

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO E DESENVOLVIMENTO

**TECNOLOGIA NA PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA FAMILIAR:
UMA ANÁLISE ESPACIAL PARA O NORDESTE**

DANILO NUNES BALDUINO GUEDES

RECIFE, JULHO/2024

DANILO NUNES BALDUINO GUEDES

**TECNOLOGIA NA PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA FAMILIAR:
UMA ANÁLISE ESPACIAL PARA O NORDESTE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Administração e Desenvolvimento da Universidade Federal Rural de Pernambuco (PPAD/UFRPE), como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Administração.

Linha de pesquisa : *Políticas públicas e desenvolvimento e sustentabilidade*

Orientador (a): Professor Diego Firmino Costa da Silva, *DSc*

RECIFE, JULHO/2024

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO E DESENVOLVIMENTO

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE DEFESA DE
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

DANILO NUNES BALDUINO GUEDES

***TECNOLOGIA NA PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA FAMILIAR: UMA ANÁLISE
ESPACIAL PARA O NORDESTE***

A comissão examinadora, composta pelos professores abaixo, sob a presidência do primeiro, considera o candidato **DANILO NUNES BALDUINO GUEDES** APROVADO em **12/08/2024**.

Orientador: Diego Firmino Costa da Silva

Prof. Dr. Diego Firmino Costa da Silva
Programa de Pós-Graduação em Administração e Desenvolvimento
Universidade Federal Rural de Pernambuco
(Presidente)

Banca examinadora:

Prof. Dr. André de Souza Melo
Programa de Pós-Graduação em Administração e Desenvolvimento
Universidade Federal Rural de Pernambuco
(Membro Interno)

Prof. Dr. Igor Ézio Maciel Silva
Programa de Pós-Graduação em Economia
Universidade Federal do Rio Grande do Norte
(Membro Externo)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

G924t Guedes, Danilo Nunes Balduino
Tecnologia na produtividade agrícola familiar: uma análise espacial para o Nordeste / Danilo Nunes Balduino Guedes. – Recife, 2024.
56 f.

Orientador: Diego Firmino Costa da Silva.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, de Pós-Graduação em Administração e Desenvolvimento, Recife, BR-PE, 2024.
Inclui bibliografia.

1. Tecnologia 2. Agricultura familiar 3. Análise fatorial
4. Análise de componentes principais 5. Dados geoespaciais
I. Silva, Diego Firmino Costa da, orient. II. Título

CDD 338.1

Especialmente para minha avó Socorro (*in memoriam*) e meu avô Antônio (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Eu diria que a parte mais difícil de escrever este trabalho foi esta seção. Sim, porque agradecer é um ato de reconhecimento e reconhecer é mostrar a alguém o quanto ela é/foi importante na sua vida. Mas a dificuldade dita não reside aí, mas sim no fato do risco iminente de esquecer - afinal, são tantas pessoas-, personagens importantes. Então, peço perdão de antemão caso omita algum nome, mas saiba que você é/foi muito importante para mim.

Agradeço a Deus pelo dom da vida; a gana de viver. Por ter me dado inteligência, sabedoria e resiliência. Inteligência por ter a capacidade cognitiva para aprender e compartilhar conhecimento; sabedoria por ter tido ao longo da minha vida discernimento em fazer escolhas sempre respeitando os meus princípios e acolhendo as diferenças do meu irmão; resiliência para me reerguer em momentos de dificuldades, onde a esperança, muitas vezes, estava bem longe na linha do horizonte. Obrigado, Jesus e toda a espiritualidade amiga por estarem comigo em todos os momentos.

Sou muito grato aos meus pais por terem me garantido o acesso à educação. Educação que transforma e liberta do obscurantismo da ignorância. Obrigado aos demais parentes que me ajudaram nesse momento tão importante da minha trajetória acadêmica; cada gesto e palavra de ânimo foram molas propulsoras para que eu pudesse entender que estava no caminho certo. Quero de maneira muito especial agradecer aos meus avós Antônio e Socorro que não estão mais aqui, mas que, certamente, estão no plano espiritual muito felizes com a conquista na subida de mais um degrau.

E o que seria de nós sem os amigos? Muito obrigado aos amigos do meu círculo mais próximo pelos momentos de diversão; aos amigos que conheci pelos caminhos por onde passei; aos amigos do mestrado que me acolheram e pelos momentos que juntos construímos nas horas de estudos e debates. Quero dirigir um agradecimento muitíssimo especial a Denis Fernandes e Maria Larissa que foram duas pessoas (ousou, sem medo de errar, que foram frutos da providência divina) fundamentais para a realização deste trabalho; desejo a vocês tudo de melhor que esta vida pode oferecer.

Agradeço a todos os professores que passaram pela minha vida: do ensino básico, médio e superior. Todos foram capazes de impactar e mudar a minha existência. Obrigado a todos os docentes do PPAD pelos momentos incríveis de aprendizado, que, neste momento, serão representados pelo meu orientador Prof. Dr. Diego Firmino. Meus sinceros agradecimentos aos professores. Dr. Igor Ézio e Dr. André Melo pelo tempo dedicado à leitura do meu trabalho e pelas riquíssimas contribuições.

Existe uma equipe imensa que trabalha arduamente para que o PPAD possa acontecer. Docentes, discentes, técnicos administrativos, pessoal do apoio, pessoal da manutenção dos aparelhos das salas, etc. Quero, neste momento, em nome da querida Maurícea, agradecer a todos da equipe do apoio operacional. Quero que vocês saibam que, se hoje eu me torno mestre em Administração e Desenvolvimento, foi porque vocês contribuíram de maneira direta. Muito obrigado e que Deus abençoe vocês, sempre.

Com muito orgulho posso dizer que toda minha trajetória na educação dos anos iniciais até os anos finais foi dentro de uma escola pública. Também como muito orgulho digo que minha primeira graduação foi possível por conta do PROUNI. Minha segunda graduação na UFPE através de políticas públicas de cotas. E, finalmente (e não acabará por aqui!), o mestrado na UFRPE. Viva à educação pública de qualidade, às políticas públicas que incluem aqueles que estão à margem da sociedade, às universidades públicas e institutos federais, ao povo brasileiro que, com os pagamentos dos seus impostos, possibilitam a mudança na vida de muita gente.

Por fim, mas não menos importante, quero agradecer a todos os agricultores familiares de todo Brasil e, em específico, do Nordeste pelo trabalho que realizam todos os dias em suas propriedades plantando não apenas culturas, mas também esperança de dias melhores para suas famílias, as dos outros e para o desenvolvimento econômico da nossa nação. Vocês são muito importantes e desejo que um dia o trabalho de vocês seja reconhecido com a mesma intensidade da força de trabalho que vocês empreendem.

“Então, a nossa boca se encheu de riso, e a nossa língua, de cânticos; então, se dizia entre as nações: grandes coisas fez o Senhor a estes. Grandes coisas fez o Senhor por nós, e, por isso, estamos alegres.”

Salmos 126:2-3

“Meu pai, quando encontrava um problema na roça, se deitava sobre a terra com o ouvido voltado para seu interior, para decidir o que usar, o que fazer, onde avançar, onde recuar. Como um médico à procura do coração.”

Torto Arado

RESUMO

O objetivo principal deste trabalho é conhecer os fatores comuns existentes entre os agricultores familiares através de variáveis que captam tecnologia agrícola, conhecer a relação espacial existente utilizando o fator que represente a produtividade e ordenar os municípios em nível de tecnologia no Nordeste. Para tal, foi utilizada a análise fatorial para extração dos fatores comuns, seguida da análise exploratória de dados espaciais global e LISA e, por fim, proceder com o ranqueamento dos municípios utilizando o método min-máx. Os dados utilizados foram extraídos do Censo Agropecuário 2017. Na análise fatorial, foram encontrados 8 fatores que, juntos, explicam 83,3% da variabilidade. Na AEDE global foram encontrados vários padrões do tipo alto-alto, enquanto na AEDE LISA foram encontrados poucos padrões do tipo alto-alto e vários do tipo baixo-baixo. No *ranking*, no IMN foi identificado 8,01% de municípios do tipo alto, 27,12% do tipo médio e 64,87% do tipo baixo. Conclui-se que o NE carece de mais políticas públicas que deem acesso ao crédito aos agricultores familiares para que possam investir em tecnologia em suas propriedades.

Palavras-chave: *Tecnologia. Agricultura familiar. Análise Fatorial por Componentes Principais. Análise Exploratória de Dados Espaciais.*

ABSTRACT

The main objective of this study is to identify the common factors among family farmers through variables that capture agricultural technology, to identify the spatial relationship using the factor that represents productivity, and to order the municipalities according to their level of technology in the Northeast. To this end, factor analysis was used to extract the common factors, followed by exploratory analysis of global spatial data and LISA, and finally, to rank the municipalities using the min-max method. The data used were extracted from the 2017 Agricultural Census. In the factor analysis, 8 factors were found that, together, explain 83.3% of the variability. In the global AEDE, several high-high patterns were found, while in the LISA AEDE, few high-high patterns and several low-low patterns were found. In the ranking, in the IMN, 8.01% of municipalities were identified as high, 27.12% as medium, and 64.87% as low. It is concluded that the NE lacks more public policies that give access to credit to family farmers so that they can invest in technology on their properties.

Keywords: Technology. Family farming. Factor Analysis by Principal Components. Exploratory Analysis of Spatial Data.

SUMÁRIO

1 Introdução	11
2 Revisão de literatura	15
2.1 O uso da tecnologia na agricultura	15
2.2 Relação existente entre o uso da tecnologia e o desenvolvimento rural	17
2.3 Aplicabilidade de índices tecnológicos na agricultura	19
3 Procedimentos metodológicos	21
3.1 Base de dados	21
3.2 Análise fatorial por componentes principais	25
3.3 Análise exploratória de dados espaciais	27
3.4 Índice bruto e normalizado de modernização	30
4 Resultados e discussão	31
4.1 Análise fatorial por componentes principais	31
4.2 Análise exploratória de dados espaciais	39
4.3 Índice de modernização normalizado	44
5 Conclusão	46
Referências	47

1 Introdução

A agricultura familiar no Brasil esteve ligada, historicamente, às necessidades de abastecimento alimentar da população e passou de um setor de subsistência a uma importante atividade derivada do agronegócio que hoje tem relevância não apenas do ponto de vista de geração de receita, mas também do potencial de desenvolvimento regional rural (Bittencourt, 2020).

Muito embora o cultivo de culturas seja praticado desde tempos remotos por famílias, a expressão agricultura familiar teve seu marco inicial, enquanto movimento político, a partir da assinatura do Tratado de Assunção, que deu origem ao Mercosul em 1991, bem como aos movimentos sindicais liderados pela Confederação Nacional dos Trabalhadores na Agricultura (CONTAG) e Central Única dos trabalhadores (CUT), que fundou a Federação dos Trabalhadores na Agricultura Familiar (FETRAF) (Navarro, 2010).

Dessa forma, para conceituar a AF é utilizado o texto da Lei nº 11.326/2006 que estabelece alguns parâmetros que define o que é agricultor familiar. Assim, agricultor familiar é todo aquele que realize práticas agrícolas no meio rural e que atendam a quatro critérios simultaneamente: utilize mão de obra predominantemente da própria família, que a família seja responsável por dirigir a propriedade, que a renda familiar seja derivada da produção rural do estabelecimento e ter uma área de quatro módulos fiscais (cada módulo fiscal é uma medida determinada por cada município) (Brasil, 2023).

A tecnologia na agricultura tem um caráter multidimensional que vai de adubos até a mais sofisticada máquina utilizada na colheita de culturas. No entanto, no segmento agrícola o uso de tecnologia pode ser destinado a duas grandes áreas da agricultura: a moderna e a tradicional. No âmbito moderno, refere-se às empresas agrícolas, grandes produtores que tem fácil acesso ao crédito, maquinário de ponta, orientação técnica personalizada e alto volume de produtividade; já na tradicional, diz respeito ao pequeno produtor que, na maioria das vezes, planta para subsistência e/ou vende em poucas quantidades quando comparado ao primeiro grupo (Viana, 2020). O uso de tecnologia agrícola faz com que haja grande produtividade nesse setor e, por consequência, geração de empregos diretos e indiretos, desenvolvimento socioeconômico não apenas no meio rural, mas também em áreas urbanas, evita o fluxo histórico do êxodo rural (Borba *et al*, 2023).

A tecnologia na agricultura familiar pode ser de diversas formas. Alguns estudos, no entanto, mostram alguns casos do uso ferramental tecnológico. De acordo com Cunha (2022), o uso tecnologia TICs contribuem de forma benéfica para esse público e diz que já em 2007 o uso de telefones móveis era utilizado por 88,53% dos agricultores familiares de Santa Maria, no Rio Grande do Sul.

