

# CRÉDITO RURAL, FRONTEIRAS PRODUTIVAS E EXTERNALIDADES ESPACIAIS: UMA ANÁLISE DO FNO NO NORTE DO BRASIL

## 2. Econometria Espacial e Análise Espacial

**Luís Abel da Silva Filho**

Professor do Departamento de Economia da URCA  
Pesquisador visitante da DIRUR/IPEA; Pesquisador Associado do NEREUS-USP  
[luis.abel@urca.br](mailto:luis.abel@urca.br)

**Carlos Roberto Azzoni**

Professor Titular do Departamento de Economia – FEA/USP  
[cazzoni@usp.br](mailto:cazzoni@usp.br)

**Bruno de Oliveira Cruz**

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA  
[bruno.cruz@ipea.gov.br](mailto:bruno.cruz@ipea.gov.br)

**Edcleutson de Souza Silva**

Doutorando em Economia pela Universidade Federal da Paraíba – UFPB, com período sanduiche no Núcleo de Economia Regional e Urbana da Universidade de São Paulo – NEREUS-USP  
[edcleutsonsouza@gmail.com](mailto:edcleutsonsouza@gmail.com)

**André Luiz Squarize Chagas**

Professor do Departamento de Economia – FEA/USP  
[achagas@usp.br](mailto:achagas@usp.br)

**RESUMO:** O estudo avalia os impactos do crédito agrícola sobre a produção e a produtividade da agricultura na região Norte do Brasil, com foco no Fundo Constitucional de Financiamento do Norte (FNO). A análise cobre 450 municípios ao longo de um período de 21 anos (2002-2022) e utiliza métodos de econometria espacial – Spatial Durbin Model (SDM) – para capturar os efeitos diretos e indiretos do crédito agrícola e outras variáveis explicativas sobre a agricultura. A matriz de pesos espaciais foi construída com base no critério de contiguidade queen, e a estimação dos modelos foi realizada pelo método de Máxima Verossimilhança (ML). Os resultados indicam que o crédito do FNO tem um impacto positivo e significativo sobre o valor adicionado bruto da agricultura, enquanto o crédito do BNDES também apresentou efeito positivo, mas de menor magnitude. Para a produtividade do trabalho, o crédito do FNO também mostrou efeito positivo, sendo superado pelo crédito do BNDES. Os efeitos espaciais revelam que o crédito do BNDES gera externalidades positivas nos municípios vizinhos. Os achados destacam a importância do crédito agrícola para o desenvolvimento da agricultura na região Norte, mas também sugerem que a distribuição de financiamento e o processo de mecanização devem ser ajustados para maximizar seus benefícios. Além disso, a presença de efeitos espaciais indica a necessidade de políticas regionais integradas que considerem as interações entre municípios vizinhos.

**PALAVRAS-CHAVE:** crédito público; agricultura; produção; produtividade.

**ABSTRACT:** This study investigates the influence of agricultural credit on agricultural production and productivity in the Northern region of Brazil, with a particular focus on the Constitutional Fund for Financing the North (FNO). The analysis covers 450 municipalities over 21 years (2002-2022). It employs spatial econometrics methods, specifically the Spatial

Durbin Model (SDM), to capture both the direct and indirect effects of agricultural credit and other explanatory variables on agricultural production. The spatial weight matrix was constructed based on the queen contiguity criterion, and the models were estimated using the Maximum Likelihood (ML) method. The results indicate that FNO credit has a positive and significant impact on the gross value added to agriculture. At the same time, BNDES credit also had a positive effect, but of less magnitude. For labor productivity, FNO credit also showed a positive effect, although it was surpassed by BNDES credit. The spatial effects reveal that BNDES credit generates positive externalities in neighboring municipalities. The findings highlight the importance of agricultural credit for agricultural development in the North region, but also suggest that the distribution of financing and the mechanization process should be adjusted to maximize its benefits. Furthermore, the presence of spatial effects highlights the need for integrated regional policies that consider the interactions between neighboring municipalities.

**KEYWORDS:** public credit; agriculture; production; productivity.

**JEL:** C10, C20, C33.

## 1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A agricultura desempenha um papel central na economia brasileira, sendo responsável por uma parcela significativa do Produto Interno Bruto (PIB) e das exportações do país (Gasques, Bacchi & Bastos, 2017). Entre os fatores que impulsionam o crescimento do setor, o crédito agrícola tem se destacado como um elemento fundamental, permitindo a modernização da produção e a ampliação da produtividade (Santos & Braga, 2013). No entanto, os impactos desse crédito variam entre as diferentes regiões do Brasil, especialmente em áreas com desafios estruturais e ambientais, como a região Norte. Dada a sua extensão territorial e a diversidade ecológica, essa região apresenta características peculiares que influenciam a dinâmica do setor agrícola e o acesso ao financiamento (Borges & Parré, 2022). Assim, torna-se essencial compreender como o crédito agrícola impacta a produção e a produtividade nessa região específica.

A escolha da região Norte para este estudo se justifica por múltiplos fatores, sendo um deles o fato de ser uma das principais fronteiras agrícolas em expansão no Brasil (Garrett et al., 2021). Nas últimas décadas, essa região passou por uma intensificação do uso da terra para atividades agrícolas, impulsionada pela disponibilidade de terras relativamente acessíveis e pelo avanço das tecnologias agrícolas (Medeiros et al., 2017). No entanto, esse crescimento se dá em um contexto de fragilidades institucionais e ambientais, onde a disponibilidade de crédito pode atuar tanto como um facilitador do desenvolvimento quanto como um fator que agrava conflitos socioambientais (Araújo, Heck & Carrara, 2021). Dessa forma, compreender os efeitos do crédito agrícola sobre a produção e a produtividade na região Norte é essencial para embasar políticas públicas voltadas ao desenvolvimento sustentável.

Além de ser uma fronteira agrícola em expansão, a região Norte enfrenta restrições ambientais significativas, devido à presença da Floresta Amazônica e a pressões internacionais relacionadas à preservação ambiental (Ferreira et al., 2020). A expansão da agricultura muitas vezes entra em conflito com a necessidade de conservação, gerando desafios para a formulação de políticas de crédito que equilibrem crescimento econômico e sustentabilidade (Anderson et al., 2020). O crédito agrícola pode, por um lado, incentivar práticas mais eficientes e sustentáveis, promovendo a adoção de tecnologias que reduzam o impacto ambiental da produção (Teodoro et al., 2020). Por outro lado, se não for bem direcionado, pode contribuir para a degradação ambiental, ao financiar a expansão da agricultura em áreas sensíveis (Alves, Contini & Gasques, 2008).

Neste contexto, o Fundo Constitucional de Financiamento do Norte (FNO) desempenha um papel estratégico ao fornecer crédito subsidiado para produtores rurais da região (Costa Junior, 2018). Criado com o objetivo de reduzir desigualdades regionais e estimular o desenvolvimento econômico, o FNO se apresenta como um dos principais instrumentos financeiros para impulsionar a agricultura no Norte do Brasil (Nogueira et al., 2023). No entanto, há pouca evidência empírica sobre os reais impactos desse fundo na produção e na produtividade agrícola. Assim, este estudo busca avaliar como o crédito concedido pelo FNO tem influenciado a dinâmica produtiva regional, comparando seus efeitos com outras fontes de financiamento, como o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e instituições financeiras privadas (Borges & Parré, 2022).

A metodologia utilizada para esta investigação se baseia na econometria espacial, permitindo capturar os efeitos diretos e indiretos do crédito agrícola na produção e na produtividade do trabalho agropecuário (Anselin, 1988). A análise abrange um painel de 450 municípios da região Norte ao longo do período de 2002 a 2022, possibilitando a identificação de padrões espaciais e de interações entre municípios vizinhos. A escolha do modelo econométrico adequado foi realizada por meio de testes de dependência espacial, que indicaram a necessidade de adoção do Spatial Durbin Model (SDM) (LeSage & Pace, 2009). Esse modelo

permite decompor os efeitos locais e os spillovers espaciais, fornecendo uma análise mais robusta sobre a influência do crédito na região (Jacques & Gonçalves, 2016).

Os resultados desta pesquisa contribuirão para o aprimoramento das políticas públicas voltadas ao financiamento do setor agropecuário na região Norte. Ao quantificar os impactos do crédito agrícola sobre a produção e a produtividade, espera-se fornecer subsídios para a formulação de estratégias que otimizem a alocação de recursos e reduzam desigualdades regionais (Pintor, Silva & Piacenti, 2015). Além disso, a identificação de externalidades espaciais poderá auxiliar na construção de políticas integradas, que levem em consideração os efeitos indiretos do crédito sobre municípios vizinhos (Eusébio, Maia & Silveira, 2020). Dessa forma, o estudo visa não apenas avaliar a efetividade do crédito agrícola, mas também propor diretrizes para um desenvolvimento mais equilibrado e sustentável da agricultura na região.

Portanto, a presente pesquisa se justifica pela necessidade de compreender os efeitos do crédito agrícola em uma região que combina oportunidades de expansão produtiva e desafios ambientais complexos. O estudo busca responder se o financiamento rural, especialmente o concedido pelo FNO, tem sido eficaz em impulsionar a produção e a produtividade agricultura no Norte do Brasil. Os achados contribuirão para o debate sobre o papel do crédito agrícola na promoção do desenvolvimento sustentável e na redução das desigualdades regionais, fornecendo informações valiosas para formuladores de políticas e agentes do setor agropecuário.

Para o alcance do nosso objetivo, o artigo encontra-se assim estruturado: além destas considerações iniciais, a segunda seção apresenta uma revisão de literatura dividida em efeitos do crédito na agricultura nacional e na região Norte; a terceira seção apresenta a abordagem metodológica utilizada; a quarta seção apresenta resultados e discussões; e, na quinta seção, tecem-se as considerações finais.

## **2. CRÉDITO AGRÍCOLA, PRODUÇÃO E PRODUTIVIDADE: UMA REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1. Crédito e produção agrícola: uma revisão para o Brasil**

Ao estudar o crédito agrícola, Santos e Braga (2013) buscaram observar os impactos deste sobre a produtividade da terra e do trabalho nas grandes regiões brasileiras, utilizando microdados do Censo Agropecuário de 2006. A metodologia adotada pelos autores combinou um modelo de restrição de crédito e o método de *Propensity Score Matching*, permitindo avaliar se produtores que acessaram crédito apresentaram ganhos produtivos em relação àqueles que não acessaram. Os resultados apontam que, de maneira geral, o crédito rural não foi efetivo para aumentar a produtividade dos fatores no setor agrícola, exceto na região Nordeste, onde foi identificado um efeito positivo. Esse achado reforça a necessidade de reformulação da política de crédito rural para que seus benefícios sejam mais amplamente distribuídos entre os produtores, evitando a concentração dos recursos nas regiões mais desenvolvidas.

