



PADRÕES ESPACIAIS DA DIVERSIDADE AGRÍCOLA: ANÁLISE BASEADA NOS ÍNDICES DE SHANNON E RARIDADE MÉDIA

Gabriel Sampaio **Moreira**¹; Marcos Aurelio Santos da **Silva**²;
Fábio Rodrigues de **Moura**³; Marcia Helena Galina **Dompieri**⁴

Nº 25502

RESUMO – Este estudo analisa os padrões espaciais da diversidade agrícola no Brasil utilizando os índices de Shannon (diversidade) e raridade média (singularidade produtiva) em dados municipais de 1999 a 2023. Foram consideradas sete categorias produtivas: culturas temporárias e permanentes, efetivo animal, produtos de origem animal, aquicultura, extrativismo vegetal e silvicultura. Os resultados revelam marcantes contrastes regionais, com o Rio Grande do Sul (RS) e o Acre (AC) apresentando os maiores valores de raridade (2,85 e 2,82, respectivamente), indicando sistemas produtivos singulares. Em contraste, São Paulo (SP) e Rio de Janeiro (RJ) exibiram os menores índices de diversidade (Shannon = 0,150 e 0,167), refletindo especialização e homogeneização agrícola. A inclusão da aquicultura em 2015 impactou significativamente a diversidade em Santa Catarina e Paraná. A análise espacial evidenciou que as maiores variações ocorrem em escala municipal, destacando a influência de fatores locais sobre a diversidade agrícola.

Palavras-chave: Análise espacial, biodiversidade, sistemas produtivos.

1 Autor, Bolsista CNPq (PIBIC): Graduação em Matemática, Unicamp, Campinas-SP; gabriel.moreira@colaborador.embrapa.br.

2 Colaborador: Pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju-SE; marcos.santos-silva@embrapa.br.

3 Colaborador: Professor da Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão-SE; fabiromoura@gmail.com.

4 Orientadora: Pesquisadora da Embrapa Territorial, Campinas-SP; marcia.dompieri@embrapa.br.

ABSTRACT – *This study examines the spatial patterns of agricultural diversity in Brazil using the Shannon (functional diversity) and mean rarity (productive uniqueness) indices, based on municipal data from 1999 to 2023. Seven production categories were analyzed: temporary and permanent crops, livestock, animal products, aquaculture, vegetal extractivism, and silviculture. Results reveal strong regional contrasts, with Rio Grande do Sul (RS) and Acre (AC) showing the highest rarity values (2.85 and 2.82, respectively), indicating unique production systems. Conversely, São Paulo (SP) and Rio de Janeiro (RJ) exhibited the lowest diversity indices (Shannon = 0.150 and 0.167), reflecting agricultural specialization and homogenization. The inclusion of aquaculture in 2015 significantly impacted diversity in Santa Catarina and Paraná. Spatial analysis highlighted that most variations occur at the municipal level, emphasizing the influence of local factors on agricultural diversity.*

Keywords: spatial analysis, biodiversity, production systems.

1. INTRODUÇÃO

A diversidade é um atributo essencial em sistemas naturais e socioeconômicos, por sua relação com a estabilidade dos sistemas naturais e a resiliência produtiva (Laureto et al., 2015; Carvalho, 2022; Giovanini et al., 2022). Contudo, sua mensuração envolve escolhas metodológicas que influenciam os significados e as escalas de inferência. O índice de Shannon, derivado da teoria da informação de Shannon (1948) e divulgado por Shannon e Weaver (1964), é amplamente utilizado para estimar a diversidade, ao considerar simultaneamente riqueza e equitatividade. No entanto, a sensibilidade limitada à raridade acaba não totalmente contemplada (Guiasu, R.; Guiasu, S., 2010; Roswell et al., 2021).

Desde a década de 1970, alternativas foram propostas: Hurlbert (1971) sugeriu a probabilidade de encontro interespecífico; Hill (1973), uma família de índices parametrizados; e Haegeman e Loreau (2013), métodos para dados de alta dimensionalidade. Guiasu, R. e Guiasu, S. (2010) introduziram o índice Rich-Gini-Simpson, enquanto Augousti et al. (2021) propuseram o índice PDI, alinhado ao critério de duplicação de Jost (2007). A diversidade também ganhou destaque, especialmente na interface entre biodiversidade e funcionamento de ecossistemas. Ferramentas como o pacote *fundiversity* (Grenié; Gruson, 2023) facilitaram a aplicação de métricas baseadas em traços, e Roswell et al. (2021) trabalharam com o índice de raridade média *Rarity* para identificar espécies raras.

Jost (2007) e Tuomisto (2010) destacaram a distinção entre diversidade alfa, beta e gama, e criticaram a entropia como medida de diversidade efetiva. Chao et al. (2014) desenvolveram métodos de rarefação baseados nos números de Hill. Essas métricas têm sido aplicadas também em estudos de economia e desigualdade (Baumgartner, 2006).

No setor agropecuário, a diversidade produtiva é associada à segurança alimentar e à sustentabilidade. Altieri (1999) defende a diversificação como princípio agroecológico, e Tilman et al. (2002) demonstraram que sistemas mais diversos tendem a ser mais estáveis. Tschardt et al. (2012) alertam contra a especialização excessiva, enquanto a FAO (2018) aponta benefícios ambientais da

diversificação. Nesse sentido, há um consenso de que práticas extrativistas e silviculturais com múltiplas espécies revelam-se mais sustentáveis (Nepstad et al., 2006), e a presença de culturas pouco comuns pode refletir maior valor ecológico e cultural (De Oliveira; Wanderley, 2021; Lega; Murinho, 2016).