A questão tecnológica é uma realidade e pode estar cada vez mais próxima do agricultor familiar, mas existem AF que não tem acesso ou não sabe operar de maneira adequada. Dessa maneira, a produtividade dos agricultores familiares não aumenta e, por consequência, tornam-se estruturas não competitivas. No entanto, o correto uso do ferramental tecnológico traz aos produtores um melhor rendimento da terra, que pode vir através da capacitação dos agricultores ministrada por meio da Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER) (Batalha; Buainain; Filho, 2005; Buainain; Garcia, 2013; Lima; Silva; Iwata, 2019). A tecnologia é uma ferramenta que, quando bem utilizada, promove mais desenvolvimento regional, mais autonomia ao produtor e mais cidadania, o que pode ser visto no estudo de Bittencourt (2020) que diz para que haja desenvolvimento rural é necessário que as alternativas tecnológicas estejam disponíveis aos produtores.

Um estudo realizado por Filho, Campos e Lembros (2023) procurou mensurar o nível tecnológico das unidades agrícolas familiares no Nordeste bem com realizar uma análise espacial. De acordo com os resultados, no que diz respeito à análise de *cluster* utilizada, foram definidos dois clusters, chamados de “menos tecnológico (*cluster 1*)” e “mais tecnológico (*cluster 2*)” e foi evidenciado a predominância do primeiro cluster, ou seja, 56,63%. Um estudo de Cardoso *et al* (2020) traz a importância de estudos espaciais para entender como os fenômenos acontecem de modo que padrões específicos podem ser observados e, com isso, propor mudanças de comportamentos e fomentação de políticas públicas, além da possibilidade de interdisciplinaridade entre as ciências.

A questão norteadora deste trabalho é conhecer os fatores comuns existentes entre os agricultores familiares através de variáveis que captam tecnologia agrícola, conhecer a relação espacial existente utilizando o fator que represente a produtividade e ordenar os municípios em nível de tecnologia no Nordeste. Neste sentido, o objetivo geral deste trabalho é encontrar fatores que reúnam variáveis semelhantes, proceder uma análise exploratória de dados espaciais utilizando o

fator que represente a produtividade dos agricultores familiares e ranquear os municípios do Nordeste em nível tecnológico. Para atingir o que é esperado, podem-se elencar os seguintes objetivos específicos: 1) Realizar uma análise fatorial com os dados levantados cujo objetivo é a extração dos fatores comuns para utilização na análise espacial; 2) Proceder com uma análise exploratória de dados espaciais para identificação das relações espaciais existentes em relação entre a produtividade e à tecnologia empregada nos estabelecimentos rurais familiares; 3) Ranquear, a partir do índice de tecnologia utilizado, os municípios do Nordeste em ordem decrescente de grau tecnológico.

Diante do exposto, este trabalho pretende contribuir no sentido de apontar padrões de como a tecnologia utilizada nos estabelecimentos agrícolas familiares no Nordeste se comporta em termos de influência de produtividade, indicar sobre os novos usos de recursos tecnológicos que estão sendo discutidos na literatura e não consta no Censo Agropecuário mais recente. Além disso, pretende-se contribuir evidenciando possíveis *clusters* espaciais tecnológicos e apontar suas possíveis causas criando margem para discussão de novos padrões na agricultura familiar no Nordeste que servirão para fomentação de novas ou readequação de políticas públicas e ranquear os municípios em nível de produtividade. Assim, o diferencial deste estudo consiste em realizar uma análise LISA a fim de identificar padrões espaciais do tipo alto-alto e baixo-baixo. O estudo utilizou as variáveis em relação à área explorada (AE) e equivalente homem (EH) e se faz necessário esse uso para identificar a intensidade e diminuir as disparidades entre os municípios quanto ao tamanho das áreas (Dias; Campos, 2022). Além disso, este estudo considera vinte e seis variáveis, o que traz mais acuracidade em relação à tecnologia utilizada.

A agricultura familiar por muito tempo foi vista como um setor sem importância do ponto de vista de capacidade de produção e econômico; os produtores não eram considerados suficientemente aptos para competirem com grandes produtores do agronegócio, o que trouxe um olhar subestimado sobre essa classe (CONTRAF, 2023). No entanto, a agricultura familiar representa uma área de 80,9 milhões de hectares e, baseado no Censo Agropecuário 2017, do total de propriedades rurais no país, 77% é classificado como agricultura familiar, ou seja, mais de 3,8 milhões de estabelecimentos. Um setor econômico que empregou, em 2017, 10 milhões de pessoas, correspondendo a 67% de pessoas ocupadas do setor agropecuário e

responsável por 40% da população economicamente ativa (Bruno, 2016; EMBRAPA, 2023).

A relevância do estudo da agricultura familiar pode ser corroborada com a aprovação da Década de Agricultura Familiar, entre 2019 e 2028, deliberada pela ONU, confirmando o papel da AF no combate à fome e à pobreza, à insegurança alimentar e nutricional, proteção dos recursos naturais e desenvolvimento sustentável (Marques; Marchetti, 2021). Além disso a AF no NE vem crescendo mesmo diante das dificuldades climáticas (Aquino; Alves; Vidal, 2020). Um estudo de Aquino, Alves e Vidal (2020) mostra a importância econômica do segmento, que foi responsável por produzir R\$ 15,8 bilhões, ou seja, 30% da riqueza agropecuária regional. Outro estudo de Aquino *et al* (2020) reforça o papel social nos estados do NE, sendo responsável pela movimentação da economia e desenvolvimento socioeconômico.

Embora a expressão tecnologia, sobretudo na agricultura familiar, tenha um caráter multidimensional e amplo, este trabalho irá tratar sobre as tecnologias que dizem respeito à mecanização (energia elétrica, tratores, semeadeiras, plantadeiras e colheitadeiras), físico-químicas (adubo, calcário, corretivos no solo e agrotóxicos) e agronômicas (orientação técnica, irrigação, pessoal ocupado e área explorada) (Lima; Campos; Alves, 2022).

2 Revisão de literatura

2.1 O uso de tecnologia na agricultura

O termo Revolução Verde começou em 1940 e consiste em utilizar de tecnologia no sentido de melhoramentos genéticos nos grãos, uso de fertilizantes químicos, uso de maquinário pesado para colheita e menos procedimentos manuais, pesticidas e herbicidas e novos métodos de irrigação (Ameen; Raza, 2017). Para atingir os objetivos propostos por essa revolução, seria necessária uma mudança por parte dos agentes envolvidos e, principalmente, da parte técnica. Alguns países, ainda na década de 90, tinham grandes disparidades no que diz respeito às tecnologias que eram utilizadas (Silva *et al*, 2020).

Mas os padrões comportamentais da humanidade trouxeram ao meio ambiente danos irreversíveis que causam fortes impactos em diversos setores, inclusive na agricultura. Segundo o estudo de Procópio (2023), no Brasil, o aumento médio da temperatura reduziu o nível de produtividade das culturas de arroz, cana-de-açúcar, feijão, milho e soja, além de ter ocasionado na proliferação de pragas, doenças e plantas daninhas. A conservação do solo na atividade agropecuária precisa ser impulsionada por tecnologias que proporcionem a redução da erosão do solo. Portanto, rotação de culturas, sistema de plantio direto e uso de fertilizantes e corretivos no solo são tecnologias que ajudam a mitigar esse processo de destruição.

A agricultura brasileira tem aumentado sua estrutura tecnológica e expandindo cada vez mais o uso nas culturas, trazendo mais eficiência e produtividade na hora da colheita (Banchi *et al*, 2019). Um estudo realizado por Machado *et al* (2018) traz o uso da mecanização da colheita do tomate correlacionando o bom estado do maquinário e faz uma análise do fruto colhido do ponto de vista físico-químico, firmeza, acidez titulável, teor de sólidos solúveis, pH, perda de massa e classificação do fruto proposta pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento.

No entanto, o uso de tecnologia não se restringe apenas à questão mecânica, físico-química e agrônômica. Outros ferramentais que estão sendo utilizados, mas ainda não foram apreciados pelo Censo Agropecuário 2017 merecem atenção por parte do poder público para que se tenha uma ideia de uma nova agricultura e possível formulação de políticas públicas. Os recursos tecnológicos causam forte

impacto em agricultores em países em desenvolvimento, pois são introduzidos recursos que aumentam a produtividade da terra. Então, a agricultura entra no circuito de produção industrial no que diz respeito ao consumo de insumos e arcabouço tecnológico (Peterman; Behrman; Quisumbing, 2014; Andrade *et al*, 2020). O uso de drones, por exemplo, pode realizar um mapeamento preciso da área cultivada e realizar registros importantes, tais quais: verificação de foco de pragas, mapeamento do solo, captar registros que podem ser úteis para projeções de produtividade entre outros benefícios (Oliveira *et al*, 2020). De acordo com Klerkx, Jakku e Labarthe (2019), a digitalização agrícola compreende, entre outras coisas, recursos tecnológicos como *big data*, internet das coisas, robótica, sensores, impressões em 3D, inteligência artificial e *blockchain*. É a capacidade de mudar radicalmente a vida cotidiana das pessoas e, principalmente, o modo de produção agrícola. Ainda segundo os autores, essas ferramentas digitais são usadas para traçar tendências e tomar decisões mais acuradas.

Ainda sobre essa revolução tecnológica que ganhou expressividade no meio agrícola, está a internet das coisas, ou *Internet of things* (IoT), que tem a possibilidade de monitorar de forma remota grandes operações, rastrear bens, grandes ativos e identificar pragas nas plantações. Além disso, é possível encontrar o uso de tecnologia de comunicação, inteligência artificial (IA) e informação na nuvem muito próximo do universo da agricultura dentro desse contexto de revolução no setor agrícola para uma melhor gestão (Massruhá; Leite, 2017; Kerras, 2022; Lioutas *et al*, 2019). A IA foi recentemente utilizada na agricultura do leste africano como forma de resolver os problemas causados pela mudança climática, o que traz para o agricultor mais informações; no Quênia, essa tecnologia possibilitou que os agricultores quenianos pudessem ter mais acesso ao crédito, mercado e insumos (Foster *et al*, 2023).

Porém, nem todos têm acesso a esse aparato tecnológico parcial ou totalmente, seja por questões políticas, financeiras ou conhecimento. Um estudo realizado por Sharma e Singh (2015) traz um *overview* de como a questão tecnológica era enfrentada na Índia naquela ocasião. Os autores concluíram que era necessária uma melhor estrutura institucional e melhores políticas públicas para que os pequenos agricultores pudessem ter acesso à melhor tecnologia agrícola moderna. Esse desafio não é apenas uma questão externa, pois segundo Filho,

Buainain e Guanziroli (2004), o ambiente da agricultura familiar no Brasil é bastante heterogêneo, ou seja, existem produtores que vão de muito pobres a produtores com alto nível de competitividade.

Mesmo com toda essa popularização da tecnologia, o Nordeste brasileiro não vivenciou toda essa revolução como a região Centro-Sul do Brasil. Então, a agricultura no país, em especial a do Nordeste, sofreu grandes discrepâncias tornando a região mais atrasada do ponto de vista de produtividade baseado em tecnologia em relação às demais regiões (Pereira, 2020). De acordo com Trindade, Pereira e Vian (2021) a questão tecnológica agrícola, principalmente no Nordeste, é marcada por uma heterogeneidade que é a gênese de um processo de exclusão e desigualdades, deixando, dessa maneira, produtores sem acesso para melhorar seus processos produtivos.

2.2 Relação existente entre o uso da tecnologia e o desenvolvimento rural

Outro papel de fundamental importância é a questão da assistência técnica e extensão rural (ATER), que é uma política cujo objetivo é melhorar o desempenho dos agricultores e é dada pelo poder público através de agentes devidamente cadastrados e treinados. Um estudo realizado por Fialho, Neto e Oliveira (2022) trouxe como a assistência técnica era prestada no estado de Pernambuco a partir do Censo Agropecuário 2017. Verificou-se que existe uma heterogeneidade das instituições que prestam o serviço de ATER, mas que ainda o setor público é a principal fonte. Também foi observado que os estabelecimentos agropecuários liderados por homens tiveram mais acesso a assessoramento. Outro aspecto importante é o baixo acesso que os agricultores tiveram acesso às informações técnicas por meio da internet. Sablayrolles e Azevedo (2022) corroboram o estudo anterior onde o estado da Bahia é o cenário do trabalho e diz que há uma carência da assistência técnica e que merece maior atenção do poder público na aplicação dessa política pública tão relevante para o desenvolvimento.

