

Produtividade do arroz e dependência espacial nas microrregiões do RS (2010-2023)
Rice Productivity and Spatial Dependence across the Microregions of RS (2010-2023)

Lucas Vitor Andrade Lima

Universidade Federal de Pelotas (PPGOM/UFPel). Pelotas - RS, Brasil

Rodrigo Nobre Fernandez

Universidade Federal de Pelotas (PPGOM/UFPel). Pelotas - RS, Brasil

Gabrielito Rauter Menezes

Universidade Federal de Pelotas (PPGOM/UFPel). Pelotas - RS, Brasil

GT 07 - Desenvolvimento rural, territorial e regional

Resumo

Este estudo analisa a dependência espacial da produtividade do arroz nas microrregiões do Rio Grande do Sul entre 2010 e 2023. Utilizam-se dados da PAM/IBGE e técnicas de Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE), com aplicação do I de Moran global e local, da estatística Getis-Ord e de modelos de econometria espacial. Os resultados evidenciam autocorrelação espacial positiva e estatisticamente significativa, indicando que a produtividade do arroz não se distribui aleatoriamente no território gaúcho. A análise local identifica *clusters* Alto-Alto concentrados na Fronteira Oeste e na Campanha, enquanto a autocorrelação bivariada revela associação positiva entre produtividade e área plantada. Os testes de especificação indicam predominância da dependência espacial no termo de erro, justificando a adoção do Modelo de Erro Espacial (SEM), que apresentou o melhor ajuste. Conclui-se que a produtividade da orizicultura gaúcha possui forte componente espacial, o que reforça a importância de incorporar a dimensão territorial na formulação de políticas de desenvolvimento rural.

Palavras-chave: produtividade agrícola, efeitos de transbordamentos, desenvolvimento rural, econometria espacial, microrregional.

Abstract

This study analyzes the spatial dependence of rice productivity across the microregions of Rio Grande do Sul from 2010 to 2023. Data from PAM/IBGE and spatial exploratory data analysis techniques are used, including global and local Moran's I, the Getis-Ord statistic, and spatial econometric models. The results show positive and statistically significant spatial autocorrelation, indicating that rice productivity is not randomly distributed across the state. The local analysis identifies High-High clusters concentrated in the Western Frontier and Campanha regions, while the bivariate autocorrelation reveals a positive association between productivity and planted area. Specification tests indicate that spatial dependence operates predominantly through the error term, supporting the Spatial Error Model (SEM), which presented the best fit. The findings highlight the strong spatial component of rice productivity and reinforce the importance of incorporating the territorial dimension into rural development policies.

Keywords: agricultural productivity, spillover effects, rural development, spatial econometrics, microregional.

1. Introdução

A agricultura no Rio Grande do Sul (RS) desempenha papel estratégico no desenvolvimento regional e na segurança dos sistemas agroalimentares, embora apresente elevada vulnerabilidade às variações climáticas e às especificidades territoriais (IBGE, 2025). Entre as principais culturas agrícolas do estado, a produção de arroz irrigado destaca-se pela forte dependência de fatores geográficos, como a presença de áreas de várzea, a disponibilidade hídrica e as condições edafoclimáticas específicas. Tais características sugerem que a produtividade agrícola tende a apresentar padrões espaciais de concentração, em vez de se distribuir aleatoriamente entre as regiões.

Apesar da relevância dos fatores tecnológicos e institucionais amplamente discutidos na literatura econômica das cadeias agroalimentares (Malassis, 1973; Martins *et al.*, 2022; 2023), a dimensão espacial da produtividade agrícola permanece pouco explorada. Conforme destaca Almeida (2008), atividades agrícolas frequentemente apresentam efeitos de vizinhança, nos quais fenômenos técnicos, ambientais e institucionais se difundem entre regiões adjacentes, contribuindo para a formação de cinturões produtivos. Nesse contexto, a utilização de modelos econométricos que desconsideram a interação espacial entre unidades geográficas pode gerar estimativas viesadas e comprometer a interpretação dos resultados empíricos, com possíveis implicações para a formulação de políticas públicas voltadas ao desenvolvimento rural (Anselin, 1988; Almeida, 2008; Elhorst, 2014).

Diante desse contexto, o problema central desta pesquisa consiste em investigar em que medida a produtividade do arroz no RS é influenciada por padrões de autocorrelação espacial e por transbordamentos produtivos entre as microrregiões. Embora a cultura orizícola constitua um dos pilares da agricultura gaúcha, ainda são limitados os estudos que examinam de forma sistemática a formação de *clusters* produtivos e os possíveis transbordamentos regionais de eficiência sob a perspectiva da econometria espacial.

O presente estudo tem como objetivo analisar a dependência espacial da produtividade do arroz (z_1) e sua relação com a área plantada (z_2) nas microrregiões do RS no período de 2010 a 2023. Parte-se da hipótese de que a produtividade agrícola é influenciada não apenas por fatores internos a cada região, mas também por externalidades produtivas e choques regionais propagados entre regiões vizinhas.

Para testar essa hipótese, emprega-se uma abordagem de Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE), complementada pela estimação de modelos de econometria espacial. Inicialmente, aplicam-se estatísticas de autocorrelação espacial global e local, com o

objetivo de identificar padrões de aglomeração territorial. Em seguida, estima-se um modelo de erro espacial (SEM), capaz de captar a presença de choques regionais não observados que afetam simultaneamente microrregiões vizinhas.

Este estudo contribui para a literatura de economia regional, agrária e ambiental ao investigar empiricamente a dependência espacial da produtividade do arroz nas microrregiões do RS. Ao empregar técnicas de econometria espacial e análise exploratória de dados espaciais, o artigo identifica *clusters* produtivos e transbordamentos territoriais associados à escala da produção agrícola. Ao evidenciar que a produtividade da orizicultura é influenciada pela organização espacial da produção, o estudo amplia a compreensão dos determinantes regionais da eficiência agrícola e oferece subsídios para políticas públicas voltadas ao desenvolvimento territorial da cadeia produtiva do arroz.