Dessa forma, há o entendimento de que o uso conjunto dos índices de Shannon e de raridade média permite captar tanto a equitatividade quanto a presença de atividades raras, oferecendo uma visão mais sensível da complexidade funcional dos sistemas produtivos. Nesse contexto, o objetivo deste estudo é analisar a produção agropecuária brasileira com base nesses índices, utilizando dados do IBGE para análises longitudinais e comparativas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo e base de dados

Para analisar os padrões de diversidade e raridade da produção agropecuária, foram considerados os 5.570 municípios brasileiros, ao longo do período de 1999 a 2023, abrangendo a produção agropecuária brasileira que contempla diversas categorias e variáveis.

Foram consideradas sete categorias produtivas: culturas temporárias (33 itens, como arroz, milho e soja), culturas permanentes (38 itens, como banana, café e açaí), efetivo de animais (11 tipos, incluindo bovinos, aves e caprinos), produtos de origem animal (6 itens, como leite, ovos e mel), aquicultura (35 espécies, como tilápia, camarão e rãs), extrativismo vegetal (41 produtos, entre frutos e recursos florestais) e silvicultura (4 principais itens, como lenha, madeira e resina). As variáveis analisadas incluíram valor da produção, área plantada e número de cabeças, conforme o tipo de produto.

Os dados foram organizados em formato longitudinal (painel), contemplando múltiplas unidades de medida — como valor de produção (R\$), hectares e número de cabeças de gado. Apesar dessa heterogeneidade de medidas, os índices utilizados, baseados nos números de Hill, têm normalização interna em sua fórmula, o que permite comparabilidade entre variáveis com diferentes escalas de mensuração. Valores ausentes ou não numéricos foram devidamente tratados e excluídos por meio de procedimentos no código de análise dos dados.

2.2. Índice de diversidade de Shannon e de raridade média

A análise adotou dois índices complementares: o índice de diversidade de Shannon e o índice de raridade média. O primeiro avalia a diversidade geral do sistema, considerando tanto a riqueza quanto a equidade na distribuição das categorias produtivas, enquanto o segundo foca na presença de componentes raros.

O índice de Shannon (Shannon, 1948), amplamente utilizado para mensurar a diversidade ecológica e produtiva, é eficaz para indicar o grau de equilíbrio entre cultivos, rebanhos ou produtos extrativos (Magurran, 2004; Altieri, 1999). Neste estudo, foi utilizada a entropia de Shannon normalizada, que varia de 0 (domínio de uma única categoria) a 1 (distribuição uniforme), o que facilita comparações entre sistemas com diferentes números de categorias. Diversos estudos associam maior diversidade a maior resiliência nos sistemas (Tilman et al., 2002; FAO, 2018). O índice de Shannon é dado pela Equação 1:

$$H(P) = - \sum_{i=1}^S P_i \cdot \log(P_i) \quad (1)$$

Em que:

- S é o número total de categorias (espécies, cultivos, produtos, etc.);
- $p_i = n_i/N$ representa a proporção da categoria i, sendo n_i o número de indivíduos (ou valor de produção) dessa categoria, e N, o total geral;
- O logaritmo pode ser na base 2 ou 10 — a base escolhida altera apenas a escala, não a interpretação relativa.

O índice de raridade média foi proposto como uma métrica complementar que enfatiza a importância dos elementos menos abundantes de um sistema (Roswell et al., 2021). Sua formulação busca superar as limitações de índices tradicionais, os quais tendem a priorizar a abundância em detrimento da raridade, o que pode ocultar a relevância funcional ou cultural de categorias escassas (Lega; Murinho, 2016). A estrutura matemática desse índice baseia-se em uma variação generalizada dos índices de diversidade de Hill, parametrizada por um expoente de escala, também chamado de parâmetro de ordem q, amplamente utilizado na literatura sobre diversidade. A fórmula geral da diversidade de Hill (ou média generalizada de ordem q) pode ser expressa como na Equação 2:

$${}^qD = \left(\sum_{i=1}^S P_i^q \right)^{\frac{1}{1-q}} \text{ para } q \neq 1 \quad (2)$$

Para $q=1$, a fórmula é substituída pela entropia de Shannon, em sua forma exponencial (Equação 3):

$${}^1D = \exp \left(- \sum_{i=1}^S P_i \cdot \log(P_i) \right) \quad (3)$$

Em que:

- p_i = abundância relativa da espécie i/total de indivíduos;
- q = parâmetro de escala - determina a sensibilidade à espécies raras/comuns;
- S = é o número total de espécies (riqueza).

Neste estudo, foram adotados múltiplos valores de q, com escala variando entre -1 e 1, o que resultou no índice de raridade média como medida agregada da diversidade ponderada pela raridade. Essa abordagem integrada permite capturar de forma mais robusta a estrutura funcional da diversidade em sistemas produtivos, e é particularmente eficaz para destacar a relevância de categorias pouco frequentes ou negligenciadas em métricas convencionais.