Na mesma perspectiva analítica que Santos e Braga (2013), mas com método diferente, Melo, Marinho e Silva (2013) examinam a relação entre crédito rural e o crescimento do PIB agropecuário no Brasil entre 1995 e 2009. Utilizando modelos econométricos baseados em séries temporais, aplicando Vetores Autorregressivos (VAR). O estudo encontrou evidências de causalidade bidirecional entre o crédito rural e o PIB do setor agropecuário. Além disso, os autores segmentaram o crédito em suas principais finalidades (investimento, custeio e comercialização), identificando que o crédito voltado para a comercialização teve um impacto mais significativo sobre o crescimento do setor. Um choque positivo de 4,23% no crédito para comercialização elevou o PIB agropecuário em 1,89%, enquanto um choque de 1,90% no crédito para agricultura resultou em um aumento de 0,79% no PIB agropecuário. O estudo conclui que o crédito rural desempenha um papel crucial no crescimento do setor primário, mas sugere a necessidade de políticas mais direcionadas para otimizar sua eficiência.

De forma mais específica que a utilizada por Santos e Braga (2013) e Melo, Marinho e Silva (2013), Castro, Resende e Pires (2014) avaliam os impactos regionais do Programa Nacional de Agricultura Familiar (PRONAF) no período de 2000 a 2010, utilizando modelos econométricos de dados em painel com efeitos fixos. O estudo analisou os efeitos do programa em três escalas regionais – municipal, microrregional e mesorregional – além de avaliar separadamente cada uma das cinco macrorregiões do Brasil. Os resultados indicam que o PRONAF teve impactos positivos sobre o crescimento do PIB per capita e do PIB agropecuário nos municípios das regiões Nordeste, Sudeste e Sul, enquanto não foram identificados impactos significativos nas regiões Norte e Centro-Oeste. A magnitude dos efeitos foi mais expressiva nas regiões Sul e Sudeste, reforçando a necessidade de um olhar mais atento à distribuição dos recursos do programa para garantir benefícios equitativos entre as regiões.

Assim como Castro, Resende e Pires (2014), Galindo et al. (2015) foram específicos em investigar os impactos do Programa Nacional de Crédito Fundiário (PNCF) sobre o valor bruto da produção agricultura (VBPA) entre 2006 e 2012. A análise foi conduzida por meio de microdados de agricultores beneficiados e não beneficiados pelo programa, com estimativas separadas para cada macrorregião brasileira. Os resultados gerais indicam que, quando considerada a amostra completa de trabalhadores rurais, o programa não apresentou impacto significativo. No entanto, ao segmentar os agricultores em grupos mais homogêneos, observou-se um impacto positivo do PNCF entre os produtores de menores recursos, indicando que o programa pode ser eficaz para determinados perfis de beneficiários. Os achados sugerem que ajustes na estrutura do programa poderiam ampliar seus efeitos positivos e torná-lo mais acessível a diferentes grupos de agricultores.

Já Pintor, Silva e Piacenti (2015) analisam o impacto do crédito rural no valor bruto da produção da agricultura dos estados brasileiros no período de 2000 a 2011. Utilizando dados em painel e modelos de efeitos fixos, o estudo controlou para variáveis como área agrícola colhida, preço das commodities e exportações do agronegócio. Os resultados indicam que o crédito rural tem um impacto positivo e significativo sobre a produção agrícola, reforçando a importância da política creditícia para o crescimento econômico dos estados e do país. O estudo destaca que, entre 2000 e 2011, o volume de crédito rural cresceu de R\$ 13,78 bilhões para R\$ 94,11 bilhões, dobrando sua participação no PIB nacional de 1,16% para 2,27%. Esse aumento no crédito foi acompanhado por um crescimento da área colhida e do uso de tecnologias agrícolas, evidenciando o papel do crédito como indutor de modernização no setor.

De forma específica, Jacques e Gonçalves (2016) estudam a evolução das cooperativas de crédito no Brasil e seu impacto sobre a renda dos municípios brasileiros, utilizando o método de diferenças em diferenças. O estudo analisa uma amostra de 3.580 municípios brasileiros e identifica um impacto positivo de R\$ 1.825 no PIB per capita dos municípios com presença de cooperativas de crédito, com significância estatística de 5%. Os autores argumentam que as cooperativas de crédito desempenham um papel essencial no fornecimento de financiamento para pequenas empresas e agricultores familiares, promovendo o desenvolvimento local. O estudo conclui que a ampliação do acesso a crédito por meio das cooperativas pode ser uma alternativa eficiente para reduzir a exclusão financeira e estimular o crescimento econômico regional.

Semelhante a Melo, Marinho e Silva (2013), Medeiros et al. (2017) analisam o impacto do crédito rural sobre a produção agrícola brasileira no período de 2006 a 2014, utilizando o modelo de séries temporais, por meio de Vetor de Correção de Erros (VEC), para captar relações de curto e longo prazo. Os resultados indicam que, no longo prazo, o principal fator para o crescimento da produção agrícola é a expansão da área plantada, enquanto, no curto prazo, o uso de fertilizantes e máquinas agrícolas tem papel preponderante. Embora a concessão de crédito rural não tenha apresentado uma relação estatisticamente significativa com a produção agrícola, os autores destacam que seus efeitos indiretos, como a facilitação da compra

de insumos e equipamentos, não podem ser descartados. A pesquisa sugere que políticas de crédito voltadas para o financiamento de insumos e infraestrutura podem ser mais eficazes para impulsionar a produção agrícola.

Gasques, Bacchi e Bastos (2017) investigam os impactos do crédito rural sobre diferentes variáveis do agronegócio brasileiro, incluindo o Valor Bruto da Produção (VBP), o PIB do agronegócio e da agricultura, e a Produtividade Total dos Fatores (PTF). O estudo estima elasticidades e conclui que um aumento de 1% no crédito rural eleva o VBP em 0,40%, o PIB do agronegócio em 0,19%, o PIB da agricultura em 0,18% e a PTF em 0,12%. Os autores destacam que o crédito rural passou por transformações significativas ao longo das décadas de 1980 e 1990, com a retirada de subsídios e a adoção de mecanismos de equalização de taxas de juros. O estudo enfatiza a importância do crédito como ferramenta de política agrícola e sugere que sua alocação eficiente pode contribuir para o crescimento sustentável do setor.

O estudo de Costa Junior (2018) debruçou-se sobre investigar o impacto das variações no crédito rural e no investimento em pesquisa agrícola sobre a produtividade da agricultura brasileira. O estudo utiliza um modelo DSGE com economia fechada, sem governo e dividido em dois setores: agrícola e não agrícola. A análise cobre o período de 1947 a 2013, observando como diferentes fatores influenciaram a produtividade do setor. Os resultados indicam que a redução do investimento em pesquisa levou a uma queda da produtividade agrícola até 2011, com uma recuperação nos anos seguintes. Já o crédito rural subsidiado teve impacto nulo até 2009, apresentando efeitos positivos em 2010 e 2011, mas tornando-se negativo em 2012 e 2013. O estudo conclui que, entre as políticas analisadas, o subsídio ao crédito rural teve melhor desempenho do que os investimentos em pesquisa, destacando-se como um fator mais eficiente para impulsionar a produção agrícola no curto prazo.

Já Dal Magro, Oliveira e Souza (2019) analisam a evolução do crédito rural no Brasil entre 2004 e 2011, diferenciando os financiamentos de custeio-comercialização e de investimento para a agricultura empresarial e familiar. Utilizando dados do Ministério da Agricultura e do Banco Central do Brasil, os autores aplicam análises de correlação para investigar a relação entre os valores concedidos e a participação de cada tipo de agricultura no crédito. Os resultados indicam que a agricultura empresarial utilizou predominantemente o crédito rural para custeio e comercialização, enquanto o financiamento para investimento cresceu mais no período e apresentou forte relação com ambas as categorias. O estudo conclui que a agricultura familiar teve menor acesso ao crédito de custeio, o que pode limitar seu desenvolvimento, enquanto a agricultura empresarial obteve mais benefícios do sistema de crédito rural brasileiro.

De forma específica, Eusébio, Maia e Silveira (2020) analisam o impacto do crédito rural sobre o valor da produção da agricultura para agricultores não familiares no Brasil, utilizando os microdados do Censo Agropecuário de 2006, que abrangem 796.422 estabelecimentos. Para lidar com a endogeneidade entre crédito e produção, os autores aplicam um método de estimação em dois estágios. Os resultados indicam que o acesso ao crédito teve um impacto positivo e significativo sobre a produção agrícola, com variações na intensidade desse efeito conforme a fonte do crédito e a região do país. O estudo destaca que, embora os agricultores não familiares representassem apenas 16% dos estabelecimentos em 2006, eles concentravam 70% da área total e 68% do valor da produção, reforçando a importância do crédito rural para esse segmento.

Por uma abordagem diferente até aqui apresentada, Araújo, Heck e Carrara (2021) investigam o impacto do Programa de Modernização da Frota de Tratores Agrícolas e Implementos Associados e Colheitadeiras (Moderfrota) sobre a modernização da agricultura brasileira e a produção de commodities agrícolas como algodão, café, cana-de-açúcar, milho e soja. A metodologia inclui uma revisão da literatura sobre a modernização agrícola e um modelo econométrico baseado em vetores autorregressivos, assim como em Melo, Marinho e

Silva (2013) e Medeiros et al. (2017), para captar os impactos do Moderfrota ao longo do tempo. Os resultados indicam que o programa teve um impacto positivo e significativo no setor agrícola, porém mudanças na elegibilidade, taxas de juros e concorrência com outros programas de crédito reduziram seu dinamismo. O estudo destaca que o Moderfrota foi crucial para a mecanização da agricultura e para a ampliação da produtividade, mas sua continuidade e aprimoramento são fundamentais para manter os ganhos alcançados.

