

EM QUE MEDIDA FATORES LATENTES EXPLICAM A PRODUÇÃO DE LEITE NO NORDESTE E NO SUL DO BRASIL?

How much do latent factors drives milk production in Northeast and Southern Brazil?

Rafael Vítor Matos Marques

Discente PPGER/UFC. Fortaleza, CE, Brasil

George Portela Teixeira

Discente PPGER/UFC. Fortaleza, CE, Brasil

Vitor Hugo Miro

Docente PPGER/UFC. Fortaleza, CE, Brasil

Kilmer Coelho Campos

Docente PPGER/UFC. Fortaleza, CE, Brasil

GT03. Evolução, estrutura, competitividade e dinâmica das cadeias agroindustriais

Resumo: Este estudo investiga os determinantes da produção de leite nos municípios das regiões Nordeste e Sul do Brasil, enfatizando a heterogeneidade regional associada a fatores produtivos, institucionais e ambientais. Utilizam-se dados municipais do IBGE e uma estratégia empírica baseada na combinação de análise fatorial, escalonamento multidimensional e regressões múltiplas. Os resultados indicam que, no Sul, a produção de leite é predominantemente explicada por fatores relacionados à escala produtiva e à capitalização, enquanto, no Nordeste, fatores institucionais, organizacionais e climáticos assumem maior relevância. As evidências sugerem que políticas públicas uniformes são inadequadas para lidar com as assimetrias regionais da cadeia leiteira, reforçando a necessidade de intervenções diferenciadas e territorialmente orientadas.

Palavras-chave: heterogeneidade regional; cadeia produtiva do leite; pecuária leiteira; agronegócio.

Abstract: This paper examines the determinants of milk production across municipalities in Brazil's Northeast and South regions, with an emphasis on regional heterogeneity driven by productive, institutional, and environmental factors. Using municipal-level data from IBGE, the empirical strategy combines factor analysis, multidimensional scaling, and multiple regression models. The results show that milk production in the South is mainly associated with productive scale and capital intensity, whereas institutional, organizational, and climatic factors play a more prominent role in the Northeast. These findings indicate that uniform public policies are ill-suited to address regional disparities in the dairy sector, underscoring the need for region-specific and territorially targeted policy interventions.

Keywords: regional heterogeneity; dairy supply chain; dairy farming; agribusiness.

1. Introdução

O agronegócio figura como um importante setor na economia brasileira. Dados do CEPEA de 2024 indicam que o PIB do agronegócio foi de R\$ 2,94 trilhões, sendo R\$ 2,06 trilhões relativos à agricultura e R\$ 882,95 bilhões oriundos da pecuária. Esses valores corresponderam ao equivalente de 23,5% do PIB nacional no mesmo ano.

No âmbito da pecuária, a cadeia produtiva do leite destaca-se como uma das atividades de maior relevância econômica e social, em razão de sua ampla capilaridade territorial, elevada capacidade de geração de renda e forte presença em estabelecimentos de base familiar. Segundo o Censo Agropecuário, a atividade apresenta predominância de unidades produtivas de base

familiar (IBGE, 2017). Ademais, a produção de leite está presente em praticamente todos os municípios brasileiros, agregando valor à produção agropecuária e contribuindo para a dinamização das economias locais (IBGE, 2024).

A cadeia produtiva do leite sofreu profundas transformações a partir da década de 1990, impulsionadas pelos avanços tecnológicos, pela estabilização macroeconômica e pela abertura comercial (Martins et al., 2014; Villela et al., 2017). Apesar desses avanços, o arranjo atual do setor tem levado à saída de produtores do mercado, especialmente em regiões com menor adoção de tecnologia (Leite, 2020).

A região Sul do país produz 33,57% do leite do país, enquanto a região Nordeste produziu 17,78% conforme dados da Pesquisa Pecuária Municipal, do IBGE (2023). Chaddad (2017) alega que as propriedades do Sul possuem organização fundiária semelhante às do Nordeste, contudo, o seu Valor Bruto de Produção (VBP) é três vezes menor. Silveira (2022) indica que as variáveis econômicas da cadeia leiteira estão relacionadas à produção e qualidade do leite. Nesse sentido, diferenças no acesso à tecnologia, assistência técnica e crédito, bem como diferenças de capacitação de produtores e de capacidade de mobilização e organização podem explicar as disparidades regionais de resultados econômicos na cadeia leiteira.