2.3. Recursos para análise dos dados

As principais ferramentas computacionais empregadas foram o ambiente estatístico R, a interface RStudio e o software de geoprocessamento ArcGIS, utilizados de forma complementar ao longo das etapas analíticas. Para o processamento e a organização dos dados, foi adotada uma abordagem integrada com o uso de ferramentas especializadas do pacote *tidyverse*, que proporcionaram eficiência a todas as etapas de manipulação, transformação e preparação das bases. Ambos os índices – raridade e diversidade – foram calculados usando função programada no próprio R,

sem a utilização de pacotes específicos. A geração de mapas temáticos seguiu a projeção geodésica SIRGAS 2000, com classificações baseadas em intervalos por quantis, o que permitiu representar com fidelidade os gradientes espaciais dos índices. O software ArcGIS foi utilizado para avaliar os índices de diversidade e de raridade na escala municipal, para todas as unidades federativas (UFs) e categorias de variáveis, com base na classificação por quantis para o ano de 2023. Essa etapa possibilitou uma análise espacial detalhada e complementar, reforçando a identificação de padrões territoriais recentes.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise exploratória dos dados

Foram analisadas as médias dos índices de diversidade (índice de Shannon) e de raridade média para os 26 estados brasileiros, considerando toda a base de dados agregados por município (Figura 1). Os resultados revelam variações significativas entre os estados, tanto em termos de diversidade quanto de raridade, e delineiam padrões espaciais que sugerem diferentes graus de especialização produtiva, intensidade no uso da terra e singularidade funcional.

Os maiores valores médios do índice de raridade ocorreram em Rio Grande do Sul (2,85), Acre (2,82), Rondônia (2,42) e Paraná (2,44), indicando a presença de sistemas produtivos menos frequentes nacionalmente, ligados a práticas tradicionais ou agroecológicas. No Acre, a baixa variabilidade sugere maior homogeneidade territorial, enquanto no RS há maior diversidade interna. Em contraste, São Paulo (1,62) e Rio de Janeiro (1,64) apresentaram os menores valores, refletindo homogeneidade produtiva e maior concentração em sistemas intensivos.

Esses dois estados também apresentaram os menores índices de Shannon (SP = 0,150; RJ = 0,167), reforçando a baixa diversidade. Já os maiores valores de Shannon foram registrados nos estados do Sul – Rio Grande do Sul (0,255), Paraná (0,218) e Santa Catarina (0,201) –, refletindo paisagens produtivas mais diversificadas, associadas a agricultura familiar e sistemas de policultivo. Goiás, São Paulo e Rio de Janeiro tiveram baixa diversidade, indicando concentração produtiva.

A comparação entre os dois índices revela que alta diversidade não implica, necessariamente, alta raridade. O Rio Grande do Sul é uma exceção, e destaca-se simultaneamente em diversidade e raridade, o que sugere a coexistência de variedade e singularidade.

A inclusão da aquicultura no censo de 2015 impactou a mensuração da diversidade, especialmente em estados costeiros. Santa Catarina e Paraná mostraram aumentos expressivos nos índices de diversidade entre 2015 e 2020 (15% a 20% do crescimento). No Nordeste, estados como o Ceará mantiveram estabilidade, possivelmente devido à diversidade preexistente nos sistemas produtivos.

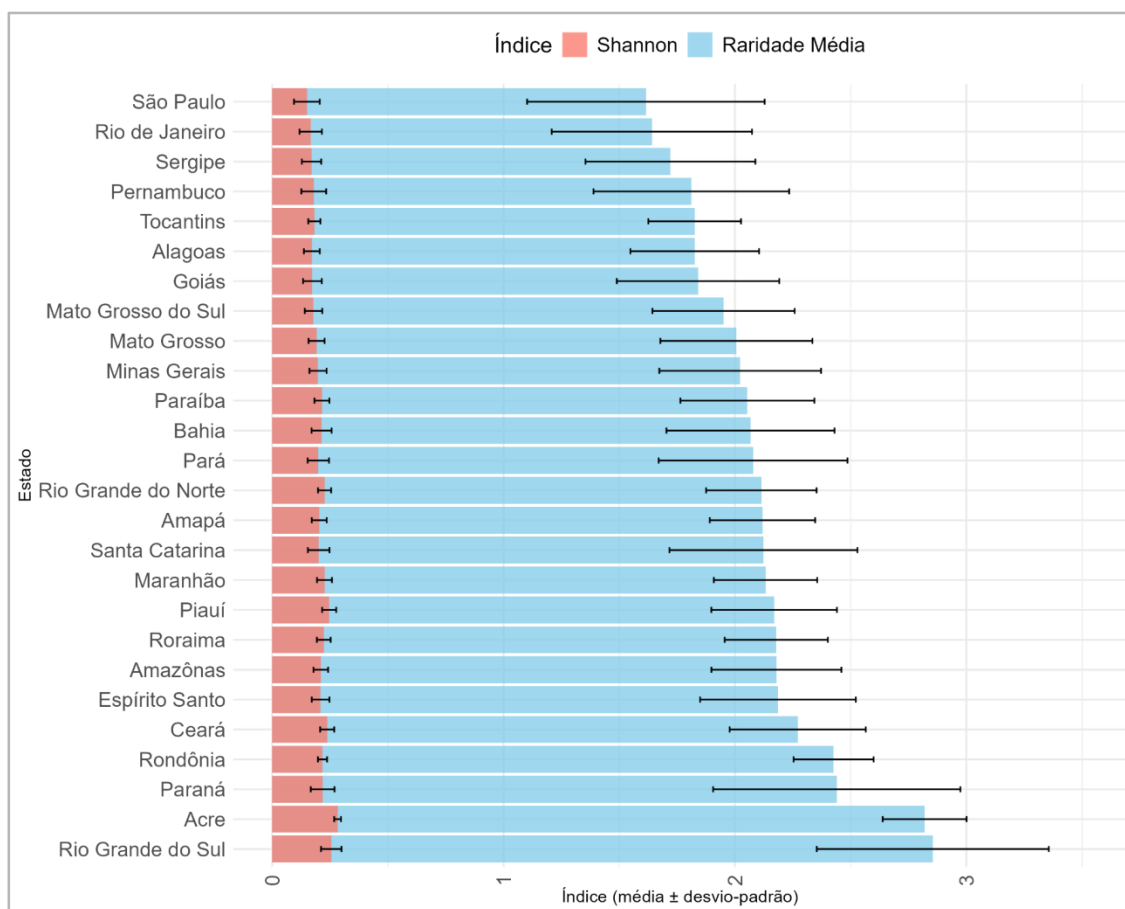


Figura 1. Média e desvio-padrão dos índices de raridade média e Shannon, por UF.