Assim com o objeto analítico abordado em Pintor, Silva e Piacenti (2015), Borges e Parré (2022) avaliam a relação entre crédito rural e produto agropecuário no Brasil entre 1999 e 2018, utilizando modelos econométricos de Vetores Autorregressivos (VAR), como em Melo, Marinho e Silva (2013) e Medeiros et al. (2017) e Araújo, Heck e Carrara (2021). Além disso, aplicou testes de causalidade de Granger e Mínimos Quadrados Ordinários e Generalizados (MQO e MQG). Os resultados encontrados por Borges e Parré (2022) indicam que o crédito rural teve um impacto positivo sobre o PIB agropecuário, com elasticidade estimada em 0,20%. No entanto, o estudo revela que a ampliação do crédito rural no período beneficiou um número reduzido de estabelecimentos e contratos de valores mais altos, evidenciando um ambiente de racionamento de crédito no país. Os testes de Granger indicam que o crédito rural precede o crescimento do PIB agropecuário, confirmando sua relevância para o desenvolvimento do setor. Além disso, os autores estimam que o nível ótimo de crédito para maximizar o produto agropecuário seria de aproximadamente R\$ 58 bilhões por trimestre.

Nogueira et al. (2023) analisam o impacto do crédito rural no desenvolvimento da agricultura brasileira entre 1969 e 2018, enfatizando a correlação entre o acesso ao crédito e fatores de produção agricultura. Utilizando análises de regressão e a correlação de Pearson, o estudo demonstra que o crédito rural teve um papel fundamental na modernização da agricultura, especialmente na mecanização impulsionada pela Revolução Verde. Os resultados indicam uma forte relação positiva entre crédito e desenvolvimento agropecuário, com destaque para o financiamento de investimentos tecnológicos e infraestrutura produtiva. O estudo conclui que o crédito rural continua sendo um dos principais instrumentos de política agrícola no Brasil, fundamental para o crescimento econômico e para a competitividade do agronegócio no cenário internacional.

## **2.2. Crédito e produção agrícola: uma revisão da literatura para a região Norte do Brasil**

Esta subseção visa abordar evidências acerca dos efeitos do FNO sobre a dinâmica socioeconômica, sobretudo rural, na área de operação do FNO. Nessa perspectiva, Silva Junior (2015) analisou os impactos socioambientais do financiamento concedido aos pescadores artesanais no município de Bragança, no Pará, por meio do Fundo Constitucional de Financiamento do Norte (FNO). A pesquisa utilizou um levantamento de dados primários realizado entre abril e dezembro de 2005, com entrevistas a 38 pescadores beneficiados, além da consulta a registros do Banco da Amazônia e do Sindicato dos Pescadores Artesanais de Bragança. Os resultados indicaram que, embora o financiamento tenha proporcionado a aquisição de embarcações motorizadas, ele não resultou em aumento sustentável da produção pesqueira nem em melhoria da renda familiar no médio prazo. O número de embarcações cresceu, mas sem uma estratégia eficaz de gestão dos recursos naturais, o impacto sobre a economia local foi limitado. A pesquisa conclui que o crédito, apesar de ser uma ferramenta relevante, não atingiu os objetivos de desenvolvimento propostos pelo FNO, revelando a necessidade de políticas de crédito mais alinhadas às realidades produtivas e ambientais da pesca artesanal na região Norte do Brasil.

Diferentemente de Silva Junior (2015), Silva, Carvelli e Leite (2016) deram uma abordagem mais ampla à questão do crédito, e investigaram a evolução da captação de recursos do FNO entre os anos de 2010 e 2012 na região sul do Tocantins, analisando os impactos desse

financiamento sobre o desenvolvimento regional, não limitando setor. A metodologia consistiu em uma abordagem qualitativa e exploratória, com base em pesquisa documental de relatórios de operações de crédito das instituições financeiras. O estudo abrangeu onze municípios atendidos pelo FNO e constatou que, ao longo dos anos analisados, houve um aumento na captação de recursos por produtores rurais, tanto pessoas físicas quanto jurídicas. No entanto, os autores destacam a necessidade de avaliar a efetividade do crédito em termos de aplicação dos recursos e desenvolvimento econômico local. Conclui-se que, apesar do crescimento na captação, é essencial um monitoramento mais rigoroso das políticas públicas para garantir que o crédito resulte efetivamente em melhorias para os beneficiários e para a economia regional.

Pontualmente a um estado, mas por uma visão mais ampla, assim como Silva, Carvelli e Leite (2016), o estudo de Portugal (2017) analisou os desafios na aplicação de 5% dos recursos do FNO no estado de Roraima, avaliando como a Política Nacional de Desenvolvimento Regional (PNDR) se ajusta à dinâmica territorial desse estado. O estudo utilizou uma abordagem qualitativa para capturar percepções sobre os entraves no desenvolvimento econômico local. Os resultados indicaram que, além dos desafios burocráticos na concessão de crédito, fatores estruturais como a fragilidade econômica, a instabilidade na Venezuela, a regularização fundiária precária e a dependência do funcionalismo público urbano dificultam a aplicação eficaz dos recursos. Conclui-se que a política de crédito do FNO não está adaptada à realidade territorial de Roraima, o que sugere a necessidade de um redirecionamento do crédito para setores urbanos e para estratégias que enfrentem os problemas multidimensionais que afetam a economia do estado.

O estudo de Filgueiras et al. (2017) investigou a aplicação dos recursos do FNO e do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF) na agricultura familiar da região Norte do Brasil. A pesquisa analisou a distribuição dos recursos entre os estados da região, considerando fatores como conflitos agrários, restrições ambientais e a estrutura produtiva local. Os resultados apontaram que a demanda por crédito varia significativamente entre os estados, sendo influenciada por limitações institucionais e estruturais. Além disso, observou-se uma concentração dos recursos entre produtores com maior nível de renda, o que pode comprometer os objetivos de democratização do crédito. O estudo conclui que, embora o FNO e o PRONAF tenham papel relevante no crescimento da produção da agricultura, há desafios na distribuição equitativa dos recursos, sendo necessário um maior alinhamento das políticas de crédito com a realidade dos pequenos produtores.

Por uma perspectiva analítica mais ampla à apresentada por Filgueiras et al. (2017), Daniel e Braga (2020) analisaram os impactos econômicos do crédito concedido às empresas da região Norte por meio do FNO no período de 2000 a 2010. Utilizando o método de diferenças em diferenças para avaliar os efeitos sobre o emprego, a massa salarial e os salários médios, o estudo constatou que o acesso ao crédito subsidiado aumentou a geração de empregos em 20% no curto prazo e 28% no longo prazo para empresas que financiaram capital de giro. Para aquelas que financiaram investimentos, os impactos foram de 13% e 15%, respectivamente. No entanto, não foram identificados efeitos significativos sobre o salário médio. Os resultados sugerem que o FNO contribuiu para a expansão do emprego e da renda na região, mas sem impacto expressivo sobre a qualidade dos postos de trabalho criados.

Ne mesma linha de Filgueiras et al. (2017) e menos abrangente que a apresentada por Daniel e Braga (2020), o estudo de Corrêa, Filgueiras e Carvalho (2021) avaliaram a contribuição do crédito rural do FNO para o desenvolvimento regional no período de 2012 a 2018, utilizando uma abordagem quanti-qualitativa baseada em dados secundários. Os resultados demonstram que os créditos do FNO impulsionaram o emprego, a renda e a produção nas áreas onde os empreendimentos foram financiados. Apesar da concentração dos recursos em alguns estados, o estudo indica que o FNO desempenha um papel importante na redução das desigualdades intra e inter-regionais, além de contribuir para a melhoria dos indicadores

sociais da região Norte. Conclui-se que, embora o crédito tenha efeitos positivos no desenvolvimento regional, é necessário aprimorar sua distribuição para alcançar maior equidade entre os estados da região.

Maués Filho et al. (2023) investigaram os efeitos do FNO no desenvolvimento da mesorregião do Marajó, no Pará, entre 2010 e 2019. A pesquisa utilizou dados sobre os valores liberados pelo FNO, receitas municipais e índices FIRJAN de desenvolvimento, analisando-os por meio de regressões em painel. Os resultados apontam que, embora os investimentos tenham contribuído para o desenvolvimento econômico local, os impactos são complexos e variam entre os municípios. A pesquisa destaca a necessidade de um aprofundamento dos estudos sobre a efetividade das políticas de crédito e desenvolvimento regional na região amazônica, de forma a garantir maior eficiência na aplicação dos recursos públicos.

Rodrigues, Azevedo Junior e Silva (2024) analisaram a distribuição do crédito rural do FNO na região Norte, investigando se os recursos contribuem para a redução da concentração do financiamento agrícola. A pesquisa utilizou dados do Banco Central do Brasil e aplicou técnicas de análise espacial, como o Coeficiente de Gini e o Índice de Moran, para identificar padrões de distribuição do crédito entre 2013 e 2022. Os resultados indicaram que o FNO não conseguiu reduzir a concentração do crédito rural, com os recursos permanecendo mais concentrados em regiões produtivas voltadas para grãos e pecuária. O estudo sugere que políticas voltadas à diversificação da produção e à inclusão de pequenos produtores podem melhorar a distribuição do crédito na região Norte.

Nesse sentido, a seção que se segue aborda os procedimentos metodológicos adotados, visando fornecer subsídios analíticos aos resultados empíricos abordados pelo este estudo.

