

Londrina, PR / Outubro, 2024

Tipificação e caracterização de municípios produtores de soja no Bioma Pampa

André Steffens Moraes⁽¹⁾, Maria do Carmo Ramos Fasiaben⁽²⁾, Octávio Costa de Oliveira⁽³⁾, Maxwell Merçon Tezolin Barros Almeida⁽⁴⁾, Helano Póvoas de Lima⁽⁵⁾, Vinicius do Nascimento Lampert⁽⁶⁾

⁽¹⁾Oceanógrafo, doutor em Economia, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR; ⁽²⁾Engenheira-agrônoma, doutora em Desenvolvimento Econômico, pesquisadora da Embrapa Agricultura Digital, Campinas, SP; ⁽³⁾Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências do Solo, tecnólogo da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Rio de Janeiro, RJ; ⁽⁴⁾Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, tecnólogo da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Rio de Janeiro, RJ; ⁽⁵⁾Cientista da computação, mestre em Ciência da Computação, analista da Embrapa Agricultura Digital, Campinas, SP; ⁽⁶⁾Zootecnista, doutor em Zootecnia, pesquisador da Embrapa Pecuária Sul, Bagé, RS.

Resumo - O objetivo deste trabalho é tipificar e caracterizar os sistemas de produção de soja no bioma Pampa a partir de dados do Censo Agropecuário de 2017, obtidos por tabulações especiais. A utilização de técnicas de aprendizado de máquina revelou-se eficaz para atender a esse objetivo. Por meio da análise de cluster, foram identificados três agrupamentos entre 154 municípios, com base em características da produção e ênfase no uso de tecnologia. Conhecer a heterogeneidade dos sistemas praticados pelos produtores é fundamental para o planejamento de ações de pesquisa agropecuária, transferência de tecnologia e desenvolvimento rural, com vistas ao aumento da eficiência desses sistemas no bioma. O conhecimento da heterogeneidade dos sistemas de produção de soja praticados pelos produtores contribui para o entendimento de como essas variações ajudam na definição de estratégias que sejam mais eficazes para diferentes contextos locais, revela como as diferenças nos métodos e práticas de produção são mais eficientes, ao mesmo tempo em que conhecer as especificidades dos agrupamentos oferece oportunidades para a difusão de inovações.

Termos para indexação: *Glycine max*; variáveis técnicas; variáveis econômicas; biomas; censo agropecuário.

Typification and characterization of soybean production systems in municipalities in the Pampa Biome

Abstract - The objective of this study is to typify and characterize soybean production systems in the Pampa biome based on data from the 2017 Agricultural Census, obtained through special tabulations. The use of machine learning techniques proved to be effective in achieving this objective. Through cluster analysis, three groups were identified among 154 municipalities, based on production characteristics and emphasis on the use of technology. Knowing the heterogeneity of the systems practiced by producers is essential for planning agricultural research, technology transfer and rural development actions, with a view to increasing the efficiency of these

Embrapa Soja
Rod. Carlos João Strass, s/n,
acesso Orlando Amaral
Caixa Postal 4006,
CEP 86085-981
Distrito de Warta
Londrina, PR
(43) 3371 6000
www.embrapa.br/soja
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
Presidente
Roberta Aparecida Carnevalli
Secretária-executiva
Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite

Membros
Claudine Dinali Santos Seixas,
Clara Beatriz Hoffmann-Campo,
Fernando Augusto Henning, Ivani
de Oliveira Negrão Lopes, Leandro
Eugênio Cardamone Diniz, Maria
Cristina Neves de Oliveira, Mônica
Juliani Zavaglia Pereira e Norman
Neumaier

Edição executiva
Vanessa Fuzinato Dall'Agnol

Revisão de texto
Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite

Normalização
Valéria de Fátima Cardoso
(CRB- 9/1188)

Projeto gráfico
Leandro Sousa Fazio

Diagramação
Marisa Yuri Horikawa
Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados à Embrapa.

systems in the biome. Knowing the heterogeneity of soybean production systems practiced by producers contributes to understanding how these variations help define strategies that are more effective for different local contexts, revealing how differences in production methods and practices are more efficient, while knowing the specificities of the clusters offers opportunities for the dissemination of innovations.

Index terms: *Glycine max*; technical variables; economic variables; biomes; agricultural census.

Introdução

No estado do Rio Grande do Sul observa-se um grande crescimento da área de soja, que se intensificou a partir dos anos 2000. Dados disponibilizados na Pesquisa Agrícola Municipal (PAM) do IBGE (2024a) mostram o crescimento da cultura no estado desde o ano 1974. No período de 1974 a 2000 a área colhida oscilou entre 2,8 a 3,0 milhões de hectares, enquanto no período entre 2001 e 2022, passou de 3,0 milhões para mais de 6,2 milhões de hectares (IBGE, 2024a).

A maior parte desse crescimento recente se deu na metade sul do Estado, onde predomina o bioma Pampa. Após os anos 2000, regiões tradicionalmente dedicadas à atividade da bovinocultura de corte e ovinocultura neste bioma tiveram parte de sua área dedicada à produção de soja, ocasionando mudanças importantes no cenário da pecuária do Rio Grande do Sul e do Bioma Pampa. Dado o conjunto de incentivos econômicos (incentivos financeiros, abertura dos mercados internacionais, tecnologia e influência de instituições econômicas nas decisões tomadas pelos pecuaristas que inseriram a sojicultura em suas atividades) para o avanço da sojicultura, projeta-se que a ampliação da área destinada à agricultura, em detrimento da pecuária, continuará ocorrendo no Rio Grande do Sul. Isso indica um cenário propício ao crescimento dos sistemas de produção intensivo e semi-intensivo na bovinocultura de corte e ao processo de integração entre lavoura e pecuária (Feix et al., 2016). Para Silva e Viana (2020), a diversificação da atividade agrícola ocorreu de forma mais proeminente em períodos de baixa de preços da bovinocultura de corte, em que a expansão da agricultura de grãos mostrou-se uma alternativa rentável por estar posicionada na base da política agrícola brasileira, sobretudo pelos estímulos dos preços internacionais e pela expansão da demanda externa.

Além do estímulo dos preços internacionais, Belarmino et al. (2018) citam como incentivos à

expansão da soja no Pampa a existência de fatores favoráveis, como a estrutura inicial de máquinas e armazéns das lavouras arroteiras, a necessidade de ampliação de escala de produção pelos pequenos e médios sojicultores do norte do estado, o preço das terras - inferiores aos praticados na metade norte - e a proximidade do porto de Rio Grande, o que significa menor custo de transporte. Para os autores, a rápida introdução da cultura da soja nos últimos anos tem modificado o panorama agrícola e pecuário da região.

A dinâmica espaço-temporal da produção agropecuária na Região Sul do Brasil tem sido objeto de estudo de algumas pesquisas. Antônio (2021) analisou as produções bovina e sojícola em municípios da Região Sul entre 1998 e 2017, revelando que ambas seguem padrões espaciais que refletem a aptidão regional, com ligeiras variações ao longo do tempo. O autor identificou uma tendência de substituição entre a bovinocultura e a sojicultura em parte significativa dos municípios dos estados do Rio Grande do Sul e Paraná, sobretudo nas regiões norte central, noroeste e oeste paranaense, e centro oriental e noroeste rio-grandense.

As pesquisas sobre a análise da dinâmica espaço-temporal da produção agropecuária possibilitam direcionar ações de transferência de tecnologia e estabelecer cenários de evolução territorial da agropecuária, beneficiando produtores, órgãos públicos e empresas privadas do setor (Oliveira et al., 2017; Seffrin, 2017; Antônio, 2021, Antônio et al., 2022). Esses resultados são importantes para a elaboração de políticas públicas que reconheçam as particularidades municipais em termos de avanço, estagnação e/ou retrocesso das produções bovina e sojícola no sul do Brasil.

Silveira et al. (2017) estudaram separadamente o aumento do cultivo da soja nos biomas Mata Atlântica e Pampa, no Rio Grande do Sul, em dois períodos: de 1990 a 2000 (como o período anterior ao do aumento de preços internacionais de commodities) e o período de 2000 a 2013 (como período de aumento do preço das commodities). Analisando o uso da terra a partir de dados do IBGE e de imagens de satélite, concluíram que um total de 505.162 ha do bioma Mata Atlântica e de 1.192.115 ha do bioma Pampa foram incorporados à produção de soja no período de 2000 a 2013. No bioma Mata Atlântica, o aumento ocorreu nos limites da área cultivada com milho, enquanto no bioma Pampa adveio da conversão da área anteriormente ocupada com pastagem nativa.

Analisando o caso do município de Bagé (RS), situado no Pampa, Lemos e Rizzi (2020) utilizaram imagens de satélite para mapear, nas safras 2005, 2008 e 2014, a interação espaço-temporal da soja com o arroz irrigado e o campo¹. Nesse município, a área cultivada com soja, mapeada por meio de imagens do satélite Landsat, foi de 12.109 ha, 12.923 ha e 43.275 ha e a de arroz de 15.218 ha, 12.562 ha e 11.279 ha, para as safras 2005, 2008 e 2014, respectivamente. Os resultados demonstraram que o município de Bagé pouco alterou (+6,72%) sua área cultivada com soja entre 2005 e 2008, mas 56,9% e 9,4% da área cultivada em 2008 eram ocupados por campo e arroz em 2005. Entre 2008 e 2014, a área de soja passou de 12.923 ha para 43.275 ha, dos quais 79% e 5,1% ocorreram sobre áreas ocupadas por campo e arroz em 2008, respectivamente. Tanto o cultivo quanto a expansão da soja deram-se predominantemente entre 3% e menos de 8% de declividade, enquanto para o arroz, as dinâmicas ocorreram predominantemente em áreas de declividade inferior a 3%. Para 2005 e 2008, houve um equilíbrio entre a extensão da área alternada entre soja e arroz, nesta declividade. No entanto, para 2008 e 2014, um valor muito maior de área de soja expandiu sobre as de arroz, do que em sentido inverso, evidenciando que a pressão pelo cultivo da soja não foi restrita às áreas de campo em maiores declividades, mas também às de várzea, onde predomina o cultivo do arroz.