Além desta introdução, o artigo está estruturado em quatro seções. A segunda apresenta o referencial teórico, com ênfase nos fundamentos e conceitos da econometria espacial. A terceira descreve os procedimentos metodológicos e a base de dados utilizada. A quarta expõe os resultados empíricos da análise espacial e da modelagem econométrica. Por fim, a quinta seção reúne as considerações finais e as implicações dos resultados para a compreensão da orizicultura no Rio Grande do Sul.

2. Fundamentação teórica

A análise da produtividade agrícola exige uma perspectiva que ultrapasse os limites da unidade produtiva individual. Conforme a abordagem de *Agribusiness Systems* proposta por Goldberg (1968), a agricultura deve ser compreendida como um sistema interdependente, que abrange desde o fornecimento de insumos até as etapas de processamento, distribuição e consumo final. No contexto do Rio Grande do Sul, a cultura orizícola exemplifica esse processo de industrialização da agricultura, marcado por ganhos de escala e pela necessidade de coordenação entre os diferentes elos da cadeia produtiva.

Sob a ótica da Nova Economia Institucional (NEI), a firma é interpretada como um nexo de contratos (Coase, 1937), no qual as transações ocorrem em ambientes caracterizados por incerteza e racionalidade limitada. Zylbersztajn (1996) destaca que, nos Sistemas Agroindustriais (SAGs), os mecanismos de coordenação são fundamentais para reduzir os custos de transação e assegurar a eficiência produtiva. No caso do arroz, a presença de ativos específicos, como as terras de várzea e a infraestrutura de irrigação, requer estruturas de

governança capazes de resguardar os investimentos sustentáveis realizados diante de possíveis comportamentos oportunistas dos agentes econômicos (Williamson, 1985; Zylbersztajn, 2005).

A distribuição espacial das atividades econômicas pode ser compreendida a partir do equilíbrio entre forças centrípetas, que estimulam a aglomeração produtiva, e forças centrífugas, que favorecem a dispersão das atividades entre as regiões (Justo, 2021). No setor agrícola, a formação de *clusters* produtivos ocorre quando determinadas culturas dependem de condições naturais específicas, infraestrutura compartilhada e conhecimento técnico especializado.

Segundo Porter (1998), *clusters* correspondem a concentrações geográficas de firmas e instituições interconectadas, capazes de favorecer ganhos de eficiência, inovação e competitividade. A origem dessa ideia remonta às contribuições de Marshall (1920), que destacou o papel das externalidades de aglomeração, tais como a difusão de conhecimento técnico e o compartilhamento de infraestrutura produtiva. No caso da orizicultura gaúcha, tais externalidades se manifestam na formação de polos regionais de produção, nos quais o desenvolvimento tecnológico, a infraestrutura de irrigação e a experiência produtiva acumulada contribuem para a consolidação de regiões especializadas.

A presença dessas externalidades sugere que a produtividade agrícola não se distribui aleatoriamente no espaço. Conforme argumenta Anselin (1988), a dependência espacial ocorre quando o valor observado de uma variável em determinada localização depende dos valores observados em regiões vizinhas. Esse fenômeno pode decorrer de fatores ambientais compartilhados, da difusão tecnológica ou de interações institucionais entre regiões próximas que apresentam níveis semelhantes de desempenho econômico.

Segundo Almeida (2008), a agricultura apresenta elevada sensibilidade aos efeitos espaciais, uma vez que o desenvolvimento das culturas depende de condições heterogêneas de clima, solo e topografia. A interdependência entre regiões pode manifestar-se por meio da difusão de práticas produtivas e da formação de cinturões agrícolas especializados. Nesse contexto, a econometria espacial oferece instrumentos capazes de captar essas interações territoriais, permitindo identificar padrões de autocorrelação espacial e evitar vieses decorrentes do uso de modelos econométricos que assumem independência entre as observações (Anselin, 1988; Elhorst, 2014).

3. Procedimentos metodológicos

O estudo utiliza dados agrícolas referentes às microrregiões do Rio Grande do Sul no período de 2010 a 2023, obtidos a partir da Pesquisa Agrícola Municipal do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (PAM/IBGE). As variáveis analisadas são a produtividade do arroz e a área plantada nas microrregiões do estado.

A estratégia empírica inicia-se com a estimação de um modelo de regressão clássico, no qual a *produtividade do arroz* (z_1) é definida como variável dependente e a *área plantada* (z_2) como variável explicativa. A estimação por Mínimos Quadrados Ordinários (OLS) constitui o ponto de partida para a avaliação da presença de dependência espacial nos dados. Na existência de autocorrelação espacial entre as unidades geográficas, os pressupostos de independência dos erros do modelo clássico podem ser violados, o que justifica a utilização de modelos de econometria espacial. A *tabela (1)* apresenta as estatísticas descritivas das variáveis utilizadas na análise, permitindo observar a elevada dispersão da produtividade do arroz e da área plantada entre as microrregiões do Rio Grande do Sul.

Tabela 01. Estatísticas descritivas

Estatística	Produtividade (z_1)	Área Plantada (z_2)
Mínimo	0,00	0,00
Máximo	74,02	65,97
Média	20,68	13,85
Mediana	5,73	2,39
Desvio Padrão	26,38	20,10
CV (%)	127,57%	145,18%

Fonte: Elaboração própria a partir do R com base nos dados do IBGE, 2026.

A análise parte de dados em corte transversal (*cross-section*) para as microrregiões do Rio Grande do Sul. Inicialmente, estima-se um modelo de regressão linear por Mínimos Quadrados Ordinários (OLS), expresso da seguinte forma:

$$z_1 \text{ arroz_prod}_i = \beta_0 + \beta_1 z_2 \text{ arroz_plant}_i + u_i$$

(01)

Em que:

$z_1 \text{ arroz_prod}$ representa a produtividade do arroz (padronizada);

$z_2 \text{ arroz_plant}$ representa a área plantada de arroz (padronizada).