### 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este estudo utiliza um painel espacial composto por 450 municípios da região Norte do Brasil, abrangendo um período de 21 anos (2002-2022). O objetivo é avaliar os impactos do crédito agrícola e de fatores estruturais sobre o desempenho da agricultura na região. Para isso, foram estimados dois modelos econométricos distintos. No primeiro, a variável dependente é o valor adicionado bruto da agricultura nos municípios analisados. No segundo, a variável dependente é a razão entre o valor adicionado bruto da agricultura e o número de ocupados formais no setor, representando a produtividade do trabalho. As variáveis explicativas incluem diferentes fontes de crédito agrícola, características estruturais do setor agropecuário e fatores climáticos. Todas as variáveis foram transformadas para logaritmo natural, permitindo que os coeficientes das regressões sejam interpretados como elasticidades, conforme o quadro 1, abaixo:

**Quando 1:** Variáveis, descrição, fonte e sinal esperado nos modelos

Variáveis	Descrição	Fonte	Sinal esperado
$\log(\text{fno\_agro\_value})$	valor do crédito emitido por meio do FNO para os municípios da região Norte do Brasil	MIDR	+
$\log(\text{bndes\_loan})$	valor do crédito emitido por meio do BNDES para os municípios da região Norte do Brasil	BNDES	+
$\log(\text{others\_loans})$	valor do crédito emitido por meio de outros operadores do sistema financeiro para os municípios da região Norte do Brasil	IPEA	+
$\log(\text{esc\_supmais})$	número de ocupados formais com ensino superior completo nos municípios da região Norte do Brasil	RAIS-TEM	+
$\log(\text{nfirms\_agro\_2})$	número de firmas agrícolas nos municípios da região Norte do Brasil	RAIS-TEM	+

log(rainfall)	quantidade média de chuva anual (em milímetros) nos municípios da região Norte do Brasil	ANA	+
log(rainfall <sup>2</sup> )	quantidade média de chuva anual (em milímetros ao quadrado) nos municípios da região Norte do Brasil	ANA	-
log(tractors)	média móvel da quantidade de tratores nas atividades agrícolas nos municípios da região Norte do Brasil.	IBGE	+
log(farming <sub>ha</sub> )	tamanho da propriedade, em hectares.	IBGE	+

Fonte: elaboração dos autores com dados da pesquisa

A Tabela 2 apresenta um conjunto abrangente de testes econométricos utilizados para a escolha entre modelos com efeitos fixos, efeitos aleatórios e pooled OLS na análise do crédito e da produção agrícola nos municípios da região Norte. Os testes de Hausman desempenham papel central nesse processo decisório, ao comparar diretamente os estimadores dos modelos de efeitos fixos e aleatórios. O teste de Hausman padrão (Hausman, 1978) apresenta estatística de 292,8 ( $p < 0,01$ ), rejeitando a hipótese nula de consistência do estimador de efeitos aleatórios. Essa conclusão é corroborada pelo teste Hausman auxiliar (Wooldridge, 2010), que obtém o mesmo valor estatístico. Já o teste Hausman robusto com correção para heterocedasticidade tipo HC3 (Arellano, 1993) apresenta p-valor de 0,0585, próximo ao limiar de 5%, o que sugere cautela, mas ainda assim indica possível correlação entre efeitos não observados e os regressores. Em conjunto, esses resultados sustentam a adoção do modelo de efeitos fixos, dada a provável violação do pressuposto de exogeneidade exigido pelos modelos de efeitos aleatórios.

**Tabela 2:** testes para escolha entre efeitos fixos, efeitos aleatórios e Pooled para crédito e produção agrícola na região Norte

Teste	Estatística	GL	p-valor	Hipótese Alternativa
Hausman Padrão	292,8	9,0	0,0000	Inconsistência entre modelos
Hausman Robusto (HC3)	16,4	9,0	0,0585	Inconsistência entre modelos
Hausman Auxiliar	292,8	9,0	0,0000	Inconsistência entre modelos
Teste F (FE vs Pooled)	514,2	469, 10	0,0000	Efeitos significativos
Breusch-Pagan Individual (RE vs Pooled)	707,4	1,0	0,0000	Efeitos significativos
Breusch-Pagan Temporal (RE vs Pooled)	1.409.970,0	1,0	0,0000	Efeitos significativos
Breusch-Pagan Two-Way (RE vs Pooled)	1.410.677,0	2,0	0,0000	Efeitos significativos
Wald (Mundlak/CRE)	316,6	9,0	0,0000	Efeitos aleatórios correlacionados

Fonte: elaboração dos autores com os dados da pesquisa

Adicionalmente, os testes F (Greene, 2012) e de Breusch-Pagan (1979) reforçam a rejeição ao modelo pooled, indicando a existência de efeitos não observados relevantes tanto no corte transversal (teste F = 514,2;  $p < 0,01$ ) quanto nos domínios individual e temporal (estatísticas superiores a 700.000 para os testes BP two-way). Esses achados apontam que a heterogeneidade entre municípios e entre anos é estatisticamente significativa e deve ser modelada explicitamente. O teste de Wald aplicado ao modelo Mundlak-CRE (Mundlak, 1978), com estatística de 316,6 ( $p < 0,01$ ), demonstra que os efeitos aleatórios estão correlacionados com os regressores, o que viola a suposição de exogeneidade dos modelos aleatórios e reforça a superioridade dos efeitos fixos. Dessa forma, à luz da literatura, os testes apresentados confirmam que a modelagem mais adequada para os dados analisados é a de efeitos fixos com variação espacial e temporal.

Diante dos resultados apresentados na tabela 2, na sequência, a Tabela 3 apresenta os testes utilizados para verificar a presença de autocorrelação espacial nos resíduos do modelo de efeitos fixos (FE) e orientar a escolha entre os principais modelos espaciais – SAR, SDM, SEM e SDEM – conforme a literatura especializada. Os testes LM clássicos e robustos, desenvolvidos por Anselin, Bera, Florax e Yoon (1996), são aplicados sobre os resíduos do modelo FE e do modelo SLX. No caso do modelo FE, tanto o LM-lag (1.470,5) quanto o LM-erro (1.499,2) rejeitam fortemente a hipótese nula de ausência de dependência espacial ( $p < 0,01$ ). Os testes robustos, que isolam os efeitos, indicam a presença de autocorrelação espacial do tipo erro (Robust LM-erro = 30,42;  $p < 0,01$ ), mas não do tipo lag (Robust LM-lag = 1,77;  $p = 0,1828$ ), o que sugere a necessidade de modelos que capturem essa estrutura. Já no modelo SLX – que incorpora as defasagens espaciais das variáveis explicativas –, todos os testes LM e robustos rejeitam  $H_0$  com p-valores muito baixos, sugerindo que tanto o erro quanto a defasagem continuam sendo relevantes mesmo com os spillovers nas covariáveis controlados diretamente no modelo.

**Tabela 3:** testes nos modelos FE e SLX para teste de efeitos espaciais e escolha do modelo para estimar impacto do crédito agrícola sobre o valor adicionado da agricultura nos municípios do Norte

Teste/Modelo	Estatística	GL	p-valor	Decisão
Modelo FE - R <sup>2</sup>	0,0561			
Modelo FE - F	F = 31.332 (gl = 17; 8963)			
LM (FE) - Lag	1.470,5000	1,0000	2.2e-16	Rejeita H0
LM (FE) - Erro	1.499,2000	1,0000	2.2e-16	Rejeita H0
Robust LM (FE) - Lag	1,7748	1,0000	0.1828	Não Rejeita H0
Robust LM (FE) - Erro	30,4200	1,0000	3.48e-08	Rejeita H0
LM (SLX) - Lag	1.468,6000	1,0000	2.2e-16	Rejeita H0
LM (SLX) - Erro	1.421,5000	1,0000	2.2e-16	Rejeita H0
Robust LM (SLX) - Lag	75,4510	1,0000	2.2e-16	Rejeita H0
Robust LM (SLX) - Erro	28,3670	1,0000	1.004e-07	Rejeita H0
LogLik - SAR	-5.797,9650			
LogLik - SDM	-5.722,5870			
LogLik - SEM	-35.616,0100			
LogLik - SDEM	-35.576,0800			
AIC - SAR	11.617,9300			
AIC - SDM	11.483,1700			
AIC - SEM	71.254,0200			
AIC - SDEM	71.190,1600			
Modelo Final (Regra de Baltagi)	SDM			

Fonte: Elaboração do autor com dados da pesquisa

Para orientar a escolha do modelo espacial mais adequado, utilizam-se os critérios de verossimilhança (log-likelihood) e de informação (AIC), segundo a abordagem proposta por Elhorst (2014). O modelo Spatial Durbin Model (SDM), que incorpora simultaneamente as defasagens espaciais da variável dependente e das explicativas, obteve o maior valor de log-likelihood (-5.722,59) e o menor AIC (11.483,17), superando SAR, SEM e SDEM. A adoção do SDM é ainda sustentada pela Regra de Baltagi, Song e Koh (2003), que recomenda selecionar esse modelo geral quando os testes indicam a presença simultânea de efeitos espaciais em lag e erro. Dessa forma, com base nos testes de Anselin et al. (1996), nos critérios comparativos de Elhorst (2014) e na regra de decisão de Baltagi et al. (2003), conclui-se que o

SDM é o modelo espacial mais apropriado para estimar o impacto do crédito agrícola sobre o valor adicionado da agricultura na região Norte.

A Tabela 4 reúne os principais testes econométricos aplicados para decidir entre os modelos pooled, de efeitos fixos (FE) e de efeitos aleatórios (RE) na análise conjunta do crédito agrícola, valor adicionado e produtividade do trabalho na região Norte. Os testes de Hausman, originalmente formulados por Hausman (1978), avaliam a consistência do estimador de efeitos aleatórios frente ao de efeitos fixos. Tanto o teste padrão quanto o auxiliar apresentam estatística de 178,55 com p-valor inferior a 0,01, indicando forte evidência de que os efeitos aleatórios são correlacionados com os regressores, violando a suposição de exogeneidade e favorecendo o modelo de efeitos fixos. Por outro lado, o teste robusto de Hausman com correção HC3, conforme sugerido por Arellano (1993), apresenta p-valor elevado (0,9813), não rejeitando a hipótese nula de consistência dos efeitos aleatórios. Essa divergência entre os testes robusto e padrão indica a necessidade de testes complementares para uma decisão mais precisa.

**Tabela 4:** testes para escolha entre efeitos fixos, efeitos aleatórios e Pooled para crédito agrícola e produtividade do trabalho na região Norte

Teste	Estatística	GL	p-valor	Decisão
Hausman padrão	178,55	9	< 2.2e-16	Rejeita H0
Hausman robusto (HC3)	2,486	9	0.9813	Não Rejeita H0
Hausman auxiliar	178,55	9	< 2.2e-16	Rejeita H0
Teste F (FE vs Pooled)	F = 33.284 (gl = 469; 8971)		< 2.2e-16	Rejeita H0
Breusch-Pagan (RE vs Pooled) — Individual	8579,8	1	< 2.2e-16	Rejeita H0
Breusch-Pagan (RE vs Pooled) — Temporal	179452	1	< 2.2e-16	Rejeita H0
Breusch-Pagan (RE vs Pooled) — Two-way	188032	2	< 2.2e-16	Rejeita H0
Wald (exogeneidade dos efeitos aleatórios)	89,992	9	1.63e-14	Rejeita H0

Fonte: elaboração dos autores com os dados da pesquisa

Nesse sentido, os testes F e Breusch-Pagan fornecem evidências adicionais. O teste F, derivado de Greene (2012), rejeita a hipótese nula de ausência de efeitos não observados ( $F = 33.284$ ;  $p < 0,01$ ), o que invalida o modelo pooled. Os testes de Breusch-Pagan para efeitos individuais, temporais e bidimensionais (two-way), conforme propostos por Breusch e Pagan (1980), também rejeitam sistematicamente a ausência de efeitos ( $p < 0,01$  em todos os casos), indicando que tanto a variação entre municípios quanto ao longo do tempo deve ser incorporada à modelagem. Por fim, o teste de Wald para exogeneidade dos efeitos aleatórios, baseado em Wooldridge (2010), rejeita a hipótese de exogeneidade (estatística = 89,99;  $p < 0,01$ ), confirmando que os efeitos aleatórios são correlacionados com as covariáveis. Assim, mesmo diante da divergência do teste de Hausman robusto, o conjunto dos demais testes corrobora a escolha do modelo de efeitos fixos bidimensionais como o mais adequado para a análise da produtividade do trabalho agrícola na região Norte.