O avanço da fronteira agrícola na metade Sul do Rio Grande do Sul alterou o perfil das áreas tradicionalmente utilizadas na produção pecuária. A cultura do arroz, que ocupa grandes áreas do bioma, também está em fase de transição, passando do modelo mono ou binomial (arroz-pousio ou arroz-pecuária), para um sistema misto com as culturas soja, milho, sorgo e trigo. A soja tem sido cultivada em rotação com o arroz irrigado e sua adaptação nessas áreas deve-se principalmente à obtenção de novas cultivares, com genótipos adaptados a períodos de encharcamento do solo (Pilon et al., 2013, citado por Kuplich et al., 2018) e aqueles que melhor se recuperam após este estresse (Pires et al., 2002, citado por Kuplich et al., 2018).

Com o objetivo de entender a diferenciação dos produtores de soja do bioma Pampa, o presente trabalho utiliza técnicas de aprendizado de máquina

e dados oriundos do Censo Agropecuário 2017 do IBGE com o objetivo de elaborar uma tipificação dos municípios do bioma Pampa segundo características do cultivo de soja, com enfoque especial na tecnologia empregada pelos produtores. Espera-se que os resultados possam servir ao planejamento de ações de pesquisa agropecuária, transferência de tecnologia e desenvolvimento rural, colaborando para o desenvolvimento do setor e a conservação do bioma.

Material e métodos

A data de referência do Censo Agropecuário 2017 foi o dia 30 de setembro de 2017 relativamente às informações sobre pessoal ocupado, estoques, efetivos da pecuária, lavouras permanentes e silvicultura, entre outros dados estruturais. Para o período de referência, ao qual foram relacionados todos os dados sobre propriedade, produção, área, volume de trabalho durante o período, entre outros aspectos, o censo adotou o intervalo de 1º de outubro de 2016 a 30 de setembro de 2017 (IBGE, 2019).

O presente trabalho partiu de uma tabulação especial do Censo Agropecuário 2017 com variáveis agrupadas por municípios e filtradas por estabelecimentos agropecuários produtores de soja (IBGE, 2022). Variáveis quantitativas (exceto número de estabelecimentos) com menos de três informantes por município foram desidentificadas, por motivo de sigilo estatístico. A identificação do Pampa como bioma predominante em cada município seguiu o trabalho de Silva et al. (2022).

As variáveis para a tipificação² são listadas a seguir:

- 1) Número de estabelecimentos produtores de soja do município dividido pelo número total de estabelecimentos do município (razão).
- 2) Soma da quantidade produzida de soja no município (kg).
- 3) Produtividade média da soja (kg/ha).
- 4) Número de estabelecimentos que receberam orientação técnica em relação ao total de estabelecimentos de soja (razão).
- 5) Número de estabelecimentos que usaram adubo químico em relação ao total de estabelecimentos de soja (razão).

¹ Os autores ressaltam que utilizaram o termo "campo" não somente para as áreas de pastagem natural não antropizadas (campo nativo) ou sem intervenção humana há um longo período. O termo refere-se também às áreas não utilizadas para agricultura nas safras analisadas e que são normalmente utilizadas para pastoreio.

² O Censo Agropecuário 2017 atribuiu o uso das tecnologias e serviços ao estabelecimento agropecuário, e não por cultura, o que não significa que estejam direcionados diretamente à soja. Outro ponto a considerar é que algumas técnicas não são empregadas ano a ano, como é o caso da aplicação do calcário. Como o censo coleta a informação para o ano de referência, é possível que parte dos estabelecimentos não acuse o seu uso naquele ano, embora possa fazê-lo com regularidade.

6) Número de estabelecimentos que fizeram financiamento em relação ao total de estabelecimentos de soja (razão).

7) Soma da área total colhida de soja / soma da área em processo produtivo dos estabelecimentos produtores de soja (razão).

8) Soma da área total de pastagens dos estabelecimentos produtores de soja / soma da área em processo produtivo dos estabelecimentos produtores de soja (razão).

9) Soma da área colhida de grãos (incluindo a soja) dos estabelecimentos produtores de soja / soma da área em processo produtivo dos estabelecimentos produtores de soja (razão).

10) Soma da área colhida de milho dos estabelecimentos produtores de soja / soma da área em processo produtivo dos estabelecimentos produtores de soja (razão).

11) Soma da área com plantio direto dos estabelecimentos produtores de soja.

12) Soma da área em processo produtivo dos estabelecimentos produtores de soja.

13) Soma da área arrendada dos estabelecimentos produtores de soja / soma da área em processo produtivo (razão).

14) Soma da área com plantio direto dos estabelecimentos produtores de soja / soma da área

em processo produtivo dos estabelecimentos produtores de soja (razão).

15) Número de estabelecimentos produtores de soja que utilizam sementes transgênicas em relação ao total de estabelecimentos produtores de soja (razão).

16) Valor da produção de soja / valor total da produção agropecuária, dos estabelecimentos produtores de soja (razão).

17) Soma das receitas com a venda de soja dos estabelecimentos produtores de soja / soma das receitas das atividades agropecuárias dos estabelecimentos produtores de soja (razão).

Na etapa de modelagem, adotou-se o método do cotovelo (do inglês, Elbow method) para se estimar o número de grupos (clusters) (Han et al., 2012). Este método consiste em avaliar a dissimilaridade (o quanto os pontos de um agrupamento diferem) em relação ao próprio agrupamento (dissimilaridade interna) e em relação aos outros agrupamentos (dissimilaridade externa), conforme o número de agrupamentos cresce. Observa-se, então, onde há a diminuição da melhoria destas medidas (cotovelo) em relação ao aumento do número de agrupamentos. A Figura 1 mostra o resultado do método para os dados descritos.

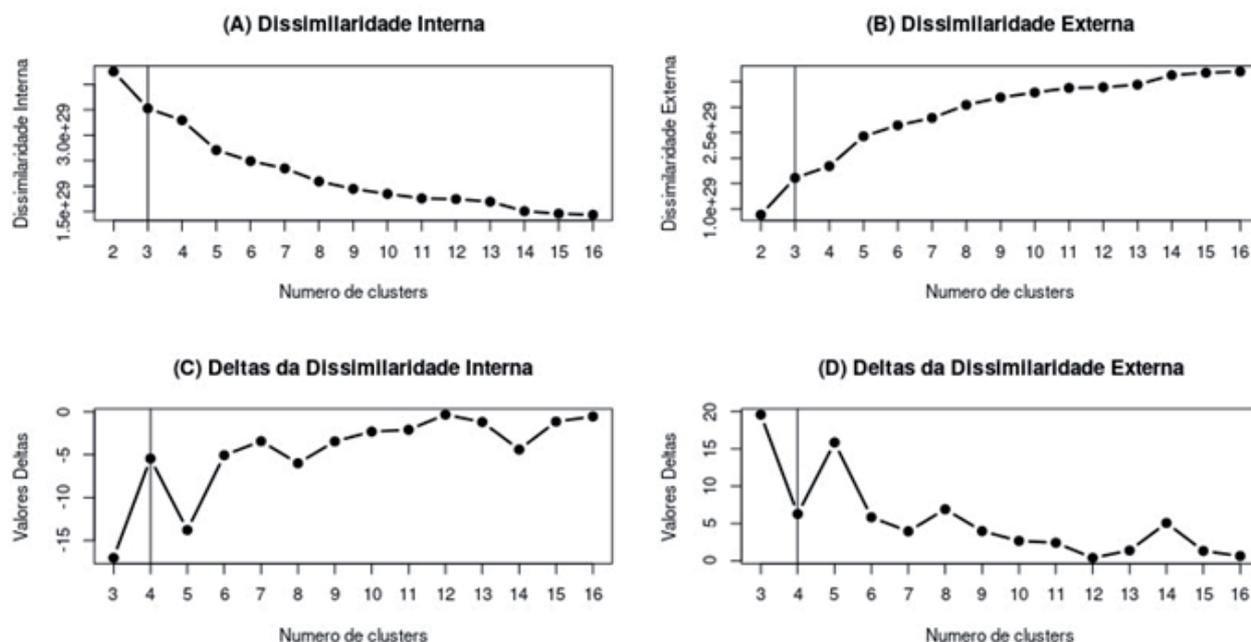


Figura 1. Método do cotovelo aplicado aos dados dos municípios produtores de soja do bioma Pampa: (A) dissimilaridade interna; (B) dissimilaridade externa; (C) deltas de dissimilaridade interna; (D) deltas de dissimilaridade externa.

Em seguida foi usado o algoritmo Expectation-Maximization (EM) para a geração dos *clusters*³ (Dempster et al., 1977), considerando o número

³ *Cluster* é um termo em inglês que indica agrupamento, geralmente empregado quando, em um conjunto de dados, agrupa-se elementos com características semelhantes entre si, mas diferentes dos elementos pertencentes a outros grupos.

de clusters estimado na etapa anterior. A razão da escolha do algoritmo EM baseia-se nos critérios: a) EM estende o paradigma usado com o algoritmo k-means, associando uma distribuição de probabilidade a cada instância, que indica a probabilidade dessa instância pertencer a uma

única população; e b) EM tem a habilidade de lidar com valores faltantes e de estimar o número de clusters por meio de um conjunto de parâmetros que descreve a distribuição de probabilidade de cada cluster. O usuário também pode especificar a priori quantos clusters gerar.

Adicionalmente, dado seu viés, o algoritmo EM tem uma eficiência e adaptação muito maior quando os conjuntos de dados descrevem populações, como é o caso dos dados do censo agropecuário. Isso se deve ao EM basear-se em modelos de mistura de gaussianas multivariadas, ou seja, espera que as densidades que serão agrupadas (os clusters) sejam curvas gaussianas que se sobrepõe, onde cada componente isolada seria um possível cluster.

O algoritmo calcula os estimadores de máxima verossimilhança para problemas onde existem dados incompletos entre os dados observados ou para problemas que envolvem variáveis latentes, ou seja, não observáveis diretamente, mas que podem ser inferidas de outras variáveis observadas. Cada iteração do algoritmo EM envolve dois passos que são: expectation (passo E) e maximization (passo M). O passo E desse algoritmo consiste em obter uma estimativa da esperança (expectation) dos dados faltosos para completar a amostra de dados incompleta, partindo-se de um valor inicial empírico. No passo M, com os dados completados, realiza-se aprendizagem das probabilidades, baseado nas frequências dos estados das variáveis na amostra, de modo a calcular a função de maximização da esperança encontrada. Os passos E e M fazem parte de um processo iterativo, em que as novas probabilidades, calculadas na fase M, serão utilizadas para realizar a inferência na fase E.