A hipótese deste trabalho é que, embora as regiões Nordeste e Sul apresentem estrutura fundiária semelhante, a produção de leite nessas regiões responde de forma heterogênea aos fatores produtivos, institucionais e ambientais, associados a desempenhos produtivos desfavoráveis ao Nordeste brasileiro. Para testar essa hipótese, o estudo teve como objetivo comparar os fatores associados à produção de leite nos municípios das regiões Nordeste e Sul do Brasil, a partir da aplicação combinada de técnicas de estatística multivariada e econometria. Especificamente, foram empregadas análise fatorial para identificar dimensões latentes associadas às características produtivas, institucionais e ambientais, escalonamento multidimensional (MDS) para explorar padrões de similaridade entre municípios e modelos de regressão para quantificar a contribuição desses fatores na explicação da produção de leite em cada região.

O diferencial deste trabalho reside na integração dessas abordagens em uma análise comparativa em nível municipal, permitindo não apenas identificar e hierarquizar os determinantes da produção, mas também evidenciar diferenças estruturais entre as cadeias leiteiras do Nordeste e do Sul. Os resultados possibilitam distinguir contextos em que os fatores produtivos atuam de forma mais fragmentada daqueles em que há maior integração entre escala, tecnologia, organização e mercado.

Ao evidenciar esses padrões, o estudo contribui para a formulação de políticas públicas mais aderentes às especificidades regionais, bem como para a orientação de estratégias de investimento. Em particular, a identificação de grupos de municípios com características semelhantes e sua relação com polos produtivos regionais fornece subsídios para o planejamento de ações baseadas em evidências, reforçando o uso de ferramentas analíticas na gestão territorial da atividade leiteira.

2. Produção leiteira no Brasil

A história da pecuária brasileira data do início da colonização, com o primeiro relato histórico de ordenha ocorrendo em Recife, em 1641 (Dias, 2012). A pecuária sofreu grande expansão em território nacional durante as crises do café no século XIX, mas apenas ganhou relevância econômica e saltos tecnológicos a partir de 1952. Em 1985 a produção alcançou 12 milhões de toneladas; em 2023, atingiu aproximadamente 35 bilhões de litros (Embrapa, 2025). O Brasil é o terceiro maior produtor de leite do mundo (Vilela et al., 2022), com atividade marcada por notável heterogeneidade espacial, onde apenas algumas regiões têm acesso privilegiado a estrutura, insumos, gestão, crédito e ambiência propícia, fatores que impactam produtividade, produção e preço pago ao produtor (Hott et al., 2022; Castro, 2013). Esse cenário de desigualdade foi aprofundado por um processo de concentração espacial e especialização produtiva, no qual regiões com maior capacidade instalada e integração agroindustrial ampliaram sua participação relativa, enquanto outras apresentaram estagnação ou retração (Bacchi; Almeida; Telles, 2022). A persistência de produtividade média por animal muito inferior à de países de referência, como os Estados Unidos, evidencia que essa disparidade estrutural ainda é expressiva e demanda análises regionalmente diferenciadas (Jung; Matte Júnior, 2017).

A região Sul destaca-se em tecnologia e produtividade leiteira, com heterogeneidade entre municípios (Telles et al., 2017). O Paraná é o Estado com maior heterogeneidade interna, enquanto Santa Catarina registrou maior incremento de produtividade. A presença de cooperativas torna os pequenos produtores mais competitivos, resultando em padronização produtiva independente do porte do estabelecimento (Telles et al., 2020; Bánkuti et al., 2017). No Rio Grande do Sul, esse modelo resultou em crescimento médio de 3,55% ao ano entre 1999 e 2020, sustentado quase integralmente pelos ganhos de produtividade por animal, com o efeito de expansão do rebanho mostrando-se marginal, padrão de crescimento intensivo que reflete a profissionalização e modernização gerencial das propriedades (Bender Filho; Favaretto;

Medeiros, 2023). A mesorregião Noroeste, principal bacia leiteira gaúcha, concentra dois terços da produção estadual e é caracterizada pela forte integração entre cooperativas e agricultura familiar (Jung; Matte Júnior, 2017), sendo beneficiada também pelo efeito de transbordamento tecnológico entre regiões vizinhas, que contribui para a formação de clusters de alta produtividade (Bacchi; Almeida; Telles, 2022). Ressalta-se que a pluviometria e a temperatura exercem papel relevante no desenvolvimento das pastagens, base da nutrição de ruminantes, e no bem-estar animal (Paiva, 2018), embora estudos recentes demonstrem que investimentos em melhoramento genético e sistemas de produção têm sido capazes de superar tais limitações climáticas mesmo em contextos adversos (Alves, 2024).

