HETEROGENEIDADE PRODUTIVA NA PECUÁRIA LEITEIRA: EVIDÊNCIAS DO CEARÁ (BRASIL) A PARTIR DE ANÁLISE DE AGRUPAMENTO

Productive Heterogeneity in Dairy Farming: Evidence from Ceará (Brazil) Using Cluster Analysis

George Portela Teixeira
Discente PPGER/UFC. Fortaleza, CE, Brasil
Rafael Vítor Matos Marques
Discente PPGER/UFC. Fortaleza, CE, Brasil
Vitor Hugo Miro
Docente PPGER/UFC. Fortaleza, CE, Brasil

GT07. Desenvolvimento rural, territorial e regional

Resumo: Este artigo se propõe a analisar a estrutura produtiva e a heterogeneidade da pecuária leiteira no estado do Ceará, com base em dados municipais da Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM/IBGE) para o período de 2014 a 2024. O estudo adotou uma abordagem orientada por dados, com a aplicação do método de agrupamento *k-means* em um conjunto de três variáveis: número de vacas ordenhadas, produção de leite e produtividade média. Os resultados evidenciam uma estrutura produtiva fortemente heterogênea, com a identificação de quatro grupos de municípios com perfis distintos. Observa-se que parte dos municípios combina maior escala e produtividade, enquanto outros apresentam produção elevada baseada predominantemente na ampliação do rebanho, e um grupo majoritário caracteriza-se por baixa escala e baixo rendimento. Informações dessa natureza podem ser úteis para orientar políticas de desenvolvimento da atividade em nível regional, permitindo o desenho de ações adequadas para cada perfil.
Palavras-chave: pecuária leiteira, análise de agrupamento, heterogeneidade produtiva, Ceará.

Abstract: This paper aims to analyze the productive structure and heterogeneity of dairy farming in the state of Ceará, Brazil, based on municipal-level data from the Municipal Livestock Survey (PPM/IBGE) for the period 2014–2024. The study adopts a data-driven approach, applying the k-means clustering method to a set of three variables: number of milked cows, total milk production, and average productivity. The results reveal a strongly heterogeneous productive structure, identifying four groups of municipalities with distinct profiles. Some municipalities combine higher scale and productivity, while others exhibit high production levels primarily supported by larger herd sizes, and a majority group is characterized by low scale and low productivity. These findings provide relevant information to support regional development policies, allowing for the design of targeted strategies tailored to different productive profiles.
Keywords: dairy farming, cluster analysis, productive heterogeneity, Ceará

1. Introdução

O Brasil figura entre os maiores produtores mundiais de leite de vaca (USDA, 2025). Conforme dados da Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM/IBGE, 2025), a produção de leite de leite no país foi estimada em 35,7 bilhões de litros em 2024, correspondendo a um valor total da produção de R$ 87,5 bilhões. Considerando informações disponíveis para os últimos 10 anos (2014-2024), a produção brasileira cresceu 1,8%, embora se observe uma redução no número de vacas ordenhadas — 15,1 milhões de cabeças, o menor patamar desde 1979. Essa evidência

reflete um aumento significativo da produtividade média, sinalizando avanços tecnológicos e estruturais no setor.

A cadeia produtiva do leite está presente em praticamente todo o território nacional, configurando uma das atividades agropecuárias de maior capilaridade territorial. No entanto, as dimensões continentais do país e a heterogeneidade dos sistemas produtivos conferem desafios à gestão eficiente de recursos, infraestrutura e logística (Andrade et al., 2023; Hott et al., 2022). Essa diversidade reflete-se em diferenças regionais marcantes: enquanto o Sul se destaca pela produtividade, o Sudeste lidera em número de vacas ordenhadas (IBGE, 2025).

Nos últimos anos se verifica um forte crescimento da produção de leite na região Nordeste do país. O volume produzido cresceu mais de 65%, de 3,8 bilhões de litros em 2014 para 6,4 bilhões em 2024. Isso promoveu um aumento na participação do leite produzido no Nordeste no total nacional, de 11,1% para 18% no período considerado.

No contexto nordestino, o Ceará se destaca reforçando a relevância do estado por um processo recente de expansão produtiva, mesmo diante das limitações climáticas e estruturais típicas do semiárido. Com base em dados da PPM/IBGE (2025), observa-se que a produção estadual de leite cresceu mais de 140% entre 2014 e 2024, destacando o estado como um dos principais polos de crescimento do setor na região Nordeste.

Apesar dessa expansão nos últimos anos, o setor reproduz um padrão observado em nível nacional, caracterizado por elevada heterogeneidade. No território cearense, coexistem sistemas produtivos de grande escala e produtividade relativamente alta com sistemas de base familiar e baixa eficiência técnica. Essa diversidade reflete diferentes formas de acesso à tecnologia, infraestrutura e inserção de mercado. Nesse contexto, torna-se essencial compreender as configurações espaciais e produtivas que estruturam a pecuária leiteira cearense.

O objetivo deste artigo é analisar a estrutura e a heterogeneidade da pecuária leiteira no Ceará, identificando padrões produtivos regionais a partir de uma tipologia empírica orientada por dados. A aplicação da análise de agrupamento permite classificar os municípios segundo sua similaridade em um conjunto de variáveis, oferecendo uma leitura quantitativa e espacial da diversidade produtiva.

Diante da elevada heterogeneidade observada no setor, abordagens agregadas tendem a obscurecer diferenças relevantes entre os sistemas produtivos, limitando a efetividade de diagnósticos e intervenções. A identificação de padrões produtivos distintos constitui um passo fundamental para a formulação de políticas públicas e estratégias de investimento mais

eficientes, capazes de considerar as especificidades territoriais e os diferentes estágios de desenvolvimento da atividade leiteira no estado.

2. Revisão da Literatura e contextualização

2.1. Heterogeneidade produtiva na pecuária leiteira

A heterogeneidade espacial da pecuária leiteira brasileira tem sido amplamente documentada na literatura por meio de diferentes abordagens empíricas e técnicas de análise multivariada. Estudos baseados em Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) evidenciam a existência de padrões territoriais bem definidos na atividade. Almeida et al. (2021), ao analisarem o Rio Grande do Sul, identificaram forte concentração espacial da produtividade, com crescimento expressivo ao longo do tempo, especialmente nas regiões Noroeste e Nordeste do estado. De forma semelhante, Alves et al. (2020) verificaram, para o Paraná, a formação de clusters espaciais de municípios com maior Valor Bruto da Produção, destacando a relevância de fatores locacionais e estruturais na organização da atividade.

Outras abordagens reforçam a presença de heterogeneidade produtiva. Para Minas Gerais, Perobelli, Araújo Junior e Castro (2018) combinaram análise fatorial, métodos de agrupamento e modelos espaciais (SAR), identificando oito grupos de municípios com diferentes níveis de especialização produtiva. Esse tipo de evidência destaca o potencial da análise de cluster como ferramenta para capturar padrões estruturais em contextos marcados por elevada diversidade produtiva.