A validação cruzada realizada para determinar o número de clusters é feita nas seguintes etapas: a) o número de clusters é definido como 1; b) o conjunto de treinamento é dividido aleatoriamente em 10 partições (folds); c) EM é processado 10 vezes usando as 10 partições da maneira usual de validação cruzada; d) a probabilidade da máxima verossimilhança é calculada e a média dos 10 resultados é obtida; e e) se a probabilidade de máxima verossimilhança aumentar, o número de clusters é aumentado em 1 e o programa continua na etapa 2. O número de partições é fixado em 10, desde que o número de instâncias (observações) no conjunto de treinamento não seja menor que 10. Se for esse o caso, o número de partições é definido igual ao número de instâncias.

Em particular, foi utilizada a versão do algoritmo EM disponível no software Weka, versão 3.8.5 (Frank et al., 2016). O software Weka é uma coleção de algoritmos de aprendizado de máquina para tarefas

de mineração de dados. Ele contém ferramentas para preparação de dados, classificação, regressão, clustering, mineração de regras de associação e visualização.

Uma vez configurados os agrupamentos a partir do conjunto de variáveis, outras informações foram empregadas para melhor caracterizá-los, conforme se descreve nos resultados a seguir.

Resultados e discussão

Segundo IBGE (2024a), no período de referência do Censo Agropecuário 2017 contabilizaram-se 236.245 estabelecimentos produtores de soja (EPS) no Brasil, distribuídos por 2.428 municípios. A produção brasileira de soja foi de 103,2 milhões de toneladas e a área colhida foi 30,7 milhões de hectares, o que significou uma produtividade média nacional de 3.358 kg/ha. Para o mesmo período, no Rio Grande do Sul, 95.482 estabelecimentos produziram soja (40% do total nacional) em 446 municípios (18% do Brasil), com uma produção de 17,3 milhões de toneladas e com a cultura ocupando uma área de 5,2 milhões de hectares (ambos representando 17% do total brasileiro). A produtividade do Estado foi então de 3.336 kg/ha. Tabulações especiais dos dados do Censo Agropecuário 2017 (IBGE, 2022) permitiram dimensionar a importância da cultura da soja para o bioma Pampa: eram 33.298 estabelecimentos (35% do total do RS e 14% do Brasil), em 154 municípios (35% do RS e 6% do Brasil), e produziram 11,1 milhões de toneladas (64% do RS e 11% do Brasil) numa área de 3,4 milhões de hectares (66% do RS e 11% do Brasil). A produtividade média da soja no Pampa segundo aquele censo foi de 3.254 kg/ha (Tabela 1).

Os 154 municípios do Pampa com, pelo menos, um estabelecimento que produz soja, representaram 96% do total de 160 municípios do bioma e os 33.298 EPS representaram 23% do total de 143.919 mil estabelecimentos agropecuários do bioma.

Conforme apontado na metodologia, por questão de sigilo estatístico, as variáveis quantitativas (exceto número de estabelecimentos) com menos de três informantes por município foram desidentificadas. Por essa mesma razão, nos casos em que havia menos de três EPS no município, este foi excluído da análise de cluster. Deve-se atentar, portanto, que as informações apresentadas a seguir para o bioma Pampa se baseiam na base de dados desidentificada, o que levou à redução do número de municípios produtores de soja para 141 e o número de EPS analisados para 33.279 (Tabela 2).

Tabela 1. Número de municípios com um ou mais estabelecimentos agropecuários que produzem soja, número de estabelecimentos agropecuários produtores de soja, produção e área colhida de soja no Brasil, Rio Grande do Sul e bioma Pampa, segundo o Censo Agropecuário 2017.

Dado / Local	Brasil	Rio Grande do Sul	Bioma Pampa
Número de municípios com produção de soja (unidades)	2.428	446	154
Número de estabelecimentos agropecuários produtores de soja (unidades)	236.245	95.482	33.298
Produção de soja em 2017 (t)	103.156.255	17.311.971	11.144.747
Área colhida de soja em 2017 (ha)	30.722.657	5.189.633	3.424.896
Produtividade média da soja (kg/ha)	3.358	3.336	3.254

Fonte: IBGE (2022).

O algoritmo EM separou os estabelecimentos do bioma Pampa em três agrupamentos que foram classificados, para efeitos de análise, com base na produtividade média da soja (kg/ha), em três tipos: a) maior produtividade (3.619 kg/ha; Cluster 1); b) produtividade intermediária (2.958 kg/ha; Cluster 3); e c) menor produtividade (2.889 kg/ha; Cluster 2) (Tabela 2).

A área média dos estabelecimentos produtores de soja (EPS) do bioma Pampa (189,1 ha) foi 33,5% menor que a área média do total de estabelecimentos produtores de soja do país (252,5 ha). A área média em processo produtivo do bioma (168,1 ha) também foi menor, em 13,2%, do que a área média em processo produtivo do total de estabelecimentos produtores de soja do país (190,3 ha) (Tabela 3).

Tabela 2. Ocorrência dos clusters, produção, área colhida e produtividade de soja em estabelecimentos agropecuários produtores de soja (EPS) do Bioma Pampa, agregados por município, Censo Agropecuário 2017.

Variável / Cluster	Cluster 1	Cluster 3	Cluster 2	Pampa
Número de municípios produtores de soja ¹	49	60	32	141
Porcentagem de municípios produtores de soja no bioma	34,8	42,6	22,7	100,0
Número de EPS	21.276	10.031	1.972	33.279
Porcentagem de EPS por cluster no bioma	63,9	30,1	5,9	100,0
Quantidade total produzida de soja (t)	5.622.404	4.938.706	581.911	11.143.021
Área total colhida de soja (mil ha)	1.553.389	1.669.682	201.423	3.424.495
Área média colhida de soja (ha)	73,0	166,5	102,1	102,9
Produtividade média da soja (kg/ha)	3.619	2.958	2.889	3.254

EPS: Estabelecimento agropecuário produtor de soja.

¹Aqui são considerados estabelecimentos de municípios com três ou mais estabelecimentos agropecuários produtores de soja. Municípios com menos de três estabelecimentos produtores de soja foram excluídos das análises pela exigência de desidentificação dos dados do Censo Agropecuário pelo IBGE (sigilo estatístico).

Tabela 3. Indicadores do uso da terra de estabelecimentos produtores de soja dos Clusters, bioma Pampa, Censo Agropecuário 2017 (valores médios por estabelecimento produtor de soja).

Uso da terra pelos estabelecimentos produtores de soja	Cluster 1	Cluster 3	Cluster 2	Pampa
Área total dos estabelecimentos produtores de soja (ha)	2.193.229	3.374.236	725.550	6.293.016
Área total média dos estabelecimentos produtores de soja (ha)	103,1	336,4	367,9	189,1
Área total em processo produtivo dos estabelecimentos produtores de soja (ha)	1.901.092	3.046.114	645.514	5.592.720
Área média em processo produtivo dos estabelecimentos produtores de soja (ha)	89,4	303,7	327,3	168,1
Área total de florestas plantadas dos estabelecimentos produtores de soja (ha)	8.695	27.039	6.804	42.538
Área média de florestas plantadas dos estabelecimentos produtores de soja (ha)	0,4	2,7	3,5	1,3
Área total de sistemas agroflorestais dos estabelecimentos produtores de soja (ha)	8.845	26.927	3.729	39.501
Área média de sistemas agroflorestais dos estabelecimentos produtores de soja (ha)	0,4	2,7	1,9	1,2
Área total de pastagens (nativas + plantadas) dos EPS (ha)	202.302	1.118.288	216.288	1.536.878
Área média de pastagem dos estabelecimentos produtores de soja (ha)	9,5	111,5	109,7	46,2
Área total de lavouras temporárias dos estabelecimentos produtores de soja (ha)	1.676.553	1.869.398	415.870	3.961.821
Área média de lavoura temporária dos estabelecimentos produtores de soja (ha)	78,8	186,4	210,9	119,0
Área total arrendada pelos estabelecimentos produtores de soja (ha) ¹	540.595	1.221.471	198.901	1.960.967
Área média arrendada pelos estabelecimentos produtores de soja (ha)	25,4	121,8	100,9	58,9
Área total colhida de soja nos EPS (mil ha)	1.553.389	1.669.682	201.423	3.424.495
Área média colhida de soja por EPS (ha)	73,0	166,5	102,1	102,9
Área total colhida de milho nos EPS (mil ha)	137.457,3	39.024,2	11.219,0	187.700,5
Área média colhida de milho por EPS (ha)	6,5	4,0	6,2	5,7
Número estabelecimentos produtores de trigo nos EPS	21.276	6.253	41	27.570
Área total colhida de trigo nos EPS (mil ha)	328.459,2	92.945,3	1.630,0	423.034,6
Área média colhida de trigo por EPS (ha)	15,4	14,9	39,8	15,3
Número estabelecimentos produtores de arroz nos EPS	1.649	8.278	1.932	11.859
Área total colhida de arroz nos EPS (mil ha)	5,0	271.812,4	181.368,9	453.186,3
Área média colhida de arroz por EPS (ha)	0,0031	32,8	93,9	38,2

EPS: Estabelecimento agropecuário produtor de soja.

¹A área arrendada já está contabilizada e faz parte das médias da área total, da área em processo produtivo e das áreas dedicadas a cada uma das culturas dos estabelecimentos.

A principal característica geral dos EPS do bioma Pampa é a predominância da produção vegetal na formação da receita dos estabelecimentos: em todos os clusters, mais de 80% da receita total obtida pelos produtores (incluindo receitas externas ao estabelecimento) provêm de quatro culturas:

soja, arroz, milho e trigo. A participação das receitas de origem animal na receita total obtida variou de 9% a 13% nos diferentes clusters.

As principais características dos três clusters são descritas a seguir e a Figura 2 mostra a sua localização espacial.