A Tabela 5 reúne os testes para verificação da presença de autocorrelação espacial e seleção do modelo espacial mais adequado à análise da produtividade do trabalho agrícola nos municípios da região Norte, com base nos modelos de efeitos fixos (FE) e SLX. Os testes de dependência espacial baseiam-se na proposta de Anselin, Bera, Florax e Yoon (1996), que recomendam a aplicação dos testes LM (Lagrange Multiplier) clássicos e robustos sobre os resíduos do modelo linear. Para o modelo FE, tanto o LM-lag (279,69) quanto o LM-erro (281,90) rejeitam fortemente a hipótese nula ( $p < 0,01$ ), apontando a existência de autocorrelação espacial. No entanto, os testes robustos indicam que a autocorrelação está mais fortemente presente nos resíduos (Robust LM-erro = 4,26;  $p = 0,0390$ ), sendo fraca ou inexistente na defasagem espacial da variável dependente (Robust LM-lag = 2,04;  $p = 0,1528$ ).

Já no modelo SLX, que incorpora diretamente as defasagens espaciais das variáveis explicativas, todos os testes LM e robustos rejeitam H0 com p-valores significativamente baixos ( $p < 0,01$ ), sugerindo que mesmo após controlar os efeitos indiretos via covariáveis, persiste dependência espacial tanto em lag quanto em erro.

**Tabela 5:** testes nos modelos FE e SLX para teste de efeitos espaciais e escolha do modelo para estimar impacto do crédito agrícola sobre a produtividade do trabalho nos municípios da região Norte

Teste/Modelo	Estatística	GL	p-valor	Decisão
Modelo FE - R <sup>2</sup>	0,0521			
Modelo FE - F	F = 54.83 (gl = 9; 8971)			
LM (FE) - Lag	279,6900	1,0000	2.2e-16	Rejeita H0
LM (FE) - Erro	281,9000	1,0000	2.2e-16	Rejeita H0
Robust LM (FE) - Lag	2,0442	1,0000	0,1528	Não Rejeita H0
Robust LM (FE) - Erro	4,2604	1,0000	0,0390	Rejeita H0
LM (SLX) - Lag	270,0800	1,0000	2.2e-16	Rejeita H0
LM (SLX) - Erro	264,2500	1,0000	2.2e-16	Rejeita H0
Robust LM (SLX) - Lag	75,4510	1,0000	2.2e-16	Rejeita H0
Robust LM (SLX) - Erro	28,3670	1,0000	1.004e-07	Rejeita H0
LogLik - SAR	-17.998,4300			
LogLik - SDM	-17.954,8100			
LogLik - SEM	-47.838,2400			
LogLik - SDEM	-47.799,7700			
AIC - SAR	36.018,8500			
AIC - SDM	35.947,6200			
AIC - SEM	95.698,4700			
AIC - SDEM	95.637,5400			
Modelo Final (Regra de Baltagi)	SDM			

Fonte: elaboração dos autores, com dados da pesquisa

Para decidir entre os modelos espaciais candidatos (SAR, SDM, SEM e SDEM), adotam-se os critérios de log-verossimilhança e AIC, conforme recomenda Elhorst (2014). O modelo SDM (Spatial Durbin Model) apresenta o maior valor de log-likelihood (-17.954,81) e o menor AIC (35.947,62), indicando superioridade estatística frente aos demais modelos. Além disso, segundo a Regra de Baltagi, Song e Koh (2003), a seleção do SDM é recomendada quando os testes LM indicam a presença conjunta de efeitos espaciais em defasagem e em erro, como observado nos resultados do modelo SLX. O SDM também permite decompor efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas, fornecendo interpretações mais ricas para políticas públicas. Assim, a partir da robustez dos testes de Anselin et al. (1996), dos critérios de informação de Elhorst (2014) e da regra de seleção de Baltagi et al. (2003), conclui-se que o SDM é o modelo mais apropriado para estimar o impacto do crédito agrícola sobre a produtividade do trabalho nos municípios da região Norte.

Assim, o modelo SDM foi selecionado pelos testes e ajusta-se a este estudo, por sua capacidade de capturar simultaneamente os efeitos espaciais defasados da variável dependente e das variáveis explicativas. Conforme LeSage e Pace (2009), o SDM pode ser formalizado da seguinte maneira:

$$Y = \rho WY + X\beta + WX\theta + \varepsilon \quad (1)$$

Em que,  $Y$  representa a variável dependente (valor adicionado bruto da agricultura, primeira estimação; e produtividade do trabalho, segunda estimação),  $X$  é a matriz de variáveis explicativas,  $W$  é a matriz de pesos espaciais,  $\rho$  é o coeficiente de defasagem espacial da variável dependente,  $\beta$  são os coeficientes das variáveis explicativas,  $\theta$  representam os efeitos espaciais das variáveis independentes nos municípios vizinhos e  $\epsilon$  é o termo de erro.

A matriz de pesos espaciais  $W$  foi construída a partir da vizinhança de primeira ordem, com base no critério de contiguidade queen. Essa abordagem permite captar externalidades geográficas diretas entre municípios adjacentes, sendo amplamente utilizada na literatura de econometria espacial (Vieira, 2009; Almeida, 2012). Além disso, para verificar a robustez dos resultados, foram estimados os impactos diretos, indiretos e totais das variáveis explicativas, seguindo a metodologia proposta por LeSage e Pace (2009). Esses impactos permitem distinguir o efeito médio de uma variável sobre um município (efeito direto) e o impacto que essa mesma variável exerce sobre os municípios vizinhos (efeito indireto ou spillover espacial).

A estimação dos modelos foi realizada pelo método de Máxima Verossimilhança (ML) desenvolvido por Fisher (1922), considerando heterogeneidade espacial e heterocedasticidade robusta para garantir a consistência dos estimadores. Os coeficientes das variáveis explicativas indicam as elasticidades do valor adicionado bruto da agricultura e da produtividade do trabalho em resposta a variações nos determinantes considerados. Assim, os resultados obtidos fornecem subsídios empíricos relevantes para a formulação de políticas públicas voltadas para o fortalecimento da agricultura na região Norte do Brasil.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 6 apresenta estatísticas descritivas de diversas variáveis selecionadas em um conjunto de dados relacionado à agricultura e financiamento agrícola. A tabela inclui informações sobre o mínimo, primeiro quartil (1st Qu.), mediana, média, terceiro quartil (3rd Qu.) e máximo de cada variável. As variáveis em questão abrangem aspectos como valor de produção agropecuária, empréstimos do BNDES, número de empresas agrícolas, precipitação, uso de tratores e área dedicada à agricultura, além de variáveis relacionadas ao uso de insumos e infraestrutura agrícola. Os valores descritivos fornecem uma visão geral do comportamento das variáveis e da sua dispersão nos dados coletados.

**Tabela 6:** estatística descritiva as variáveis selecionadas para analisar efeitos do crédito sobre a produção e a produtividade na região Norte do Brasil.

Variáveis	Min.:	1st Qu.:	Median:	Mean:	3rd Qu.:	Max.:
av_agro	0,0	17.693,0	46.757,0	87.185,0	108.627,0	1.835.125,0
fno_agro_value	0,0	350.715,0	2.372.731,0	7.945.814,0	7.777.538,0	343.771.450,0
bndes_loan	0,0	0,0	763.752,0	17.992.681,0	3.703.211,0	11.324.872.013,0
others_loans	0,0	0,0	0,0	169.790.350,0	19.883.394,0	27.083.114.719,0
nfirms_agro_2	0.00	2.00	12.00	32.39	38.00	1290.00
rainfall	0,0	1.739,0	2.280,0	2.506,0	3.059,0	9.056,0
rainfall_2	0,0	3.025.363,0	5.196.790,0	7.408.251,0	9.355.668,0	82.018.356,0
tractors	0.00	0.00	38.53	113.38	152.57	5772.83
farming_ha	0,0	13.096,0	49.012,0	86.907,0	111.060,0	1.974.107,0
esc_supmais	0.0	29.0	91.0	965.8	256.0	140120.0

Fonte: elaboração dos autores com dados da pesquisa.

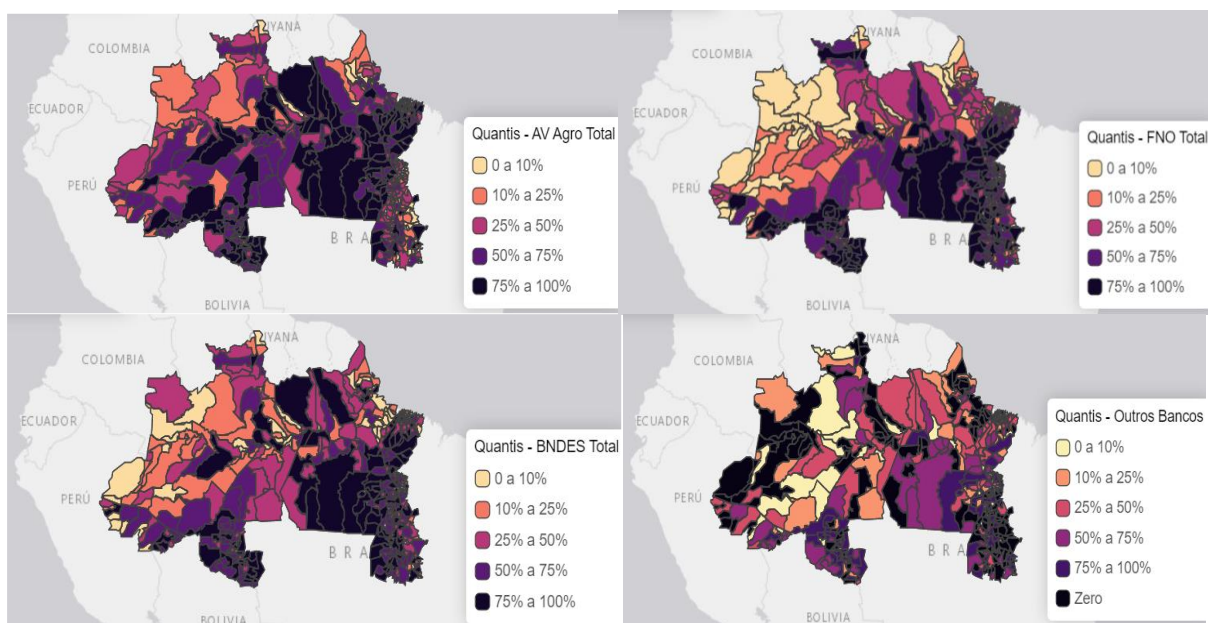
Observando as variáveis, percebe-se uma grande dispersão nos valores apresentados, indicando que há um alto grau de heterogeneidade nos dados. Por exemplo, a variável "av\_agro" (valor da produção agropecuária) apresenta uma grande variação entre o mínimo de 0,0 e o máximo de 1.835.125,0, com uma média de 87.185,0, evidenciando que alguns valores estão