O Nordeste brasileiro apresenta complexidades socioeconômicas que podem ser explicadas por diversos fatores. Dados do Censo Agropecuário de 2017 (IBGE, 2021) indicam que 79,17% dos estabelecimentos agropecuários operam a partir da agricultura familiar. Desses estabelecimentos, 89,2% são de menor renda, estando classificados como Pronaf B. Apenas 1,3% dos estabelecimentos estão associados a cooperativas, o que justifica menor oferta de crédito, assistência técnica e investimentos (Silva e Nunes, 2025). Buainain e Garcia (2013) descrevem a região com fragilidades climáticas, sociais, produtivas, históricas, fundiárias e de políticas públicas, conjunto de fatores que resulta em menores valores de produtividade, apesar da existência de microrregiões especializadas (Freitas et al., 2005). A irregularidade das precipitações pluviométricas constitui um dos principais vetores dessa vulnerabilidade, estudos demonstram que a variável precipitação responde por até 36% da variação na produção de leite no Agreste pernambucano, e que eventos extremos de seca são capazes de provocar quedas abruptas e recorrentes na produtividade regional (Barbosa et al., 2018). Esse quadro de risco climático se estende, em diferentes graus, também ao Sul, onde projeções baseadas nos cenários do IPCC indicam que o aumento da temperatura média já eleva o Índice de Temperatura e Umidade (ITU) a níveis críticos de desconforto térmico para vacas leiteiras, com um cenário de acréscimo de 3°C resultando em declínio produtivo aproximadamente 70% superior ao verificado nas condições atuais (Oliveira et al., 2018). O clima configura-se, portanto, como um condicionante estrutural transversal às duas regiões, reforçando a necessidade de políticas públicas diferenciadas e de tecnologias adaptadas a cada contexto territorial para garantir a sustentabilidade da atividade leiteira no país.

3. Metodologia

Este estudo adota uma abordagem empírica baseada na aplicação combinada de técnicas de estatística multivariada e econometria. Inicialmente, utiliza-se a análise fatorial para identificar dimensões latentes associadas às características produtivas, institucionais e ambientais dos municípios, bem como para a construção de um ranking de desempenho. Em seguida, aplica-se o escalonamento multidimensional (MDS), com o objetivo de representar graficamente os padrões de similaridade entre os municípios. Por fim, emprega-se um modelo de regressão múltipla para avaliar a contribuição dos fatores latentes na explicação da produção de leite em cada região.

3.1. Dados e variáveis

O estudo utilizou dados em nível municipal referentes aos municípios das regiões Nordeste e Sul do Brasil no ano de 2024. Ao todo foram analisados dados de 2.985 municípios. As fontes de dados foram a Pesquisa Pecuária Municipal (PPM) e o Censo Agropecuário de 2017, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) por meio do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA); dados de temperatura e pluviosidade obtidas a partir da base de dados BDMEP, do Instituto Nacional de Meteorologia; dados de crédito rural oriundos da Matriz de Dados de Crédito Rural (MDCR), do Banco Central (BACEN).

Foram utilizadas 14 variáveis no total: Produção de Leite; Valor da Produção; Preço (obtido a partir da razão entre Produção e Valor da Produção); Vacas ordenhadas; Produção de Milho; Precipitação Anual Acumulada; Temperatura Média Anual; Valor de Crédito para Custeio; Valor de Crédito para Investimento; Valor de Crédito para Industrialização; Valor de Crédito para Comercialização; Número de Cooperativas e Associações; Número de Máquinas Agrícolas; Quantidade de Estabelecimentos que Recebem Orientação Técnica.

3.2. Análise Fatorial

A análise fatorial por componentes principais (AFCP) foi empregada para examinar a inter-relação entre variáveis e identificar fatores latentes. O modelo matricial é dado por:

$$Z_i = L_{i1}F_1 + \dots + L_{im}F_m + \epsilon_i \quad (1)$$

Em que Z_i representa as variáveis padronizadas, L_i as cargas fatoriais, F_m os fatores comuns e ϵ_i um termo de erro.

A adequabilidade foi aferida pelos testes de Esfericidade de Bartlett (hipótese nula de matriz identidade), Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e Measure of Sampling Adequacy (MSA)

individual — valores KMO/MSA abaixo de 0,50 são considerados inaceitáveis (Fávero e Belfiore, 2017; Hair et al., 2009). O número de fatores foi determinado pelo critério de Kaiser (eigenvalues > 1). A rotação Varimax foi aplicada para maximizar as cargas por fator. O ranking final foi calculado como média ponderada dos escores fatoriais, usando a variância explicada de cada fator como peso.

3.3. Escalonamento multidimensional

O escalonamento multidimensional (*Multidimensional Scaling* - MDS) foi utilizado como ferramenta exploratória complementar, com o objetivo de representar, em um espaço bidimensional, os padrões de similaridade entre os municípios analisados. Conforme Hair *et al.* (2009) e Corrar, Paulo e Filho (2009), essa técnica permite projetar observações originalmente definidas em um espaço de múltiplas dimensões em um plano de menor dimensionalidade, preservando, tanto quanto possível, as distâncias relativas entre elas.