No contexto do Nordeste, os resultados seguem a mesma direção, evidenciando a coexistência de sistemas produtivos com distintos níveis de intensificação tecnológica. Oliveira et al. (2022), ao analisarem propriedades de caprinocultura leiteira na Paraíba e em Pernambuco, identificaram a predominância de sistemas extensivos, ao lado de sistemas semi-intensivos com diferentes níveis de uso de insumos, e distribuídos de forma heterogênea no território. Para a bovinocultura leiteira, Lemos et al. (2023) construíram um índice de heterogeneidade espacial combinando dados censitários e variáveis climáticas, evidenciando concentração produtiva em um conjunto restrito de municípios, associada a ganhos de produtividade e forte sensibilidade às condições pluviométricas.

Em conjunto, esses estudos fornecem evidências robustas de que a pecuária leiteira brasileira — e, em particular, a nordestina — é marcada por significativa heterogeneidade espacial e produtiva. Tais resultados reforçam a importância do uso de abordagens

multivariadas e técnicas de agrupamento para a identificação de padrões produtivos, permitindo uma análise mais precisa das dinâmicas territoriais que estruturam a atividade.

2.2. Evolução recente da produção de leite no Brasil e na região Nordeste

Na última década, a produção de leite no Brasil apresentou crescimento modesto, de aproximadamente 1,8%, refletindo um cenário de relativa estagnação no agregado nacional. Esse comportamento, contudo, oculta dinâmicas regionais bastante distintas. Enquanto as regiões Norte (-14,1%), Sudeste (-0,8%), Sul (-2,1%) e Centro-Oeste (-26,0%) registraram retração na produção entre 2014 e 2024, o Nordeste destacou-se como a única região com expansão expressiva, acumulando crescimento de 65,3% no período.

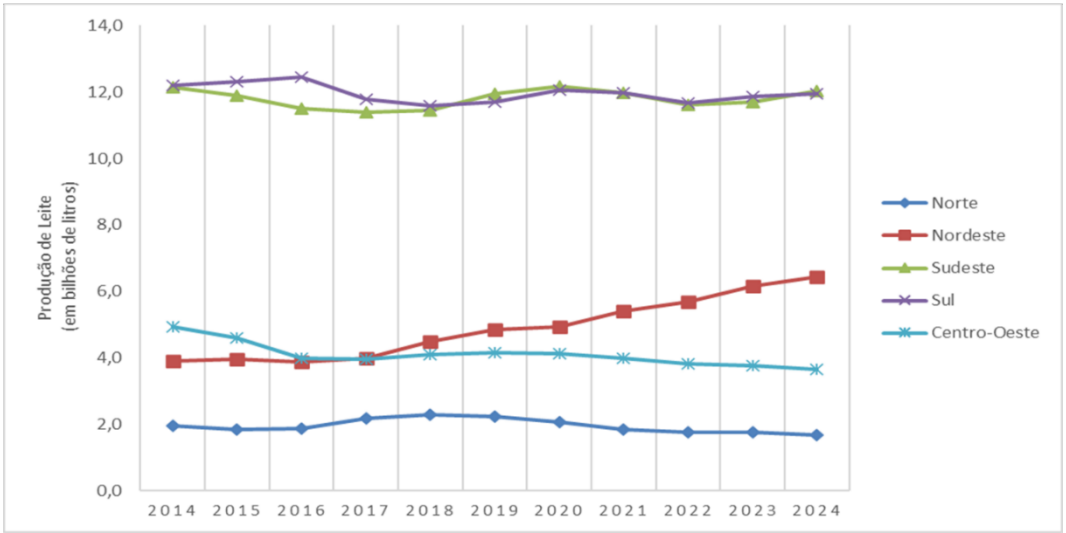


Figura 1. Produção de leite nas regiões brasileiras (2014-2024).
Fonte: Elaboração própria. Dados do IBGE/PPM.

No interior da região Nordeste, o crescimento da produção foi relativamente disseminado, ainda que com intensidades distintas entre os estados. O Ceará apresentou o desempenho mais expressivo, com aumento de 142,8% entre 2014 e 2024, equivalente a uma taxa média anual de 9,3%. Também se destacaram Pernambuco (+121,8%), Paraíba (+100,5%), Sergipe (+96,7%), Alagoas (+95,9%) e Rio Grande do Norte (+69,8%). Em contraste, Bahia (+4,8%) e Maranhão (+5,6%) apresentaram variações modestas, enquanto o Piauí (-12,9%) registrou retração no volume produzido.

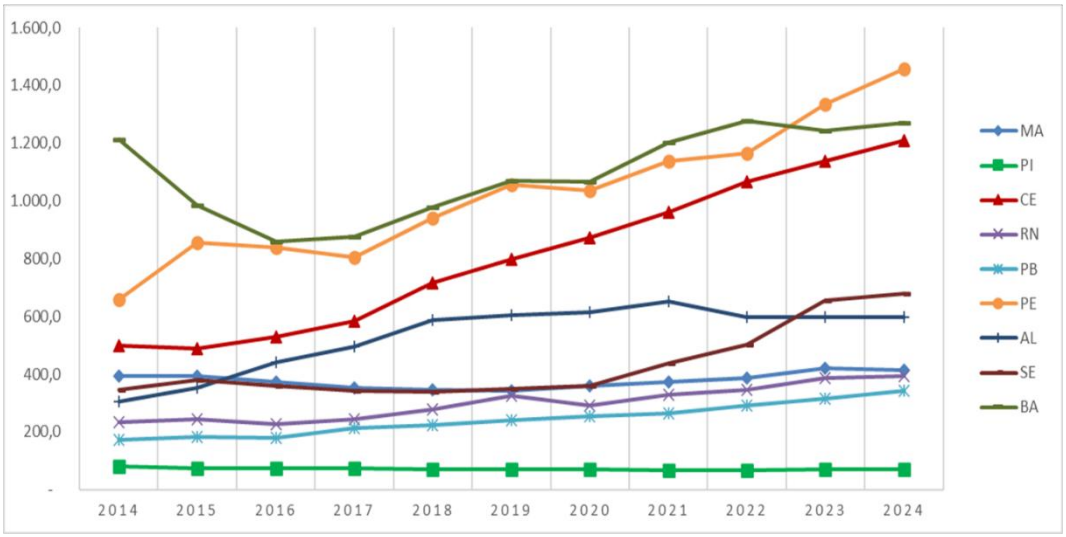


Figura 2. Produção de leite nos estados da região Nordeste (2014-2024).
Fonte: Elaboração própria. Dados do IBGE/PPM.