muito distantes da média, o que pode refletir a concentração da produção agropecuária em algumas áreas específicas. Já a variável "fno\_agro\_value" mostra um valor médio de 7.945.814,0, com um máximo impressionante de 343.771.450,0, sugerindo a presença de grandes financiamentos agrícolas que podem ser distribuídos de forma desigual.

Em relação às variáveis relacionadas a empréstimos, como "bndes\_loan" e "others\_loans", é possível observar que a mediana para "bndes\_loan" é de 763.752,0, enquanto o máximo alcança 11.324.872.013,0, o que novamente indica a existência de valores extremamente altos que distorcem a análise central. Para "others\_loans", o valor médio é de 169.790.350,0, com um máximo de 27.083.114.719,0, o que também sugere uma concentração significativa de recursos em poucas unidades ou regiões. Esses dados indicam a importância de investigar como os empréstimos estão sendo distribuídos e se a concentração de recursos pode ter efeitos sobre a equidade no acesso ao financiamento agrícola.

Além disso, variáveis como "nfirms\_agro\_2" (número de empresas agrícolas) e "rainfall" (precipitação) demonstram variações consideráveis, com o número de empresas variando de 0 a 1290, o que evidencia a diversidade no porte e na quantidade de empresas no setor agrícola. A precipitação, por sua vez, varia entre 0 e 9.056, o que pode refletir as diferenças climáticas entre as regiões analisadas e o impacto dessas condições no desenvolvimento da agricultura. A análise dessas variáveis pode ser importante para entender como as condições climáticas e a infraestrutura agrícola, como o uso de tratores e a área de cultivo ("farming\_ha"), afetam a produtividade e o acesso ao financiamento, além de sugerir políticas públicas mais eficazes para lidar com as disparidades regionais observadas nos dados.

A figura 1, abaixo, mostra os quantis das variáveis selecionadas de crédito e o av\_agro. O primeiro mapa exibe a distribuição espacial do valor adicionado total da agropecuária (AV Agro Total) nos municípios da região de abrangência da SUDAM, com a classificação em quantis. Nota-se uma elevada concentração de municípios nos quantis superiores (50% a 100%) nas porções central e sudeste do território analisado, sobretudo no sul do Pará, no Tocantins e em áreas do oeste do Pará. Esses municípios destacam-se por sua maior densidade produtiva no setor agropecuário, refletindo estruturas produtivas mais consolidadas e, provavelmente, maior acesso à tecnologia e infraestrutura. Em contraposição, os municípios localizados no norte do Pará, no Amapá, norte de Roraima e no oeste do Acre concentram-se nos quantis mais baixos (0 a 25%), evidenciando um padrão de baixa produtividade agropecuária nessas localidades, possivelmente ligado a restrições territoriais, climáticas e institucionais.



**Figura 1:** distribuição espacial dos quantis do valor adicionado bruto agropecuário e do crédito do FNO, BNDES e outros bancos na região norte.

O segundo mapa, referente ao crédito total do Fundo Constitucional de Financiamento do Norte (FNO), revela um padrão espacial parcialmente distinto do valor adicionado agropecuário. Observa-se que os municípios com maior volume de crédito (quantis de 75% a 100%) se distribuem em áreas do Tocantins, sul do Pará, leste do Amazonas e porções do Pará. No entanto, grande parte do território apresenta-se concentrada nos quantis intermediários (25% a 75%), indicando uma distribuição relativamente difusa dos recursos do FNO. Destaca-se ainda a presença significativa de municípios nos quantis mais baixos (0 a 25%) em regiões como Amapá, norte do Amazonas e centro-norte do Pará, o que reforça a percepção de que, apesar de seu caráter redistributivo, o FNO ainda enfrenta desafios em alcançar de forma intensiva os municípios com menores indicadores produtivos.

No terceiro mapa, observa-se a distribuição do crédito total oriundo do BNDES. Diferentemente do FNO, o BNDES apresenta um padrão mais seletivo e concentrado de alocação de recursos. Os municípios com maior acesso ao crédito (75% a 100%) estão fortemente concentrados no Tocantins, sul e sudeste do Pará, além de parte do sudoeste deste estado. Essa concentração sugere que o BNDES opera majoritariamente em regiões com maior infraestrutura, capacidade de absorção institucional e escala produtiva, fatores normalmente associados a empreendimentos de maior porte. Por outro lado, vastas áreas do norte do Amazonas, Amapá e Acre permanecem nos quantis inferiores ou não acessam praticamente nenhum crédito, revelando limitações na capilaridade da atuação do banco em regiões mais periféricas e de menor dinamismo econômico.

Por fim, o quarto mapa mostra a distribuição do crédito concedido por “Outros Bancos”, que provavelmente inclui instituições financeiras privadas ou cooperativas. Este mapa revela uma distribuição ainda mais desigual que os anteriores, com várias áreas marcadas como “Zero”, indicando total ausência de operações de crédito agropecuário registradas. As regiões com maior densidade de crédito concentram-se no Tocantins e leste do Pará, enquanto grande parte do Acre, Amazonas e Roraima apresenta pouca ou nenhuma atividade creditícia formal. Esse padrão evidencia falhas de mercado relevantes, em que o sistema bancário privado tende a negligenciar regiões de maior risco ou menor atratividade econômica. Isso reforça a importância dos mecanismos públicos, como o FNO, para garantir o acesso ao crédito em regiões menos assistidas e estruturalmente mais vulneráveis.

#### **4.1. Efeitos do crédito agrícola sobre a produção**

A Tabela 7 apresenta as estimativas do Spatial Durbin Model (SDM) para avaliar os impactos do crédito do Fundo Constitucional de Financiamento do Norte (FNO) sobre o valor adicionado bruto da agricultura nos municípios da região Norte do Brasil. Esse modelo permite decompor os efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas, levando em consideração a interação espacial entre os municípios. Todas as variáveis estão expressas em logaritmos naturais, o que possibilita a interpretação dos coeficientes como elasticidades. Assim, os valores estimados indicam a variação percentual na variável dependente decorrente de uma variação percentual de 1% na variável explicativa correspondente. O modelo inclui tanto os efeitos locais (SDM) quanto os efeitos espaciais defasados (SDM-lag), representando os impactos nos municípios vizinhos. A análise dos coeficientes e seus respectivos níveis de significância estatística permite compreender a relação entre crédito agrícola, infraestrutura produtiva e condições climáticas na região estudada.

**Tabela 7:** estimações por SDM para os impactos do crédito do FNO sobre o valor adicionado bruto da agricultura na região Norte do Brasil

Variáveis	Estimate	Std. Error	t-value	Pr(> t )	sig
log(fno_agro_value)	0,008	0,001	5,974	0,000	***
log(bndes_loan)	0,002	0,001	2,009	0,045	*
log(others_loans)	-0,004	0,001	-3,340	0,001	***
log(esc_supmais)	0,014	0,007	2,126	0,034	*
log(nfirms_agro_2)	0,070	0,011	6,309	0,000	***
log(rainfall)	141,936	88,476	1,604	0,109	
log(rainfall_2)	-70,869	44,212	-1,603	0,109	
log(tractors)	0,137	0,009	14,475	0,000	***
log(farming_ha)	0,248	0,038	6,609	0,000	***
lag_fno_agro_value	0,002	0,003	0,721	0,471	
lag_bndes_loan	0,008	0,002	3,707	0,000	***
lag_esc_supmais	-0,020	0,013	-1,546	0,122	
lag_nfirms_agro_2	-0,075	0,015	-5,019	0,000	***
lag_rainfall	-696,428	139,752	-4,983	0,000	***
lag_rainfall_sq	347,945	69,838	4,982	0,000	***
lag_tractors	-0,100	0,012	-7,999	0,000	***
lag_farming_ha	-0,050	0,054	-0,922	0,356	

Fonte: elaboração dos autores com dados da pesquisa.

A variável que representa os financiamentos do FNO para o setor agropecuário apresentou um coeficiente positivo e estatisticamente significativo (0,008), indicando que um aumento de 1% no crédito contratado pelo fundo resulta em um crescimento de 0,8% no valor adicionado bruto da agricultura nos municípios. Da mesma forma, os financiamentos do BNDES também mostraram um impacto positivo, embora de menor magnitude (0,02%), sugerindo que o crédito concedido por essa instituição possui efeito modesto sobre a atividade agricultura. Em contrapartida, os financiamentos de outras fontes apresentaram um coeficiente negativo e significativo (-0,04%), o que indica que esses recursos podem estar sendo utilizados em atividades menos produtivas ou que seu impacto na agricultura pode ser mitigado por outros fatores estruturais. O número de empresas agriculturas nos municípios também se mostrou relevante, com um coeficiente de 0,070, reforçando a importância do dinamismo empresarial para a geração de valor na agricultura regional.

No que se refere às condições climáticas, a variável de precipitação não apresentou significância estatística, sugerindo que a chuva por si só pode não ser determinante para a produtividade agricultura nos municípios da região Norte. No entanto, a presença de tratores e o tamanho das propriedades agrícolas mostraram impactos significativos e positivos, com coeficientes de 0,137 e 0,248, respectivamente. Isso sugere que investimentos em mecanização e a disponibilidade de grandes extensões de terra contribuem diretamente para o aumento da produção agricultura. Esses resultados corroboram a ideia de que a modernização do setor, por meio do uso de máquinas agrícolas, tem um efeito expressivo sobre a produtividade. A ausência de significância da precipitação pode estar relacionada à variabilidade das chuvas na região, o que pode limitar sua influência direta na produção agrícola sem o uso de tecnologias adaptativas.