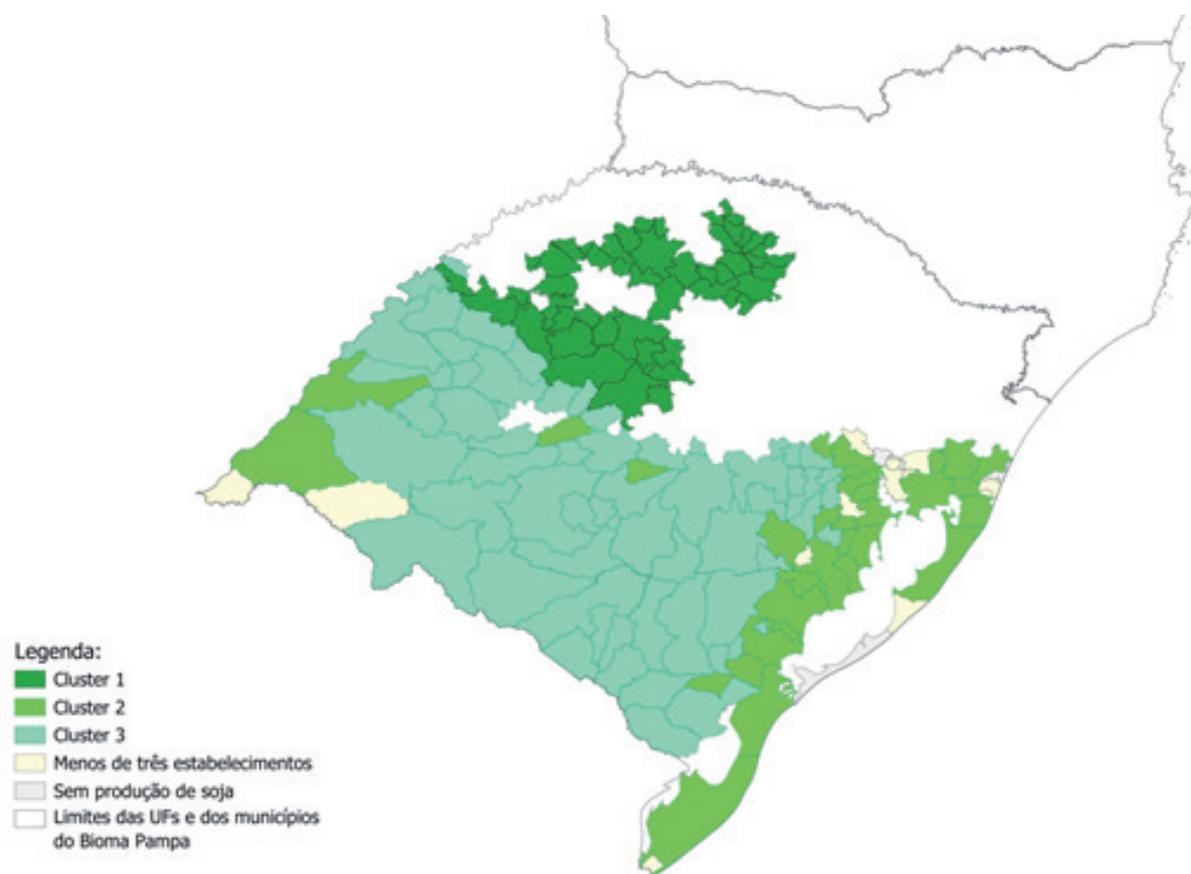


Figura 2. Localização espacial dos clusters de municípios produtores de soja do bioma Pampa.

CLUSTER 1 - Maior produtividade da soja

Os estabelecimentos deste cluster são os que apresentaram a maior produtividade média de soja, 3.619 kg/ha, acima da média do bioma. Representaram 35% dos municípios (49 municípios) e a maior parte dos estabelecimentos: 64%, ou 21.276 estabelecimentos agropecuários. Os EPS deste cluster produziram 5,62 milhões de toneladas de soja, metade da produção total do bioma (11,14 milhões de toneladas). Essa quantidade foi produzida em uma área colhida de 1,55 milhão de hectares, quase 45% da área colhida total dos estabelecimentos deste cluster (Tabela 2).

A área média dos EPS desse cluster (103,1 ha) foi a menor entre os três clusters, 83% inferior à área

média de todos os EPS do bioma (189,1 ha). A área média em processo produtivo dos estabelecimentos desse cluster, 89,4 ha, representou pouco mais da metade da área média em processo produtivo do bioma nos EPS do bioma. Da área em processo produtivo, 88% estavam ocupados com lavoura temporária (78,8 ha), 11% com pastagens (9,5 ha), 0,5% com florestas plantadas (0,4 ha) e 0,5% com sistemas agroflorestais (0,4 ha). Os estabelecimentos desse cluster arrendam uma área média de 25,4 ha, o que corresponde a 28% da área em processo produtivo dos estabelecimentos deste cluster, e 28% da área total arrendada pelos estabelecimentos produtores de soja do bioma (Tabelas 3 e 4).

Tabela 4. Percentuais dos diferentes usos da terra em relação à área em processo produtivo, em estabelecimentos produtores de soja dos Clusters do Bioma Pampa, Censo Agropecuário 2017.

Indicador	Cluster 1	Cluster 3	Cluster 2	Pampa
Percentagem da área total de lavouras em relação à área em processo produtivo	88,4	61,5	64,5	71,0
% da área total colhida de soja em relação à área em processo produtivo	81,7	54,8	31,2	61,2
% da área total colhida de milho em relação à área em processo produtivo	7,2	1,3	1,7	3,4
% da área total colhida de trigo em relação à área em processo produtivo	17,3	3,1	0,3	7,6
% da área total colhida de arroz em relação à área em processo produtivo	0,0	8,9	28,1	8,1
Percentagem da área total de pastagens em relação à área em processo produtivo	10,6	36,7	33,5	27,5
Percentagem da área total de florestas plantadas em relação à área em processo produtivo	0,5	0,9	1,1	0,8
Percentagem da área total de sistemas agroflorestais em relação à área em processo produtivo	0,5	0,9	0,6	0,7
Percentagem da área total arrendada em relação à área em processo produtivo	28,4	40,1	30,8	35,1
Percentagem da área arrendada em relação à área total dos estabelecimentos produtores de soja	24,6	36,2	27,4	31,2
Percentagem da área arrendada do cluster em relação ao total dos clusters	27,6	62,3	10,1	100,0

Tabela 5. Composição das receitas auferidas pelos estabelecimentos produtores de soja do bioma Pampa, segundo o Censo Agropecuário 2017 (valores médios, por estabelecimento produtor de soja).

Receitas ⁽¹⁾	Cluster 1	Cluster 3	Cluster 2	Pampa
Receitas totais obtidas / EPS (R\$)	340.142,46	786.686,40	1.005.492,01	514.166,67
Receita da agropecuária / EPS (R\$)	320.304,66	753.856,00	977.863,45	489.950,97
Receita de origem vegetal / EPS (R\$)	284.638,17	651.512,35	885.890,96	430.850,05
Receita de origem animal / EPS (R\$)	35.666,50	102.343,52	91.785,01	59.089,76
Receitas originadas da venda de soja / EPS (R\$)	235.095,89	476.875,79	305.160,13	312.125,28
Receitas originadas da venda de arroz / EPS (R\$)	-	137.746,20	533.512,08	73.133,75
Receitas originadas da venda de milho / EPS (R\$)	21.560,24	9.306,66	12.667,34	17.339,79
Receitas originadas da venda de trigo / EPS (R\$)	17.762,67	9.263,72	769,47	14.193,95
Receitas das atividades não agropecuárias praticadas nos estabelecimentos / EPS (R\$)	6.155,77	13.168,67	11.055,73	8.559,96
Receita total obtida pelo produtor e sua família (receitas de trabalho externo, aposentadorias, etc.) / EPS (R\$)	13.640,44	19.547,00	16.125,72	15.568,07

⁽¹⁾ Valores médios nominais na data de referência do Censo, em R\$.
EPS: Estabelecimento agropecuário produtor de soja.

A soja é a principal cultura desse cluster com uma área colhida (média) de 73,0 ha por estabelecimento. Em seguida vem o trigo, com 15,4 ha e o milho, com 6,5 ha (Tabela 3). O arroz não tem maior importância para esse cluster, nem em termos de área e nem em termos de geração de receita, sendo esta uma diferença importante em relação aos demais clusters. A receita total obtida por EPS desse cluster foi de R\$ 340.142,46. A maior geradora de receita desse cluster foi a soja, com

69,1% da receita total obtida pelos produtores, enquanto o milho e o trigo foram responsáveis por 6,3% e 5,2% da receita total, respectivamente. A receita com origem animal representou 10,5% da receita total obtida pelos produtores desse cluster. Os valores das receitas por estabelecimentos produtores de soja são apresentados na Tabela 5 e a participação percentual das diferentes fontes de receita se encontra na Tabela 6.

Tabela 6. Participação percentual de diferentes fontes na receita total obtida dos estabelecimentos produtores de soja no bioma Pampa, segundo o Censo Agropecuário 2017 (valores médios, por estabelecimento produtor de soja).

Receitas	Cluster 1	Cluster 3	Cluster 2	Pampa
Receita da agropecuária / Receitas totais obtidas (%)	94,2	95,8	97,3	95,3
Receita de origem vegetal / Receitas totais obtidas (%)	83,7	82,8	88,1	83,8
Receita de origem animal / Receitas totais obtidas (%)	10,5	13,0	9,1	11,5
Receita venda da soja / Receitas totais obtidas (%)	69,1	60,6	30,3	60,7
Receita venda do arroz / Receitas totais obtidas (%)	0,0	17,5	53,1	14,2
Receita venda do milho / Receitas totais obtidas (%)	6,3	1,2	1,3	3,4
Receita venda do trigo / Receitas totais obtidas (%)	5,2	1,2	0,1	2,8
Receitas das atividades não agropecuárias praticadas nos estabelecimentos / Receitas totais obtidas (%)	1,8	1,7	1,1	1,7
Receita total obtida pelo produtor e sua família não relacionadas à produção / Receitas totais obtidas (%)	4,0	2,5	1,6	3,0

Tabela 7. Aspectos gerais da tecnologia empregada nos clusters dos estabelecimentos agropecuários produtores de soja no Bioma Pampa, agregados por município, no Censo Agropecuário 2017.