3.2. Análise espacial dos índices de diversidade e raridade por categoria produtiva no Brasil

Com o objetivo de retratar o cenário atual da diversidade e raridade das atividades agropecuárias e extrativistas no Brasil, a análise concentrou-se nos dados referentes ao ano de 2023, permitindo identificar padrões espaciais recentes e dinâmicas produtivas específicas por categoria e região.

3.2.1. Culturas temporárias. No Centro-Oeste, predominam extensas áreas com baixa diversidade (Shannon 0,10–0,20), voltadas à produção de soja e milho, e raridade média moderada (2,04–2,37). Apesar do elevado valor bruto gerado, esses sistemas apresentam baixa diferenciação funcional por hectare. Em contraste, as regiões Sudeste e Sul exibem maior diversidade (0,32–0,61), associada a cultivos como cana-de-açúcar, feijão e hortaliças. No entanto, apresentam raridade relativamente baixa (1,58–2,03), que indica sistemas diversificados, porém com predominância de culturas amplamente difundidas. A região Norte destaca-se por combinar diversidade moderada (0,25–0,42) com alta raridade (4,60–7,62), evidenciando sistemas agrícolas adaptados a condições ecológicas específicas e práticas locais diferenciadas (Figuras 2 e 3).

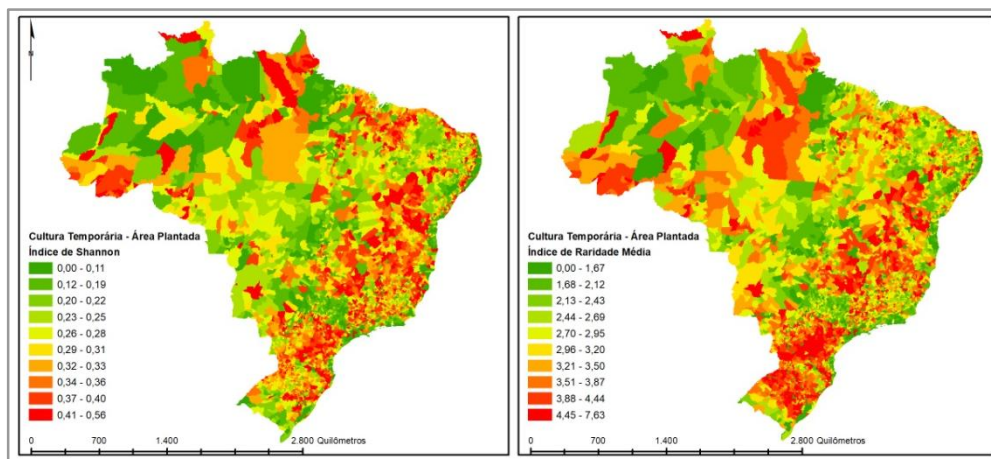


Figura 2. Mapa dos municípios brasileiros agrupados por quantil para os índices de diversidade (Shannon) e de raridade média para a categoria de área plantada (ha) referente às culturas temporárias, em 2023.

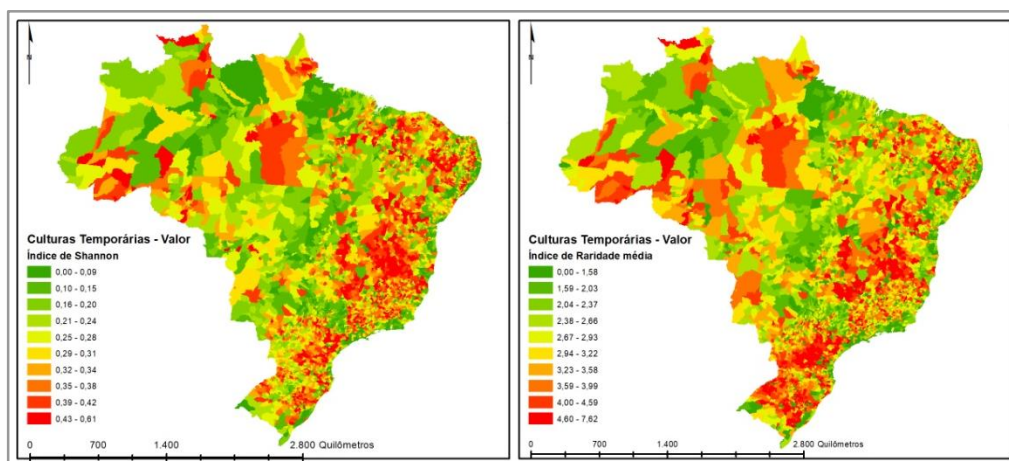


Figura 3. Mapa dos municípios brasileiros agrupados por quantil para os índices de diversidade (Shannon) e de raridade média para a categoria de valor de produção (R\$) referente às culturas temporárias, em 2023.