Quando se analisam os efeitos espaciais (SDM-lag), observa-se que os financiamentos do FNO nos municípios vizinhos não apresentam impacto significativo, sugerindo que os benefícios desse crédito são predominantemente locais e não se espalham para áreas adjacentes. Por outro lado, o crédito do BNDES nos municípios vizinhos tem um impacto positivo e significativo (0,008), indicando que esses financiamentos podem gerar efeitos indiretos sobre os municípios próximos. A presença de empresas agrícolas nos municípios vizinhos apresentou

um efeito negativo significativo (-0,075), o que pode indicar uma possível competição entre localidades por recursos ou mercado. As variáveis climáticas também demonstraram forte interação espacial, com a precipitação defasada apresentando impacto negativo (-696,428) e seu quadrado positivo (347,945), sugerindo uma relação não linear entre chuvas e produtividade. Além disso, a mecanização agrícola nos municípios vizinhos apresentou um coeficiente negativo significativo (-0,100), o que pode indicar uma concentração dos benefícios da mecanização nos municípios centrais em detrimento das áreas periféricas.

De forma geral, os resultados evidenciam que o crédito agrícola, a mecanização e a estrutura produtiva local desempenham papéis fundamentais no desenvolvimento da agricultura na região Norte do Brasil. O crédito do FNO e do BNDES têm impactos positivos, embora o primeiro tenha efeitos predominantemente locais. A modernização da produção, representada pelo uso de tratores e o tamanho das propriedades, também se mostra essencial para o crescimento do setor. No entanto, os efeitos espaciais indicam que há dinâmicas competitivas entre municípios vizinhos, especialmente no que se refere à estrutura empresarial e ao acesso a recursos produtivos. Essas evidências sugerem que políticas públicas voltadas para o setor agropecuário na região Norte devem considerar não apenas o financiamento, mas também estratégias que promovam a cooperação entre municípios para evitar desigualdades regionais e fortalecer o desenvolvimento sustentável do setor.

#### 4.2. Efeitos do crédito agrícola sobre a produtividade do trabalho

A Tabela 8 apresenta os resultados das estimações do Modelo Spatial Durbin Model (SDM) para avaliar os impactos do crédito do Fundo Constitucional de Financiamento do Norte (FNO) sobre a produtividade do trabalho agrícola nos municípios da região Norte do Brasil. Nessa análise, a variável dependente é a razão entre o valor adicionado bruto da agricultura e o número de ocupados, capturando a eficiência produtiva da mão de obra no setor agrícola. As variáveis explicativas incluem diferentes fontes de crédito agrícola, nível educacional, número de firmas agriculturas, disponibilidade de máquinas e tamanho das propriedades rurais, além de variáveis climáticas. O modelo também incorpora efeitos espaciais, permitindo avaliar a influência dessas variáveis nos municípios vizinhos por meio do cálculo dos seus respectivos lags espaciais.

**Tabela 8:** estimações por SDM para os impactos do crédito do FNO sobre a produtividade do trabalho agrícola nos municípios da região Norte do Brasil

Variáveis	Estimate	Std. Error	t-value	Pr(> t )	Sig
log(fno_agro_value)	0,011	0,005	2,224	0,026	*
log(bndes_loan)	0,016	0,004	3,894	0,000	***
log(others_loans)	-0,017	0,005	-3,544	0,000	***
log(esc_supmais)	0,005	0,025	0,211	0,833	
log(nfirms_agro_2)	0,733	0,041	17,928	0,000	***
log(rainfall )	181,318	327,581	0,554	0,580	
log(rainfall_sq)	-90,560	163,695	-0,553	0,580	
log(tractors)	0,106	0,035	3,020	0,003	**
log(farming_ha)	0,439	0,139	3,153	0,002	**
lag_fno_agro_value	0,009	0,009	0,900	0,368	
lag_bndes_loan	0,034	0,008	4,218	0,000	***
lag_esc_supmais	0,133	0,048	2,746	0,006	**
lag_nfirms_agro_2	-0,314	0,056	-5,589	0,000	***
lag_rainfall	-595,340	516,913	-1,152	0,249	
lag_rainfall_sq	297,414	258,315	1,151	0,250	

lag_tractors	-0,176	0,046	-3,823	0,000	***
lag_farming_ha	-0,085	0,201	-0,424	0,672	

Fonte: elaboração dos autores com dados da pesquisa.

Os resultados indicam que o crédito concedido pelo FNO apresenta um efeito positivo e estatisticamente significativo sobre a produtividade do trabalho agrícola, com uma elasticidade de 0,011, sugerindo que um aumento de 1% no volume de crédito resulta em um incremento de aproximadamente 0,011% na produtividade. O crédito concedido pelo BNDES tem um impacto ainda mais expressivo, com coeficiente de 0,016 e alta significância estatística ( $p < 0,001$ ). No entanto, o crédito oriundo de outras instituições financeiras apresenta um efeito negativo significativo (-0,017), indicando que financiamentos alternativos podem estar sendo direcionados para atividades menos produtivas ou setores que não impulsionam a eficiência do trabalho agrícola. O número de firmas agrícolas também tem um impacto positivo elevado (0,733), sugerindo que a presença de um maior número de empresas no setor agropecuário favorece ganhos de produtividade, possivelmente por meio de economias de escala e difusão tecnológica.

No que se refere às variáveis climáticas, os coeficientes da precipitação e do seu termo quadrático não são estatisticamente significativos, sugerindo que a variação na chuva não tem impacto relevante na produtividade do trabalho agrícola na região Norte. Entretanto, o uso de tratores aparece com um coeficiente positivo (0,106), indicando que a mecanização pode estar associada a uma maior eficiência do trabalho, possivelmente devido à substituição de mão de obra por capital. O tamanho das propriedades rurais, por sua vez, tem um efeito positivo significativo (0,439), o que sugere que fazendas maiores tendem a apresentar maior produtividade por trabalhador, possivelmente devido à melhor estruturação e ao uso mais eficiente dos recursos disponíveis.

Os efeitos espaciais revelam que o crédito do BNDES tem impacto positivo significativo nos municípios vizinhos (0,034), indicando que a concessão de financiamento agrícola pode gerar externalidades positivas para os municípios próximos, talvez por meio da ampliação das cadeias produtivas e do aumento da demanda por insumos e serviços. O efeito espacial do número de firmas agrícolas é negativo e altamente significativo (-0,314), sugerindo que a concentração de empresas agrícolas em um município pode reduzir a produtividade do trabalho nos municípios vizinhos, possivelmente devido à competição por insumos e mão de obra qualificada. Além disso, a presença de tratores nos municípios, afetam os seus vizinhos com impacto negativo (-0,176), reforçando a hipótese de que a mecanização pode gerar efeitos positivos sobre os municípios que a adotam e pode ter efeitos negativos sobre aqueles que não possuem um elevado grau. Por fim, o efeito espacial do nível educacional superior é positivo (0,133), indicando que a presença de profissionais qualificados em um município pode beneficiar indiretamente os municípios próximos, talvez por meio da disseminação de conhecimento e melhores práticas agrícolas.

Esses resultados destacam a importância dos financiamentos agrícolas para a produtividade do trabalho no setor agropecuário da região Norte, especialmente aqueles concedidos pelo FNO e pelo BNDES. No entanto, os achados também sugerem que a mecanização e a distribuição de firmas agrícolas precisam ser melhor estudadas para evitar impactos negativos na produtividade. A presença de efeitos espaciais reforça a necessidade de políticas regionais integradas que considerem os impactos das variáveis não apenas nos municípios individualmente, mas também em suas vizinhanças.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo analisar os impactos do crédito agrícola sobre a produção e a produtividade do trabalho na agricultura nos municípios da região Norte do Brasil,

com ênfase no Fundo Constitucional de Financiamento do Norte (FNO). Considerando a relevância do setor agrícola para a economia regional e os desafios estruturais enfrentados, a pesquisa investigou como diferentes fontes de crédito, fatores estruturais e variáveis climáticas influenciam o desempenho do setor. Para isso, foram estimados modelos de econometria espacial que permitiram captar tanto os efeitos diretos das variáveis explicativas quanto os efeitos indiretos oriundos das interações espaciais entre municípios vizinhos. A análise cobriu um período de 21 anos (2002-2022) e utilizou um painel de dados com informações de 450 municípios da região.

A abordagem metodológica baseou-se na estimação de diferentes modelos econométricos, incluindo os modelos OLS, SLX para aplicar testes de verificação de autocorrelação espacial e, sem seguida, aplicar o Spatial Durbin Model (SDM), sendo este adotado como a especificação mais adequada para captar os efeitos espaciais presentes nos dados.

Os resultados indicaram que o crédito agrícola desempenha um papel fundamental na expansão da produção agricultura na região Norte, especialmente o financiamento concedido pelo FNO. O crédito desse fundo apresentou um efeito positivo e significativo sobre o valor adicionado bruto da agricultura, com elasticidade de 0,008, sugerindo que um aumento de 1% no crédito resulta em um incremento de 0,8% na produção agricultura municipal. O crédito concedido pelo BNDES também apresentou impacto positivo, mas de menor magnitude (0,002), enquanto financiamentos de outras fontes tiveram um efeito negativo, possivelmente devido a sua destinação para atividades menos produtivas dentro do setor. Além disso, verificou-se que a mecanização agrícola e o número de firmas agriculturas são fatores estruturais relevantes para o aumento da produção, enquanto as variáveis climáticas, como precipitação, não apresentaram significância estatística.

No que se refere à produtividade do trabalho agropecuário, o crédito do FNO também se mostrou positivo e significativo, com elasticidade de 0,011, indicando que sua concessão contribui para o aumento da eficiência da mão de obra empregada no setor. O crédito do BNDES teve um efeito ainda mais expressivo sobre a produtividade, com coeficiente de 0,016, enquanto os financiamentos de outras fontes novamente apresentaram impacto negativo. A presença de firmas agrícolas nos municípios mostrou-se um fator crucial para a produtividade, sugerindo que a diversificação empresarial contribui para ganhos de eficiência no setor. No entanto, um achado relevante foi o efeito negativo da mecanização sobre a produtividade, indicando que, na região Norte, o aumento do uso de tratores pode não estar sendo acompanhado de práticas que garantam maior eficiência do trabalho agrícola.