O uso de tecnologia da informação traz a possibilidade de transformação entre os agentes envolvidos no meio agrícola. Uma demonstração, de maneira introdutória, do quanto a tecnologia pode ajudar no desenvolvimento no âmbito rural pode ser vista nos trabalhos de Misaki *et al* (2018) e Antony *et al* (2020) que dizem que o suporte informacional dado ao produtor combinado com dados do tempo pode informar o tempo ideal para usar fungicidas em plantações de batatas e que o uso

de telefonia móvel tem potencial em melhorar a segurança alimentar e reduzir a pobreza na África Subsaariana. Outro estudo que evidencia a relação entre tecnologia e desenvolvimento rural é o trabalho realizado por Ahammed e Taufiq (2008) que traz uma experiência de energia fotovoltaica nas zonas rurais de Bangladesh. Segundo o estudo, esse tipo de eletrificação pode aumentar a renda dos agricultores, bem como elevar o padrão de vida dos pobres que vivem e trabalham nas zonas rurais, diminuindo, dessa forma, as desigualdades sociais, promoção da participação direta das mulheres e redução de custos. O trabalho realizado por Yang-Yang, Tie-Hui e Wei (2022), feito com 1449 pequenos proprietários em 14 províncias da China teve por objetivo explorar o impacto do uso da *internet* na aquisição de produtos agrícolas tecnológicos. A pesquisa chegou à conclusão que o uso da *internet* pode promover de maneira significativa a adoção de outras tecnologias pelos pequenos agricultores e, com essa adoção, é possível que haja um aumento no número e variedades de culturas, redução de custos com irrigação e, portanto, maior qualidade de vida para a população rural.

É imperativo afirmar que para a garantia de um desenvolvimento rural efetivo é necessário que os responsáveis pela formulação de políticas públicas direcionem os recursos tecnológicos disponíveis de maneira adequada assegurando, dessa maneira, que diversos recursos estejam à disposição de acordo com o perfil de cada produtor. Assim, o objetivo não é desencorajar os formuladores dessas políticas diante da grande complexidade, mas sim promover o acesso de maneira democrática. Alguns aspectos estruturais são considerados no momento da formulação como área, por exemplo, no entanto, outros aspectos devem ser levados em conta, a exemplo dos recursos humanos (Tripp, 2001).

Silva e Montebello (2020), diz que as tecnologias sociais¹ vêm ganhando projeção e têm sido uma poderosa ferramenta de desenvolvimento. O objetivo dos autores era verificar o papel que essas tecnologias tinham para a Associação de Produtores em Agroecologia na promoção do desenvolvimento rural no semiárido. Como conclusão, eles entenderam que as tecnologias sociais foram de extrema

¹ Segundo Silva e Montebello (2020), tecnologias sociais são técnicas desenvolvidas pelos próprios agricultores, através do próprio conhecimento empírico e utilizando os recursos disponíveis na localidade, a fim de mitigar problemas. Tem custo baixo e fácil aplicação, bem como um grande poder de adaptabilidade.

relevância na vida dos produtores e para o fortalecimento da agricultura familiar na região.

2.3 Aplicabilidade de índices tecnológicos na agricultura

Índices tecnológicos podem ser encontrados em diversos trabalhos na literatura. Esta subseção trará alguns que foram propostos por alguns autores, tais como Almeida e Campos (2021), Batista (2021), Dias e Campos (2022), Lima, Campos e Alves (2022), Zamora *et al* (2022) e Gómez, Espinosa e Betancur (2023).

Almeida e Campos (2021) realizaram um estudo com o objetivo de elaborar e analisar índices de gestão tecnológica e capital social dos produtores nos municípios de Cedro, Iguatu e Cariús, no estado do Ceará. Foram consideradas, para elaboração do índice de tecnologia utilizado pelos agricultores as seguintes variáveis: contrato de prestação de serviços, treinamento da mão de obra, parceria na comercialização, controle do fluxo de caixa, controle de produção e controle dos custos. Com base nos fatores encontrados, com auxílio da análise fatorial, os autores chegaram ao Índice Tecnológico dos produtores.

O estudo de Batista (2021) propôs um estudo sobre a modernização agrícola no MATOPIBA, região formada pelos municípios fronteiriços dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. Conforme a literatura, essa área é considerada a última fronteira agrícola do país. Constatou-se que a região não pode ser considerada com uma agricultura mecanicamente desenvolvida, já que faltam insumos modernos nos estabelecimentos agropecuários e que 60% dos municípios foram classificados com grau baixo de modernização. Para tal, a autora utilizou a análise fatorial e análise exploratória de dados espaciais, bem como um Índice Bruto de Modernização Agrícola (IBMA), que antecede o índice normalizado. Em seguida, foi aplicado o índice o Índice de Modernidade Agrícola (IMA) através do método min-max e por interpolação, onde os valores variam de 0 a 100.

O trabalho de Dias e Campos (2022) conduziram um estudo onde o objetivo foi mensurar o nível de modernização tecnológica dos agricultores familiares no Nordeste do Brasil. Para isso, eles adotaram a análise fatorial como método para atingir os objetivos e verificaram, através do Índice de Modernização da Agricultura (IMA) que os agricultores familiares no Nordeste foram considerados médio-baixo e que foi um comportamento homogêneo entre os estados. Para tanto, foi realizada a padronização dos escores fatoriais com o objetivo de evitar interferência dos altos

escores negativos. Em seguida, foi possível aplicar o IMA que é uma combinação linear dos escores fatoriais e a proporção da variância explicada pelos fatores em relação à variância comum.

O estudo de Lima, Campos e Alves (2022) realizado foi muito parecido ao anterior, onde o objetivo foi construir, através de análise fatorial e análise de *clusters*, um Índice de Modernização Agrícola (IMA) a fim de verificar os condicionantes da modernização agrícola nos municípios do Nordeste. Como resultado, eles encontraram que 88,42% dos municípios analisados têm uma propensão agrícola baixa e apenas 0,91% considerado um bom índice de modernização agrícola.

O estudo realizado por Gómez, Espinosa e Betancur (2023) teve por objetivo identificar a influência do agricultor e o ambiente de ensino de aprendizagem no que diz respeito à adoção de tecnologias utilizadas no cultivo de abacate em dois municípios colombianos: San Vicente e Sonsón, ambos pertencentes ao departamento de Antioquia. Participaram 94 produtores que foram organizados em dois grupos de treinamento utilizando de tecnologias e práticas tecnológicas no cultivo da cultura.

A partir do exposto nas subseções anteriores, pode-se compreender que a revisão de literatura dá respaldo teórico para que trabalhos que envolvam tecnologia sejam relevantes, sobretudo as de ordem mecânica, físico-química e agrônômica, tendo em vista que a tecnologia está inserida no meio agrícola de maneira abrangente e dentro da agricultura familiar. Além disso, é possível visualizar que o Nordeste é uma região que está defasada em relação às demais regiões no que diz respeito à tecnologia, ou seja, enxerga-se uma oportunidade para contribuir com a literatura nessa temática no sentido de um diagnóstico de padrão espacial específico de produtividade dos agricultores no NE, apontar tecnologias que não foram citadas no Censo 2017, mas que já estão sendo utilizadas por alguns agricultores, identificar municípios que apresentam altos e baixos níveis de produtividade e suas causas e, por consequência, servir de parâmetro para ação do poder público para com essa classe de trabalhadores.

3 Procedimentos metodológicos

Como procedimento metodológico, será utilizada a análise multivariada e a análise exploratória de dados espaciais visando atingir o objetivo de extrair fatores que reflitam o fenômeno tecnológico na agricultura familiar e suas relações espaciais existentes. Técnicas de análise fatorial foram utilizadas em outros estudos voltados às questões agrícolas como Souza, Souza e Neto (2018), Souza *et al* (2019), Rodrigues e Campos (2020), Dias e Campos (2022) e Batista *et al* (2023). Outros trabalhos se voltaram às análises espaciais também nessa temática como Caumo, Staduto e Souza (2015), Nunes, Moraes e Rossoni (2020), Dutra, Martins e Parré (2021), Queiroz *et al* (2021) e Batista *et al* (2023). Para a realização do índice bruto de modernização e índice de modernização normalizado foram utilizados como referência os trabalhos de Melo e Parré (2007), Souza *et al* (2018), Souza, Souza, Neto (2018), Souza *et al* (2019) e Batista (2021).

3.1 Base de dados

Os dados utilizados nesta pesquisa foram extraídos através da plataforma SIDRA, do Censo Agropecuário 2017 realizado pelo IBGE. A Tabela 1 mostra as 26 variáveis que foram utilizadas na análise fatorial, tomando como base os trabalhos de Lima, Campos e Alves (2022), Dias e Campos (2022), Souza *et al* (2018), Souza *et al* (2018) e Batista *et al* (2023). A análise compreendeu os municípios da Região Nordeste, que serão as observações e apresenta a média e o desvio padrão amostral.

As variáveis foram expressas em relação à área explorada (AE) e equivalente homem (EH) (Freitas; Paz; Nicola, 2007; Souza; Souza; Neto, 2018, Souza *et al*, 2018; Souza *et al*, 2018). De acordo com Dias e Campos (2022), as variáveis foram expressas dessa maneira (AE e EH) para diminuir as disparidades entre os municípios quanto ao tamanho das áreas. Segundo Costa *et al* (2012), equivalente homem (EH) significa a homogeneização do trabalho do homem, mulher e criança; ao passo que área explorada (AE) está ligada à soma das áreas com lavouras permanentes e temporárias, pastagens plantadas, matas plantadas, áreas com pastagens naturais e matas naturais. De acordo com Kageyama e Silva (1983) *apud* Souza *et al* (2018), os pesos dos fatores relacionados à EH são: homens maiores que 14 anos = 1,0 EH; mulheres maiores de 14 anos = 0,5 EH (familiar) e 1,0 EH

(empregado) ou 0,66 EH (parceiros ou outras condições); menores de 14 anos = 0,4 EH (familiar) ou 0,5 EH (empregados e parceiros). A variável “Maquinários para plantação área explorada por AE” pretende mensurar a relação das máquinas nos estabelecimentos em relação à exploração da terra de cada município; a variável “Maquinários para plantação área explorada por EH” reflete o uso das máquinas na terra a partir do número de pessoas de cada município.

Tabela 1: Descrição das variáveis

Variável	Descrição da variável	Modo expressão	Média	Desvio padrão amostral
Maquinários para plantação área explorada	Número de estabelecimentos que possuem maquinários para uso na plantação (trator, semeadeira/plantadeira e colheitadeira) ²	AE	0,01885	0,03736
Maquinários para plantação equivalente homem	Número de estabelecimentos que possuem maquinários para uso na plantação (trator, semeadeira/plantadeira e colheitadeira)	EH	0,00723	0,01210
Energia elétrica	Número de estabelecimentos agrícolas com energia elétrica	AE	0,77887	0,51830
Orientação técnica área explorada	Número de estabelecimentos agrícolas que receberam orientação técnica	AE	0,08453	0,10113
Orientação técnica equivalente homem	Número de estabelecimentos agrícolas que receberam orientação técnica	EH	0,03702	0,03967
Adubo no solo	Número de estabelecimentos agrícolas que utilizaram adubo	AE	0,27775	0,23627
Calcário e/ou adubo no solo	Número de estabelecimentos agrícolas que utilizaram calcário e/ou corretivo no solo	AE	0,03240	0,07294
Agrotóxicos no solo	Número de estabelecimentos agrícolas que utilizaram agrotóxicos	AE	0,24621	0,25612
Irrigação no solo	Número de estabelecimentos agrícolas que utilizaram irrigação	AE	0,09750	0,12211
Recursos hídricos nos estabelecimentos	Número de estabelecimentos agrícolas com recursos hídricos	AE	0,74687	0,60450

² Devido ao massivo número de *missings* gerado pelo componente “adubeiras e/ou distribuidoras de calcário”, e como *proxy* para representar o número de maquinário utilizados pelos agricultores familiares, foi utilizada a variável “número de estabelecimentos que possuem maquinários para uso na plantação”.