No presente estudo, o MDS foi aplicado a partir dos escores fatoriais obtidos na análise fatorial, permitindo visualizar a proximidade entre municípios com características produtivas, institucionais e ambientais semelhantes. Essa abordagem possibilita uma leitura mais intuitiva da heterogeneidade regional, ao evidenciar possíveis agrupamentos e padrões de dispersão entre as unidades analisadas.

A qualidade do ajuste do modelo foi avaliada por meio do índice de correlação quadrada (RSQ) e do coeficiente de stress de Kruskal. Valores elevados de RSQ indicam maior capacidade do modelo em reproduzir as distâncias originais, enquanto menores valores de stress estão associados a melhor ajuste da representação bidimensional. Dada a natureza exploratória da técnica, os resultados devem ser interpretados como aproximações visuais das relações de similaridade, sendo mais adequados para identificar padrões gerais do que para inferências precisas sobre distâncias relativas entre municípios.

3.4. Modelo de Regressão Múltipla

Um modelo de regressão múltipla foi empregado para avaliar a contribuição dos fatores latentes na explicação da produção de leite em cada região. Para tanto, estimou-se um modelo na forma log-log, no qual a variável dependente corresponde ao logaritmo da produção de leite ($\ln Y_i$), e as variáveis explicativas são os logaritmos dos escores fatoriais obtidos na análise fatorial ($\ln F_{ji}$, $j = 1, \dots, k$):

$$\ln Y_i = \beta_0 + \beta_1 \ln F_{1i} + \dots + \beta_k \ln F_{ki} + u_i \quad (2)$$

Nessa especificação, os coeficientes estimados podem ser interpretados como elasticidades, indicando a variação percentual da produção de leite associada a variações percentuais nos fatores latentes.

A estimação foi realizada pelo método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), com utilização de erros-padrão robustos à heterocedasticidade. A adequação do modelo foi avaliada por meio de testes de diagnóstico, incluindo verificação de heterocedasticidade, autocorrelação e possíveis problemas de especificação funcional. O nível de significância adotado foi de 5%.

4. Resultados

4.1. Perfil de municípios produtores de leite das regiões Nordeste (NE) e Sul (S)

A análise fatorial tem como objetivo identificar dimensões latentes que sintetizam as inter-relações entre as variáveis produtivas, institucionais e ambientais, permitindo reduzir a complexidade dos dados e evidenciar os principais fatores associados à produção de leite nas regiões analisadas.

A adequação da base de dados à aplicação da técnica foi avaliada por meio dos testes de esfericidade de Bartlett e da medida KMO, apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Testes de adequação à análise fatorial.

Indicador	Nordeste (NE)	Sul (S)
Bartlett (χ^2 ; gl)	8221,957; 78	6796,853; 78
Bartlett (p-valor)	< 0,001	< 0,001
KMO global	0,6629	0,7356
Variáveis removidas (MSA < 0,50)	Temperatura média (°C)	Nenhuma

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados dos testes estatísticos.

Em ambas as regiões, os resultados do teste de Bartlett foram estatisticamente significativos, indicando que a matriz de correlações é apropriada para a extração fatorial. Os valores do KMO sugerem adequação amostral moderada, com melhor desempenho no Sul (0,7356) em comparação ao Nordeste (0,6629), o que indica maior consistência dos padrões de correlação entre as variáveis nessa região.

No Nordeste, a variável temperatura média foi excluída por apresentar baixa adequação individual (MSA < 0,50), indicando limitada contribuição para a estrutura comum de correlações. Esse resultado sugere menor capacidade discriminante dessa variável entre os

municípios nordestinos, em contraste com o Sul, onde o regime subtropical promove maior amplitude térmica sazonal, e onde não houve necessidade de exclusões.

Essa evidência é convergente com a literatura. Silva et al. (2010), ao estudarem o impacto de cenários de mudanças climáticas sobre a produção leiteira nos Estados de Alagoas, Bahia e Sergipe. Silva et al. (2010) indicam que, no Nordeste, as condições térmicas são relativamente homogêneas e já impõem restrições à produção de alto desempenho, o que limita o poder discriminante da temperatura entre municípios. Barbosa et al. (2018)), ao analisarem a variabilidade climática e sua influência na produção leiteira no Agreste pernambucano entre 1974 e 2014, reforçam esse argumento ao evidenciar que, no Nordeste, a precipitação apresenta baixa variabilidade espacial e forte concentração temporal, contribuindo para a menor capacidade das variáveis climáticas em distinguir os municípios. Em contraste, no Sul, Oliveira et al. (2018) mostram maior variabilidade do Índice de Temperatura e Umidade (ITU), com valores elevados em determinados municípios, conferindo maior relevância dessa variável na diferenciação produtiva.