Os efeitos espaciais analisados pelo modelo SDM indicaram que os impactos do crédito agrícola não se limitam ao município de origem, mas também podem influenciar localidades vizinhas. O crédito do BNDES, por exemplo, gerou externalidades positivas para os municípios adjacentes, indicando que os investimentos impulsionam não apenas a localidade onde são aplicados, mas também fortalecem cadeias produtivas regionais. Por outro lado, a concentração de empresas agrícolas mostrou um efeito negativo na produtividade dos municípios vizinhos, possivelmente devido à competição por recursos e mão de obra qualificada. Esses achados evidenciam que políticas de fomento ao crédito e ao setor agrícola devem levar em consideração não apenas os efeitos locais, mas também as interações regionais que podem gerar desigualdades territoriais.

Os resultados deste estudo fornecem subsídios importantes para a formulação de políticas públicas voltadas ao fortalecimento da agricultura na região Norte do Brasil. Dado o impacto positivo do crédito do FNO e do BNDES sobre a produção e a produtividade, é fundamental que haja a manutenção e ampliação desses instrumentos financeiros, garantindo que os recursos cheguem aos produtores de maneira acessível e eficiente. Além disso, os achados indicam a necessidade de políticas que incentivem o uso racional da mecanização, com

suporte técnico e programas de capacitação para evitar impactos negativos sobre a produtividade. A identificação de externalidades espaciais reforça a importância de uma abordagem regional integrada, onde o planejamento de investimentos e a alocação de recursos considerem a interdependência entre municípios. Dessa forma, estratégias de financiamento, infraestrutura e inovação devem ser coordenadas para evitar desigualdades e promover um desenvolvimento agrícola sustentável na Amazônia Legal.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, E. *Econometria Espacial Aplicada*; Alínea: São Paulo, Brazil, p. 498, 2012.
- Anselin, L. (1988). *Spatial econometrics: Methods and models*. Springer.
- Anselin, L. (1995). Local indicators of spatial association—LISA. *Geographical Analysis*, 27(2), 93-115. <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>
- Anselin, L. (2001). Spatial econometrics. In B. Baltagi (Ed.), *A companion to theoretical econometrics* (pp. 310-330). Blackwell.
- Anselin, L., Bera, A. K., Florax, R. J. G. M., & Yoon, M. J. (1996). Simple diagnostic tests for spatial dependence. *Regional Science and Urban Economics*, 26(1), 77-104. [https://doi.org/10.1016/0166-0462\(95\)02111-6](https://doi.org/10.1016/0166-0462(95)02111-6)
- Anselin, L., Bera, A. K., Florax, R., & Yoon, M. J. (1996). *Simple diagnostic tests for spatial dependence*. *Regional Science and Urban Economics*, 26(1), 77-104. [https://doi.org/10.1016/0166-0462\(95\)02111-6](https://doi.org/10.1016/0166-0462(95)02111-6)
- Araújo, B. S., Heck, C. R., & Carrara, A. F. (2021). Crédito rural e mecanização da agricultura: O impacto do Moderfrota. *Revista de Política Agrícola*, 30(4), 45-62. <https://doi.org/10.1111/rpa.2021.304.004>
- Arellano, M. (1993). *On the testing of correlated effects with panel data*. *Journal of Econometrics*, 59(1-2), 87-97. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(93\)90040-C](https://doi.org/10.1016/0304-4076(93)90040-C)
- Baltagi, B. H., Song, S. H., & Koh, W. (2003). *Testing panel data regression models with spatial error correlation*. *Journal of Econometrics*, 117(1), 123-150. [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(03\)00120-9](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(03)00120-9)
- Bera, A. K., & Yoon, M. J. (1993). Specification testing with misspecified alternatives. *Econometric Theory*, 9(4), 649-658. <https://doi.org/10.1017/S0266466600007474>
- Borges, M. J., & Parré, J. L. (2022). O impacto do crédito rural no produto agropecuário brasileiro. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 60(2), e230521. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.230521>
- Breusch, T. S., & Pagan, A. R. (1980). *The Lagrange Multiplier test and its applications to model specification in econometrics*. *Review of Economic Studies*, 47(1), 239-253. <https://doi.org/10.2307/2297111>
- Castro, C. N., Resende, G. M., & Pires, M. (2014). Impactos regionais do PRONAF: uma avaliação recente. *Revista de Política Agrícola*, 23(1), 5-21.
- Cliff, A., & Ord, J. (1973). *Spatial autocorrelation*. Pion.
- Cliff, A., & Ord, J. (1981). *Spatial processes: Models & applications*. Pion.
- Corrêa, A. T., Filgueiras, G. C., & Carvalho, A. C. (2021). O desenvolvimento regional por meio do crédito rural do FNO no período de 2012-2018. *Conexões*, 9(2), 143-163.
- Costa Junior, N. (2018). Impacto das variações no crédito rural e no investimento em pesquisa agrícola sobre a produtividade da agricultura brasileira. *Revista Brasileira de Economia*, 72(3), 345-368. <https://doi.org/10.5935/0034-7140.20180016>
- Dal Magro, C. B., Oliveira, M. D., & Souza, A. R. L. (2019). Evolução do crédito rural no Brasil: Uma análise entre 2004 e 2011. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 57(1), 42-60. <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-94790570103>

Daniel, L. P., & Braga, M. J. (2020). Impactos do Fundo Constitucional de Financiamento do Norte: Evidências do estimador de diferenças em diferenças. *Planejamento e Políticas Públicas*, 55, 97-124. <https://doi.org/10.38116/ppp55art4>

Elhorst, J. P. (2014). *Spatial Econometrics: From Cross-Sectional Data to Spatial Panels*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-40340-8>

Eusébio, G. C., Maia, A. G., & Silveira, J. M. F. J. (2020). Impacto do crédito rural na produção agricultura: Uma análise para os agricultores não familiares no Brasil. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 58(2), e20200014. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2020.20200014>

Filgueiras, G. C., Bentes, E. S., Carvalho, A. C., Araújo, A. C. S., & Oliveira, C. D. C. (2017). O papel do Fundo Constitucional de Financiamento do Norte e do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar para a região Norte do Brasil. *Agroecossistemas*, 9(1), 116-130. <https://doi.org/10.18542/ragros.v9i1.4863>

Fisher, R. A. (1922). On the mathematical foundations of theoretical statistics. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character*, 222(594-604), 309–368. <https://doi.org/10.1098/rsta.1922.0009>.

Galindo, E. P., Buainain, A. M., Silveira, J. M., & Vinholis, M. M. B. (2015). Impactos do Programa Nacional de Crédito Fundiário sobre o valor bruto da produção agricultura. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 53(1), 29-50. <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-9479005301002>

Gasques, J. G., Bacchi, M. R. P., & Bastos, E. T. (2017). Impactos do crédito rural sobre variáveis do agronegócio. *Revista de Política Agrícola*, 26(4), 132-144.

Greene, W. H. (2012). *Econometric Analysis* (7th ed.). Pearson Education.

Hausman, J. A. (1978). *Specification tests in econometrics*. *Econometrica*, 46(6), 1251–1271. <https://doi.org/10.2307/1913827>

Jacques, E. R., & Gonçalves, F. O. (2016). Cooperativas de crédito no Brasil: evolução e impacto sobre a renda dos municípios brasileiros. *Economia e Sociedade*, 25(2), 489-509. <https://doi.org/10.1590/1982-3533.2016v25n2art8>

Maués Filho, C. B., Moreira, M. A., Martins, C. M., & Oliveira, R. L. S. (2023). Efeitos do FNO no desenvolvimento da mesorregião do Marajó no estado do Pará. *Desenvolvimento Regional em Debate*, 13, 510-530. <https://doi.org/10.24302/drd.v13.4279>

Medeiros, A. P., Bender Filho, R., Vieira, K. M., & Ceretta, P. S. (2017). Análise do impacto do crédito rural na produção agrícola brasileira no período 2006-2014. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 10(3), 729-755. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2017v10n3p729-755>

Melo, H. P., Marinho, E., & Silva, J. R. (2013). Crédito rural e crescimento do PIB agropecuário: uma análise para o Brasil no período 1995-2009. *Revista de Economia e Agronegócio*, 11(2), 189-212.

Moran, P. A. P. (1950). Notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika*, 37(1/2), 17-23. <https://doi.org/10.2307/2332142>

Mundlak, Y. (1978). *On the pooling of time series and cross section data*. *Econometrica*, 46(1), 69–85. <https://doi.org/10.2307/1913646>

Nogueira, A. C. M., Amaral, A. M. S., Andrade, J. M. S., Avelar, J. S., & Góes, B. C. (2023). Impacto do crédito rural no desenvolvimento da agricultura brasileira. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 16(3), e10958. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2023v16n3e10958>

Pintor, J. M., Silva, A. F., & Piacenti, C. A. (2015). Impacto do crédito rural no valor bruto da produção agricultura dos estados brasileiros. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 53(3), 447-464. <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-9479005303006>

Portugal, M. S. (2017). Desafios na aplicação dos recursos do FNO em Roraima: Uma análise à luz da PNDR. *Revista de Políticas Públicas*, 21(2), 345-360.

Rodrigues, M., Azevedo Junior, W. C., & Silva, D. C. C. (2024). Crédito rural e o Fundo Constitucional do Norte (FNO): Análise da concentração dos recursos na região Norte. *Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento*, 13(2), 401-418.

Santos, J. P. L., & Braga, M. J. (2013). Impactos do crédito rural na produtividade agrícola: uma análise para as regiões brasileiras. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 51(4), 719-740. <https://doi.org/10.1590/S0103-20032013000400006>

Silva Junior, J. C. (2015). Impactos socioambientais do financiamento do FNO aos pescadores artesanais de Bragança, Pará. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, 11(2), 45-62.

Silva, G. C., Carvelli, U., & Leite, F. C. (2016). Evolução da captação de recursos do FNO na região sul do Tocantins: Análise dos impactos no desenvolvimento regional (2010-2012). *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 54(3), 385-402.

VIEIRA, RS. Crescimento econômico no estado de São Paulo: uma análise espacial [online]. São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009. 103 p. ISBN 978-85-7983-013-6. Available from SciELO Books <http://books.scielo.org>.

Wooldridge, J. M. (2010). *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data* (2nd ed.). MIT Press.