Financiamento para estabelecimentos agrícolas	Número de estabelecimentos agrícolas que obtiveram financiamento	AE	0,12988	0,10300
Valor da produção área explorada	Valor (R\$ mil) da produção dos estabelecimentos agrícolas	AE	11,09897	14,88142
Valor da produção equivalente homem	Valor (R\$ mil) da produção dos estabelecimentos agrícolas	EH	4,20345	2,94852
Despesas da produção área explorada	Valor (R\$ mil) das despesas dos estabelecimentos agrícolas	AE	6,50806	7,84475
Despesas da produção equivalente homem	Valor (R\$ mil) das despesas dos estabelecimentos agrícolas	EH	2,50832	1,67344
Despesas gerais área explorada	Valor (R\$ mil) das despesas dos estabelecimentos com adubos e corretivos, sementes e mudas, agrotóxicos, sal, ração e outros suplementos e energia elétrica	AE	2,61482	2,90047
Despesas gerais equivalente homem	Valor (R\$ mil) das despesas dos estabelecimentos com adubos e corretivos, sementes e mudas, agrotóxicos, sal, ração e outros suplementos e energia elétrica	EH	1,05176	0,87295
Receitas dos estabelecimentos área explorada	Valor (R\$ mil) das receitas obtidas nos estabelecimentos agrícolas no ano	AE	18,42726	18,48284
Receitas dos estabelecimentos equivalente homem	Valor (R\$ mil) das receitas obtidas nos estabelecimentos agrícolas no ano	EH	7,33087	3,39014
Cabeças de animais área explorada	Número de cabeças de animais nos estabelecimentos agrícolas	AE	49,68273	97,17059
Cabeças de animais equivalente homem	Número de cabeças de animais nos estabelecimentos agrícolas	EH	19,93343	42,21632

Estabelecimentos com pessoas ocupadas área explorada	Número de estabelecimentos agrícolas com pessoas ocupadas	AE	0,99663	0,69429
Estabelecimentos com pessoas ocupadas equivalente homem	Número de estabelecimentos agrícolas com pessoas ocupadas	EH	0,41282	0,08084
Pessoas ocupadas área explorada	Número de pessoas ocupadas nos estabelecimentos agrícolas	AE	2,50479	1,85032
Pessoas ocupadas equivalente homem	Número de pessoas ocupadas nos estabelecimentos agrícolas	EH	1,00045	0,00594
Quociente entre equivalente homem e área explorada	EH/AE	-	2,50301	1,84859

n= 1.523 municípios³

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados Censo Agropecuário 2017

³ Antes da apresentação dos resultados da pesquisa, considerou-se informar que o Nordeste é composto por 1.794 municípios, mas devido aos *missings* encontrados nas variáveis escolhidas, o número de observações deste trabalho passou a ser de 1.523 municípios.

3.2 Análise fatorial por componentes principais

A Análise fatorial, de acordo com Fávero e Belfiore (2017), é uma técnica que tem por objetivo agrupar em fatores variáveis que correlacionam entre si. Entende-se que se trata de uma análise multivariada exploratória uma vez que não se conhece o comportamento das variáveis. O método por componentes principais, de acordo com os mesmos autores, parte da ideia de que o primeiro fator detém o maior percentual de explicação das variáveis utilizadas e assim por diante.

Segundo Fávero e Belfiore (2017), a técnica de fatores rotacionados visa auxiliar no sentido de melhorar na interpretação e definição dos fatores que irão permanecer na análise. Como as cargas fatoriais são pontos entre os eixos (fatores), pode-se girar os eixos sem que altere a distância entre esses pontos (relação entre fator e variável). O método, contudo, mais utilizado é o *Varimax* que propõe redistribuir a quantidade de variáveis que apresentam elevadas cargas em determinado fator por meio da redistribuição das cargas fatoriais e maximização da variância compartilhadas em fatores correspondentes e autovalores mais baixos.

O modelo algébrico da análise fatorial pode ser expresso de acordo com a equação 1:

$$X_i = a_{i1}F_1 + a_{i2}F_2 + \dots + a_{im}F_m + e_i \quad (1)$$

em que X_i expressa as variáveis normalizadas através do desvio padrão em relação à média, F_j são os fatores encontrados na análise fatorial cuja representatividade se dá pela raiz característica, a_{ij} são as cargas fatoriais de cada variável utilizada neste trabalho que serão encontradas após a rotação ortogonal e e_i é o termo de erro.

Antes de iniciar a técnica pretendida é necessário que seja verificada a adequação global da análise fatorial. Os fatores precisam apresentar uma matriz de correlação valores relativamente elevados e significativos do ponto de vista estatístico. Para isso, será utilizada a estatística Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) que consiste em fornecer a proporção de variância considerada comum às variáveis que pretendem se tornar um fator comum. A estatística KMO varia de 0 a 1, onde valores próximos de 1 indicam um percentual de variância bastante elevado, ou seja, uma correlação de Pearson alta e 0 indica que a análise fatorial será inadequada (Fávero; Belfiore, 2017).

A estatística KMO é calculada de acordo com a equação 2:

$$KMO = \frac{\sum_{l=1}^k \sum_{c=1}^k \rho^2_{lc}}{\sum_{l=1}^k \sum_{c=1}^k \rho^2_{lc} + \sum_{l=1}^k \sum_{c=1}^k \varphi^2_{lc}}, l \neq c \quad (2)$$

em que l representa as linhas da matriz P , ou seja, os municípios do NE e c são as colunas da mesma matriz, isto é, as variáveis utilizadas neste estudo e φ os coeficientes de correlação parcial entre duas variável; a Tabela 2 apresenta uma indicação sobre a relação entre estatística KMO e adequação global da análise fatorial, onde k representa o intervalo entre os valores.

Tabela 2: Relação estatística KMO e adequação global da análise fatorial

Estatística KMO	Adequação global da análise fatorial
$0,90 \leq k \leq 1,00$	Muito boa
$0,80 \leq k < 0,90$	Boa
$0,70 \leq k < 0,80$	Média
$0,60 \leq k < 0,70$	Razoável
$0,50 \leq k < 0,60$	Má
$k < 0,50$	Inaceitável

Fonte: Fávero e Belfiore (2017)

O teste de esfericidade de Bartlett consiste em realizar uma comparação entre a matriz de correlação P com uma matriz identidade de mesma dimensão. A extração dos fatores será adequada caso as diferenças entre os valores correspondentes que estiverem fora da diagonal principal de cada matriz forem estatisticamente diferentes de 0, a determinado nível de significância. Assim, as correlações de Pearson entre cada par de variáveis são estatisticamente iguais a 0, o que impede a extração de fatores a partir das variáveis originais. A hipótese nula diz que a matriz de correlação P é igual a uma matriz identidade, ou seja, de que as variáveis não são correlacionadas; a hipótese alternativa diz que a matriz de correlação é diferente de uma matriz identidade, ou seja, de que as variáveis são correlacionadas (Fávero, Belfiore, 2017). Essa estatística é dada pela equação 3:

$$X^2_{Bartlett} = -[(n-1) - \left(\frac{2k+5}{6}\right)]. \ln|D| \quad (3)$$

com $\frac{k \cdot (k-1) \cdot k \cdot (k-1)}{2 \cdot 2}$ graus de liberdade, em que n refere-se ao tamanho da amostra, ou seja, os municípios do NE, k o número de variáveis que serão utilizadas neste estudo e D a determinante da matriz de correlações P .

Esse teste permite que seja verificado, dado determinado número de graus de liberdade e determinado nível de significância, se o valor X^2 Bartlett é maior que o

valor crítico da estatística. Caso seja, pode-se inferir que as correlações de Pearson entre os pares de variáveis são estatisticamente diferentes de 0 e que, nesse caso, podem ser extraídos fatores a partir das variáveis originais, sendo, portanto, a análise fatorial apropriada.

Ressalta-se a importância de que o teste de esfericidade de Bartlett deve ser preferido em detrimento à estatística KMO para fins de decisão sobre a adequação global da análise fatorial, pois a primeira mostra um determinado nível de significância e a segunda um coeficiente calculado sem distribuição de probabilidades e hipóteses de maneira que não permite avaliar o nível de correspondente de significância para fins decisórios.

Com isso, será possível definir a quantidade de fatores que serão extraídos da análise fatorial, que levará em consideração o critério estatístico por componentes principais. Após a obtenção dos fatores será aplicada técnicas de análise espacial conforme a subseção seguinte. Esta análise servirá de base para que as variáveis escolhidas sejam agrupadas em fatores que, por sua vez, irão condensar o que cada conjunto quer expressar. No caso do presente trabalho, será escolhido o fator que representará a produtividade dos AF.

3.3 Análise exploratória de dados espaciais

Análise exploratória de dados espaciais, segundo Almeida (2012), é uma junção de procedimentos cujo objetivo é visualizar e descrever distribuições espaciais, identificar *outliers* espaciais, descobrir *clusters* espaciais e sugerir diferentes regimes espaciais. Para se construir uma estatística de autocorrelação espacial, são necessários três elementos, a saber: uma medida de autocovariância, uma medida de variância dos dados e uma matriz de ponderação espacial (w). Nesta pesquisa, será utilizada a Estatística I de Moran Global que é um coeficiente de autocorrelação espacial, utilizando a medida de autocovariância na forma de produto cruzado. O objetivo é verificar se os dados possuem uma autocorrelação espacial.

Do ponto de vista matemático, o I de Moran Global pode ser expresso de acordo com a equação 4:

$$I = \frac{n}{s_0} \cdot \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} z_i z_j}{\sum_{i=1}^n z_i^2} \quad (4)$$

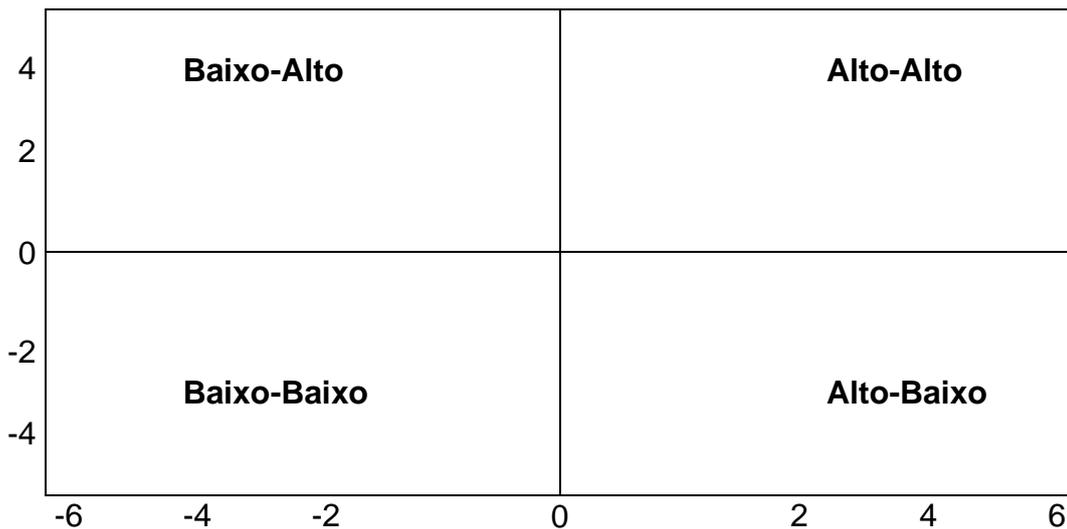
em que n é o número de observações, w_{ij} representa os elementos da matriz de pesos espaciais, Z_i e Z_j são os valores da variável analisada em desvios da média e S_0 é o somatório dos elementos da matriz de ponderação espacial.

Assim, de maneira resumida, o I de Moran Global fornece as seguintes informações importantes: 1) o nível de significância dos dados utilizados; 2) quanto mais próximo de 1, mais forte é a concentração; quanto mais próximo de -1, mais dispersos estão os dados. O diagrama de dispersão de Moran é uma ferramenta alternativa que permite visualizar a autocorrelação espacial dos dados. Assim sendo, conforme Figura 1, o gráfico de dispersão I de Moran realiza a decomposição do indicador global em quatro categorias, são elas: 1) Alto-Alto (AA); 2) Baixo-Baixo (BB); 3) Alto-Baixo (AB) e; 4) Baixo-Alto (BA). Esse diagrama mostra a reta da regressão, que pode ser encontrada através da equação 5.

$$Wz = \alpha + \beta z + \varepsilon \quad (5)$$

em que α representa a constante da regressão, β é o coeficiente angular da reta e ε o termo de erro.

Figura 1: Diagrama de dispersão de Moran



Fonte: Elaboração própria a partir de Almeida (2012)

Uma matriz de ponderação espacial, ou matriz de pesos espaciais, é uma matriz de dimensão $n \times n$, onde os pesos espaciais w_{ij} representam o grau de influência que uma região j tem sobre outra região i , que pode ser considerado o critério de contiguidade e/ou distância geográfica. Dessa maneira, essa matriz W é capaz de exprimir uma ponderação de influência que as regiões exercem entre si. Para construir a estatística de autocorrelação espacial, serão testadas as matrizes

rainha (*queen*) (Figura 2a), torre (*rook*) (Figura 2b) e k-vizinhos com o objetivo de verificar qual delas é capaz de captar com mais efetividade a autocorrelação espacial existente no fenômeno a ser estudado, além de serem as mais utilizadas na literatura conforme estudos de Raiher, Higachi e Carmo (2017), Neves, Castro e Freitas (2019), Barbosa (2021), Vieira *et al* (2021).