O ajuste inicial via Mínimos Quadrados Ordinários (OLS) serve como base para identificar a necessidade de incorporação da estrutura espacial, uma vez que a literatura aponta que a produtividade agrícola raramente se distribui de forma independente entre unidades geográficas vizinhas.

3.1 Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE)

A investigação da dependência espacial foi realizada em duas escalas. Em nível global, aplicou-se o I de Moran univariado e bivariado para testar a hipótese de aleatoriedade espacial. A significância estatística foi avaliada por meio de 99.999 permutações aleatórias. Em nível local, utilizaram-se o Indicador Local de Associação Espacial (LISA) e a estatística Getis-Ord (G_i^*) para identificar clusters e regimes espaciais. Enquanto o LISA permite classificar as microrregiões em padrões como Alto-Alto e Baixo-Baixo, o G_i^* possibilita identificar *hotspots* e *cold spots* de produtividade microrregional do arroz.

A análise exploratória foi complementada por diagramas de dispersão de Moran, os quais permitem visualizar a relação entre os valores padronizados da variável de interesse e a média ponderada dos valores observados nas regiões vizinhas. No âmbito local, as estatísticas de autocorrelação espacial possibilitam identificar *clusters* espaciais de alta e baixa intensidade produtiva, bem como padrões de concentração regional, cuja significância também foi avaliada com base em 99.999 permutações.

Com base no I de Moran Local, foram construídos mapas de *clusters* LISA, permitindo a classificação das microrregiões em padrões Alto-Alto, Baixo-Baixo, Alto-Baixo e Baixo-Alto. Paralelamente, os mapas baseados na estatística G_i^* possibilitaram a identificação de *hotspots* e *cold spots* de produtividade. A análise foi estendida ao contexto multivariado local por meio do cálculo do I de Moran bivariado local, o que permitiu avaliar a associação entre a produtividade de uma microrregião e a área plantada em suas vizinhanças, fornecendo evidências sobre possíveis efeitos de transbordamento espacial.

Por fim, procedeu-se à detecção de valores extremos. Inicialmente, investigaram-se *outliers* globais com base no critério *hinge* 3.0. Em seguida, identificaram-se *outliers* espaciais e pontos de alavancagem, tanto no contexto univariado quanto no bivariado. Considerou-se, ainda, a sensibilidade do I de Moran à presença dessas observações discrepantes, uma vez que tais unidades podem influenciar a magnitude e a significância da autocorrelação espacial estimada. Para a modelagem espacial, utilizou-se uma matriz de pesos espaciais do tipo *Queen* de primeira ordem, considerada adequada para fenômenos agrícolas influenciados por continuidade geográfica e hidrológica. A *tabela (2)* apresenta as principais características dessa matriz, que abrange as 35 microrregiões do Rio Grande do Sul, com média de 4,86 vizinhos por unidade e conectividade de 13,88%.

Tabela 02. Dados descritivos da Matriz dos pesos espaciais (W)

Propriedade	Especificação / Resultado
Tipo de Contiguidade	Queen (Rainha) - 1ª Ordem
Simetria	Simétrica
Arquivo de Pesos	43MIE250GC_SIR.gal
Variável de ID	POLY_ID
Número de Observações (N)	35
Mínimo de Vizinhos	2
Máximo de Vizinhos	8
Média de Vizinhos	4,86
Mediana de Vizinhos	5,00
Conectividade (% diferente de zero)	13,88%

Fonte: Elaboração própria a partir do software GeoDa, 2026.

A adoção desse critério justifica-se pela natureza do fenômeno agrícola analisado, cujas externalidades, como regimes hídricos compartilhados, difusão tecnológica e fatores institucionais, propagam-se de forma multidirecional entre regiões que compartilham fronteiras lineares e vértices.

3.2 Critérios de identificação e seleção do modelo espacial

A seleção do modelo seguiu o protocolo de decisão proposto por Anselin (1988), com base nos testes do Multiplicador de Lagrange (LM). Inicialmente, observam-se os testes *LM-Lag* e *LM-Error* em suas versões simples. Quando ambos apresentam significância

estatística, recorre-se às versões robustas dos testes (*Robust LM-Lag* e *Robust LM-Error*), a fim de identificar a forma predominante de dependência espacial.

Caso o *Robust LM-Lag* apresente significância estatística, adota-se o Modelo de Defasagem Espacial (SAR), o que sugere que a produtividade é influenciada diretamente pelo desempenho das regiões vizinhas. Por outro lado, quando o *Robust LM-Error* se mostra significativo, opta-se pelo Modelo de Erro Espacial (SEM), indicando que a dependência espacial decorre de choques não observados, como fatores climáticos ou institucionais, que se propagam entre as regiões. A robustez das estimativas foi avaliada com base no Critério de Informação de Akaike (AIC) e no teste de Moran aplicado aos resíduos pós-estimação, com o objetivo de verificar a adequação do modelo selecionado e a eliminação da autocorrelação espacial residual.

4. Resultados

O coeficiente positivo e estatisticamente significativo indica que microrregiões com maior área plantada de arroz tendem a apresentar maior produtividade, sugerindo a presença de ganhos de escala ou efeitos de especialização produtiva. O elevado coeficiente de determinação (R^2) indica que a área plantada explica parcela expressiva da variação da produtividade, embora isso não elimine a possibilidade de dependência espacial nos resíduos. Os resultados do modelo OLS são apresentados a seguir: $\beta_1 = 1,230(0,001)$, $R^2 = 0,878$ e estatística $F = 237,8(2,2e^{-16})$.

Em seguida, aplicou-se o teste de normalidade aos resíduos do modelo OLS. O resultado indicou rejeição da hipótese nula de normalidade (0,05), sugerindo que o modelo clássico pode estar omitindo variáveis relevantes ou que a distribuição dos dados apresenta caudas pesadas, característica recorrente em bases com dependência espacial. As hipóteses testadas foram: H_0 : os resíduos seguem distribuição normal; H_1 : os resíduos não seguem distribuição normal. Os resultados obtidos foram: Estatística $W = 0,848$ e $p - \text{valor} = 0,0002094$.