Variável / Cluster	Cluster 1	Cluster 3	Cluster 2	Pampa
Porcentagem de estabelecimentos que tem acesso à internet	45,8	49,5	56,0	47,6
Porcentagem de estabelecimentos que tem trator	62,3	78,0	90,9	68,7
Porcentagem de estabelecimentos com semente transgênica	67,7	58,0	69,1	64,8
Porcentagem de estabelecimentos que usam adubos químicos	83,9	84,2	78,4	83,7
Porcentagem de estabelecimentos que usam corretivos de solo	43,6	59,9	71,1	50,1
Porcentagem de estabelecimentos que usam agrotóxicos	98,9	94,9	97,1	97,6
Porcentagem de estabelecimentos com armazéns para grão na propriedade	5,7	12,4	19,4	8,5
Porcentagem de estabelecimentos que fazem rotação de culturas	75,4	65,7	74,2	72,4
Porcentagem de estabelecimentos que recebem orientação técnica	69,9	62,1	73,4	67,8
Porcentagem de estabelecimentos com energia elétrica na propriedade	85,5	93,2	94,4	88,3

Não obstante esse cluster apresentar a maior produtividade média da soja, diversas variáveis utilizadas como *proxy* para o nível tecnológico estão abaixo da média do bioma. Nesta situação temos o acesso à internet (46%), a existência de tratores (62%) e de armazéns para grãos (6%) na propriedade, o uso de corretivos de solo (44%) e a existência de energia elétrica na propriedade (85%). Com percentuais acima da média do bioma temos o uso de sementes transgênicas (68%) e de agrotóxicos (99%), a prática da rotação de culturas (75%) e o acesso à orientação técnica (70%) (Tabela 7). Em parte isso se deve à menor área média dos estabelecimentos desse cluster (103,1 ha), que possivelmente dificulta ou inviabiliza a compra de tratores e a construção de armazéns para grãos, por exemplo, que exigem investimentos mais vultosos do que os necessários para as despesas de custeio

da safra (agrotóxicos, adubos) e considerando que a maioria dos estabelecimentos são familiares. O percentual de estabelecimentos com acesso à energia elétrica é o menor entre os clusters.

Os estabelecimentos deste cluster são em sua grande maioria (78%), estabelecimentos familiares, destacando-se bastante dos demais clusters e da média do bioma (68%). As receitas do produtor e sua família não relacionadas às atividades produtivas representaram 4% das receitas totais obtidas, sendo 2,45% referentes às aposentadorias e pensões. Este percentual também é um aspecto distintivo em relação aos demais clusters, que apresentam percentuais bem menores nessas receitas. O percentual de estabelecimentos que fizeram financiamento é o maior entre os clusters analisados, de 56% (Tabela 8).

A Tabela 9 mostra que o valor das vendas oriundas da produção animal representou pouco mais de 15% da receita que se obtém da comercialização da soja; o milho representou cerca de 9% e o trigo menos de 8%, evidenciando a importância da soja na geração de renda para os estabelecimentos desse cluster. Embora o arroz esteja presente em 7,8% dos estabelecimentos, essa cultura não aparece como fonte geradora de receita para esse cluster, sendo provavelmente destinada ao autoconsumo. À semelhança do Cluster 3, estes também são estabelecimentos diversificados, no sentido das culturas agrícolas.

A Figura 2 mostra que o Cluster 1 está concentrado no norte do bioma, na faixa do Pampa que se “insere” na Mata Atlântica. Na realidade, nos territórios desses municípios estão presentes áreas dos dois biomas⁴, prevalecendo em extensão aquelas enquadradas como Pampa (IBGE, 2024b). A Figura 3 apresenta os biomas e os municípios do Rio Grande do Sul com destaque para os municípios com áreas em mais de um bioma (interbiomas), grande parte dos quais localizados no Cluster 1. O Rio Grande do Sul está entre os estados que apresentam os maiores percentuais de municípios interbiomas (28%) e os maiores números absolutos

desses municípios (141 municípios). Todos os 49 municípios do Cluster 1 tem área de Pampa predominando sobre a área de Mata Atlântica, sendo que em 28 desses municípios (57%) mais de 80% da sua área é área de Pampa e em 43 deles (88%), mais de 60% da sua área é área de Pampa.

Uma possível explicação para a maior produtividade da soja no Cluster 1 - embora ele tenha apresentado, relativamente aos demais, um menor uso de tecnologia - é a sua localização espacial. Conforme trabalho de Kaster e Farias (2012), o Cluster 1 se localiza na macrorregião sojícola 1 (MRS 1), região edafoclimática 102 (REC 102), que apresenta condições edafoclimáticas (solos, clima, fotoperíodo, altitude, etc.) mais favoráveis para a cultura da soja do que os estabelecimentos dos Clusters 2 e 3, que estão majoritariamente na REC 101 (Figura 4).

Em relação aos solos, os municípios do Cluster 1 estão localizados predominantemente em solos da classe dos Latossolos, que são profundos e bem drenados, cuja profundidade associada ao relevo suave os torna de boa aptidão agrícola, desde que corrigida a fertilidade química, podendo ser utilizados com culturas de inverno e de verão (Rio [...], 2020) (Figura 5).



Figura 3. Municípios do Rio Grande do Sul com área em mais de um bioma (interbiomas), onde se destaca a interface entre os biomas Pampa e Mata Atlântica.

Fonte: Adaptado de IBGE (2024b).

⁴ Essa informação pode ser verificada em <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2102097> (IBGE, 2024b). Uma “Lista dos Municípios localizados em mais de um Bioma (Interbiomas) no Brasil – 2024”, encontra-se no Apêndice I daquela publicação.

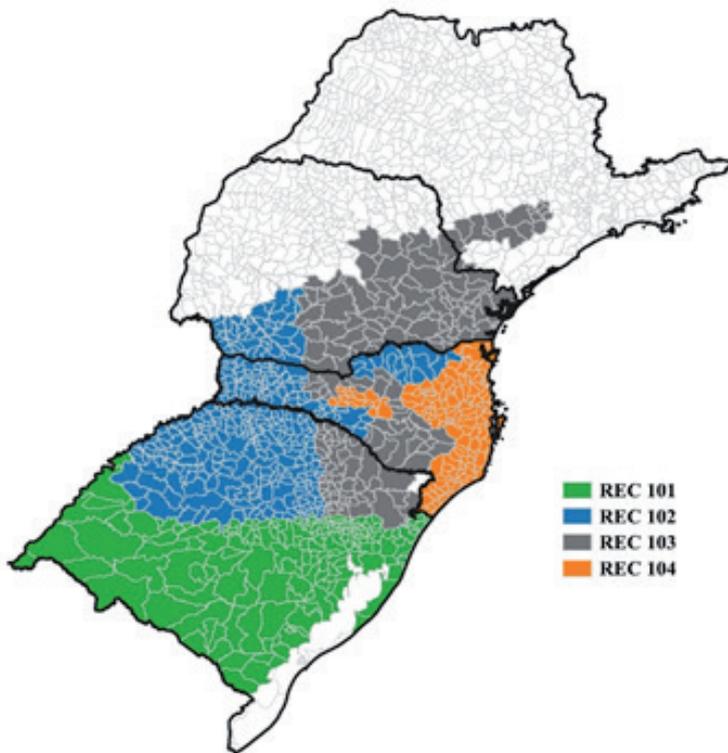


Figura 4. Macroregião sojícola 1 e regiões edafoclimáticas da Região Sul do Brasil.
 Fonte: Kaster e Farias (2012).

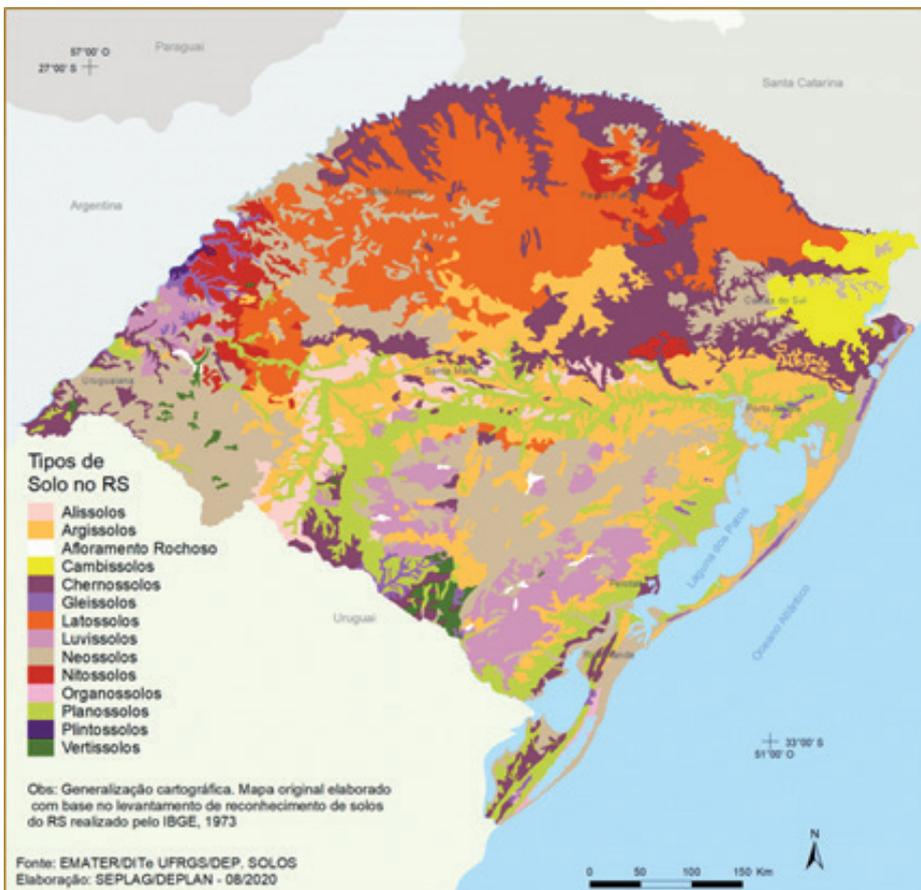


Figura 5. Tipos de solos do Rio Grande do Sul.
 Fonte: Rio [...], (2020).

CLUSTER 2 - Menor produtividade da soja

Os EPS do cluster de menor produtividade média do bioma Pampa (Cluster 2, com 2.889 kg/ha) são os de menor representatividade em termos do número de municípios (32 municípios ou 22,7% do total) e do número de estabelecimentos (1.972 estabelecimentos ou 5,9% do total). Os estabelecimentos deste cluster produziram perto de 582 mil toneladas de soja em uma área colhida de 201 mil hectares ou cerca de 5% e 6% do total do bioma, respectivamente (Tabela 2), ou seja, comparativamente, é um cluster formado por estabelecimentos com menor produção e menor área colhida de soja.