No contexto regional, o Ceará assume posição de destaque não apenas pelo crescimento observado, mas também pela relevância econômica e social da atividade. Em 2024, a produção estadual superou 1,2 bilhão de litros, sustentada principalmente por ganhos de eficiência técnica, com a produtividade média passando de 857 para 1.655 litros/vaca/ano entre 2014 e 2024 (Magalhães; Romero, 2024). O setor gerou um Valor Bruto da Produção estimado em R$ 2,78 bilhões e aproximadamente 36,5 mil empregos, desempenhando papel importante na dinamização econômica e na contenção do êxodo rural, especialmente nas regiões do semiárido. Esse dinamismo também se reflete em indicadores recentes, como o crescimento de 18,43% da agropecuária cearense no primeiro trimestre de 2025, impulsionado por condições pluviométricas favoráveis (IPECE, 2025).

Apesar desse desempenho expressivo, a cadeia produtiva do leite no Ceará é marcada por significativa heterogeneidade tecnológica e produtiva entre os municípios. Evidências empíricas indicam que o processo de modernização ocorre de forma desigual e concentrada. Santos e Campos (2021), ao construírem o Índice de Modernização Agropecuária (IMA), mostram que os avanços tecnológicos se concentram em regiões mais integradas a mercados e polos produtivos, enquanto grande parte dos municípios permanece abaixo da média estadual. Esse dualismo — caracterizado pela coexistência de sistemas produtivos tecnificados e de base familiar com baixa escala e produtividade — constitui um dos principais entraves à competitividade do setor (Gurgel; Nunes, 2017).

Adicionalmente, fatores estruturais e institucionais contribuem para reforçar essas desigualdades, incluindo limitações no acesso à assistência técnica, ao crédito rural e à

organização produtiva. Nesse contexto, o fortalecimento de políticas públicas territorializadas e de mecanismos de coordenação, como o cooperativismo, torna-se fundamental para promover a inclusão produtiva e elevar a eficiência dos sistemas menos desenvolvidos.

Outro elemento central na configuração da atividade leiteira no estado é a elevada vulnerabilidade climática. A instabilidade do regime pluviométrico no semiárido afeta diretamente os níveis de produção e produtividade. Lemos et al. (2022) demonstram que os indicadores produtivos são sistematicamente inferiores em períodos de seca, evidenciando a dependência estrutural da atividade em relação às condições hídricas. Esse quadro é agravado pela baixa adoção de tecnologias adaptadas à estiagem e pela fragilidade da infraestrutura de convivência com o semiárido. Complementarmente, Paiva e Lima (2024), ao desenvolverem o Índice de Sustentabilidade da Pecuária Leiteira (INSPEC), identificaram que a maioria dos municípios cearenses apresenta baixos níveis de sustentabilidade, associados a restrições de acesso à água, crédito e qualificação dos produtores.

Diante desse conjunto de evidências, torna-se evidente que a dinâmica recente de expansão da produção de leite no Ceará ocorre de forma desigual no território, refletindo a coexistência de diferentes padrões produtivos. Esse cenário reforça a necessidade de análises que considerem explicitamente a heterogeneidade espacial e produtiva da atividade, permitindo uma compreensão mais precisa de sua estrutura e subsidiando a formulação de políticas e estratégias mais adequadas às especificidades locais.

3. Metodologia

3.1. Dados e variáveis

Foram utilizados dados municipais da Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM/IBGE), abrangendo o período de 2014 a 2024. As variáveis selecionadas foram:

- número de vacas ordenhadas (cabeças),
- produção de leite (em mil litros),
- produtividade média (mil litros/vaca).

Informações relativas a estas variáveis foram coletadas para o período 2014-2024, mas a análise de agrupamento foi aplicada para dados do ano de 2024, a fim de capturar o panorama mais recente da estrutura produtiva.

3.2. O método de agrupamento k-means

A Análise de Agrupamentos ou *Clustering* constitui um grupo de técnicas de estatística multivariada cuja finalidade principal é agrupar observações com base em características observáveis, dadas por um conjunto de variáveis. No âmbito dos modelos de Ciência de Dados e Aprendizado de Máquina, a Análise de Agrupamentos está inserida no conjunto de técnicas de Aprendizado não Supervisionado (Morettin e Singer, 2023).

Dentre as técnicas da Análise de Agrupamentos, aplicou-se o algoritmo de k-médias (k-means), uma técnica de particionamento que busca dividir o conjunto de observações em k grupos mutuamente exclusivos, de modo a minimizar a variabilidade interna e maximizar a diferença entre grupos. Formalmente, o algoritmo minimiza a soma dos quadrados das distâncias euclidianas entre cada observação e o centróide do grupo ao qual ela pertence.

Para um particionamento em k clusters $C_1, C_2, \cdots, C_k$, a soma dos quadrados das distâncias entre cada observação e o centróide do cluster ao qual ela pertence, denominada como WSS (*Within-Cluster Sum of Squares*).

$$WSS = \sum_{j=1}^{k} \sum_{x_i \in C_j} \|x_i - \mu_j\|^2 \quad (1)$$

Nesta expressão temos que:

- x_i é o vetor de características da observação i,
- μ_j é o vetor do centroide do cluster j (médias das observações em (C_j),
- C_j representa o conjunto de observações atribuídas do cluster j,
- $\|x_i - \mu_j\|^2$ é a distância euclidiana quadrada entre a observação e o centroide.

O WSS é uma medida de variância intra-grupo, assim, quanto menor o WSS, mais "compactos" e homogêneos são os clusters.

O algoritmo do k-means é iterativo e envolve quatro etapas principais:

(i) Inicialização: seleção aleatória de k centróides iniciais;

(ii) Atribuição: cada observação é associada ao centróide mais próximo;

(iii) Atualização: recalculam-se os centróides como a média das observações em cada grupo;

(iv) Convergência: o processo se repete até que a mudança total dos centróides entre iterações consecutivas seja mínima ou nula.

Como o algoritmo é baseado na distância euclidiana, convém padronizar as variáveis quando estão expressas com diferentes unidades de medida, especialmente no caso em que uma ou mais variáveis têm valores muito diferentes. Dessa forma, as variáveis foram padronizadas pelo escore-z, de forma que cada uma apresentasse média zero e desvio-padrão unitário1. Essa etapa é fundamental para garantir que todas as variáveis contribuam igualmente para a formação dos agrupamentos, evitando que diferenças de escala distorçam as medidas de similaridade.

A definição do número ótimo de clusters (k) foi realizada com base no método do cotovelo (*Elbow Method*), que avalia a soma das distâncias intra-grupo (WSS) conforme o número de agrupamentos. O ponto de inflexão do gráfico indica o equilíbrio entre simplicidade e explicação da variabilidade. Neste estudo, o valor k = 4 apresentou a melhor relação custo-benefício estatística e interpretativa, resultando em quatro grupos municipais com perfis produtivos distintos.

O método do cotovelo busca identificar o número ótimo de clusters (k^*) que fornece o melhor equilíbrio entre simplicidade do modelo (menor número de grupos) e explicação da variabilidade dos dados (baixa dispersão interna). À medida que o número de clusters aumenta, a WSS tende a diminuir, pois cada grupo fica mais homogêneo. No entanto, após certo ponto, os ganhos marginais tornam-se pequenos. O ponto de inflexão (ou "cotovelo") no gráfico da WSS(k) indica o valor ótimo de k:

$$k^* = \arg\min_k \frac{\Delta WSS(k)}{\Delta k} \tag{12}$$

ou, de forma mais intuitiva, o ponto onde a redução relativa no WSS deixa de ser substancial.