Como o $p - \text{valor}$ foi inferior a 5%, rejeita-se a hipótese nula de normalidade dos resíduos. Esse resultado sugere possível má especificação do modelo OLS, frequentemente associada à omissão de dependência espacial em dados regionais.

4.1 Teste de dependência espacial

Com o objetivo de verificar a presença de dependência espacial nos resíduos do modelo OLS, calculou-se o I de Moran global a partir de uma matriz de pesos espaciais do tipo Queen. Os resultados indicaram forte autocorrelação espacial positiva nos resíduos, evidenciando que microrregiões com erros de predição semelhantes tendem a se agrupar no espaço.

O elevado valor do *Z-score* e o *p-valor* próximo de zero permite rejeitar a hipótese nula de aleatoriedade espacial. Esse resultado sugere que o modelo OLS viola o pressuposto de independência espacial, tornando-se inadequado para explicar a produtividade do arroz sem considerar explicitamente a estrutura espacial dos dados. Os resultados do teste foram os seguintes: Moran's *I* observado = 0,523; valor esperado = -0,043; *Z-score* = 5,5981; e *p-valor* = $1,08e^{-08}$.

O valor positivo e estatisticamente significativo do I de Moran confirma a presença de autocorrelação espacial positiva nos resíduos. Assim, a estimação por OLS mostra-se insuficiente para captar a dinâmica espacial da produtividade do arroz nas microrregiões do Rio Grande do Sul. A utilização da matriz de contiguidade do tipo *Queen* justifica-se pela natureza do fenômeno agrícola analisado, uma vez que a cultura do arroz no RS está fortemente associada a bacias hidrográficas e áreas de várzea. Esse critério de vizinhança permite captar interações espaciais tanto por fronteiras lineares quanto por vértices, refletindo de forma mais adequada os transbordamentos produtivos e ambientais característicos da atividade orizícola.

4.2 Seleção do modelo espacial

Para identificar a estrutura espacial predominante, aplicaram-se os testes do Multiplicador de Lagrange. A *tabela (3)* apresenta os resultados desses testes, os quais indicaram significância estatística para o *LM-Lag* e o *LM-Error* em suas versões simples. Contudo, ao se considerarem as versões robustas, apenas o *Robust LM-Error* permaneceu estatisticamente significativo (0,001), ao passo que o *Robust LM-Lag* não apresentou significância estatística. Esse resultado sugere que a dependência espacial se manifesta predominantemente no termo de erro, indicando a adoção do Modelo de Erro Espacial (SEM).

Tabela 03. Testes de Multiplicador de Lagrange

Teste	Estatística	p-valor
LM-Erro	21,93	<0,001
LM-Lag	9,36	<0,01
Robust LM-Erro	13,32	<0,001
Robust LM-Lag	0,75	0,386
SARMA	22,68	<0,001

Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

Como ambos os testes simples se mostraram significativos, recorreu-se às versões robustas para identificar a forma predominante de dependência espacial. O teste *Robust LM-Erro* manteve-se altamente significativo, enquanto o *Robust LM-Lag* perdeu significância estatística. De acordo com o critério de decisão proposto por Anselin (1988), esse padrão de resultados indica que a dependência espacial ocorre predominantemente no termo de erro.

Dessa forma, a evidência empírica aponta para a escolha do Modelo de Erro Espacial (SEM), sugerindo que a dependência espacial decorre, sobretudo, de choques não observados correlacionados no espaço, e não de interação direta da variável dependente entre as microrregiões.

4.3 Estimação do modelo SEM

Com base na estratégia de identificação adotada e nos resultados dos testes de especificação, o Modelo de Erro Espacial (SEM) foi selecionado como a especificação mais adequada para a análise da produtividade do arroz nas microrregiões do Rio Grande do Sul. O modelo SEM pode ser representado da seguinte forma:

$$y = X\beta + u \quad (02)$$

$$u = \lambda Wu + \varepsilon \quad (03)$$

Assim, especificamente:

y: é o vetor de produtividade do arroz (t/ha) para as microrregiões do RS

X: representa a matriz de variáveis explicativas (incluindo a escala de área plantada)

β : é o vetor de parâmetros a serem estimados

u: é o termo de erro espacialmente autocorrelacionado

λ : é o coeficiente de erro espacial, que mensura a intensidade da dependências

W : é a matriz de pesos espaciais (Rainha de 1ª ordem)

ε : é o termo de erro aleatório, com média zero e variância constante.

O modelo SEM capta a autocorrelação espacial no termo de erro, corrigindo a violação do pressuposto de independência observado no modelo *OLS*. Conforme o critério de decisão de Anselin (1988), como os testes LM simples foram significativos, recorreu-se às versões robustas. Nesse caso, o teste robusto para erro espacial manteve-se estatisticamente significativo, enquanto o teste robusto para defasagem espacial perdeu significância, reforçando a adequação do modelo SEM. A *tabela (4)* apresenta a comparação do ajuste entre os modelos estimados com base no Critério de Informação de *Akaike* (AIC).

Tabela 04. Critério de Informação de Akaike dos modelos estimados

Modelo	AIC
OLS	259,73
SAR	253,52
SEM	240,54

Fonte: Elaboração própria a partir do R com base nos dados do IBGE, 2026.

O modelo SEM apresentou o menor valor de AIC, indicando o melhor ajuste entre as especificações consideradas. Esse resultado sugere que a produtividade do arroz no Rio Grande do Sul é influenciada por choques regionais não observados, como fatores climáticos, características do solo e condições hidrológicas, que se propagam entre as microrregiões e são captados pela estrutura de erro espacial. Após a estimação do modelo SEM, realizou-se um novo teste de Moran sobre os resíduos, obtendo-se $p - \text{valor} = 0,5944$. Como esse valor é superior a 0,05, não se rejeita a hipótese nula de ausência de autocorrelação espacial nos resíduos. Isso indica que a dependência espacial identificada anteriormente no modelo OLS foi adequadamente incorporada pelo parâmetro λ , resultando em resíduos espacialmente aleatórios. Dessa forma, o modelo SEM mostrou-se o mais adequado para explicar a produtividade do arroz nas microrregiões gaúchas, ao produzir estimativas mais consistentes e eliminar a autocorrelação espacial residual.