Por outro lado, embora o Cluster 2 reúna estabelecimentos com menor área total, a área média representa quase o dobro da média dos EPS do bioma Pampa (367,9 ha x 189,1 ha, respectivamente), conforme a Tabela 3. A área média em processo produtivo dos EPS deste cluster é de 327,3 ha, também representando quase o dobro da média dos EPS do bioma. Da área em processo produtivo, 65% estavam ocupadas com lavouras (quase 100% são lavouras temporárias), 34% com pastagens (nativas e plantadas, 1,1% com florestas plantadas e 0,6% com sistemas agroflorestais. A área média arrendada, 100,9 ha, representou 31% da área média em processo produtivo dos estabelecimentos deste cluster e a área arrendada, quase 200 mil hectares, representou 10% da área total arrendada pelos estabelecimentos produtores de soja do bioma (1,96 milhão de hectares) (Tabelas 3 e 4). Alerta-se, entretanto, que a área arrendada já está computada nas médias da área total, na área em processo produtivo e nas áreas ocupadas com as diferentes culturas nos estabelecimentos.

O arroz é a cultura mais relevante para os estabelecimentos desse cluster em termos de geração de renda (Tabela 5). A área colhida média de arroz por estabelecimento nos EPS foi de 93,9 ha, enquanto a área colhida de soja (média) foi de 102,1 ha (Tabela 3). Entre os três clusters, os EPS deste cluster obtiveram a maior receita total por estabelecimento, no valor de R\$ 1.005.492,01 (contabilizadas aquelas originadas no estabelecimento e fora dele - como pensões e aposentadorias, salários recebidos por serviços fora da propriedade, retiradas ou receitas de empresas ou negócios próprios, recebimentos provenientes de programas governamentais e outros). Nesse quesito, o arroz foi aqui a cultura mais importante, sendo responsável por 53,1% da receita total obtida

(533,5 milhões de Reais; Tabelas 5 e 6). A cultura da soja foi responsável por 30,3% da receita total, o milho por 1,3% e o trigo por apenas 0,1%. Já a receita com origem na produção animal representou uma fatia de 9,1% da receita total obtida pelos produtores desse cluster (Tabela 6).

Desde o início da introdução da soja em rotação com arroz, na safra 2009/2010 até a safra 2022/2023, o incremento na área cultivada de soja foi de 45 vezes o valor inicial, saindo de 11.150 ha para 505.965 ha (maior área de soja em rotação com arroz até então). Em relação à área cultivada de arroz no Rio Grande do Sul, na safra 2022/2023, o percentual da área de arroz em rotação com soja foi de 60,2 % (Instituto [...], 2023).

Pela Tabela 7 se verifica que, embora tenham apresentado menor produtividade média da soja, os estabelecimentos do Cluster 2 foram os que apresentaram maior nível tecnológico em relação aos demais clusters e também considerando as médias do bioma para a maioria das variáveis tecnológicas analisadas. Destacam-se dos demais clusters e com percentuais acima da média do bioma, o acesso à Internet (56% dos estabelecimentos do cluster), a existência de tratores na propriedade (91%), o uso de corretivos de solo (71%) e o acesso à orientação técnica (73%). Os percentuais também são altos e acima da média do bioma para o uso de sementes transgênicas (69%) e pela existência de energia elétrica nas propriedades (94%), mas são valores similares a pelo menos um dos outros dois clusters. Este cluster também se destaca da média do bioma no uso de rotação de culturas (74% versus 72%). O uso de adubos químicos (78%) é o menor entre os clusters e abaixo da média do bioma (84%). Há que ressaltar, entretanto, que o Censo Agropecuário coleta informações sobre o uso das tecnologias nos estabelecimentos, porém não especifica a qual cultura elas se destinam. Assim, no caso do Cluster 1, o maior emprego de insumos e serviços pode estar sendo prioritariamente destinado ao arroz e não à soja.

Este cluster apresenta a menor proporção de estabelecimentos familiares entre os EPS do bioma (48,3%). As receitas do produtor e sua família não relacionadas às atividades produtivas do estabelecimento (como pensões e aposentadorias, salários recebidos por serviços fora da propriedade, retiradas ou receitas de empresas ou negócios próprios e outros), representaram 1,6% das receitas de totais obtidas, menor percentual entre os três clusters e bastante abaixo da média dos EPS do bioma, que foi de 3,0%. As receitas de aposentadorias e pensões representaram

menos que 1% do total de receitas obtidas pelos produtores do cluster. O percentual de produtores que fizeram financiamento neste cluster (54,0%) foi praticamente o mesmo que o percentual dos EPS do bioma (53,6%) (Tabela 8).

A Tabela 9 apresenta outras informações dos clusters de estabelecimentos agropecuários produtores de soja do Bioma Pampa, considerando a participação de outras culturas cultivadas nos estabelecimentos. Essa tabela evidencia a importância do arroz para esse cluster: o valor da venda desse produto supera em quase 75% o valor obtido com a venda da soja, embora seja cultivado

numa área quase 10% menor (Tabela 3). Mostra ainda que o valor das vendas de produtos de origem animal representa 30% da receita que se obtém da comercialização da soja; o milho representa pouco mais de 4%; e o trigo, menos de 0,5%.

Os municípios que representam o Cluster 2 encontram-se localizados principalmente na faixa limítrofe à Lagoa dos Patos e Lagoa Mirim, áreas de terras baixas de cultivo de arroz irrigado, e no sudoeste do Estado, nos municípios de Uruguaiana e Itaqui, dois dos maiores produtores de arroz do país.

Tabela 8. Características socioeconômicas dos clusters de estabelecimentos agropecuários produtores de soja do Bioma Pampa, agregados por município, no Censo Agropecuário 2017.

Variável / Cluster	Cluster 1	Cluster 3	Cluster 2	Pampa
Estabelecimentos familiares em relação ao total de EPS do bioma (%)	77,5	52,4	48,3	68,2
EPS que fizeram financiamento em relação ao total de EPS do bioma (%)	55,5	49,4	54,0	53,6
Receitas totais das atividades do estabelecimento (agro + não agro) em relação ao VTRO ¹ (%)	96,0	97,5	98,4	97,0
Receita total do produtor e sua família em relação ao VTRO ² (%)	4,0	2,5	1,6	3,0
Receitas de aposentadorias em relação ao VTRO (%)	2,4	0,9	0,7	1,5
Receitas obtidas fora do estabelecimento em relação ao VTRO (%)	1,5	1,5	0,9	1,4
Receitas de aposentadoria + receitas fora do estabelecimento em relação ao VTRO (%)	3,9	2,4	1,5	3,0

⁽¹⁾ VTRO = Valor total das receitas obtidas.

⁽²⁾ São as receitas do produtor e sua família não relacionadas às atividades produtivas do estabelecimento, como pensões e aposentadorias, salários recebidos por serviços fora da propriedade, retiradas ou receitas de empresas ou negócios próprios, recebimentos provenientes de programas governamentais e outros.

Tabela 9. Características dos clusters de estabelecimentos agropecuários produtores de soja do Bioma Pampa, agregados por município, no Censo Agropecuário 2017, considerando outras culturas cultivadas nos estabelecimentos.

Variável / Cluster	Cluster 1	Cluster 3	Cluster 2	Pampa
Total de municípios produtores de soja	49	60	32	141
Total de municípios com produção de milho	49	55	19	123
Total de municípios com produção de trigo	49	27	1	77
Total de municípios com produção de arroz	3	44	27	74
Total de estabelecimentos produtores de soja	21.276	10.031	1.972	33.279
Total de estabelecimentos produtores de milho	21.276	9.813	1.806	32.895
Total de estabelecimentos produtores de trigo	21.276	6.253	41	27.570
Total de estabelecimentos produtores de arroz	1.649	8.278	1.932	11.859
Quantidade vendida de arroz em relação à quantidade vendida de soja (%)	0	40,1	247,3	32,2
Área colhida de milho em relação à área colhida de soja (%)	8,8	2,3	5,6	5,5
Área colhida de trigo em relação à área colhida de soja (%)	21,1	5,6	0,8	12,4
Área colhida de arroz em relação à área colhida de soja (%)	0,00032	16,3	90,0	13,2
Valor da receita da venda do milho / Valor da receita da venda da soja (%)	9,2	2,0	4,2	5,6
Valor da receita da venda do trigo / Valor da receita da venda da soja (%)	7,6	1,9	0,3	4,5
Valor da receita da venda do arroz / Valor da receita da venda da soja (%)	0,0	28,9	174,8	23,4
Valor da receita de origem animal / Valor da receita da venda da soja (%)	15,2	21,5	30,1	18,9
Total de municípios produtores de milho em relação ao total de municípios produtores de soja (%)	100,0	45,0	3,1	54,6
Total de municípios produtores de trigo em relação ao total de municípios produtores de soja (%)	100,0	91,7	59,4	87,2
Total de municípios produtores de arroz em relação ao total de municípios produtores de soja (%)	6,1	73,3	84,4	52,5
Total de estabelecimentos de milho em relação ao total de estabelecimentos de soja (%)	100,0	97,8	91,6	98,8
Total de estabelecimentos de trigo em relação ao total de estabelecimentos de soja (%)	100,0	62,3	2,1	82,8
Total de estabelecimentos de arroz em relação ao total de estabelecimentos de soja (%)	7,8	82,5	98,0	35,6

CLUSTER 3 - Produtividade intermediária da soja

Este cluster apresenta uma produtividade intermediária (Cluster 3) sendo o mais representativo em termos do número de municípios (42,6%, ou 60 municípios), embora não do número de estabelecimentos (10.031 unidades, ou 30,1% do total). A produtividade média da soja aqui é de 2.958 kg/ha, abaixo da média do bioma. A produção total de soja dos estabelecimentos deste cluster foi de 4,93 milhões de toneladas, 44% do total produzido no Pampa, e foi obtida em uma área colhida de 1,67 milhão de hectares ou 49% da área colhida total dos estabelecimentos deste cluster (Tabela 2).

No Cluster 3, a área média dos estabelecimentos produtores de soja é segunda maior entre os três clusters (336,4 ha, 78% acima da área média do bioma) e foi 33,2% maior do que área média dos cerca de 236 mil estabelecimentos produtores de soja do país (252,5 ha). A área média em processo produtivo dos estabelecimentos produtores de soja deste cluster foi de 303,7 ha. Da área em processo produtivo, 61% estavam ocupados com lavoura temporária (186,4 ha), 37% (111,5 ha) com pastagens (nativas e plantadas), 1% com florestas plantadas (2,7 ha) e 1% com sistemas agroflorestais (2,7 ha). A área média arrendada, 121,8 ha, representou 40% da área média em processo produtivo dos estabelecimentos deste cluster e a área arrendada, 1,22 milhões de hectares, representou 62% da área total arrendada pelos estabelecimentos produtores de soja do bioma (1,96 milhão de hectares) (Tabelas 3 e 4).