3.2.2. Culturas permanentes. No Sudeste e Centro-Oeste, cultivos como café e frutas cítricas concentram-se em áreas com diversidade moderada (Shannon 0,18–0,28) e raridade intermediária (2,03–3,24), refletindo sistemas produtivos difundidos, porém com variabilidade interna. Por sua vez, os sistemas agroflorestais de Amazônia, Nordeste e Sul, com espécies como açaí, guaraná e erva-mate, apresentam alta raridade (3,79–10,90), mesmo quando associados a baixa diversidade (0,00–0,20), indicando distribuições territoriais restritas. Destacam-se, ainda, monocultivos industriais especializados, como dendê e cacau, que concentram os maiores valores de raridade (4,70–10,90), e configuram nichos produtivos específicos, como no caso do cacau no sul da Bahia (Figura 4).

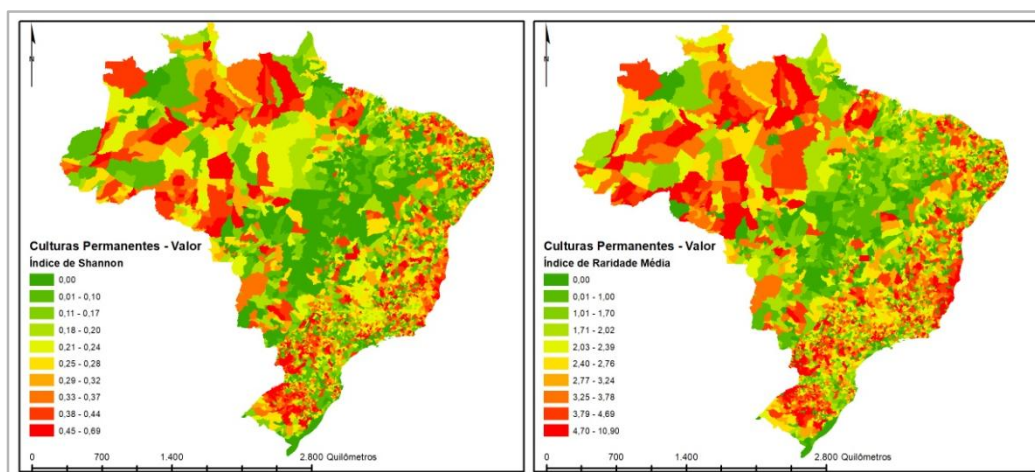


Figura 4. Mapa dos municípios brasileiros agrupados por quantil para os índices de diversidade (Shannon) e de raridade média para a categoria de valor de produção (R\$) referente às culturas permanentes, em 2023.

3.2.3. Pecuária. No Centro-Oeste, predominam sistemas com baixa diversidade (Shannon 0,00–0,27) e raridade igualmente baixa a moderada (0,00–3,24), refletindo a especialização em bovinocultura extensiva e a homogeneização produtiva em larga escala. O Nordeste destaca-se por combinar diversidade média (0,28–0,49) com alta raridade (4,73–6,86), associada à criação adaptada de caprinos, ovinos e bovinos rústicos em condições semiáridas. Já a região Sul apresenta os maiores valores de diversidade (0,50–0,68), resultado de sistemas integrados de bovinos, suínos e aves, frequentemente vinculados a cooperativas e agroindústrias regionais, com maior complexidade funcional (Figura 5).

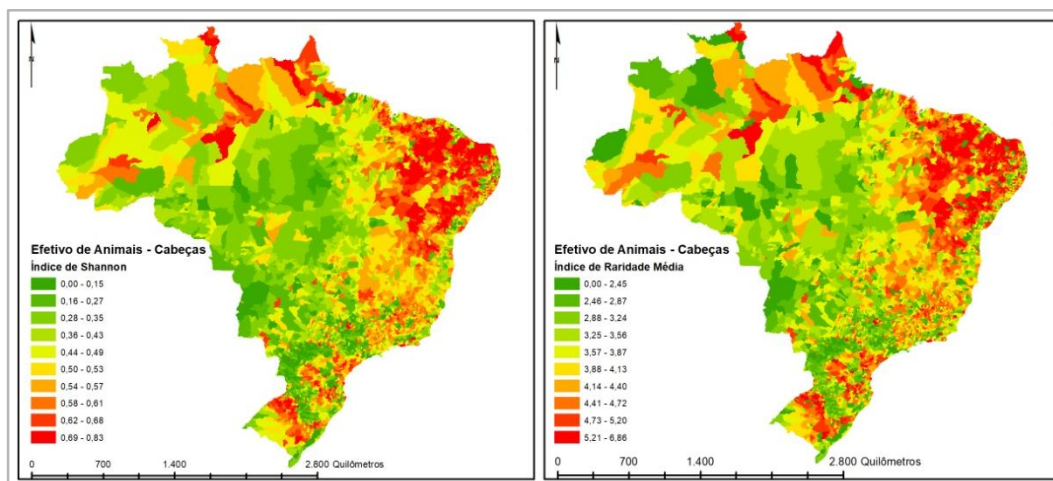


Figura 5. Mapa dos municípios brasileiros agrupados por quantil para os índices de diversidade (Shannon) e de raridade média para a categoria de efetivo de animais (cabeças), em 2023.

3.2.4. Produção animal não pecuária. A inclusão de produtos como leite, ovos, mel, lã e casulos de bicho-da-seda mantém os padrões regionais observados na pecuária, com algumas nuances relevantes. O Centro-Oeste apresenta baixa diversidade (Shannon 0,00–0,24) e raridade reduzida (0,00–2,50), refletindo a concentração em poucos produtos de maior escala. O Nordeste, por sua vez, mantém diversidade moderada (0,25–0,48), mas eleva significativamente sua raridade (4,50–7,00), impulsionado por práticas específicas, como apicultura no semiárido e ovinocultura leiteira. O Sul continua a se destacar com a maior diversidade (0,49–0,65), resultado da coexistência de sistemas familiares,

cooperativos e integrados, incluindo a produção de mel, ovos e leite em pequena escala. O Sudeste apresenta diversidade intermediária (0,40–0,55) e raridade relativamente baixa (1,00–3,50), evidenciando uma matriz ampla, porém homogênea. O Norte exibe baixa diversidade (0,00–0,30), mas concentra pontos de alta raridade (>5,00), associados ao extrativismo de mel e à criação especializada de codornas e outras espécies em nichos locais (Figura 6).