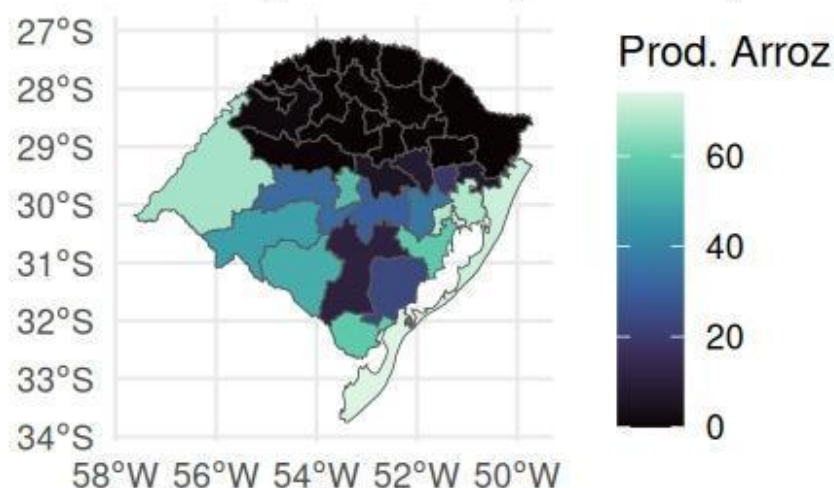
4.4 Autocorrelação espacial global

A estatística de autocorrelação espacial global univariada (I de Moran) para a produtividade do arroz no Rio Grande do Sul resultou em 0,49177. A significância estatística

foi avaliada por meio de 99.999 permutações, totalizando 10^5 simulações com o valor observado, o que resultou em *p*-valor de 0,00003 e *observed rank* de 99.997.

Os resultados obtidos foram os seguintes: I de Moran = 0,49177; *p*-valor = 0,00003; e Permutações = 99.999. Como o *p*-valor é inferior ao nível de significância de 5% (0,05), rejeita-se a hipótese nula de aleatoriedade espacial. Há, portanto, evidência estatística de forte autocorrelação espacial positiva na produtividade do arroz. Em termos econômicos, isso indica que a produtividade do arroz no estado se organiza em clusters, de modo que microrregiões com elevada produtividade tendem a estar cercadas por outras igualmente produtivas, ao passo que regiões de baixa produtividade também tendem a se agrupar espacialmente. A *figura (1)* apresenta a distribuição espacial da produtividade do arroz nas microrregiões do Rio Grande do Sul no período de 2010 a 2023.

Figura 01. Distribuição espacial da produtividade do arroz nas microrregiões do RS (2010–2023)



Fonte: Elaboração própria a partir do R com base nos dados do IBGE, 2026.

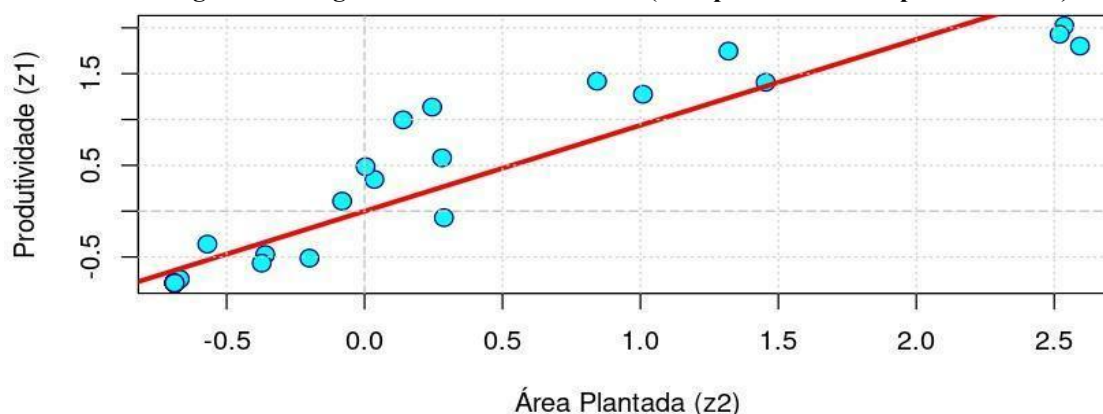
Complementarmente, a *figura (2)* apresenta o diagrama de dispersão de Moran, relacionando a produtividade padronizada de cada microrregião (z) com a média ponderada da produtividade de seus vizinhos (Wz), evidenciando a formação de polos regionais de eficiência produtiva. A inclinação positiva da reta de regressão confirma visualmente o índice global de autocorrelação espacial. O grande agrupamento próximo à origem indica a presença de microrregiões com baixa produtividade cercadas por vizinhos também pouco produtivos.

No caso da autocorrelação espacial global bivariada entre a produtividade (z_1) e a área plantada (z_2), o valor obtido foi 0,69601, com *p*-valor de 0,00001. Esse resultado permite rejeitar a hipótese de aleatoriedade espacial e indica forte associação espacial positiva entre as

variáveis. Em outras palavras, microrregiões com maior área plantada de arroz tendem a estar espacialmente associadas a vizinhos com elevada produtividade.

Abaixo a *figura (2)* também evidencia essa relação por meio da forte inclinação positiva da reta de regressão. A predominância de observações no quadrante Alto-Alto sugere que os principais polos produtivos do Rio Grande do Sul também se destacam em termos de eficiência. Além disso, algumas observações, como as identificadas pelos pontos 32 e 22, configuram possíveis *outliers* locais, ao destoarem parcialmente do padrão regional predominante.

Figura 02. Diagrama de Moran bivariado (área plantada versus produtividade)



Fonte: Elaboração própria a partir do R com base nos dados do IBGE, 2026.