A soja é a principal cultura para os produtores desse cluster, representando uma área colhida (média) de 166,5 ha por estabelecimento. Em área colhida, seguem o arroz (32,8 ha), o trigo (14,9 ha) e o milho (4,0 ha) (Tabela 3). A receita total obtida pelos EPS desse cluster foi de R\$ 786.686,40 por estabelecimento. A soja foi também a principal fonte de geração de renda dos estabelecimentos: representa 60,6 % da receita total obtida pelos produtores, enquanto o arroz foi responsável por 17,5% dessa receita e o trigo e milho por 1,2% cada um. A receita com origem animal representou 13% da receita total obtida pelos produtores desse cluster, a maior participação entre os três clusters. Os valores absolutos das receitas por estabelecimento são apresentados na Tabela 5 e a participação percentual das diferentes fontes de receita se encontra na Tabela 6.

As variáveis utilizadas para definir o perfil tecnológico dos estabelecimentos deste cluster

parecem caracterizar bem sua classificação como de produtividade intermediária, pois estão em nível intermediário de valores percentuais em relação aos outros dois clusters. Destaca-se o menor uso entre os três clusters de sementes transgênicas (58%), da prática de rotação de culturas (66%) e do percentual de estabelecimentos com orientação técnica (62%) (Tabela 7).

O percentual de estabelecimentos familiares deste cluster (52%) é intermediário entre os três clusters, mas abaixo da média do bioma (68%). As receitas do produtor e sua família não relacionadas às atividades produtivas representaram 2,5% do total das receitas obtidas, sendo 0,9% referentes às receitas de aposentadorias e pensões. O percentual de estabelecimentos que fizeram financiamento neste cluster (49%) é o menor entre os clusters e abaixo da média do bioma (54%) (Tabela 8).

A Tabela 9 mostra que o valor das vendas oriundas do arroz representou 29% da receita obtida com a comercialização da soja; o valor das vendas de produtos de origem animal representa 21,5%; o milho 2%; e o trigo, menos de 2%. Ou seja, aproximadamente 46% das receitas das atividades produtivas destes estabelecimentos provêm da cultura da soja. A maior parte dos municípios produtores de soja deste cluster também produz milho (92%), arroz (73%) e trigo (45%), ou seja, são municípios diversificados em termos de culturas de grãos e provavelmente com criação de ovinos e bovinos, dada a localização dos estabelecimentos deste cluster, que se estende por todo o centro-sul e oeste do bioma, região com tradição na criação desses animais.

Comparando os três clusters, observa-se que a produtividade média da soja está bastante próxima entre os dois clusters menos produtivos (Clusters 2 e 3), de modo que a produtividade não foi uma variável decisiva para a separação desses dois clusters. Outras características também são similares entre esses dois clusters, como as áreas médias em geral - exceto no que tange às áreas médias colhidas de trigo e arroz e às receitas da venda de soja e de arroz em relação às receitas totais obtidas, bastante distintas. No caso do Cluster 2, a maior parte das receitas vem da produção vegetal (88,1%), mas não da venda da soja (30,3%), e essa diferença se deve à cultura do arroz (53,1% das receitas). Por outro lado, a quantidade produzida, a área total colhida e o número de estabelecimentos produtores de soja, são muito diferentes entre esses dois clusters. E a produção de arroz no Cluster 1 é praticamente zero. Portanto, a presença e importância da cultura

do arroz é uma característica que distingue os três tipos de estabelecimentos.

O Cluster 1, o de maior produtividade, tem áreas médias menores em geral em relação aos dois outros clusters. Já a área em processo produtivo do Cluster 1 é cerca de dois terços menor que esta área no Cluster 3, embora a área de lavouras temporárias seja similar. A distinção nesses aspectos entre os Clusters 1 e 3 está nas áreas de florestas plantadas, de sistemas agroflorestais e, em especial, de pastagens (nativas e plantadas), bastante superiores no Cluster 3.

A participação das receitas do produtor e sua família (que são receitas não relacionadas às atividades produtivas) em relação às receitas totais

obtidas nos EPS é maior no Cluster 1, que também é o cluster com maior percentual de estabelecimentos familiares. Esse cluster também é o que apresentou a maior produtividade da soja, o que talvez possa ser explicado por sua localização em solos de melhor aptidão agrícola.

Há também um aspecto importante no tocante à localização geográfica dos clusters, bastante agrupados em determinadas regiões do Pampa e que parece estar relacionado com a supressão da vegetação de campo nativo do bioma no período 1985-2018 em relação aos remanescentes originais, conforme o estudo A agonia [...] (2020), e que pode ser observado na Figura 6.

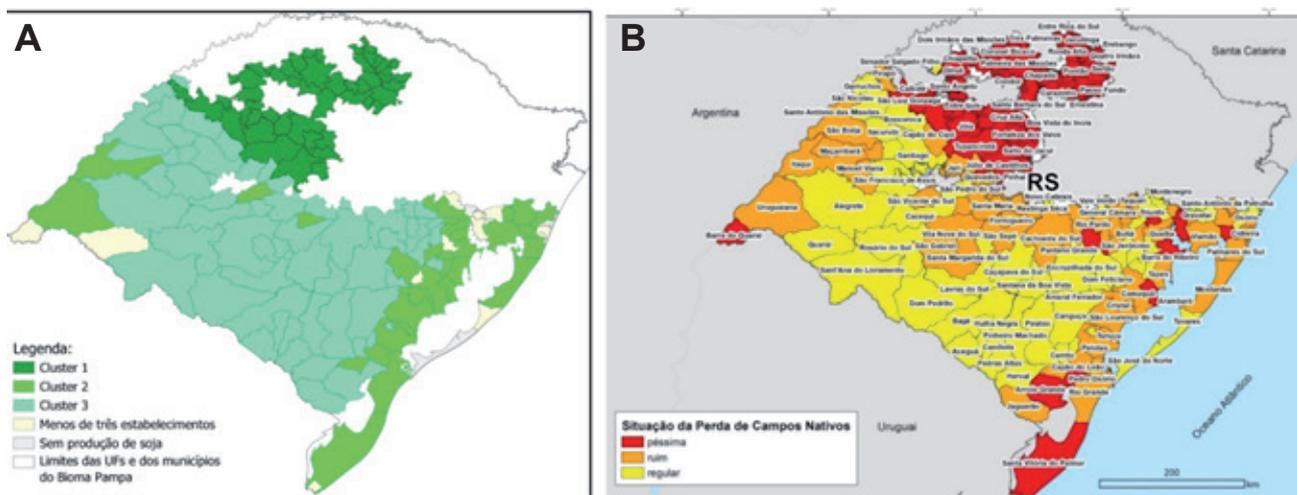


Figura 6. (A) Localização espacial dos clusters de municípios produtores de soja do Bioma Pampa; (B) Municípios do bioma Pampa classificados de acordo com o percentual de remanescentes campestres em 2018, em relação à quantidade estimada de vegetação nativa campestre originalmente presente: Péssima: 0% a 25% de remanescentes, Ruim: 26% a 50% de remanescentes e Regular: >50% de remanescentes.

Fonte da Figura 6B: A agonia [...] (2020).

Na Figura 6A observa-se que os estabelecimentos do Cluster 1 estão todos situados na porção norte do bioma, enquanto os estabelecimentos do Cluster 2 estão prioritariamente na porção leste (como exceções têm-se os municípios de Uruguiana e Itaqui no extremo oeste), e o restante dos estabelecimentos (Cluster 3) se espalha de leste a oeste na porção centro-sul do bioma, incluindo a Campanha Gaúcha e grande parte dos municípios da Depressão Central. Verifica-se na Figura 6A que os municípios do Cluster 1 (com maior presença de lavouras e menor presença de pastagens) apresentam bastante coincidência com aqueles considerados como em “situação péssima” ou “ruim” em relação aos remanescentes de campos nativos mostrados na Figura 5B. Tais municípios se caracterizam pela grande expansão de cultivos agrícolas em áreas de campos nativos, de

modo que os remanescentes ocupam área inferior a 25% em relação à originalmente presente (“situação péssima”) e entre 26% e 50% (“situação ruim”). Em alguns desses municípios, os remanescentes já atingiram valores extremamente baixos: em Santa Bárbara do Sul e Palmeira das Missões, em torno de apenas 3%; em Cruz Alta, perto de 6% (A agonia [...], 2020), tendo sido esses três municípios classificados no presente estudo como Cluster 1. Já, por exemplo, os municípios de Camaquã e Itaqui (com 26% e 27% de remanescentes, respectivamente) foram classificados no presente estudo como Cluster 2. Por sua vez, no Cluster 3 - com as maiores áreas de pastagens e as maiores receitas de venda de produtos de origem animal - estão os municípios tidos como em “situação regular” quanto ao percentual de remanescentes (>50% da área) pelo estudo A agonia [...] (2020) e incluem a maior parte

dos municípios localizados na região da Campanha. Fasiaben et al. (2023) também encontraram essa coincidência estudando a tipificação de municípios produtores de bovinos de corte no Pampa usando tabulações especiais do Censo Agropecuário 2017.

Conclusões

A metodologia baseada em técnicas de aprendizado de máquina aplicadas à dados censitários se mostrou satisfatória para diferenciar três agrupamentos de sistemas de produção de soja praticados pelos produtores do Pampa, reunidos por municípios.

Enquanto algumas variáveis - como o cultivo do arroz nos estabelecimentos e o percentual de estabelecimentos familiares -, funcionaram como características distintivas dos estabelecimentos produtores de soja, não se pode dar a mesma relevância às variáveis tecnológicas selecionadas para a análise de cluster. Uma vez que a cultura da soja só é viável com o uso intensivo de tecnologia, as variáveis tecnológicas apresentaram semelhanças em seus percentuais de uso entre os clusters de forma geral. Essa característica fica bem clara quando se observam os percentuais similares de uso de agrotóxicos, existência de energia elétrica ou de armazéns para grãos nos estabelecimentos. Além disso, as variáveis tecnológicas por si só não implicam em alta produtividade, pois observa-se que o Cluster 2 tem a menor produtividade da soja, mas tem maior percentual que os outros dois clusters em praticamente todas as variáveis tecnológicas.