4. Resultados

4.1. Análise descritiva e caracterização da pecuária leiteira no Ceará

Em 2024, a produção média de leite por município cearense foi de aproximadamente 6,6 mil litros, apresentando elevada dispersão entre as localidades (CV = 195,8%), o que indica forte heterogeneidade na escala produtiva. O rebanho médio de vacas ordenhadas foi de cerca de 4 mil cabeças, com mediana significativamente inferior (1.920 cabeças), evidenciando a concentração da atividade em um número reduzido de municípios. Por sua vez, a produtividade média estadual foi de 1,31 mil litros por vaca, com desvio-padrão de 0,54, sugerindo a presença

[1] Escore dado por: $Z = \frac{x_i - \mu(x)}{dp(x)}$.

de diferenças relevantes no nível tecnológico e nas práticas de manejo entre os produtores. Estes resultados estão presentes na Tabela 1.

Tabela 1. Estatísticas descritivas das variáveis analisadas.

	Média	Mediana	Desvio-Padrão	CV (%)
Produção de leite (mil litros)	6.574,39	2.239,00	12.872,69	195,80
Rebanho (vacas ordenhadas)	3.974,03	1.920,00	5.849,39	147,19
Produtividade (mil litros/vaca)	1,31	1,13	0,54	41,58

Fonte: Elaboração própria. IBGE/PPM.

Os resultados da matriz de correlação, apresentados na Tabela 2, reforçam esse diagnóstico. Observa-se uma forte associação entre o tamanho do rebanho e o volume produzido (r = 0,97), indicando que a expansão da produção no estado ainda está predominantemente vinculada ao aumento do efetivo animal, característica típica de sistemas produtivos menos intensivos.

Tabela 2. Correlação entre as variáveis analisadas.

	Rebanho	Produção	Produtividade
Rebanho	**1**	**0,97**	**0,43**
Produção	-	**1**	**0,52**
Produtividade	-	-	**1**

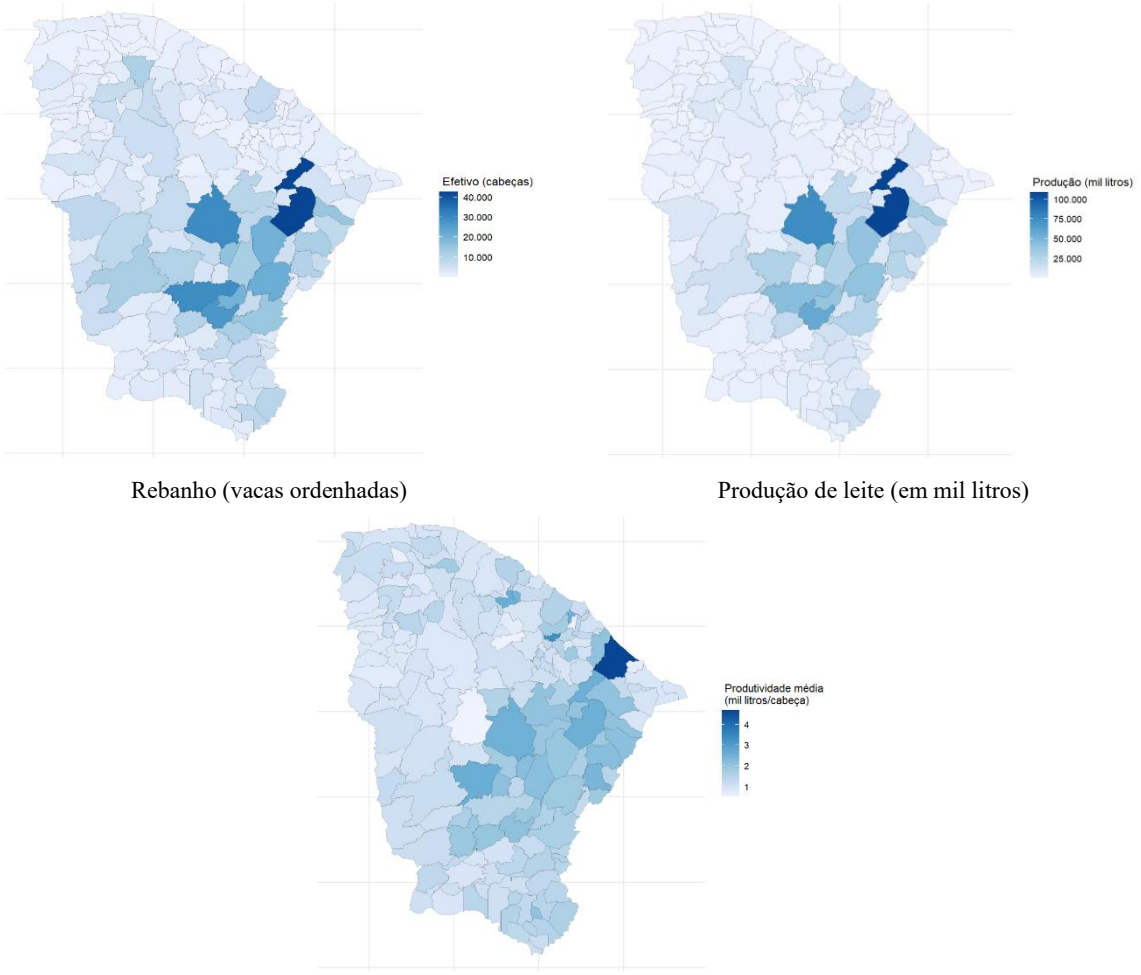
Fonte: Elaboração própria. IBGE/PPM.

Por outro lado, a produtividade apresenta correlação apenas moderada tanto com a produção (r = 0,52) quanto com o rebanho (r = 0,43), sugerindo que ganhos de eficiência técnica não estão plenamente disseminados entre os municípios. Esse resultado aponta para a existência de espaço significativo para o aumento da produção por meio da intensificação tecnológica, em contraste com a expansão baseada exclusivamente na escala.

A Figura 3 apresenta a distribuição espacial dos principais indicadores da pecuária leiteira no Ceará em 2024, evidenciando padrões territoriais bem definidos. Observa-se forte concentração do rebanho e da produção de leite em municípios localizados sobretudo nas regiões do Centro-Sul e do Vale do Jaguaribe, com destaque para Morada Nova, Quixeramobim, Iguatu e Acopiara, que figuram entre os maiores produtores do estado.

A comparação entre os mapas de rebanho e produção revela elevada sobreposição espacial, indicando que os municípios com maior volume produzido são, em geral, aqueles que concentram maiores efetivos de vacas ordenhadas. Esse padrão é consistente com a forte

correlação observada entre essas variáveis, sugerindo que a expansão da produção ainda está amplamente associada ao aumento da escala produtiva.