Figura 2a: Matriz rainha (*queen*)

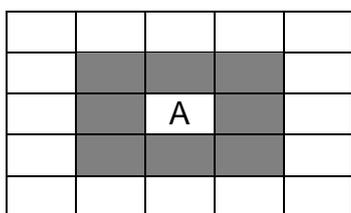
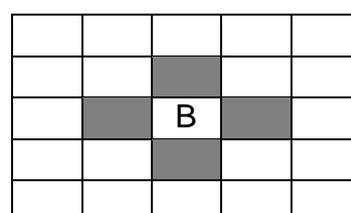


Figura 2b: Matriz torre (*rook*)



Fonte: Elaboração própria a partir de Almeida (2012)

Como o I de Moran Global é uma medida de autocorrelação mais abrangente, é possível que ela não consiga captar padrões mais específicos que estejam mais a nível local, ou seja, em caso de *clusters* e/ou *outliers* é necessária que seja feita uma análise utilizando o I de Moran Local para identificar padrões mais pormenorizados. O I de Moran Local, também conhecido como LISA (*Local Indicator of Spatial Association*) é, segundo Almeida (2012), um indicador de concentração espacial que serve para analisar localmente associações espaciais. Será utilizado esse indicador, pois ele tem a capacidade de capturar padrões locais de autocorrelação espacial entre os fatores obtidos pela AF e que sejam estatisticamente significativos. O LISA deverá, concomitantemente, satisfazer os seguintes critérios: 1) Para cada observação, a capacidade de indicar clusters espaciais significativos e; 2) o somatório dos indicadores locais, para todas as regiões, seja proporcional ao indicador de autocorrelação espacial global correspondente.

Assim como o I de Moran Global, o I de Moran Local também faz uma decomposição dos indicadores de cada observação em quatro categorias (AA, BB, AB e BA), bem como permite criar o mapa de clusters LISA que combina as informações do diagrama de dispersão de Moran e as informações do mapa de significância das medidas de associação local. A análise espacial servirá para

subsidiar a análise do comportamento espacial dos agricultores familiares no que diz respeito à produtividade tanto em nível global quanto em nível específico (LISA).

3.4 Índice bruto e normalizado de modernização

O Índice bruto de modernização (IBM) foi construído a partir dos valores dos escores fatoriais. Esse cálculo é realizado para normalizar os valores evitando discrepâncias e, por consequência, erro de interpretação dos resultados.

De acordo com Melo e Parré (2017), o Índice bruto de modernização pode ser expresso pela equação 6 onde w_i corresponde a proporção da variância explicada por cada fator, F_i corresponde aos escores fatoriais.

$$IBM = \frac{\sum_{i=1}^n (w_i F_i)}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (6)$$

Em seguida, após a realização do IBM, é possível encontrar o Índice de modernidade normalizado (IMN) utilizando o método min-max que é expresso pela equação 7 onde x_{qc} é o valor da observação q do índice bruto do município c , min_c é o menor valor do índice bruto e max_c é o maior valor do índice bruto. É importante destacar que o método mínimo-máximo varia de 0 a 100 e está expresso em ordem decrescente.

(7)

$$IMN = \frac{x_{qc} - min_c(xq)}{max_c(xq) - min_c(xq)}$$

Foi dividido o nível de tecnologia dos municípios em alto, médio e baixo. Onde o critério pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3: Critérios *ranking* dos municípios

Status	Critério adotado
Alto	$x > \mu + \sigma$
Médio	$\mu \leq x \leq \mu + \sigma$
Baixo	$x < \mu$

Fonte: Elaboração própria a partir de Batista *et al* (2023)

onde x representa os valores do IMN, μ representa a média e σ representa o desvio padrão.

4 Resultados e discussão

4.1 Análise fatorial por componentes principais

O objetivo da análise fatorial é sintetizar um conjunto de várias variáveis que, juntas, representará um fator. Ela é indicada quando várias variáveis captam a mesma essência do fenômeno posto como análise. A análise aplicada para as 26 variáveis apresentou raiz característica (*eigenvalue* ou autovalor) maior que 1 extraíndo, dessa maneira, 8 fatores onde cada fator representa uma função de todas as variáveis. Na análise, foram gerados 26 fatores, porém os 8 primeiros foram escolhidos pois apresentavam raiz característica maior que 1 de acordo com a metodologia de Filho e Júnior (2010) e da a variância de cada fator além da variância acumulada, que é uma medida de dispersão. A análise fatorial neste estudo possibilita encontrar os fatores que serão utilizados (nesse caso o fator que representa a produtividade dos agricultores familiares) para realização da análise exploratória de dados espaciais.

Conforme a Tabela 4 pode-se depreender que o total de fatores selecionados explicam 83,3% da variabilidade total das variáveis selecionadas no estudo. Vale lembrar que a variância mostra o quão distante cada valor está do valor central e que quanto maior, mais distante está do valor esperado e quanto menor, mais próximo está do valor esperado. Nesse caso, é sinalizada positivamente a variância alta nos estudos que utilizam a análise fatorial. Como o critério utilizado comumente na literatura é critério da raiz latente (critério de Kaiser), foram levados em consideração os autovalores que apresentaram valores maiores que 1, com perda total de variância de 16,7322% Fávero e Belfiore (2017). Esses autovalores são o percentual da variância compartilhada pelas variáveis originais para a formação de cada fator.

Tabela 4: Raiz característica, variância explicada e variância acumulada

Fator	Raiz característica (<i>eigenvalue</i> ou autovalor)	Variância explicada pelo fator em %	Variância acumulada em %
F1	7,19933	27,68973	27,68973
F2	4,65398	17,89994	45,58967
F3	1,88915	7,26596	52,85563
F4	1,85118	7,11994	59,97557

F5	1,82098	7,00376	66,97933
F6	1,49746	5,75947	72,73879
F7	1,44034	5,53976	78,27856
F8	1,29668	4,98723	83,26578

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do Censo Agropecuário 2017

Antes de prosseguir com a análise fatorial, foi realizado o teste de Kaiser-Meyer Olkin (KMO). Essa análise demonstra o quanto de variância é considerada comum a todas as variáveis e que pode ser atribuída a um fator em comum, além de servir para verificar a adequabilidade dos dados. Como resultado, o KMO gerou o valor de 0,72380, o que significa uma média adequação dos dados possibilitando a execução da análise fatorial, conforme estudo de Araújo, Ferreira e Silveira (2022). Em seguida, foi analisado o teste de esfericidade de Bartlett rejeitando, portanto, a hipótese nula de que a matriz de correlação P é igual a uma matriz identidade (Fávero; Belfiore, 2017) e que pode ser visualizado na Tabela 5. Essas duas análises são importantes na medida em que elas irão determinar se a análise fatorial deve ser realizada.

Tabela 5: Estatística KMO, Bartlett e significância

Teste	Resultado
KMO	0,72380
Esfericidade de Bartlett	64.822,67140
Nível de significância (α)	Zero
Graus de liberdade	325

Fonte: Elaboração própria com base no resultado da pesquisa

Após a rotação pelo método Varimax e obtenção dos resultados significativos, pode-se verificar as cargas fatoriais e as comunalidades de cada variável junto aos seus respectivos fatores, conforme tabela 6. As cargas fatoriais são as correlações de Pearson entre cada variável e cada fator. As comunalidades representam a variância total compartilhada de cada variável dos fatores extraídos e o objetivo principal dessa análise é verificar se alguma variável compartilha um significativo valor percentual de variância com os fatores extraídos. Por exemplo, pode-se compreender que as variáveis “estabelecimentos com pessoas ocupadas área explorada – 0,95349”, “quociente entre equivalente homem e área explorada – 0,94457”, “pessoas ocupadas área explorada – 0,94338”, recursos hídricos nos estabelecimentos – 0,93366” e “receitas dos estabelecimentos área explorada –

0,72204” possuem forte correlação com o F1, conforme estudo semelhante de Dias e Campos (2022).

Receitas dos estabelecimentos equivalente homem	-	0,87675	-	-	-	-	-	-	0,87307
Valor da produção equivalente homem	-	0,87067	-	-	-	-	-	-	0,86162
Despesas da produção equivalente homem	-	0,85464	-	-	-	-	-	-	0,86502
Despesas gerais equivalente homem	-	0,76155	-	-	-	-	0,41211	-	0,85221
Despesas gerais área explorada	0,48019	0,66907	-	-	-	-	0,35266	-	0,87449
Maquinários para plantação equivalente homem	-	-	0,93954	-	-	-	-	-	0,92462
Maquinários para plantação área explorada	0,32401	-	0,87901	-	-	-	-	-	0,94288
Cabeças de animais equivalente homem	-	-	-	0,97164	-	-	-	-	0,96319
Cabeças de animais área explorada	0,32665	-	-	0,90819	-	-	-	-	0,95876
Orientação técnica equivalente homem	-	-	-	-	0,95046	-	-	-	0,95494
Orientação técnica área explorada	0,35539	-	-	-	0,86216	-	-	-	0,93314
Calcário e/ou adubo no solo área explorada	-	-	-	-	-	0,79420	-	-	0,72069
Irrigação no solo área explorada	-	-	-	-	-	-	0,75959	-	0,66995
Adubo no solo área explorada	-	-	-	-	-	0,47024	0,57545	-	0,67125

Estabelecimentos com pessoas ocupadas equivalente homem	-	-	-	-	-	-	-	0,79122	0,69273
Pessoas ocupadas equivalente homem	-	-	-	-	-	-	-	-0,70241	0,50496

Fonte: Elaboração própria com base no resultado das pesquisas

O fator 1, cuja variância explicada é de 27,7%, está associado às seguintes variáveis: energia elétrica por AE, agrotóxicos no solo por AE, recursos hídricos nos estabelecimentos por AE, financiamento para estabelecimentos agrícolas por AE, valor da produção área explorada por AE, despesas da produção área explorada por AE, estabelecimentos com pessoas ocupadas área explorada por AE, pessoas ocupadas área explorada por AE e quociente entre equivalente homem e área explorada. Esse fator pode ser intitulado como produtividade da terra pelos agricultores familiares tendo em vista que trata de variáveis que refletem os recursos disponíveis para exploração da terra em termos de capital financeiro, pessoal e recursos físico-químicos e agrônômicos que, agrupados, dão condições de trabalho para os agricultores produzirem.

O fator 2, cuja variância explicada é de 17,9%, está associado às seguintes variáveis: valor da produção área explorada por AE, valor da produção equivalente homem por EH, despesas da produção área explorada por AE, despesas da produção equivalente homem por EH, despesas gerais área explorada por AE, despesas gerais equivalente homem por EH, receitas dos estabelecimentos área explorada por AE e receitas dos estabelecimentos equivalente homem por EH. Esse fator pode ser intitulado como Financeiro dos agricultores familiares tendo em vista que versa de variáveis sobre receitas e despesas auferidas e dispendidas pelos agricultores familiares, respectivamente.

O fator 3, onde a variância explicada é de 7,3%, está associado às seguintes variáveis: maquinários para plantação área explorada por AE e maquinários para plantação equivalente homem por EH. Esse fator pode ser intitulado como Mecanização dos agricultores familiares tendo em vista que trata de variáveis que refletem à tecnologia utilizada pelos agricultores familiares do ponto de vista da mecânica.

O fator 4, onde a variância explicada é de 7,1%, está associado às seguintes variáveis: cabeças de animais área explorada por AE e cabeças de animais equivalente homem por EH. Esse fator pode ser retratado como sendo Atividade pecuária dos agricultores tendo em vista que trata de variáveis que informam a criação de animais para uso nas atividades agrícolas.

O fator 5, cuja variância explicada é de 7,0%, está associado às seguintes variáveis: orientação técnica área explorada por AE e orientação técnica equivalente

homem por EH. Esse fator pode ser considerado como Capacidade técnica dos agricultores tendo em vista que são variáveis que exploram o conhecimento técnico adquirido pelos agricultores familiares.

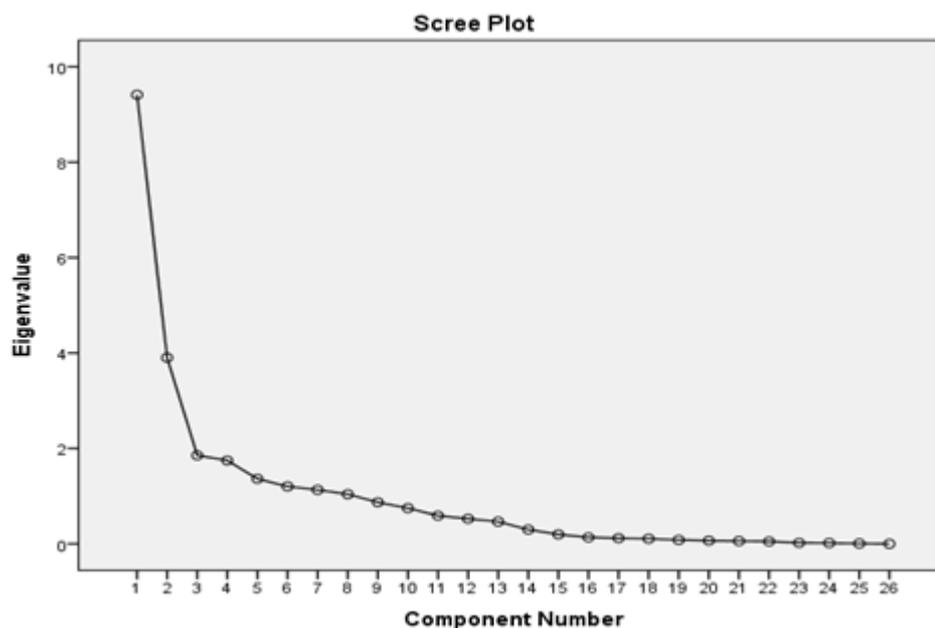
O fator 6, cuja variância explicada é de 5,8%, está associado à seguinte variável: calcário e/ou adubo no solo por AE. Esse fator por englobar uma única variável pode ser considerada como Tecnologia físico-química utilizada pelos agricultores familiares.