Portanto, outras características dos estabelecimentos ou do bioma também influenciam na produtividade da cultura, como por exemplo, a gestão da propriedade, a qualidade das terras e as condições climáticas. A tecnologia agrícola e o clima são fatores importantes que explicam a produtividade da soja nos municípios brasileiros. O clima (principalmente a irregularidade na quantidade e frequência da precipitação) exerce papel fundamental no cultivo da soja, desde o plantio até a colheita, e o Rio Grande do Sul tem sofrido efeitos severos das variações climáticas, com produtividades da soja variando periodicamente de períodos de alta produtividade com períodos de baixa produtividade. Caetano et al. (2018), estudando os impactos do clima e da tecnologia na produtividade da soja em 2.304 municípios produtores de soja no Brasil (com seleção de onze variáveis que indicam avanços na tecnologia agrícola - algumas sendo as mesmas usadas no presente estudo), encontraram que a tecnologia é, em geral, mais importante do

que o clima para a produtividade da cultura, mas em alguns municípios, especialmente no sul do país, a produtividade é mais dependente do clima.

O Rio Grande do Sul é o estado que mais sofreu perdas econômicas devido a eventos climáticos extremos: entre 1995 e 2019 o Estado sofreu oito secas severas, com perdas na agricultura da ordem de R\$ 28,3 bilhões, referentes a 2.732 registros no Estado (Relatório [...], 2020). Dadas as perdas elevadas decorrentes das estiagens, em 2023 o Rio Grande do Sul lançou o Programa Supera Estiagem, para enfrentamento da estiagem no Estado, com subvenções para irrigação na agricultura da ordem de 20,2 milhões de Reais (Leite, 2023). Como a maior parte das áreas agrícolas do Rio Grande do Sul não utiliza irrigação, as lavouras ficam muito dependentes da precipitação (Radin et al., 2017). Os dados utilizados no presente estudo indicam que apenas 11% dos estabelecimentos produtores de soja do Pampa possuíam algum tipo de irrigação na propriedade.

Por fim, salientando a controvertida expansão da soja no Pampa gaúcho, observa-se que o mapa dos clusters de municípios produtores de soja no bioma, obtido a partir do presente trabalho, converge com o mapa que mostra o grau de conservação dos seus remanescentes de vegetação nativa (conforme estudo *A agonia [...]* (2020)), indicando que em alguns desses municípios, os remanescentes já atingiram valores extremamente baixos. Esse fato aponta para a necessidade de políticas públicas e ações de pesquisa, transferência de tecnologia e desenvolvimento regional com vistas à conservação dos recursos naturais do Pampa gaúcho.

Agradecimentos

Às Dras. Maria Cristina Neves de Oliveira e Ivani de Oliveira Negrão Lopes, pesquisadoras da área de Biometria e Estatística da Embrapa Soja, pela colaboração na seleção das variáveis dos estabelecimentos produtores de soja do Censo Agropecuário 2017.

Ao IBGE, pela tabulação especial dos dados dos Censos Agropecuários 2006 e 2017. Esclarecemos que o IBGE está isento de qualquer responsabilidade pelas opiniões, informações, dados e conceitos emitidos neste artigo, que são de exclusiva responsabilidade dos autores.

Referências

- A AGONIA do Pampa: um panorama atual sobre a supressão da vegetação nativa campestre. [2020]. 19 p. Disponível em: http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br/arquivos/Agonia_do_Pampa.pdf. Acesso em: 15 maio 2024.
- ANTÔNIO, V. **Avaliação da dinâmica espaço-temporal das produções bovina e sojícola na Região Sul do Brasil**. 2021. 78 f. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) - Universidade Federal do Pampa, Bagé.
- ANTÔNIO, V.; SCHÄFER, A.; LAMPERT, V. do N. Análise da dinâmica espaço-temporal do efetivo de bovinos nos municípios do Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, v. 14, n. 3, p. 60-71, nov. 2022. DOI: 10.5335/rbca.v14i3.12689.
- BELARMINO, L. C.; SOUZA, A. R. L. de; AZAMBUJA, I. H. V.; OLIVEIRA, A. C. B. de; BELARMINO, A. J. Impactos agroecômicos da produção e ampliação da soja no Bioma Pampa. In: TÔSTO, S. G.; BELARMINO, L. C.; CASTRO, G. S. A.; MANGABEIRA, J. A. de C.; SILVA, O. F. da (ed.). **Caracterização e avaliação econômica de sistemas de produção e cultivo de grãos em biomas brasileiros**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. cap. 6, p. 98-115. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1106366>. Acesso em: 04 jun. 2024.
- CAETANO, J. M.; TESSAROLO, G.; OLIVEIRA, G. de; SOUZA, K. da S. e; DINIZ-FILHO, J. A. F.; NABOUT, J. C. Geographical patterns in climate and agricultural technology drive soybean productivity in Brazil. **PLoS One**, v. 13, n. 1, e0191273, 2018. DOI: 10.1371/journal.pone.0191273.
- DEMPSTER, A. P.; LAIRD, N. M.; RUBIN, D. B. Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm. **Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)**, v. 39, n. 1, p. 1-38, 1977. DOI: 10.1111/j.2517-6161.1977.tb01600.x.
- FASIABEN, M. do C. R.; LIMA, H. P. de; OLIVEIRA, S. R. de M.; ALMEIDA, M. M. T. B.; OLIVEIRA, O. C. de; MORAES, A. S. Diferenciação e caracterização de municípios produtores de bovinos de corte do Bioma Pampa segundo o Censo Agropecuário 2017. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 14., 2023, Natal. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2023. p. 135-142. SBIAgro 2023. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1160807>. Acesso em: 30 maio 2023.
- FEIX, R. D.; LEUSIN JÚNIOR, S.; AGRANONIK, C. **Painel do agronegócio no Rio Grande do Sul - 2016**. Porto Alegre: FEE, 2016. 53 p.
- FRANK, E.; HALL, M. A.; WITTEN, I. **The WEKA workbench**: online appendix for "Data mining: practical machine learning tools and techniques". 4th ed. Burlington: Morgan Kaufmann, 2016.
- HAN, J.; KAMBER, M.; PEI, J. **Data mining: concepts and techniques**. 3rd ed. Amsterdam: Morgan Kaufmann, 2012. 703 p.
- IBGE. **Bioma predominante por município para fins estatísticos 2024**. Rio de Janeiro, 2024b. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2102097>. Acesso em: 25 mar. 2024.
- IBGE. **Censo agropecuário 2017: resultados definitivos**. Rio de Janeiro, 2019. v. 8, p. 1-105. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/agro_2017_resultados_definitivos.pdf. Acesso em: 25 abr. 2024.
- IBGE. **Pesquisa Agrícola Municipal: Tabela 6457 - Área plantada ou destinada à colheita, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras temporárias e permanentes**. 2024a. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457>. Acesso em: 25 mar. 2024.
- IBGE. **Tabulação especial do Censo Agropecuário 2017 de estabelecimentos de bovinos de corte com mais de 50 cabeças agregados por município**. Rio de Janeiro, 2022.
- INSTITUTO RIOGRANDENSE DE ARROZ. **Boletim de resultados da safra 2022/23 em terras baixas: arroz irrigado e, soja e milho em rotação**. [Porto Alegre], 2023. Disponível em: <https://admin.irga.rs.gov.br/upload/arquivos/202308/23105302-boletim-de-resultados.pdf>. Acesso em: 29 maio 2024.
- KASTER, M.; FARIAS, J. R. B. **Regionalização dos testes de Valor de Cultivo e Uso e da indicação de cultivares de soja - terceira aproximação**. Londrina: Embrapa Soja, 2012. 69 p. (Embrapa Soja. Documentos, 330). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/917252>. Acesso em: 30 abr. 2024.
- KUPLICH, T. M.; CAPOANE, V.; COSTA, L. F. F. O avanço da soja no bioma Pampa. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, n. 31, p. 83-100, 2018.
- LEITE, E. **Programa Supera Estiagem**. [Porto Alegre]: Governo do Estado do Rio Grande do Sul, 2023. Disponível em: <https://www.estado.rs.gov.br/upload/arquivos/supera-estiagem-pocos-e-subvencao.pdf>. Acesso em: 30 maio 2024.

LEMOS, G. da S.; RIZZI, R. A expansão da soja no bioma Pampa e sua interação espaço-temporal com arroz e campo. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, n. 35, p. 9-26, 2020.

OLIVEIRA, T. E. de; FREITAS, D. S. de; GIANEZINI, M.; RUVÍARO, C. F.; ZAGO, D.; MÉRCIO, T. Z.; DIAS, E. A.; LAMPERT, V. do N.; BARCELLOS, J. O. J. Agricultural land use change in the Brazilian Pampa Biome: the reduction of natural grasslands. **Land Use Policy**, v. 63, p. 394-400, Apr. 2017. DOI: 10.1016/j.landusepol.2017.02.010.

RADIN, B.; SCHÖNHOFEN, A.; TAZZO, I. F. Impacto da quantidade e frequência de chuva no rendimento da soja. **Agrometeoros**, v. 25, n. 1, p. 19-26, 2017. DOI: 10.31062/agrom.v25i1.26263.

RELATÓRIO de danos materiais e prejuízos decorrentes de desastres naturais no Brasil (1995-2019). 2. ed. Florianópolis: FAPEU, 2020. 155 p.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão. **Atlas socioeconômico [do] Rio Grande do Sul**. 7 ed. Porto Alegre, 2022. Disponível em: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/solos>. Acesso em: 17 abr. 2024.

SEFFRIN, R. **Análise exploratória de dados espaciais aplicada a produtividade de milho no estado do Paraná**. 2017. 97 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira.

SILVA, C. S. da; VIANA, J. G. A. Instituições na pecuária de corte e sua influência sobre o avanço da sojicultura na Campanha Gaúcha - Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 58, n. 4, e214991, 2020. DOI: 10.1590/1806-9479.2020.214991.

SILVA, G. B. S. da; FASIABEN, M. do C. R.; NOGUEIRA, S. F.; GREGO, C. R.; MORAES, A. S.; ALMEIDA, M. M. T. B.; OLIVEIRA, O. C. de; EUSEBIO, G. dos S.; LOPES, W. M. O. **Método para determinar o bioma predominante nos municípios brasileiros**. Campinas: Embrapa Agricultura Digital, 2022. 18 p. (Embrapa Agricultura Digital. Circular técnica, 6). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1144751>. Acesso em: 6 fev. 2024.

SILVEIRA, V. C. P.; GONZÁLEZ, J. A.; FONSECA, E. L. da. Land use changes after the period commodities rising price in the Rio Grande do Sul State, Brasil. **Ciência Rural**, v. 47, n. 4, e20160647, 2017. DOI: 10.1590/0103-8478cr20160647.



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA
E PECUÁRIA