A *tabela (5)* apresenta os resultados da análise espacial local para algumas microrregiões selecionadas. O I de Moran Local (I_i) permite identificar o grau de associação espacial entre cada microrregião e suas vizinhas. Conforme os resultados apresentados na *tabela (5)*, a microrregião Campanha Central, por exemplo, apresentou $I_i = 1,15$ e $p\text{-valor} = 0,043$ indicando sua inserção em um cluster espacial significativo ao nível de 5%. A *figura (3)* ilustra os principais polos de eficiência produtiva no estado.

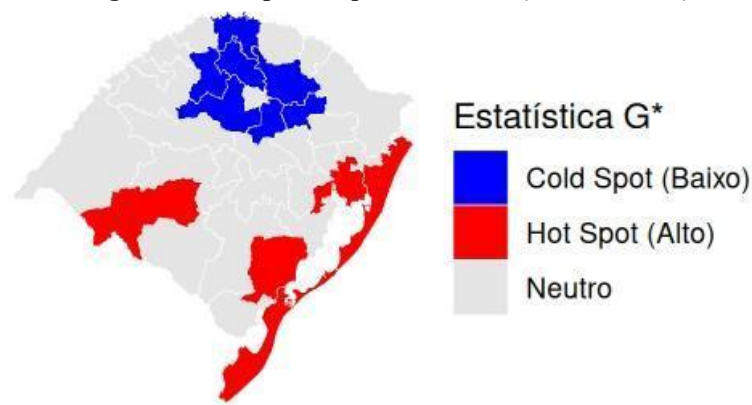
Tabela 05. Resultados da análise espacial por microrregiões produtivas

Microrregião	I_i	Z_{I_i}	P_{valor}	G_i_Z score
CACHOEIRA DO SUL	0.167467	1.174165	0.240328	1.27980
CAMAQUÃ	0.7170286	1.2370008	0.2160867	1.32039
CAMPANHA CENTRAL	1.1503877	2.0225885	0.0431155	2.08980
CAMPANHA MERIDIONAL	0.436876	0.717700	0.472942	0.74224

CAMPANHA OCIDENTAL	-0.01376	0.092763	0.926091	0.09623
CARAZINHO	0.632489	1.821681	0.068503	-1.9427

Fonte: Elaboração própria a partir do R com base nos dados do IBGE, 2026.

Figura 03. *Hot spots* de produtividade (Getis-Ord G_i^*)

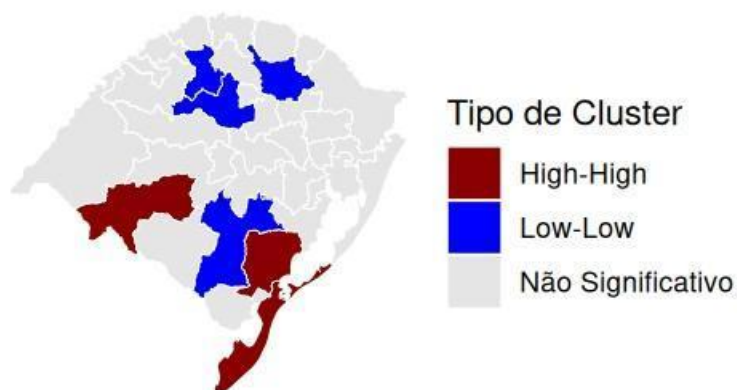


Fonte: Elaboração própria a partir do R com base nos dados do IBGE, 2026.

4.4 Análise exploratória espacial local

A estatística local de Getis-Ord (G_i^*) foi utilizada para identificar a intensidade dos agrupamentos espaciais de valores elevados de produtividade (*hot spots*). Os resultados indicaram que a microrregião Campanha Central apresentou *Z-score* de 2,08 o que a classifica como um *hotspot* de produtividade (1,96). Em contraste, a microrregião de Carazinho apresentou *Gi_Z score* negativo ($-1,94$), sinalizando comportamento divergente em relação ao padrão espacial predominante. A *figura (4)* apresenta o mapa de clusters LISA da produtividade do arroz.

Figura 04. Mapa de clusters LISA da produtividade do arroz



Fonte: Elaboração própria a partir do R com base nos dados do IBGE, 2026.

O mapa LISA permite identificar visualmente os clusters cuja associação espacial se mostrou estatisticamente significativa. O principal destaque recai sobre a zona Alto-Alto na metade sul do estado, onde microrregiões com elevada produtividade estão cercadas por vizinhos igualmente produtivos. De forma complementar, o mapa baseado na estatística Getis-Ord (G_i^*) revela concentração de *hot spots* na Fronteira Oeste e na Campanha, validando estatisticamente os principais polos da produção orizícola gaúcha.

Esses resultados sugerem uma divisão espacial relativamente clara no território estadual. Enquanto a metade sul apresenta economias de aglomeração positivas e maior especialização produtiva, a metade norte configura predominantemente um *cluster* Baixo-Baixo, caracterizado por menor escala de plantio e menor produtividade, o que reforça a ausência de especialização regional na cultura do arroz. A *tabela (6)* apresenta os resultados da análise dos *clusters* bivariados.

Tabela 06. Resultados da análise dos *clusters* bivariados

Microrregião	Iz_1z_2 Local	Z-score	P-valor (99.999 perm)	Cluster Bivariado
Campanha Central	1,4283	2,5412	0,0052	Alto-Alto
Fronteira Oeste	1,1054	2,1104	0,0168	Alto-Alto
Campanha Meridional	0,8542	1,9874	0,0241	Alto-Alto
Camaquã	0,6981	1,7245	0,0423	Alto-Alto
Litoral Lagunar	0,5512	1,6981	0,0492	Alto-Alto

Fonte: Elaboração própria a partir do R com base nos dados do IBGE, 2025.