A Tabela 3 apresenta os resultados da extração fatorial. Em ambas as regiões, foram retidos quatro fatores, que explicam aproximadamente metade da variância total dos dados (52,67% no Nordeste e 54,41% no Sul). Esse nível de explicação é consistente com a natureza heterogênea das variáveis analisadas, que incluem dimensões produtivas, institucionais e ambientais. Em contextos desse tipo, é esperado que a variância se distribua entre múltiplos fatores, não sendo comum a concentração em poucas dimensões.

Tabela 3. Síntese da extração fatorial (Análise de Componentes Principais).

Métrica	Nordeste (NE)	Sul (S)
Número de fatores (Kaiser)	4	4
Variância explicada (4 fatores)	52,67%	54,41%
Autovalores (1º ao 4º)	3,18; 2,38; 1,08; 1,01	3,94; 2,02; 1,58; 1,08

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados dos testes estatísticos.

Observa-se, ainda, que no Sul a variância encontra-se relativamente mais concentrada no primeiro fator (autovalor de 3,94), enquanto no Nordeste há uma distribuição mais equilibrada entre os fatores. Esse resultado sugere maior estruturação e integração das dimensões produtivas no Sul, em contraste com a maior heterogeneidade observada entre os municípios nordestinos.

A Tabela 4 apresenta a distribuição das variáveis por fator, considerando cargas superiores a 0,50, permitindo a interpretação econômica das dimensões latentes em cada região.

Tabela 4. Distribuição das variáveis por fator (cargas > 0,50)

Fator	Nordeste (NE)	Sul (S)
Fator 1	Milho (0,671); Valor de Custeio (0,730); Máquinas Agrícolas (0,559).	Vacas Ordenhadas (0,682); Cooperativas e Associações (0,692); Máquinas Agrícolas (0,890); Orientação Técnica (0,840).
Fator 2	Valor de Comercialização (0,881).	Precipitação Acumulada (-0,763); Temperatura Média (0,858).
Fator 3	Cooperativas e Associações (0,502); Quantidade de estabelecimentos que recebem orientação técnica (1,024).	Valor de Investimento (0,562); Valor de Comercialização (0,556); Valor de Industrialização (0,775)
Fator 4	Valor da Produção (0,757); Vacas Ordenhadas (0,993).	Valor da Produção (0,744); Vacas Ordenhadas (0,685).

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados dos testes estatísticos.

No Nordeste, observa-se uma estrutura relativamente segmentada, com fatores associados a: (i) insumos e estrutura produtiva (milho, custeio e máquinas), (ii) comercialização, (iii) organização produtiva e assistência técnica, e (iv) escala de produção (valor da produção e vacas ordenhadas). Essa configuração indica baixa integração entre as diferentes dimensões da atividade, sugerindo que insumos, mercado e organização operam de forma relativamente independente entre os municípios. Essa caracterização se alinha com a descrição da pecuária leiteira nordestina realizada por Bacchi et al. (2022).

No Sul, a estrutura fatorial revela maior integração entre os determinantes da produção. Para a região o fator climático se mostrou relevante, bem como um fator que agrega decisões de capitalização e inserção na cadeia (investimento, comercialização e industrialização). Diferente da região Nordeste, o resultado obtido para a região Sul é bastante amparado na rica literatura desenvolvida para a pecuária leiteira na região.

No Sul, o Fator 1 reúne escala produtiva, cooperativismo, mecanização e assistência técnica, evidenciando a coevolução dessas dimensões. Esse resultado é consistente com a literatura, que destaca o papel central do cooperativismo e da intensificação produtiva na estruturação da pecuária leiteira sulista (Jung e Matte Júnior, 2017; Santos et al., 2021). A associação entre esses elementos sugere um sistema produtivo mais integrado, no qual ganhos de produtividade, organização coletiva e adoção tecnológica ocorrem de forma conjunta. Essa

evidência estatística se relaciona inclusive com a análise da espacial e produtiva da bacia leiteira na região Sul, realizada por Bender Filho et al. (2023).

O Fator 2 capta a variabilidade climática, representada pela precipitação e temperatura, indicando que fatores ambientais constituem um eixo relevante de diferenciação entre municípios no Sul do país. Evidências empíricas mostram que variações nessas condições afetam diretamente o desempenho produtivo (Oliveira et al., 2018; Silva et al., 2010). Assim, ao contrário do observado no Nordeste, o clima assume papel mais ativo na diferenciação produtiva no Sul.