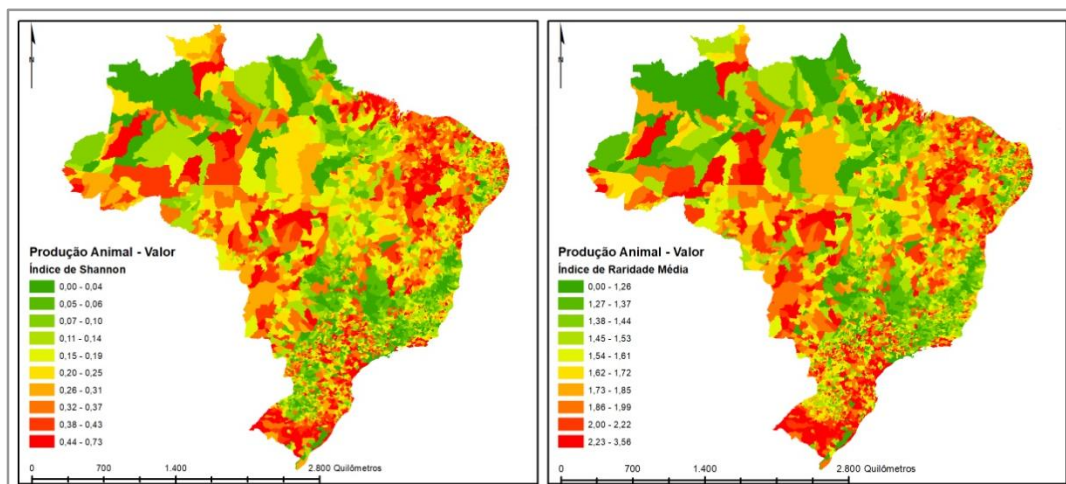


Figura 6. Mapa dos municípios brasileiros agrupados por quantil para os índices de diversidade (Shannon) e de raridade média para a categoria de valor de produção animal (R\$), em 2023.

3.2.5. Aquicultura. O IBGE passou a incorporar dados de aquicultura apenas a partir de 2013. A diversidade permanece baixa na maioria das regiões (Shannon 0,00–0,21), reflexo da concentração produtiva em poucas espécies dominantes, como tilápia e camarão marinho. Em contrapartida, alguns polos produtivos localizados no Sul, Nordeste e Norte atingem valores mais elevados de diversidade (até 0,71), indicando sistemas multiespécie e manejos diferenciados. O índice de raridade apresenta ampla variação (0,00–9,76), com os valores mais altos concentrados em municípios com produção de espécies nativas, como pirarucu, tambaqui e rãs, possivelmente práticas extrativistas adaptadas a contextos locais (Figura 7).

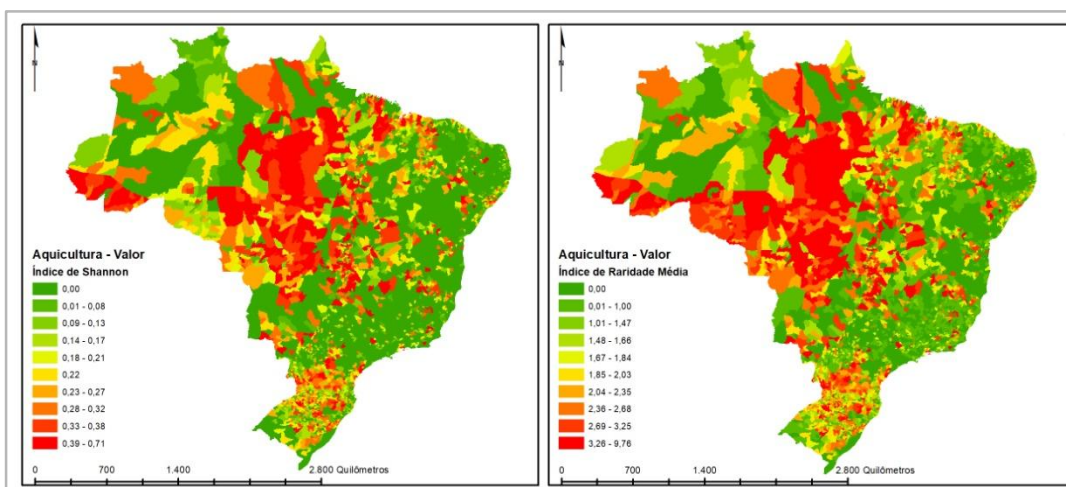


Figura 7. Mapa dos municípios brasileiros agrupados por quantil para os índices de diversidade de Shannon e de raridade média para a categoria de valor de produção (R\$) referente à atividade de aquicultura, em 2023.