O fator 7, onde a variância explicada é de 5,5%, está associado às seguintes variáveis: adubo no solo por AE e irrigação no solo por AE. É um fator que envolve uma variável físico-química e agronômica e pode ser representada como Tecnologia físico-agronômica utilizada pelos agricultores familiares.

O fator 8, onde a variância explicada é de 5,0%, está associado à seguinte variável: estabelecimentos com pessoas ocupadas equivalente homem por EH. É fator que, embora englobe uma variável de ordem físico-química (Irrigação no solo), pode ser considerado como Tecnologia agronômica utilizada pelos agricultores familiares tendo em vista que também trata de irrigação utilizada pelos agricultores as atividades agrícolas.

É possível visualizar os fatores (abscissas) e suas raízes características (ordenadas) onde o primeiro fator tem um *eigenvalue* maior de todos seguido dos demais fatores na Figura 3.

Figura 3: Gráfico dos fatores e raiz característica



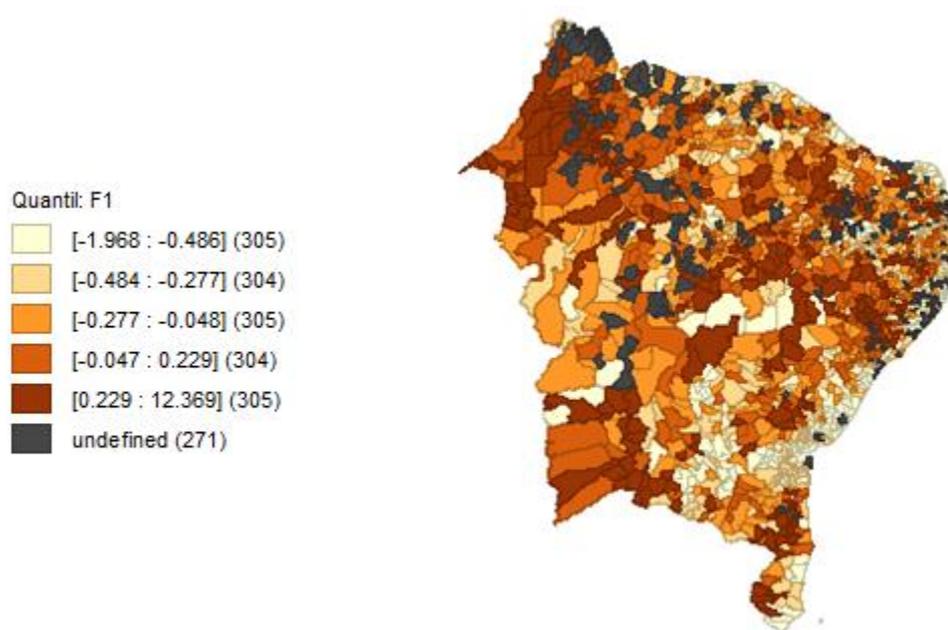
Fonte: Elaboração própria com base no resultado da pesquisa

4.2 Análise exploratória de dados espaciais

Após a realização da análise fatorial, procedeu-se com uma análise exploratória de dados espaciais para o fator 1 colocado como variável de interesse (y). Já que o objetivo é verificar o nível de produtividade dos AF a partir da tecnologia utilizada, este fator representa a produtividade dos agricultores familiares no Nordeste tendo em vista que captam recursos para exploração da terra em termos financeiros, pessoal e recursos físico-químicos e agrônômicos que, juntos, dão condições para os AF trabalharem. O objetivo dessa análise é verificar a relação espacial, a nível global e local, existente entre a variável de interesse e os municípios.

A figura 4 mostra o mapa quantílico do Nordeste onde são representados os 1.794 municípios da região dividido em 5 quantis, ou seja, cada quantil representa 20% do número de observações e está ranqueado pela intensidade de cor. O primeiro padrão representa os municípios menos produtivos no intervalo de -1,968 e -0,486; e o quinto quintil representa o número de municípios mais produtivos no intervalo de 0,229 e 12,369. Os 271 municípios indefinidos não estavam no *dataset* devido à ausência de variável no momento da coleta de dados.⁴

Figura 4: Mapa quantílico da Região Nordeste



⁴ Dos municípios indefinidos na análise, cinco pertencem à RM de Maceió, dois de Salvador, um de Fortaleza, três de São Luís, quatro do Recife, um de Teresina e treze de Natal.

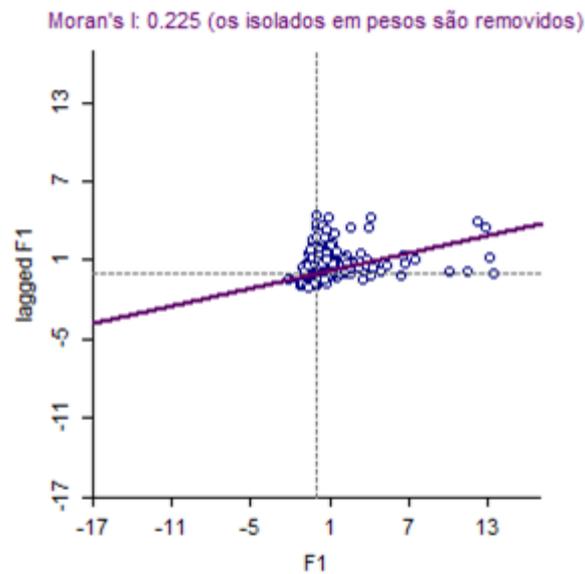
Fonte: Elaboração própria com base no resultado da pesquisa

Percebe-se no mapa que existe uma concentração de municípios mais produtivos, no Oeste do Maranhão (composto pelas microrregiões Gurupi, Pindaré e Imperatriz), Extremo Oeste da Bahia (composto pelas microrregiões Barreiras, Cotegipe e Santa Maria da Vitória), Vale São-Franciscano da Bahia (composto pelas microrregiões Juazeiro, Paulo Afonso, Barra e Bom Jesus da Lapa), Sudeste do Piauí (composto pelas microrregiões de Picos, Pio IX e Alto Médio Canindé), Sertão Sergipano (composto pelas microrregiões Sergipana do Sertão do São Francisco e Carira) e Agreste Sergipano (composto pela microrregião de Tobias Barreto).

No Extremo Oeste Baiano, a alta produtividade pode ser justificada pelo fato da região passar pela maior área de consolidação de expansão agrícola no estado da Bahia desde os anos de 1980. Além disso, possui boas condições climáticas para a atividade agrícola, pois as temperaturas médias variam entre 20° C e 26° C sendo mais amenas em áreas elevadas, concentração de chuva de novembro a março, o que proporciona oportunidades para plantio das culturas (Ferreira *et al*, 2021). Além disso, segundo Lima (2020), também reforça o empenho que a mesorregião vem recebendo desde a década de 80 contemplando à região do Matopiba baiana, que compõe as seguintes microrregiões: Barreiras, Cotegipe, Santa Maria da Vitória e Bom Jesus da Lapa. De todas, a microrregião de Barreiras, que é composta por 7 municípios, e que no IMN apresenta o município de Luís Eduardo Magalhães, está na 48ª posição no ranking, que, segundo a autora, deve-se ao fato de ter uma economia consolidada e articulada na região.

Em seguida foi realizado o índice I de Moran univariado cujo valor foi de 0,225 e uma correlação positiva dos dados, ou seja, municípios com alto índice de modernidade tecnológica (IMN) são vizinhos de municípios com alto índice de modernidade tecnológica, e o mesmo acontece com municípios com baixo índice de modernidade tecnológica. A Figura 5 apresenta o diagrama de dispersão de Moran.

Figura 5: I de Moran univariado



Fonte: Elaboração própria com base no resultado da pesquisa

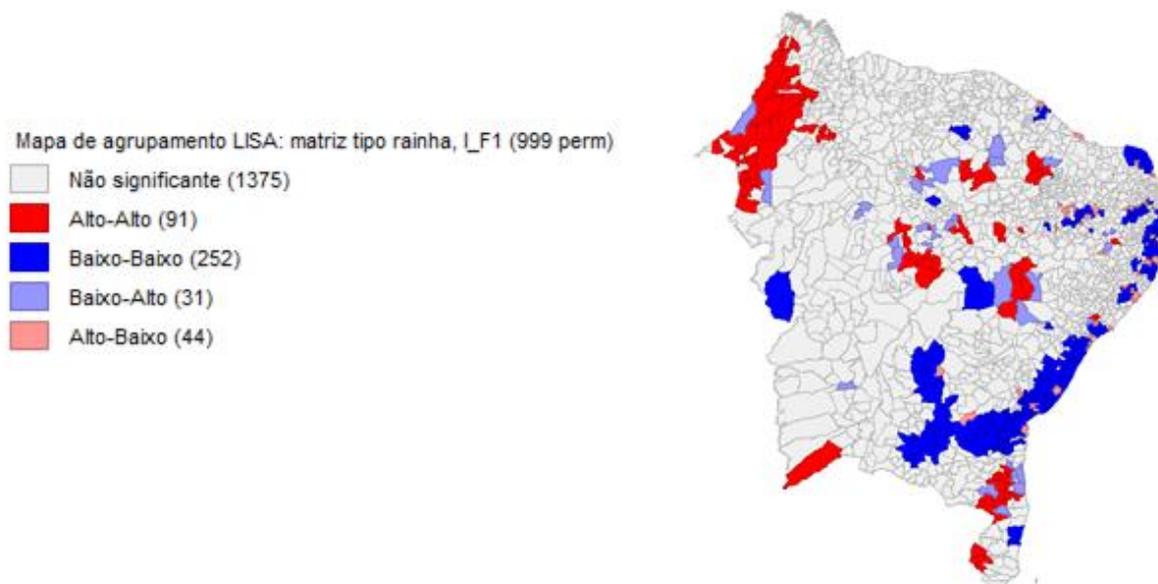
A fim de verificar padrões locais, foi realizado o teste I de Moran local univariado (LISA) é apresentado o mapa de significância na Figura 6, onde foram apresentados 245 municípios ao nível de significância de 5%, 120 municípios ao nível de significância de 1% e 53 municípios ao nível de significância de 0,1%. Em seguida, é apresentado o mapa de agrupamento na Figura 7.

Figura 6: Mapa de significância



Fonte: Elaboração própria com base no resultado da pesquisa

Figura 7: Mapa de agrupamento



Fonte: Elaboração própria com base no resultado da pesquisa

Observam-se agrupamentos de maior expressão de municípios do tipo Alto-Alto no Oeste Maranhense (microrregiões do Gurupi, Pindaré e Imperatriz) e Sul Baiano (microrregiões Valença, Ilhéus-Itabuna e Porto Seguro). Encontram-se agrupamentos do mesmo tipo a nível interestadual entre as mesorregiões do São Francisco Pernambucano (microrregião Itaparica, mais especificamente no município de Belém de São Francisco), Vale do São-Francisco da Bahia (microrregião de Paulo Afonso, mais específico nos municípios de Mucururé e Chorrochó) e Nordeste Baiano (microrregião Euclides da Cunha, no município de Uauá) e outro agrupamento importante entre alguns municípios das mesorregiões do São Francisco (microrregião de Petrolina), Vale São-Francisco Bahia (microrregião de Juazeiro) e Sudeste Piauiense (microrregião Alto Médio Canindé). Pode-se perceber também o município de Cocos isoladamente pertencente ao Extremo Oeste da Bahia na microrregião de Santa Maria da Vitória.

O Oeste Maranhense (microrregiões do Gurupi, Pindaré e Imperatriz) é uma região que está inserida no MATOPIBA que, segundo Oliveira *et al* (2022), são fronteiras agrícolas que vem sendo exploradas e sofrendo grandes investimentos tecnológicos e aumentando a capacidade produtiva da região e, por consequência, gerando desenvolvimento socioeconômico. Segundo Coelho *et al* (2024), o município de Cidelândia é caracterizado pelo PIB derivado da atividade agropecuária, especificamente na criação de gado e produção de leite – onde

grande parte vem dos agricultores familiares -, além de área de cultivo para a agricultura familiar; tal cidade, não por acaso, aparece no IMN 35ª posição geral e 7º maior do estado do Maranhão.

