.; FALLOON, R. E.; HEDDERLEY, D. Different vegetable crop rotations affect soil microbial communities and soilborne diseases of potato and onion: literature review and a long-term field evaluation. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, v. 43, n. 2, p. 85-110, 2014. Doi: <https://doi.org/10.1080/01140671.2014.979839>

YANG, C.; FAN, Z.; CHAI, Q. Agronomic and economic benefits of pea/maize intercropping systems in relation to N fertilizer and maize density. **Agronomy**, v. 8, n. 4, 52, 2018. Doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy8040052>

YANG, Q.; ZHU, Y.; WANG, J. Adoption of drip fertigation system and technical efficiency of cherry tomato farmers in Southern China. **Journal of Cleaner Production**, v. 275, 123980, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123980>

YANG, Q.; ZHU, Y.; WANG, F. Exploring mediating factors between agricultural training and farmers' adoption of drip fertigation system: evidence from banana farmers in China. **Water**, v. 13, n. 10, 1364, 2021. Doi: <https://doi.org/10.3390/w13101364>

YANG, W.; QI, J.; LU, Y.; TANTIWAT, W.; GUO, J.; ARIF, M. Factors affecting farmers' adoption of and willingness to pay for biodegradable mulch films in China. **Sustainability Analytics and Modeling**, v. 2, 100016, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.samod.2023.100016>

YASEEN, M.; THAPA, N.; VISETNOI, S.; ALI, S.; SAQIB, S. E. Factors determining the farmers' decision for adoption and non-adoption of oil palm cultivation in Northeast Thailand. **Sustainability**, v. 15, n. 2, 1595, 2023. Doi: <https://doi.org/10.3390/su15021595>

YIN, C.; JONES, K. L.; PETERSON, D. E.; GARRETT, K. A.; HULBERT, S. H.; PAULITZ, T. C. Members of soil bacterial communities sensitive to tillage and crop rotation. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, n. 12, p. 2111-2118, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.08.006>

YOKOYAMA, A. H.; ZUCARELI, C.; COELHO, A. E.; NOGUEIRA, M. A.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A. A. Precrops and N-fertilizer impacts on soybean performance in tropical regions of Brazil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 44, e54650, 2022. Doi: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v44i1.54650>

YU, T.; MAHE, L.; LI, Y.; WEI, X.; DENG, X.; ZHANG, D. Benefits of crop rotation on climate resilience and its prospects in China. **Agronomy**, v. 12, n. 436, p. 1-18, 2022. Doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy12020436>

ZAKARIA, A.; AZUMAH, S. B.; APPIAH-TWUMASI, M.; DAGUNGA, G. Adoption of climate-smart agricultural practices among farm households in Ghana: the role of farmer participation in training programmes. **Technology in Society**, v. 63, e101338, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101338>

ZELLER, M.; DIAGNE, A.; MATAYA, C. Market access by smallholder farmers in Malawi: implications for technology adoption, agricultural productivity and crop income. **Agricultural Economics**, v. 19, n. (1-2), p. 219-229, 1998. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0169-5150\(98\)00027-9](https://doi.org/10.1016/S0169-5150(98)00027-9)

ZHAI, L.; WANG, Z.; ZHAI, Y.; ZHANG, L.; ZHENG, M.; YAO, H.; LV, L.; SHEN, H.; ZHANG, J.; YAO, Y.; JIA, X. Partial substitution of chemical fertilizer by organic fertilizer benefits grain yield, water use efficiency, and economic return of summer maize. **Soil and Tillage Research**, v. 217, 105287, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105287>

ZHUANG, M.; ZHANG, J.; KONG, Z.; FLEMING, R. M.; ZHANG, C.; ZHANG, Z. Potential environmental benefits of substituting nitrogen and phosphorus fertilizer with usable crop straw in China during 2000-2017. **Journal of Cleaner Production**, v. 267, 122125, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122125>

ZONTA, J. H.; SOFIATTI, V.; COSTA, A. G. F.; SILVA, O. R. R. F.; BEZERRA, J. R. C.; SILVA, C. A. D.; BELTRÃO, N. E. M.; ALVES, I.; CORDEIRO JÚNIOR, A. F.; CARTAXO, W. V.; RAMOS, E. N.; OLIVEIRA, M. C.; CUNHA, D. S.; MOTA, M. O. S.; SOARES, A. N.; BARBOSA, H. F. **Práticas de conservação de solo e água**. Campina Grande: EMBRAPA, 2012.