Rebanho (vacas ordenhadas)

Produção de leite (em mil litros)

Produtividade média (em mil litros de leite por vaca ordenhada)

Figura 3. Distribuição espacial dos indicadores de rebanho, produção e produtividade – Ceará (2024)
Fonte: Elaboração própria. Dados do IBGE/PPM.

Por outro lado, o mapa de produtividade apresenta uma distribuição espacial distinta, evidenciando que ganhos de eficiência não se concentram necessariamente nos municípios de maior escala. Municípios como Beberibe, Palmácia e Umirim destacam-se pelos elevados níveis de produtividade, mesmo com rebanhos relativamente menores, indicando a presença de sistemas produtivos mais intensivos em tecnologia e manejo.

Esse contraste entre escala e eficiência reforça a existência de heterogeneidade estrutural na pecuária leiteira cearense, marcada pela coexistência de municípios que expandem a produção via aumento do rebanho e outros que se destacam por ganhos de produtividade. Essa

configuração é mais uma evidência a favor de uma abordagem que permitam distinguir diferentes perfis produtivos no território.

4.2. Análise de Agrupamento

Com base no critério do cotovelo, que orienta a escolha do número ótimo de grupos a partir da redução da variância intra-grupo, foram identificados quatro clusters de municípios. O particionamento resultante evidencia a existência de perfis produtivos distintos na pecuária leiteira cearense.

A distribuição espacial dos agrupamentos, apresentada na Figura 4, revela um padrão territorial bem definido, com concentração de determinados perfis produtivos em regiões específicas do estado. Esse comportamento sugere que fatores locacionais como condições agroclimáticas, acesso à infraestrutura e proximidade de mercados, desempenham papel relevante na configuração da atividade.

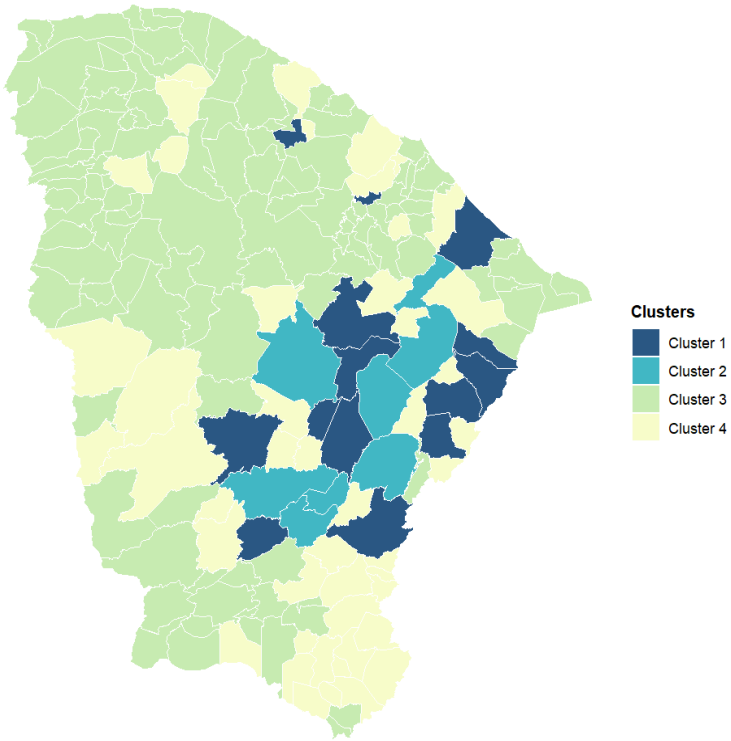


Figura 4. Agrupamento de municípios com base nas variáveis analisadas – Ceará (2024)
Fonte: Elaboração própria. Dados do IBGE/PPM.

O **Cluster 1**, composto por 14 municípios, caracteriza-se por elevados níveis de produtividade (em torno de 2,4 mil litros/vaca) e produção média próxima de 21 mil litros. Trata-se de municípios que combinam escala e eficiência produtiva, configurando polos de

maior intensidade tecnológica no estado. Exemplos como Beberibe e Palmácia indicam esse padrão ao apresentarem níveis de produtividade bastante elevados, mesmo com rebanhos relativamente reduzidos, enquanto municípios como Milhã e Limoeiro do Norte conciliam níveis intermediários de escala com bom desempenho produtivo. Esse grupo reflete sistemas mais estruturados, com maior incorporação tecnológica e melhores práticas de manejo.

O **Cluster 2**, por sua vez, é formado por 7 municípios e concentra os maiores volumes de produção do estado, com média próxima de 58 mil litros e rebanhos significativamente elevados (em torno de 27 mil cabeças). Destacam-se municípios como Morada Nova e Quixeramobim, que lideram tanto em produção quanto em tamanho do rebanho. Apesar da elevada escala, os níveis de produtividade são, em média, inferiores aos observados no Grupo 1 (≈ 2,1 mil litros/vaca), especialmente em casos como Acopiara, indicando que o crescimento da produção está fortemente associado à expansão do efetivo animal. Esse padrão sugere a predominância de sistemas produtivos mais extensivos, nos quais a escala desempenha papel central na determinação do volume produzido.

O **Cluster 3** é o mais numeroso, reunindo 116 municípios (aproximadamente 63% do total). Esse grupo engloba grande parte dos municípios das regiões do Sertão de Sobral, Serra da Ibiapaba, Cariri e áreas litorâneas com menor vocação agropecuária. As unidades produtivas nestes municípios se caracterizam por baixos níveis de produtividade e pequena escala, com rebanhos e volumes produzidos significativamente inferiores aos demais grupos. Além disso, apresenta baixa variabilidade interna, indicando relativa homogeneidade entre os municípios. Exemplos como Sobral, Crato e Santa Quitéria ilustram esse padrão, com níveis de produtividade geralmente inferiores a 1,1 mil litros/vaca. Esse grupo representa a base produtiva da pecuária leiteira cearense, marcada por sistemas de menor intensidade tecnológica, menor inserção em mercados dinâmicos e maior vulnerabilidade estrutural.

Por fim, o **Cluster 4** é composto por 47 municípios que ocupam uma posição intermediária, com níveis moderados de rebanho, produção e produtividade. Municípios como Mauriti, Tauá e Brejo Santo exemplificam esse perfil, apresentando produção relevante, porém inferior à observada nos clusters de maior escala. A heterogeneidade interna desse grupo é mais elevada, com a coexistência de municípios com diferentes níveis de eficiência produtiva, incluindo casos com produtividade relativamente alta, como Piquet Carneiro e São Luís do Curu. Esse padrão sugere a presença de sistemas em transição, com potencial de avanço produtivo por meio da intensificação tecnológica e melhorias na gestão.

A Figura 5 apresenta a distribuição da produção de leite entre os clusters identificados, evidenciando diferenças marcantes na escala produtiva entre os grupos. O Cluster 2 se destaca por apresentar as maiores medianas e maior dispersão, refletindo a presença de municípios com produção de larga escala, como Morada Nova — que aparece como outlier na figura — e Quixeramobim. Esse resultado é consistente com a caracterização desse grupo como composto por sistemas produtivos intensivos em escala, nos quais o elevado volume produzido está fortemente associado ao tamanho do rebanho.