Segundo Cerqueira, Jesus e Pinheiro (2021) a região do litoral sul da Bahia, que compreende a mesorregião do Sul Baiano e as microrregiões de Valença, Ilhéus-Itabuna e Porto Seguro dependeu por muito tempo da monocultura cacauífera cultivada em grandes espaços e, portanto, requisitando mão de obra, que ao longo do tempo produzia seu próprio cultivo. No Sul Baiano o município de Itajuípe, segundo Santos, Sabioni e Silva (2018), apresenta historicamente grande potencial para o cultivo de cacau e outras culturas como hortaliças e frutas; essas atividades fazem com que o município se desenvolva do ponto de vista econômico e social. Ele aparece como o 2º no IMN a nível Nordeste.

Em termos de extensão geográfica, o maior município que apresentou um padrão isolado Alto-Alto foi Cocos, mesorregião Oeste da Bahia, microrregião de Santa Maria da Vitória, no estado da Bahia. Segundo Ribeiro *et al* (2010) vários fatores contribuem para o protagonismo do município no manejo de práticas rurais tradicionais dos quais pode-se citar a sua geomorfologia favorável para tal prática.

Outro agrupamento diferente apresentado foi o interestadual entre as mesorregiões do São Francisco Pernambucano, Vale do São Francisco da Bahia, Nordeste Baiano e Sudeste Piauiense. Segundo Sousa *et al* (2022), o município de Belém de São Francisco possui uma estação do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), que oferece serviços de assistência à comunidade rural do estado de Pernambuco beneficiando pequenos agricultores familiares. A cidade é reconhecida por sua grande participação na produção das culturas de horticultura e fruticultura. Ainda de acordo com os mesmos autores, balsas e canoas são os principais modais devido à presença do rio São Francisco, e que servem para escoamento da produção para a cidade grande ou feiras da região, o que acaba beneficiando outras regiões próximas ao município.

Na Bahia, agrupamentos de maior expressão do tipo Baixo-Baixo abarcam as mesorregiões do Nordeste Baiano (microrregiões Jeremoabo, Euclides da Cunha, Ribeira do Pombal, Serrinha, Alagoinhas e Entre Rios), Metropolitana de Salvador (microrregiões de Catu, Santo Antônio de Jesus, Salvador), Centro Sul Baiano (microrregiões Boqueira, Seabra, Jequié, Livramento do Brumado, Guanambi, Vitória

da Conquista e Itapetinga) e Sul Baiano (microrregiões Valença, Ilhéus-Itabuna e Porto Seguro), Leste Potiguar (microrregião Litoral Nordeste), Mata Paraibana (microrregiões Litoral Norte, João Pessoa e Litoral Sul), Leste Sergipano (microrregiões Propriá, Cotinguiba, Japaratinga, Baixo Cotinguiba, Aracaju, Boquim e Estância), Leste Alagoano (microrregião Norte Alagoano), Mata Pernambucana (microrregiões Setentrional Pernambucana, Vitória de Santo Antão e Mata Meridional Pernambucana) e Metropolitana do Recife (microrregiões Itamaracá, Recife e Suape)

Em relação aos agrupamentos do tipo baixo-baixo, pode-se inferir que o Nordeste não possui alto nível de produção em termos de padrões tecnológicos a partir do mapa LISA apresentado. Isso é corroborado por Santos *et al* (2023) que afirmam que os agricultores familiares possuem pouco acesso às tecnologias disponíveis, que entre 2006 e 2017 investimentos foram feitos na agricultura de modo geral, mas em termos absolutos apenas 14% dos recursos chegaram aos pequenos produtores e, de acordo com Ramos e Filho (2023) no Sul a promoção de políticas públicas com mais acesso da público alvo, enquanto que no Nordeste a participação é mais passiva no sentido de menos alcance, além de fatores exógenos como o clima e a geografia da região.

Um estudo realizado por Ferreira *et al* (2022) analisou 137 mesorregiões do Brasil e constatou que existe uma heterogeneidade importante entre as mesorregiões quando comparadas ao Índice de Desenvolvimento Rural (IDR) utilizado no estudo. Ainda de acordo com os autores – e que converge com a literatura atual - os melhores resultados em termos de desenvolvimento são encontrados no Sudeste, Sul e Centro-Oeste, ao passo que os piores resultados são identificados no Norte e Nordeste. Finalizam a pesquisa propondo a ampliação e/ou adoção de políticas públicas mais efetivas com foco na agricultura familiar, a fim de torná-la mais forte, moderna e reter o homem no campo, além de contribuir para o desenvolvimento rural da região.

4.3 Índice de modernização normalizado

O Índice Bruto de Modernização foi encontrado a partir da divisão da soma dos produtos dos fatores e variância acumulada dos fatores. A partir disso, foi utilizado o método *min-máx* para encontrar o Índice de Modernização Normalizado,

tendo encontrado no IBM o valor máximo de 4,815253, que representa o maior valor do município em termos de modernização antes da normalização; e o valor mínimo de -1,034043, que representa o menor valor do município em antes da normalização.

Para critério de classificação dos municípios entre alto, médio e baixo foi utilizada a Tabela 7 onde mostra os critérios e os valores que foram encontrados. É relevante informar que a média encontrada foi de 17,678071, que representa o valor central em relação aos dados total; e o desvio padrão amostral foi de 7,483325, que representa o quanto os dados giram em torno da média. Esses valores foram utilizados para criar o Índice de modernização normalizado e, dessa maneira, ranquear os municípios da amostra.

Tabela 7: Referências *ranking* dos municípios

Status	Critério adotado	Referências
Alto	$x > \mu + \sigma$	Acima de 25,16140
Médio	$\mu \leq x \leq \mu + \sigma$	Valores entre 25,16139 - 17,67807
Baixo	$x < \mu$	Abaixo de 17,67807

Fonte: Elaboração própria com base no resultado da pesquisa

Do 1º ao 122º município foi classificado como alto do ponto de vista de modernização, do 123º ao 535º foi classificado como médio e, por fim, dos 536º ao 1523º foi classificado como baixo. Em termos absolutos, do total de 1.523 municípios 122 apresentaram padrão alto de modernização (8,01%), 413 padrão médio (27,12%) e 988 padrão baixo (64,87%).

5 Conclusão

Esta pesquisa procurou conhecer os fatores comuns existentes entre os agricultores familiares através de variáveis que captam tecnologia agrícola, conhecer a relação espacial existente utilizando o fator que represente a produtividade e ordenar os municípios em nível de tecnologia no Nordeste.

A partir das técnicas utilizadas na metodologia, utilizando a AEDE global, os padrões alto-alto encontrados em alguns municípios do Maranhão, Bahia, Piauí e Sergipe podem ser explicados pela tradição de criação de algumas culturas e de animais, benefícios através da expansão no âmbito da agricultura desde a década de 80, presença de assistência técnica por parte da EMATER estadual. Em relação à AEDE local, os poucos padrões alto-alto comparados com os muitos padrões do tipo baixo-baixo, pode-se concluir que esses resultados são importantes para entender que a região Nordeste ainda carece de mais investimentos na agricultura familiar, que a necessidade de facilidade ao crédito seja mais presente a esses produtores para que tornem-se produtivos, que políticas públicas mais específicas devem ser formuladas para essa região levando em consideração aspectos socioeconômicos. Dessa maneira, o baixo nível tecnológico encontrados no ranking acaba interferindo negativamente na produtividade dos agricultores familiares.

Novas tecnologias foram apontadas no decorrer desta pesquisa e que não estavam como variáveis no Censo Agropecuário 2017. É importante que elas estejam, pois irão refletir a atual realidade dos agricultores e deixar mais assertivo para os responsáveis pela formulação de políticas públicas.

Como pesquisas futuras, sugere-se realizar um estudo comparativo utilizando os Censos Agropecuários de 2006 e 2017 para verificar o padrão espacial e o quanto mudou em termos de tecnologia com o objetivo de verificar se é uma tendência; caso contrário, propor ações específicas com foco nas mudanças encontradas. Sugere-se a inclusão das novas tecnologias utilizadas pelos agricultores como variáveis a fim de verificar o nível tecnológico. Por fim, realizar um estudo comparando as regiões brasileiras para verificar o nível tecnológico associado à produtividade, uma vez que não há estudos semelhantes na literatura atual.

REFERÊNCIAS

- AHAMMED, F; TAUFUQ, D. A. Applications of solar PV on rural development in Bangladesh. **Journal of Rural and Community Development**, v. 3, n. 1, 2008.
- ALMEIDA, E. **Econometria espacial aplicada**. Campinas, SP: Editora Alínea, 2012.
- ALMEIDA, M. R. D.; CAMPOS, K. C. Índice de gestão tecnológica e capital social de produtores dos municípios de Cedro, Iguatu e Cariús no Ceará. **Revista Práticas Educativas, Memórias e Oralidades**, v. 3, n. 3, 2021.
- AMEEN, A.; RAZA, S. Green Revolution: A review. **International Journal of Advances in Scientific Research**, v. 3, p. 129-137, 2017.
- ANTONY, A. P. *et al.* A review of practice and implementation of the internet of things (IoT) for smallholder agriculture. **Sustainability**, v. 12 (9), 3750, 2020.
- ANDRADE, A. R. S. *et al.* Análise do uso de tecnologias no meio ambiente rural de agricultores no município de Garanhuns/PE e região. **Revista Experiência**, Santa Maria, UFSM, v. 6, n. 01, 13-38, 2020.
- AQUINO, J. R.; ALVES, M. O.; VIDAL, M. F. Agricultura familiar no Nordeste do Brasil: um retrato atualizado a partir dos dados do Censo Agropecuário 2017. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 51, Suplemento especial, p.31-54, agosto, 2020.
- AQUINO, J. R.; ALVES, M. O.; VIDAL, M. F. Agricultura familiar no Nordeste: um breve panorama dos seus ativos produtivos e da sua importância regional. **Boletim regional, urbano e ambiental – IPEA**, 23, Edição Especial Agricultura, 2020.
- AQUINO, J. R. *et al.* Agricultura familiar no Rio Grande do Norte segundo censo agropecuário 2017: perfil e desafios para o desenvolvimento rural. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 51, suplemento especial, p. 113-131, agosto, 2020.
- ARAÚJO, J. M.; FERREIRA, M.A.M.; SILVEIRA, F. R. Capacidades estatais locais para elaboração de políticas públicas municipais de saneamento básico. **IX Encontro Brasileiro de Administração pública**, São Paulo, 2022.

BANCHI, A. D. *et al.* Operating cost sugarcane harvester in function of agricultural productivity and harvester age. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 7, p. 552-557, 2019.

BARBOSA, I. F. S. **Evolução da mão de obra empregada na agricultura familiar do Brasil entre 2006 e 2017**. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. São Paulo, 2021.

BATALHA, M. O.; BUAINAIN, A. M.; FILHO, H. M. S. Tecnologia de gestão e agricultura familiar. **Gestão Integrada da Agricultura Familiar**. São Carlos, EDUFSCAR, p. 43-66, 2005.

BATISTA, M. L. B. **Modernização agrícola nos municípios da Região MATOPIBA: uma aplicação de análise fatorial e espacial**. Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Centro de Ciências Sociais Aplicadas. Natal, 2021.

BATISTA, M. L. B. *et al.* Análise fatorial e espacial da modernização agrícola no MATOPIBA. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, 61(3): e261413, 2023.

BITTENCOURT, D. M. C. Estratégias para agricultura familiar: visão de futuro rumo à inovação. **Texto para discussão 49 – EMBRAPA**, Brasília, 2020.

BORBA, M. C. *et al.* A difusão de tecnologias no meio agrícola na caatinga – a região de clima semiárido brasileiro. **Revista Interações**, Campo Grande, MS, v. 24, n.1, p. 69-93, jan./mar., 2023.

BRASIL. **Lei nº 11.326/2006**. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2004-2006/2006/lei/l11326.htm>. Acesso em 26 de jun. de 2023.

BRUNO, R. Desigualdade, agronegócio, agricultura familiar no Brasil. **Estudos, Sociedade e Agricultura**, UFRJ, v. 24, n. 1, abr.-set., p. 142-160, 2016.

BUAINAIN, A. M.; GARCIA, J. R. Os pequenos produtores rurais mais pobres ainda tem chance como agricultores? **A pequena produção rural e as tendências do desenvolvimento agrário brasileiro: ganhar tempo é possível**, v.1, p. 29-70, 2013.

CABRAL, L. *et al.* Brazil's agricultural politics in Africa: More Food International and the disputed meanings of "family farming". **World development**, v. 81, p. 47-60, 2016.

CARDOSO, P. V. *et al.* A importância da análise espacial para tomada de decisão: um olhar sobre a pandemia de Covid-19. **Revista Tamoios**, São Gonçalo (RJ), ano 16, n.1, Especial Covid-19, pág. 125-137, maio, 2020.