3.2.6. Extrativismo vegetal. Esta categoria exibe a maior disparidade entre diversidade e raridade média. A diversidade de Shannon é geralmente baixa (0,00–0,45), com apenas cerca de 5% dos municípios atingindo valores superiores a 0,25, em geral associados a sistemas multifuncionais e uso diversificado de produtos florestais. Em contrapartida, os valores de raridade são elevados, especialmente na Amazônia Legal, onde se concentram os maiores índices (2,86–5,85), associados à produção de açaí, castanha-do-pará, andiroba, copaíba e outros produtos florestais nativos. No Nordeste, destacam-se municípios com produção de babaçu, carnaúba e mangaba, com raridade de moderada a alta (1,77–2,48). Esses resultados evidenciam a importância ecológica e cultural do extrativismo, com baixa diversificação local, mas forte singularidade, especialmente em regiões com presença de povos e comunidades tradicionais (Figura 8).

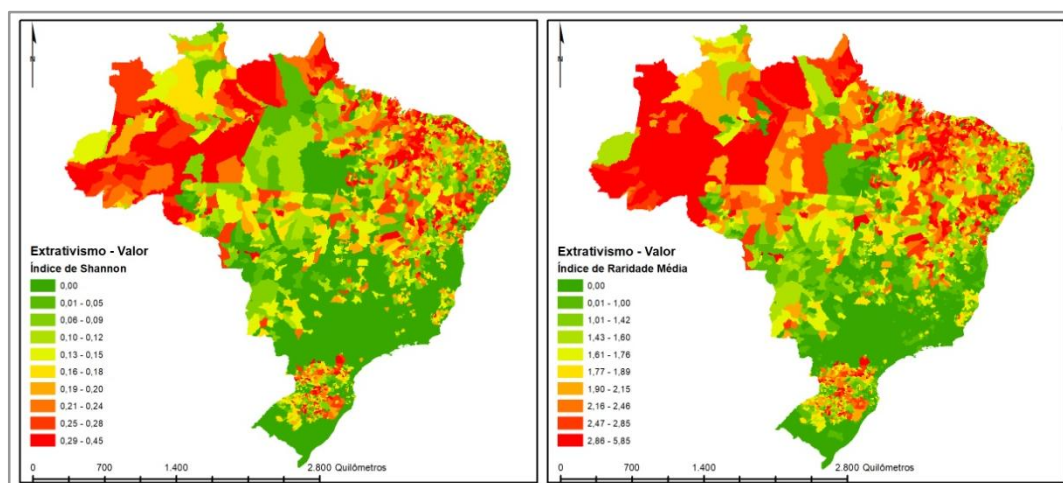


Figura 8. Mapa dos municípios brasileiros agrupados por quantil para os índices de diversidade de Shannon e de raridade média para a categoria de valor de produção (R\$) referente à atividade de extrativismo, em 2023.

3.2.7. Silvicultura. Municípios com índice de diversidade significativa (Shannon > 0,25) são concentrados no Sul e Sudeste, especialmente Paraná, Santa Catarina e Minas Gerais, refletindo sistemas silviculturais com múltiplas espécies comerciais. Em contraste, os maiores valores de raridade (3,30–5,85) estão concentrados na Amazônia Legal, como Acre, Amazonas e norte de Mato Grosso, sugerindo presença de produtos florestais menos padronizados, associados a espécies nativas ou sistemas de manejo regionalizados. Assim, observa-se um contraste funcional entre silviculturas diversificadas e padronizadas no Sul e Sudeste (baixa raridade) e produções raras e pouco diversificadas na Amazônia (Figura 9).

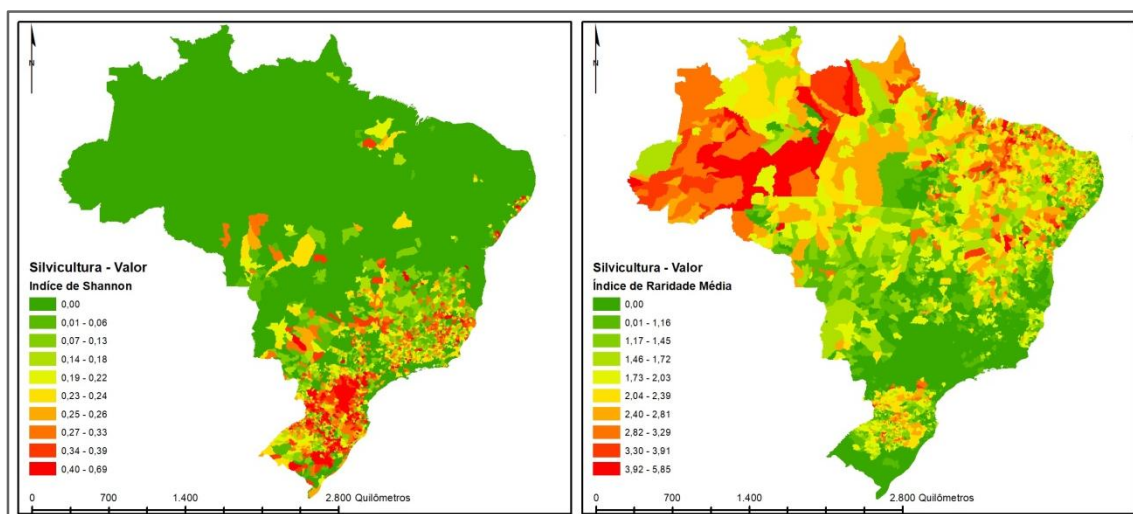


Figura 9. Mapa dos municípios brasileiros agrupados por quantil para os índices de diversidade de Shannon e de raridade média para a categoria de valor de produção (R\$) referente à atividade de silvicultura, em 2023.