O Cluster 1 apresenta níveis intermediários de produção, com menor dispersão em comparação ao Cluster 2, indicando maior homogeneidade entre os municípios. Esse padrão é compatível com a presença de sistemas produtivos mais equilibrados, que combinam escala e eficiência, como observado em municípios como Limoeiro do Norte e Milhã.

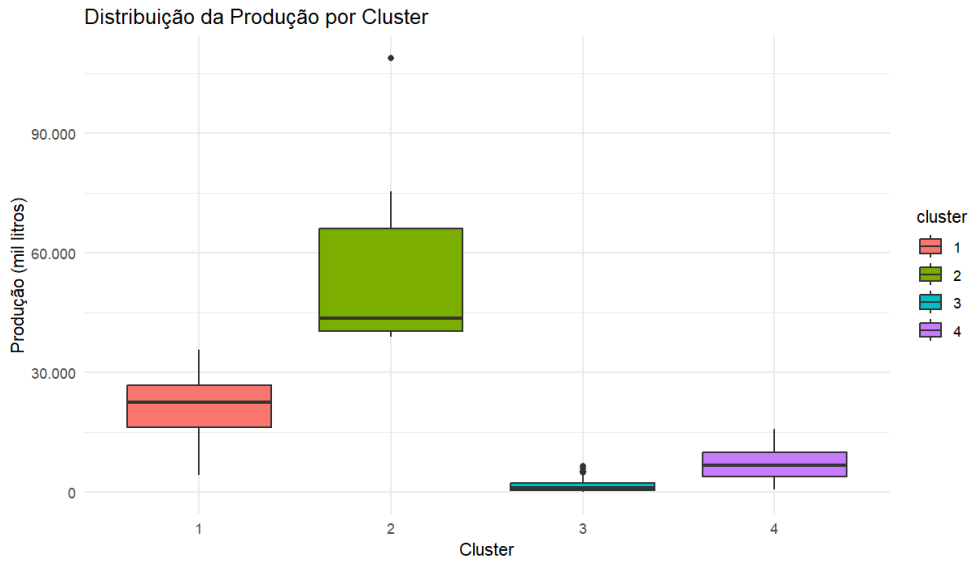


Figura 5. Distribuição da produção de leite por grupo – Ceará (2024)
Fonte: Elaboração própria. Dados do IBGE/PPM.

O Cluster 4, por sua vez, ocupa uma posição intermediária entre os grupos de maior e menor escala, apresentando distribuição mais concentrada e níveis de produção moderados. Esse comportamento sugere menor heterogeneidade interna quando comparado ao Cluster 2, mas ainda com diferenças relevantes entre os municípios que o compõem.

Por fim, o Cluster 3 concentra a maior parte dos municípios, porém com níveis bastante reduzidos de produção e baixa variabilidade. Esse padrão indica uma base produtiva relativamente homogênea, ainda que limitada em termos de escala, reforçando a presença de sistemas de menor dinamismo econômico no conjunto da atividade.

Os boxplots da Figura 6 evidenciam diferenças claras na distribuição da produtividade entre os clusters, reforçando a distinção entre os perfis produtivos identificados. O Cluster 1 apresenta os maiores valores medianos de produtividade, além de maior amplitude superior, indicando a presença de municípios com elevado desempenho técnico, como observado em casos específicos anteriormente destacados. Esse padrão sugere maior intensificação produtiva e melhor utilização de tecnologia e manejo.

O Cluster 2, embora concentre os maiores volumes de produção, apresenta mediana de produtividade ligeiramente inferior à do Cluster 1 e menor dispersão, reforçando que o elevado nível de produção observado nesse grupo está mais associado à escala do rebanho do que a ganhos de eficiência técnica.

O Cluster 3 destaca-se pelos menores níveis de produtividade e baixa variabilidade interna, evidenciando uma base produtiva relativamente homogênea, porém limitada em termos de desempenho técnico. Por sua vez, o Cluster 4 apresenta valores intermediários de produtividade, com dispersão mais elevada em comparação aos clusters 2 e 3, sugerindo a coexistência de municípios com diferentes níveis de eficiência. Esse padrão é consistente com a interpretação desse grupo como um segmento em transição, no qual coexistem sistemas produtivos em diferentes estágios de desenvolvimento.

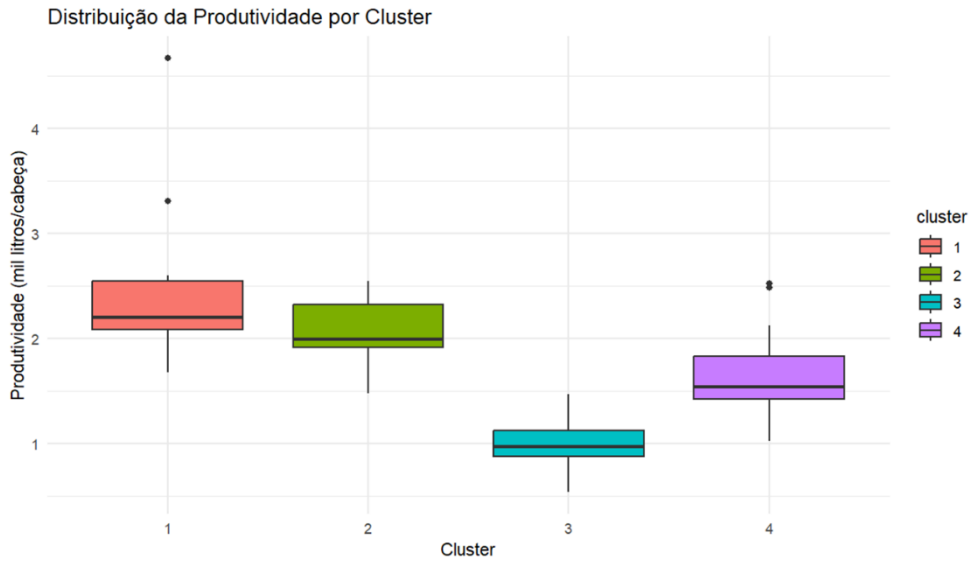


Figura 6. Distribuição da produtividade de leite por grupo – Ceará (2024)
Fonte: Elaboração própria. Dados do IBGE/PPM.

A Figura 7 apresenta a relação entre a produção de leite e o tamanho do rebanho. Como era de se esperar, a relação é positiva e muito bem definida entre essas variáveis. Observa-se que os municípios com maior volume produzido são, em geral, aqueles que concentram maiores

efetivos de vacas ordenhadas, o que reforça a evidência de que a expansão da produção no estado está fortemente associada ao aumento da escala produtiva. A segmentação por clusters permite identificar padrões distintos ao longo dessa relação, com o Cluster 2 concentrando os municípios de maior porte, enquanto os clusters 3 e 4 se situam em faixas inferiores de produção e rebanho.