CASTRO, C. N. A agricultura no Nordeste brasileiro: oportunidades e limitações ao desenvolvimento. **IPEA**, texto para discussão n. 1786, Brasília, 2012.

CAUMO, A. J.; STADUTO, J. A. R.; SOUZA, M. Distribuição espacial das trabalhadoras rurais na agricultura familiar no Nordeste do Brasil. **Revista Retratos de Assentamentos**, v.18, n. 1, 2015.

CERQUEIRA, C. A.; JESUS, C. M.; PINHEIRO, L. I. F. Os programas públicos de crédito para o rural e o desempenho do setor primário do território litoral Sul (Bahia / Brasil) nos governos instituídos entre 1999 e 2018. **Revista Geosul**, v. 36, n. 78, p. 254 – 279, jan./abr., 2021.

COELHO, G. S *et al.* Análise do uso e ocupação do solo em diferentes períodos do município de Cidelândia – MA. **Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales**, v. 17, n. 1, p. 8077 – 8093, 2024.

CONTRAF - Confederação Nacional dos trabalhadores e trabalhadoras na agricultura familiar do Brasil. **A importância da agricultura familiar, enquanto produtora de alimentos e o reconhecimento formal da categoria no mundo do trabalho**. Disponível em: <https://contrafbrasil.org.br/noticias/a-importancia-da-agricultura-familiar-enquanto-produtora-de-alimentos-e-o-reconh-a302/#_ftn1>.

Acesso em: 13 jul. 2023.

COSTA, C. C. M. *et al.* Modernização agropecuária e desempenho relativo dos estados brasileiros. **Revista Agroalimentaria, Venezuela**, v. 18, n. 34, p. 43-56, jan./jun. 2012.

CUNHA, J. I. C. **Usos da tecnologia de informação e comunicação (TICs) nos circuitos curtos de comercialização curtos de comercialização de agricultores familiares: o caso da rede Xique Xique de comercialização solidária no Rio Grande do Norte**. (Doutorado em Sociologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, 2022.

DIAS, T. K. M.; CAMPOS, K. C. Índice de modernização da agricultura familiar no Nordeste do Brasil. **Revista de Política Agrícola**, Ano XXXI, n. 4, out./nov./dez., 2022.

DUTRA, I. J. B.; MARTINS, M. C.; PARRÉ, J. L. A produção da agricultura familiar e os efeitos dos programas de incentivo. **Revista de Política Agrícola**, Ano XXX, n. 3, jul./ago./set., 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Agricultura Familiar**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/tema-agricultura-familiar/sobre-o-tema>>. Acesso em 23 de jun. de 2023.

FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P. **Manual de análise de dados: estatística e modelagem multivariada com Excel, SPSS e Stata**. Rio de Janeiro: Elsevier, 1. ed., 2017.

FERREIRA, A. B. R. *et al.* As mudanças no uso e cobertura da terra na região Oeste da Bahia a partir da expansão agrícola. **Revista Formação (online)**, v.28, n. 53, p. 389-412, 2021.

FERREIRA, F. D. G. *et al.* Indicadores de desenvolvimento rural e sua relação com as políticas públicas da agricultura familiar: uma análise para as mesorregiões brasileiras. **Revista Acta Geográfica**, Boa Vista, v. 16, n. 40, jan./abr., p. 179-205, 2022.

FIALHO, M. F.; NETO, J. A. F.; OLIVEIRA, M. L. R. Agricultura familiar e orientação técnica em Pernambuco: um cenário a partir do Censo Agropecuário 2017, **Revista Emancipação**, Ponta Grossa, v. 22, p. 1-18, 2022.

FILHO, H. M. S.; BUAINAIN, A. M.; GUANZIROLI, C. Agricultura Familiar e Tecnologia no Brasil: características, desafios e obstáculos. *In* **Anais do 42º Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Sociologia e Administração Rural**. Brasília: Sober, 2004.

FILHO, D. B. F.; JÚNIOR, J. A. S. Visão além do alcance: uma introdução à análise fatorial. **Revista Opinião Pública**, Campinas, vol. 16, nº 1, Junho, 2010, p. 160-185.

FILHO, J. C.; CAMPOS, K. C.; LEMOS, J. J. S. Nível tecnológico das unidades agrícolas familiares nas microrregiões do Nordeste do Brasil. **Revista Interações**, Campo Grande, v. 24, n. 1, p. 229-245, jan./mar., 2023.

- FOSTER, L. *et al.* Smart farming and artificial intelligence . *In* East Africa: addressing indigeneity, plants and gender. **Smart Agricultural Technology**, v. 3, 2023.
- FREITAS, C. A.; PAZ, M. V.; NICOLA, D. S. Analisando a modernização da agropecuária gaúcha: uma aplicação de análise fatorial e cluster. **Revista análise econômica**, v. 25, n. 47, março, 2007
- GÓMEZ, C. J. R.; ESPINOSA, H. R.; BETANCUR, F. R. Farmer, learning and teaching: a cluster analysis of technology adopters. *In* avocado farming in Colombia. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v. 6, n. 1, 2023.
- IBGE. **Resultados definitivos Censo Agro 2017**. Disponível em:<https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/pdf/agricultura_familiar.pdf>. Acesso em 04 de jul. de 2023.
- KERRAS, H. *et al.* Is the rural population caught in the whirlwind of the digital divide? **Agriculture**, v. 12, n. 12, 2022.
- KLERKX, L.; JAKKU, E.; LABARTHE, P. LABARTHE, P. A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. **Wageningen Journal of Life Science**, v. 90-91, 2019.
- LIMA, A. F.; SILVA, E. G. A.; IWATA, B. F. Agriculturas e agricultura familiar no Brasil: uma revisão de literatura. **Revista Retratos de Assentamentos**, v. 22, n. 1, p. 50-68, 2019.
- LIMA, E. C. **Matopiba: Desenvolvimento rural em uma nova fronteira agrícola**. Tese (Doutorado em Economia) – Universidade de Uberlândia. Uberlândia, 2020.
- LIMA, G. C.; CAMPOS, K. C.; ALVES, A. G. M. Índice de modernização agrícola na região Nordeste. **Revista Interações - Revista Internacional de Desenvolvimento Local**, v. 23, n. 2, p. 347-362, abr./jun., 2022.
- LIOUTAS, E. D. *et al.* Key questions on the use of big data in farming: an activity theory approach. **Wageningen Journal of Life Sciences**, v. 90-91, 2019.
- MARQUES, P. E. M.; MARCHETTI, F. F. Década da Agricultura familiar: reconhecimento crescente de suas múltiplas funções. **Jornal da USP**. Disponível em: <<https://jornal.usp.br/artigos/decada-da-agricultura-familiar-reconhecimento-crescente-de-suas-multiplas->

PEREIRA, C. N. Análise do uso de insumos tecnológicos na agricultura nordestina. **Raízes: Revista de Ciências Sociais e Econômicas**, [S. l.], v. 40, n. 2, p. 325–346, 2020.

PETERMAN, A.; BEHRMAN, J. A.; QUISUMBING, A. R. A review of empirical evidence on gender differences. *In* Nonland agricultural inputs, technology, and services in developing countries. *In* **Gender in Agriculture: Closing the Knowledge Gap**, ed. Springer, Dordrecht, 2014.

PROCÓPIO, D. P. Fatores associados à adoção de tecnologias que promovem a conservação do solo na agricultura familiar brasileira. **XXV Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio-Ambiente – FEA/USP**, 2023.

QUEIROZ, A. M. *et al.* Identificação de clusters espaciais no complexo agroindustrial do milho em Goiás: uma análise exploratória dos dados em 2000 e 2014. **59º Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural**, 2021.

RAIHER, A. P.; HIGACHI, H. Y.; CARMO, A. S. S. Programa de compras da merenda escolar com foco na agricultura familiar: uma análise espacial do seu efeito no desenvolvimento socioeconômico paranaense. **Revista Planejamento e Políticas Públicas**, n. 49, jul./dez., 2017.

RAMOS, E. B. T.; FILHO, J. E. R. V. Desenvolvimento regional da agricultura familiar: cooperativismo e associativismo. **Revista Brasileira de Economia**, v. 77, 2023.

RIBEIRO, G. S. *et al.* Unidades de paisagem do município de Cocos, Oeste Baiano. **XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudança climáticas. 31 de julho a 05 de agosto – Center Convention – Uberlândia / Minas Gerais, 2010. Disponível em:< <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1152670/1/Unidades-paisagem-Cocos-2011.pdf>.> Acesso em 15 de jun. de 2024.

RODRIGUES, M.; CAMPOS, I. Produção de commodities agrícolas na agricultura familiar: análise dos determinantes institucionais no norte mato-grossense. **Economia e Desenvolvimento**, Santa Maria, v. 32, e11, 2020.

SABLAYROLLES, P. J. L.; AZEVEDO, A. B. A. Assistência técnica pública para organizações econômicas da agricultura familiar: evidências a partir da Bahia. **Revista Desenvolvimento Regional em Debate**, v. 12, ed. esp. 2 (dossiê cooperativismo), p. 96-120, 2022.

SANTOS, C. S. N. *et al.* The role of rural credit policies in agriculture income generation in family farms in Pernambuco State, northeastern Brazil – spatial trend and future scenarios. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 53, n. 10, 2023.

SANTOS, M. A. N.; SABIONI, S. C.; SILVA, F. P. Êxodo rural dos agricultores familiares na região do Catongo no município de Itajauípe / Bahia. **Campo – Território: Revista de geografia agrária**, v. 13, n. 31, p. 208 – 228, dez., 2018.

SHARMA, R.; SINGH, G. Access to modern agricultural technologies and farmer household welfare: evidence from India. **Millennial Asia**, v. 6, 19,43, 2015.

SILVA, D. R.; MONTEBELLO, A. E. S. A tecnologia social PAIS (Produção Agroecológica Integrada e Sustentável) e sua efetividade no desenvolvimento rural no semiárido: o caso APAOrgânico. **Desenvolvimento e meio ambiente**, Edição especial - Sociedade e ambiente no semiárido: controvérsias e abordagens, v. 55, p. 451-469, 2020.

SILVA, J. E. V. C. *et al.* Estratégias e tecnologias sustentáveis na agricultura. **A educação ambiental em uma perspectiva interdisciplinar**, v. 1, n. 1, p. 200-2015, 2020.

SILVA, M. A. P.; GOMES, M. F. M.; SANTOS, M. L. Análise da eficiência tecnológica dos agricultores familiares e sua comparação com a distribuição dos recursos do PRONAF. **Informe Gepec**, v. 12, n.1, jan.-jun., 2008.

SOUSA, L. C. C. *et al.* Produtores rurais de Belém de São Francisco – PE e ações do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA). **Revista de Extensão da UNIVASF**, v. 10, n. 2, p. 204-221, 2022.

SOUZA, H. M.; SOUZA, P. M.; NETO, J. A. F. Desigualdade na agricultura familiar: uma análise dos municípios fluminenses a partir de aspectos da modernização. **Revista de Economia e Agronegócio – REA**, v. 16, n.2, p. 203, 2018.

SOUZA, P. M. *et al.* Diferenças regionais de tecnologia na agricultura familiar no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, 57(4), 594-617, 2019.

SOUZA, P. M. *et al.* Tecnologia na agricultura brasileira: uma análise das desigualdades regionais para os segmentos familiar e não familiar. **Revista econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 49, n. 3, p. 147-169, jul./set., 2018.

TRINDADE, L. X.; PEREIRA, J. P. C. N.; VIAN, C. E. F. A produção agrícola no Sul da Bahia sob o enfoque da tolerância tecnológica. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14, supl. 1, 2021.

TRIPP, R. Agricultural Technology Policies for Rural Development. **Development Policy Review**, v. 19 (4), 2001.

VIANA, I. M. S. **Produtividade, eficiência e tecnologia na produção de frutas no perímetro irrigado Senador Nilo Coelho. Dissertação.** (Mestrado em Economia) – Universidade Federal de Viçosa – Viçosa, 2020.

VIEIRA, M. *et al.* Análise econométrica-espacial do IDHM do estado do Maranhão. **Gestão e Desenvolvimento em Revista**, v. 8, n. 2, jul.-dez., p. 90-108, 2021.

VITAL, T. W.; MELO, A. S.; VITAL, M. M. **O Agroamigo em Pernambuco: resultados do período 2005-2022.** Revista Econômica do Nordeste, Fortaleza, v. 54, suplemento especial, p. 165-183, julho, 2023.

YANG-YANG, Z.; TIE-HUI, Z.; WEI, J. Does internet use promote adoption of agricultural technology? Evidence from 1449 farm households in 14 Chinese provinces. **Journal of Integrative Agriculture**, 21 (1): 282-292, 2022.