O Fator 3 está associado às variáveis de investimento, comercialização e industrialização, refletindo a capacidade de capitalização e inserção dos produtores na cadeia agroindustrial. Essa dimensão indica maior integração com os mercados e maior agregação de valor à produção, características típicas de sistemas produtivos mais estruturados e orientados à eficiência econômica.

O Fator 4 representa a dimensão de escala, associada ao valor da produção e ao número de vacas ordenhadas, de forma semelhante ao observado no Nordeste. Contudo, no contexto sulista, essa dimensão tende a estar mais articulada com os demais fatores, reforçando o padrão de especialização e intensificação produtiva identificado na região (Bacchi et al., 2022).

A Tabela 5 apresenta as variáveis com baixa comunalidade, indicando aquelas cuja variância não foi bem capturada pela solução fatorial.

Tabela 5. Resumo interpretativo de variáveis com baixa comunalidade (comunalidade < 0,50).

Nordeste (NE)	Sul (S)
Preço; Precipitação; Investimento; Industrialização.	Preço; Milho; Custeio; Investimento; Comercialização.

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados dos testes estatísticos.

Em ambas as regiões, o preço do leite apresenta baixa comunalidade, sugerindo que sua dinâmica está associada a fatores específicos de mercado, como condições de comercialização e qualidade, não plenamente incorporados às dimensões produtivas identificadas. No Nordeste se observam comunalidades baixas para variáveis relacionadas ao clima e à agregação de valor, o que sugere maior dispersão e menor padronização desses elementos entre municípios. No Sul, milho e custeio apresentam menor comunalidade, indicando que esses itens não diferenciam tanto os municípios quanto às dimensões institucionais e ambientais.

No Nordeste, destacam-se também variáveis relacionadas ao clima e à agregação de valor, indicando maior dispersão e menor integração dessas dimensões entre os municípios. A

baixa comunalidade da precipitação, em particular, é consistente com evidências de que a variabilidade climática no semiárido nem sempre se traduz em padrões sistemáticos de produção, dada a presença de estratégias adaptativas e relações não lineares entre clima e desempenho produtivo (Silva et al., 2010; Barbosa et al., 2018).

No Sul, por sua vez, variáveis como milho e custeio apresentam menor comunalidade, sugerindo que, em um contexto produtivo mais especializado, fatores institucionais, tecnológicos e de escala tendem a exercer maior poder discriminante entre os municípios (Bender Filho et al., 2023). Adicionalmente, a baixa comunalidade do preço reforça a ideia de que os arranjos de comercialização podem operar como dimensão parcialmente independente das características produtivas (Neutzling; Dossa; Schlecht, 2017).

A Tabela 6 apresenta os extremos do ranking de escores fatoriais, evidenciando padrões geográficos consistentes com a estrutura fatorial identificada.

Tabela 6. Síntese do ranking de escores fatoriais

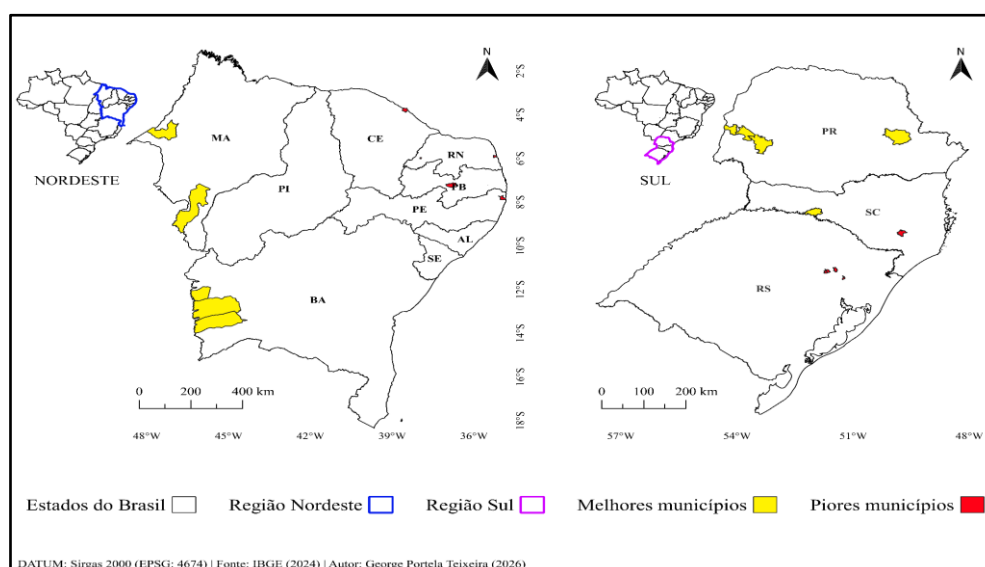
Nordeste (NE)	Sul (S)
Municípios com 5 maiores escores	
1. Luís Eduardo Magalhães (BA) — 6,18	1. Castro (PR) — 4,39
2. Correntina (BA) — 6,14	2. Toledo (PR) — 3,73
3. Açailândia (MA) — 4,90	3. Concórdia (SC) — 3,25
4. São Desidério (BA) — 4,46	4. Cascavel (PR) — 3,19
5. Balsas (MA) — 4,23	5. Marechal Cândido Rondon (PR) — 2,73
Municípios com 5 menores escores	
1. Igarassu (PE) — -0,8547	1. Monte Belo do Sul (RS) — -0,6814
2. Fortaleza (CE) — -0,5636	2. Santa Tereza (RS) — -0,6732
3. Viçosa (RN) — -0,4870	3. Vale Real (RS) — -0,6645
4. Parnamirim (RN) — -0,4204	4. Rio Rufino (SC) — -0,6592
5. Taperoá (BA) — -0,4179	5. Pinto Bandeira (RS) — -0,6407