4. CONCLUSÃO

Os resultados apontam a crescente especialização da produção agropecuária no Brasil, com aumento do índice de raridade média e estabilidade no índice de diversidade. Regiões como Sul e Amazônia mantêm sistemas produtivos diversos e singulares, ao passo que o Sudeste apresenta maior homogeneização. A inclusão da aquicultura em 2013 ampliou a diversidade em estados costeiros, evidenciando a importância de revisões metodológicas em séries históricas. A análise multiescalar indica que fatores locais pesam mais que tendências regionais, sugerindo a necessidade de políticas agrícolas ajustadas à escala municipal. Estudos futuros devem explorar a relação entre diversidade produtiva, variáveis socioambientais e resiliência frente a crises.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio ao trabalho, por meio do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC).

6. REFERÊNCIAS

- ALTIERI, M. A. **Agroecology**: the Science of Sustainable Agriculture. Boca Raton: CRC Press, 1999.
- AUGOUSTI, A. T.; KOUTSOUMANIS, K. P.; RASHID, M. T. A new diversity index. **Physical Biology**, v. 18, p. 066004, 2021. DOI: 10.1088/1478-3975/ac264e.
- BAUMGARTNER, S. **Measuring the diversity of what?** And for what purpose? A conceptual comparison of ecological and economic biodiversity indices. Heidelberg: University of Heidelberg; Department of Economics, 2006.
- CARVALHO, D. C. M. C. **A complexidade econômica agrícola brasileira**: evolução e principais determinantes no período 1998-2018. 2022. 82 f. Dissertação (Mestrado em Políticas Públicas e Desenvolvimento) – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Brasília.
- CHAO, A.; CHIU, C.-H.; JOST, L. Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. **Ecological Monographs**, v. 84, n. 1, p. 45-67, 2014. DOI: 10.1890/13-0133.1.
- DE OLIVEIRA, J. A. P.; WANDERLEY, M. N. B. **Agrobiodiversidade e sistemas alimentares tradicionais no Brasil**. Brasília: IEB, 2021. (Série Documentos Técnicos, 15).

- FAO. **The state of the world's biodiversity for food and agriculture**. Roma: FAO, 2018. Disponível em: <http://www.fao.org/3/CA3129EN/CA3129EN.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2024.
- GIOVANINI, A.; PEREIRA, W. M.; ALMEIDA, H. J. F. Diversidade produtiva e crescimento econômico: algumas evidências para os municípios brasileiros. **Nova Economia**, v. 32, n. 3, p. 687-717, 2022. DOI: 10.1590/0103-6351/6870.
- GRENIÉ, M.; GRUSON, H. fundiversity: a modular R package to compute functional diversity indices. **Ecography**, v. 2023, e06585, 2023. DOI: 10.1111/ecog.06585.
- GUIASU, R. C.; GUIASU, S. The Rich-Gini-Simpson quadratic index of biodiversity. **Natural Science**, v. 2, n. 10, p. 1130-1137, 2010. DOI: 10.4236/ns.2010.210140.
- HAEGEMAN, B.; LOREAU, M. Robust estimation of microbial diversity in theory and in practice. **The ISME Journal**, v. 7, p. 1092-1101, 2013. DOI: 10.1038/ismej.2013.10.
- HILL, M. O. Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. **Ecology**, v. 54, n. 2, p. 427-432, 1973.
- HURLBERT, S. H. The nonconcept of species diversity: a critique and alternative parameters. **Ecology**, v. 52, n. 4, p. 577-586, 1971. DOI: 10.2307/1934145.
- JOST, L. Partitioning diversity into independent alpha and beta components. **Ecology**, v. 88, n. 10, p. 2427-2439, 2007. DOI: 10.1890/06-1736.1.
- LAURETO, L. M. O.; CIANCIARUSO, M. V.; SAMIA, D. S. M. Functional diversity: an overview of its history and applicability. **Natureza & Conservação**, v. 13, p. 112-116, 2015. Disponível em: <http://www.naturezaeconservacao.com.br>. Acesso em: 15 jul. 2024.
- LEGA, P.; MURINHO, D. Measuring functional rarity in agroecosystems: a new integrative approach. **Ecological Indicators**, v. 60, p. 1043-1052, 2016. DOI: 10.1016/j.ecolind.2015.08.042.
- MAGURRAN, A. E. **Measuring biological diversity**. Oxford: Blackwell Publishing, 2004.
- NEPSTAD, D.; SCHWARTZMAN, S.; MOREIRA, A. Inhibition of Amazon deforestation and fire by parks and indigenous lands. **Conservation Biology**, v. 20, n. 1, p. 65-73, 2006.
- ROSWELL, M.; DUSHOFF, J.; WINFREE, R. A conceptual guide to measuring species diversity. **Oikos**, v. 130, n. 3, p. 321-338, 2021. DOI: 10.1111/oik.07202.
- SHANNON, C. E. A mathematical theory of communication. **Bell System Technical Journal**, v. 27, n. 3, p. 379-423, 1948. DOI: 10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x.
- SHANNON, C. E.; WEAVER, W. **A mathematical theory of communication**. Urbana: University of Illinois Press, 1964.
- TILMAN, D.; CASSMAN, K. G.; MATSON, P. A. Agricultural sustainability and intensive production practices. **Nature**, v. 418, n. 6898, p. 671-677, 2002.
- TSCHARNTKE, T.; CLOUGH, Y.; BHAGWAT, S. A. Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. **Biological Conservation**, v. 151, n. 1, p. 53-59, 2012.
- TUOMISTO, H. A diversity of beta diversities: straightening up a concept gone awry. Part 1. Defining beta diversity as a function of alpha and gamma diversity. **Ecography**, v. 33, n. 1, p. 2-22, 2010. DOI: 10.1111/j.1600-0587.2009.05880.x.