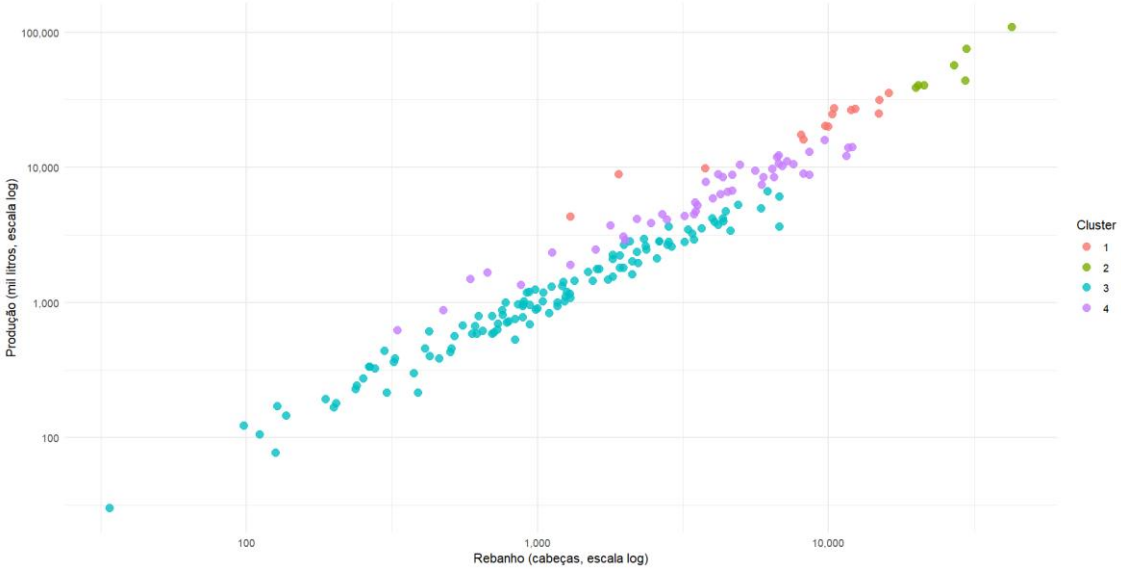


Figura 7. Relação entre produção e rebanho segundo grupos – Ceará (2024)
Fonte: Elaboração própria. Dados do IBGE/PPM.

Por outro lado, a Figura 8 mostra que a relação entre produtividade média e tamanho do rebanho é mais difusa e menos linear. Embora exista uma associação positiva, a dispersão dos pontos indica que ganhos de eficiência não estão diretamente vinculados à escala produtiva. Nesse contexto, destacam-se municípios do Cluster 1 que, mesmo com rebanhos relativamente menores, apresentam elevados níveis de produtividade, como Palmácia, evidenciando a presença de sistemas mais intensivos em tecnologia e manejo.

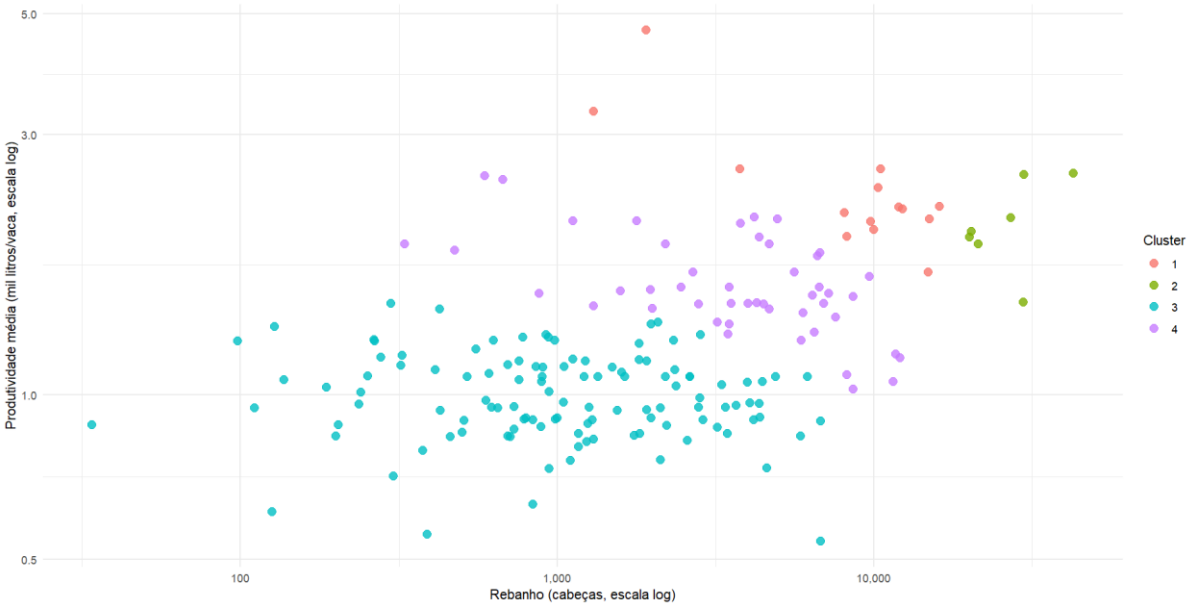


Figura 8. Relação entre produtividade média e rebanho segundo grupos – Ceará (2024)
Fonte: Elaboração própria. Dados do IBGE/PPM.

Em conjunto, os resultados confirmam uma hipótese de heterogeneidade da pecuária leiteira cearense. As evidências mostram que a pecuária leiteira no estado é marcada pela coexistência de municípios que combinam elevada escala e eficiência, um segmento intermediário em processo de transição tecnológica e uma ampla base de produtores de baixa escala e reduzido desempenho produtivo. Essa configuração evidencia que a dinâmica da atividade leiteira no estado não segue um padrão único de desenvolvimento, sendo resultado de diferentes estratégias produtivas

5. Considerações finais

Este artigo teve como objetivo analisar a estrutura produtiva da pecuária leiteira no estado do Ceará, com ênfase na identificação de padrões de heterogeneidade entre os municípios, a partir de uma abordagem empírica baseada em análise de agrupamento.

Os resultados mostram que a pecuária leiteira cearense apresenta uma estrutura fortemente heterogênea, tanto em termos de escala produtiva quanto de eficiência técnica. A análise dos agrupamentos revelou a existência de perfis produtivos distintos, nos quais um grupo restrito de municípios combina elevada escala e desempenho produtivo, enquanto a maior parte permanece em níveis mais baixos de desenvolvimento, caracterizando uma base produtiva ampla, porém pouco intensiva.

A dimensão espacial desses padrões reforça esse diagnóstico, ao indicar a concentração de municípios mais dinâmicos em regiões específicas do estado, o que sugere a influência de fatores locacionais, como acesso à infraestrutura, disponibilidade hídrica e proximidade de mercados, na configuração da atividade.