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados dos testes estatísticos.

No Nordeste, os municípios com maiores escores concentram-se no Oeste baiano e no Sul maranhense, pertencentes a região do Matopiba e associados ao agronegócio tecnificado e à presença de propriedades capitalizadas. Esse resultado sugere que o ranking captura áreas de maior dinamismo produtivo dentro da região, refletindo processos de modernização seletiva (Andrade et al., 2023). Por sua vez, os municípios com menores escores, em geral, características urbanas ou baixa relevância na produção leiteira, o que reforça a coerência interna do modelo.

No Sul, os municípios com maiores escores correspondem aos principais polos da pecuária leiteira regional, localizados sobretudo no Oeste do Paraná, Oeste de Santa Catarina e Noroeste do Rio Grande do Sul. Esses resultados estão em linha com a literatura, que destaca a elevada especialização, a presença de cooperativas e o maior nível de intensificação produtiva nessas áreas (Jung e Matte Júnior, 2017; Andrade et al., 2023; Bacchi et al., 2022; Bender Filho et al., 2023). No outro extremo, os municípios com menores escores no Sul concentram-se em áreas com menor especialização produtiva, o que é consistente com a heterogeneidade interna da região, marcada por sistemas produtivos mais eficientes, porém não uniformemente distribuídos (Santos et al., 2021).

Figura 1. Mapa físico dos municípios mais destacados no ranking fatorial



4.2. Escalonamento Multidimensional (MDS)

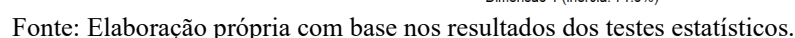
Nesta subseção, apresentam-se os mapas perceptuais obtidos a partir do escalonamento multidimensional (MDS) para as regiões Nordeste e Sul. De forma geral, os resultados do MDS reforçam os achados da análise fatorial, ao evidenciar maior fragmentação no Nordeste e maior integração estrutural no Sul, contribuindo para uma interpretação mais intuitiva dos padrões regionais identificados. A Tabela 7 sintetiza os indicadores de qualidade de ajuste do modelo (RSQ e Stress).

Os resultados indicam valores elevados de RSQ (próximos de 0,90) para ambas as regiões, sugerindo boa capacidade de representação das distâncias originais no espaço bidimensional. Por outro lado, os valores de stress (0,3061 no Nordeste e 0,3325 no Sul)

Tabela 7. Indicadores de ajuste do MDS.

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados dos testes estatísticos.