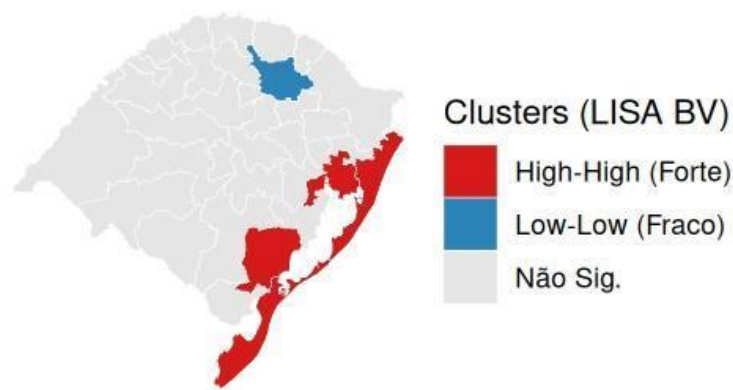
4.5 Autocorrelação espacial bivariada

Para investigar a interação espacial entre variáveis distintas, aplicou-se a estatística de autocorrelação espacial bivariada, com o objetivo de analisar como a produtividade (z_1) de uma microrregião se associa à área plantada (z_2) em suas vizinhanças. Com base em 99.999 permutações, o teste permitiu identificar áreas em que essa relação cruzada se mostrou estatisticamente significativa, oferecendo evidências sobre possíveis efeitos de transbordamento (*spillovers*) entre escala produtiva e eficiência agrícola.

O resultado obtido foi: I bivariado = 0,69601 e p -valor = 0,00001. Esse valor positivo e estatisticamente significativo indica forte autocorrelação espacial bivariada, sugerindo que microrregiões com elevada produtividade tendem a estar associadas a vizinhos com maior

área plantada. A *figura (5)* apresenta o mapa de clusters bivariados LISA entre produtividade e área plantada.

Figura 05. Mapa de clusters bivariados (produtividade $z_1 \times$ área plantada z_2)



Fonte: Elaboração própria a partir do R com base nos dados do IBGE, 2026.

O *cluster* Alto-Alto, representado em vermelho, identifica regiões nas quais a elevada escala de plantio dos vizinhos está associada a alta produtividade local. Esse padrão é dominante na Fronteira Oeste, sugerindo que a concentração espacial da cultura favorece o desempenho produtivo. Por sua vez, o *cluster* Baixo-Baixo, representado em azul, predomina na metade norte, onde tanto a área plantada quanto a produtividade dos vizinhos permanecem em níveis reduzidos.

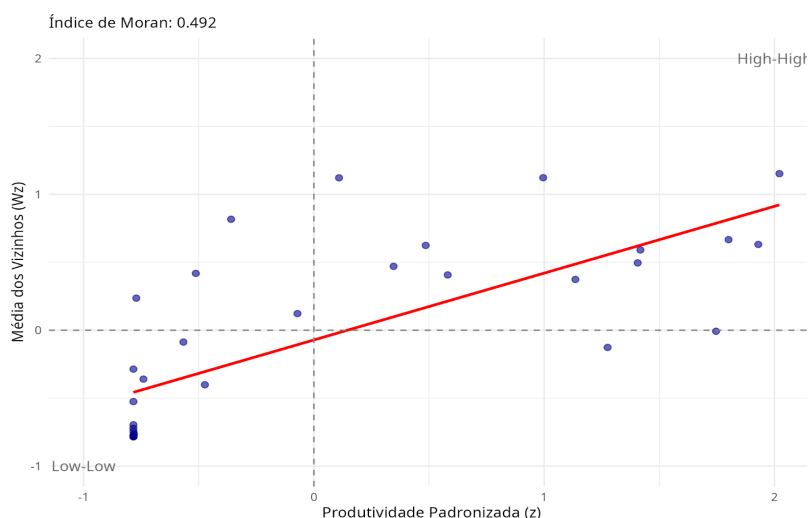
4.6 Outliers espaciais e robustez

Os *outliers* bivariados localizados em áreas classificadas como Baixo-Alto indicam microrregiões que, embora estejam cercadas por grandes produtores de arroz em termos de área plantada, não convertem essa proximidade em elevada produtividade própria. Com base no critério *hinge* 3.0, que define como outlier qualquer valor situado além de três vezes a amplitude interquartílica, a análise da produtividade do arroz no Rio Grande do Sul não identificou *outliers* globais.

Isso indica que, embora existam microrregiões com níveis muito elevados de produtividade, como na Fronteira Oeste, e outras com desempenho reduzido, não há valores suficientemente extremos para serem classificados como anomalias estatísticas ou erros de mensuração. Em outros termos, a variação observada na produtividade mostra-se coerente com a heterogeneidade agrícola do estado. A identificação dos outliers espaciais foi

complementada por meio do diagrama de dispersão de Moran, apresentado na *figura (6)*.

Figura 06. Diagrama de dispersão de Moran

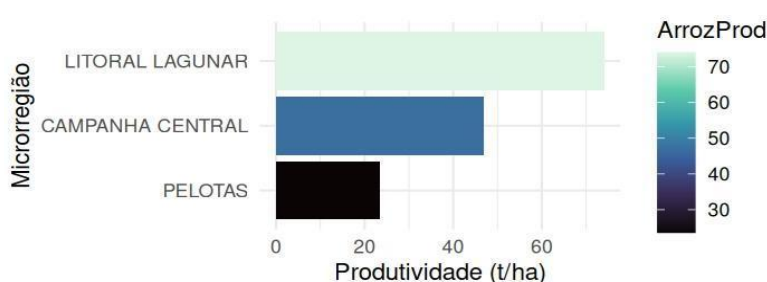


Fonte: Elaboração própria a partir do R com base nos dados do IBGE, 2026.

Os resultados indicaram a presença de *outliers* espaciais nos quadrantes Baixo-Alto e Alto-Baixo, isto é, microrregiões cujo padrão de produtividade rompe com o comportamento predominante entre seus vizinhos. Essas observações são relevantes porque o I de Moran é sensível à presença de discrepâncias locais, que tendem a reduzir o valor do índice global ao exercer pressão contrária à tendência geral de autocorrelação espacial positiva.