Do ponto de vista das políticas públicas, os resultados indicam que estratégias uniformes tendem a ser pouco eficazes diante da diversidade de perfis produtivos observados. Nesse contexto, torna-se fundamental a adoção de políticas diferenciadas, capazes de atender às especificidades de cada grupo de municípios, incluindo ações voltadas à difusão tecnológica, assistência técnica, fortalecimento da organização produtiva e ampliação do acesso a mercados.

Por fim, os achados deste estudo abrem espaço para investigações futuras que busquem identificar os determinantes dessa heterogeneidade, incorporando variáveis relacionadas às condições climáticas, infraestrutura, acesso ao crédito e aspectos institucionais. Adicionalmente, a evidência de concentração espacial dos clusters aponta para a relevância de abordagens de econometria espacial como estratégia para aprofundar a compreensão da dinâmica produtiva da pecuária leiteira no estado.

Referências

ALVES, Lucir Reinaldo; OSTAPECHEN, Leandra Aparecida Perego; PORCÉ, Matheus; PARRÉ, José Luiz. Atividade leiteira no Paraná: uma análise espacial e econométrica. *Redes*, [S.l.], v. 25, p. 2432–2453, 2020. DOI: http://dx.doi.org/10.17058/redes.v25i0.14974.

ALMEIDA, Mariza; FREITAS, Clailton Ataides; OLIVEIRA, Gabriel Nunes; COSTA, Nilson Luiz Costa. Pecuária leiteira do Rio Grande do Sul: uma análise espacial da produtividade a partir da década de 1980. *Colóquio – Revista do Desenvolvimento Regional*, [S.l.], v. 19, n. 1, p. 123–147, 2021. DOI: http://dx.doi.org/10.26767/2348.

ANDRADE, R. G.; OLIVEIRA, S. J. M.; HOTT, M. C.; MAGALHÃES JUNIOR, W. C. P.; CARVALHO, G. R.; ROCHA, D. T. Evolução recente da produção e da produtividade leiteira no Brasil. *Revista Foco*, v. 16, n. 5, e1888, 2023. DOI: https://doi.org/10.54751/revistafoco.v16n5-075.

GURGEL, Ienilton Alves; NUNES, Emanoel Márcio. Dinâmica econômica da cadeia produtiva do leite no contexto do desenvolvimento territorial rural: limites e desafios da produção de leite do Nordeste. In: ENCONTRO REGIONAL DE ESTUDOS E PRÁTICAS DE PLANEJAMENTO E POLÍTICAS PÚBLICAS NO SEMIÁRIDO (ERESPP), 1., 2017.

HOTT, M. C.; ANDRADE, R. G.; MAGALHÃES JUNIOR, W. C. P. Gestão territorial na cadeia produtiva do leite. In: HOTT, M. C.; ANDRADE, R. G.; MAGALHÃES JUNIOR, W. C. P. (org.). *Geotecnologias: aplicações na cadeia produtiva do leite*. Ponta Grossa: Atena, 2022a. p. 1–6.

HOTT, M. C.; ROCHA, D. T.; CARVALHO, G. R.; ANDRADE, R. G.; MAGALHÃES JUNIOR, W. C. P. Leite no Brasil: distribuição espacial e concentração. In: HOTT, M. C.; ANDRADE, R. G.; MAGALHÃES JUNIOR, W. C. P. (org.). *Geotecnologias: aplicações na cadeia produtiva do leite*. Ponta Grossa: Atena, 2022b. p. 7–10.

HOTT, M. C.; ANDRADE, R. G.; MAGALHÃES JUNIOR, W. C. P. Geografia da produção brasileira de leite. In: HOTT, M. C.; ANDRADE, R. G.; MAGALHÃES JUNIOR, W. C. P. (org.). *Geotecnologias: aplicações na cadeia produtiva do leite*. Ponta Grossa: Atena, 2022c. p. 11–14.

HOTT, M. C.; CARVALHO, G. R.; ANDRADE, R. G.; MAGALHÃES JUNIOR, W. C. P. Produção leiteira e vacas ordenhadas em base geográfica municipal. In: HOTT, M. C.; ANDRADE, R. G.; MAGALHÃES JUNIOR, W. C. P. (org.). *Geotecnologias: aplicações na cadeia produtiva do leite*. Ponta Grossa: Atena, 2022d. p. 43–47.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa da Pecuária Municipal – PPM 2024. Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA), 2025. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/quadros/brasil/2024. Acesso em: nov. 2025.

IPECE – INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. *IPECE Conjuntura: boletim da conjuntura econômica cearense – 1º trimestre de 2025*. Fortaleza: IPECE/SEPLAG, 2025.

LEMOS, José de Jesus Sousa; PAIVA, Elizama Cavalcante de; COSTA FILHO, João da; HOLANDA, Fabrício José Costa de. Interação entre as instabilidades espacial e temporal da pluviometria na produção de leite no Ceará. *Revista de Economia e Agronegócio (REA)*, v. 20, n. 1, 2022.

LEMOS, José de Jesus Sousa; SOUSA, Erika Costa; ALVES, Leopoldina Braga; ARRUDA, Vitória Maria Oliveira; PAIVA, Elizama Cavalcante de. Heterogeneidade espacial da produção de leite em Pernambuco. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, [S.l.], v. 21, n. 10, p. 17964–17986, 2023. DOI: http://dx.doi.org/10.55905/oelv21n10-186.

MAGALHÃES, José Sérgio Baima; ROMERO, João Gurgel. *Ceará: perfil da cadeia do leite*. Fortaleza: Secretaria do Desenvolvimento Econômico (SDE); Secretaria Executiva do Agronegócio (SecexAGRO), 2024.

MORETTIN, Pedro A.; SINGER, Julio M. *Estatística e ciência de dados*. Rio de Janeiro: LTC, 2023.

OLIVEIRA, Leandro Silva et al. Typology of dairy goat production systems in a semiarid region of Brazil. *Small Ruminant Research*, [S.l.], v. 216, p. 106777, 2022. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2022.106777.

PAIVA, Elizama Cavalcante de; LIMA, Filipe Augusto Xavier. Índice de sustentabilidade da produção pecuária leiteira nos municípios do Ceará. *Colóquio – Revista do Desenvolvimento Regional*, 2024.

PEROBELLI, Fernando Salgueiro; ARAÚJO JUNIOR, Inácio Fernandes de; CASTRO, Lucas Siqueira de. As dimensões espaciais da cadeia produtiva do leite em Minas Gerais. *Nova Economia*, [S.l.], v. 28, n. 1, p. 297–337, 2018. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/0103-6351/4789.

SANTOS, Luan Oliveira dos; CAMPOS, Kilmer Coelho. Modernização da agropecuária dos municípios do estado do Ceará. *Economia & Região*, Londrina, v. 9, n. 2, p. 115–130, 2021.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. *Dairy: world markets and trade*. Washington, DC: USDA, 2025. Disponível em: https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Dairy+and+Products+Annual_Brasilia_Brazil_BR2025-0042.pdf. Acesso em: abr. 2026.