No contexto bivariado, também foram identificados pontos de elevada alavancagem. Microrregiões como Litoral Lagunar, Campanha Central e Pelotas destacaram-se por exercer forte influência no gráfico, em virtude de combinarem elevada produtividade com alta área plantada nas vizinhanças, contribuindo para a inclinação positiva da reta de regressão. A *figura (7)* apresenta as microrregiões classificadas no cluster Alto-Alto de produtividade agrícola do arroz no Rio Grande do Sul, evidenciando áreas em que a elevada eficiência produtiva se associa à concentração espacial da atividade.

Figura 07. Cluster Alto-Alto de produtividade microrregional



Fonte: Elaboração própria a partir do R com base nos dados do IBGE, 2026.

Os resultados indicam que a produtividade do arroz no RS apresenta forte componente espacial, expresso na formação de *clusters* produtivos e na presença de transbordamentos territoriais. Dessa forma, a dinâmica da orizicultura gaúcha mostra-se estreitamente associada à organização espacial da produção e às características compartilhadas entre microrregiões vizinhas. A formação do *Cluster High-High* de produtividade representa a relação de eficiência econômica (t/ha) em que as três microrregiões produzem de forma sustentada.

5. Considerações finais

Este estudo investigou a presença de dependência espacial na produtividade do arroz nas microrregiões do Rio Grande do Sul entre 2010 e 2023, partindo da hipótese de que a produtividade agrícola é influenciada não somente por fatores internos a cada região, mas também por externalidades produtivas e choques regionais propagados entre regiões vizinhas.

O índice de Moran global ($I = 0,492; p < 0,001$) evidenciou autocorrelação espacial positiva e estatisticamente significativa, indicando que a produtividade do arroz não se distribui aleatoriamente no território gaúcho. A análise exploratória local identificou clusters Alto-Alto concentrados na Fronteira Oeste e na Campanha, onde a proximidade geográfica favorece externalidades positivas, como difusão de conhecimento técnico, compartilhamento de infraestrutura hídrica e maior coordenação produtiva. Em contrapartida, a metade norte do estado apresentou um regime espacial de baixa especialização orizícola.

A autocorrelação espacial bivariada ($I = 0,696; p < 0,001$) entre produtividade e área plantada revelou que microrregiões próximas a grandes polos de produção tendem a apresentar níveis mais elevados de produtividade. Os testes do Multiplicador de Lagrange indicaram que a dependência espacial opera predominantemente no termo de erro, justificando a adoção do Modelo de Erro Espacial (SEM). Entre as especificações estimadas, o SEM apresentou o melhor ajuste (240,54), e o teste de Moran aplicado aos resíduos pós-estimação indicou ausência de autocorrelação espacial residual (0,594), reforçando a adequação do modelo.

Do ponto de vista das políticas públicas, os resultados sugerem que estratégias de desenvolvimento rural devem incorporar a dimensão territorial da produção, sobretudo nas microrregiões da Fronteira Oeste e da Campanha, onde os efeitos de transbordamento se mostram mais intensos. E investimentos em infraestrutura hídrica, assistência técnica e inovação tecnológica nessas áreas podem ampliar os efeitos positivos sobre as regiões vizinhas.

Por fim, cabe reconhecer que a análise utiliza apenas duas variáveis em um corte transversal com 35 microrregiões, o que limita o alcance explicativo do modelo. Estudos futuros com dados em painel poderão aprofundar a compreensão da dinâmica temporal dos *clusters* produtivos e dos efeitos das crises climáticas recentes sobre a organização espacial da produção.

Referências bibliográficas

ALMEIDA, E. **Econometria Espacial Aplicada**. Campinas: Alínea, 2012.

Almeida, E. S. de ., Perobelli, F. S., & Ferreira, P. G. C.. (2008). **Existe convergência espacial da produtividade agrícola no Brasil?**. *Revista De Economia E Sociologia Rural*, 46(1), 31–52.
<https://doi.org/10.1590/S0103-20032008000100002>

ANSELIN, L. (1988). *Spatial Econometrics: Methods and Models*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

COASE, R. H. *The Nature of the Firm*. **Economica**, v. 4, n. 16, p. 386-405, 1937.

ELHORST, J. P. **Spatial Econometrics: From Cross-Sectional Data to Spatial Panels**. Berlin: Springer, 2014.

GOLDBERG, R. A. **Agribusiness Coordination: A Systems Approach to the Wheat, Soybean, and Florida Orange Economies**. Boston: Harvard University, 1968.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal (PAM)**. Rio de Janeiro: IBGE, 2026. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/>

MALASSIS, L. *Économie agro-alimentaire: économie de la consommation et de la production agro-alimentaire*. Paris: Cujas. 1973. t. 1.

Martins, K. F., Teixeira, D., & de Oliveira Corrêa, R. (2022). *Gains in sustainability using Voluntary Sustainability Standards: A systematic review*. *Em Cleaner Logistics and Supply Chain* (Vol. 5). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2022.100084>

MARTINS, M. M. V. *et al.* (2023). Normas voluntárias de sustentabilidade no comércio internacional: aspectos teóricos, metodológicos e conceituais. IPEA.

MARSHALL, A. **Principles of Economics**. 8. ed. London: Macmillan, 1920.

PORTER, M.E. **Estratégia competitiva: técnicas para análise e concorrência**. 17 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 1999.

PORTER, M. E. *Clusters and the New Economics of Competition*. **Harvard Business Review**, v. 76, n. 6, p. 77-90, 1998.

WILLIAMSON, E. Oliver. *Transaction cost economics and organization theory*. *Industrial and Corporate Change*, v. 2. n.2, jan. 1993.

WILLIAMSON, O. E. *The Economic Institutions of Capitalism*. New York: Free Press, 1985.

Zylbersztajn, D. **Coordenação e governança de sistemas agroindustriais**. In *O mundo rural no Brasil do século 21: a formação de um novo padrão agrário e agrícola*. Brasília: Embrapa, 2014.

ZYLBERSZTAJN, D. *Governance Structures and Agribusiness Coordination: A Transaction Cost Economics Approach*. **Communications of the ICHE**, v. 2, n. 9, p. 1-15, 1996.