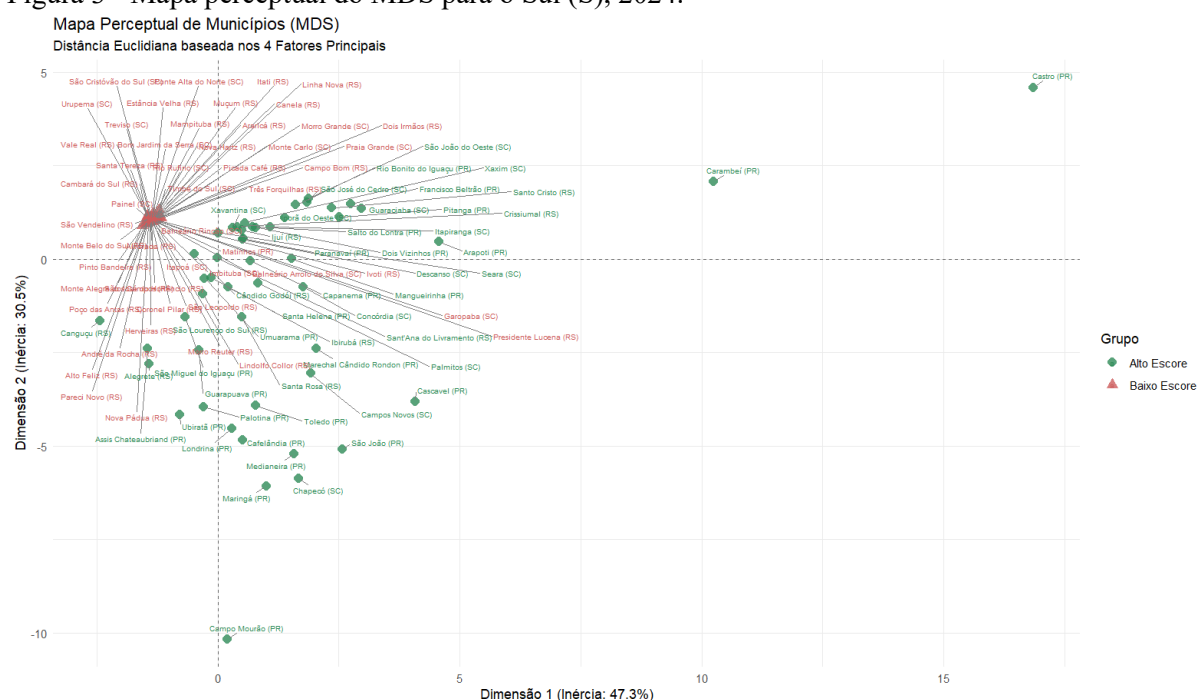
Figura 2 - Mapa perceptual do MDS para o Nordeste (NE), 2024.



Página 13 de 20

no Sul, enquanto Bender Filho et al. (2023) evidenciam aumento da concentração regional da atividade. Em conjunto, esses resultados sugerem que a maior heterogeneidade e concentração espacial no Sul tornam mais difícil a representação dos municípios em poucas dimensões, o que é coerente com os níveis mais elevados de stress observados no MDS.

Figura 3 - Mapa perceptual do MDS para o Sul (S), 2024.



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados dos testes estatísticos.

4.3. Avaliação da contribuição de cada fator na produção de leite das regiões

Esta subseção tem como objetivo avaliar a contribuição dos fatores latentes identificados na análise fatorial para a explicação da produção de leite nas regiões Nordeste e Sul. Para isso, estimou-se um modelo de regressão na forma log-log, no qual os escores fatoriais são utilizados como variáveis explicativas. Essa abordagem permite quantificar a associação entre as dimensões produtivas, institucionais e ambientais e o desempenho da atividade leiteira, sintetizando a informação multivariada em um conjunto reduzido de fatores.

A Tabela 8 apresenta os resultados da regressão log-log estimada para as regiões Nordeste e Sul, com erros-padrão robustos. Os coeficientes podem ser interpretados como elasticidades, indicando a variação percentual da produção de leite associada a variações percentuais nos fatores latentes.

Tabela 8. Regressão log–log (fatores) com erros-padrão robustos HC3.

Variável	Nordeste (NE)	Sul (S)
Intercepto	-5,453 ($p < 0,001$)	-8,888 ($p < 0,001$)
log(Fator 1)	5,394 ($p < 0,001$)	6,615 ($p < 0,001$)
log(Fator 2)	1,938 ($p < 0,001$)	-0,437 ($p < 0,001$)
log(Fator 3)	3,011 ($p < 0,001$)	0,717 ($p = 0,0019$)
log(Fator 4)	-0,406 ($p = 0,094$)	4,420 ($p < 0,001$)
R^2 ajust. (MQO padrão)	0,551	0,589
Teste (hipótese nula)		
Shapiro–Wilk (normalidade)	$W = 0,9687$ ($p < 0,001$)	$W = 0,89007$ ($p < 0,001$)
Breusch–Pagan (homocedasticidade)	$BP = 30,643$ ($p < 0,001$)	$BP = 51,355$ ($p < 0,001$)
Durbin–Watson (sem autocorrelação)	$DW = 2,1062$ ($p = 0,988$)	$DW = 1,9906$ ($p = 0,434$)
RESET (especificação correta)	$RESET = 215,83$ ($p < 0,001$)	$RESET = 127,97$ ($p < 0,001$)

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados dos testes estatísticos.

A adequação do modelo estimado foi avaliada por meio de testes de diagnóstico, incluindo verificação de heterocedasticidade, autocorrelação e especificação funcional. O teste indica a presença de heterocedasticidade, ainda que atenuada pela transformação logarítmica, justificando o uso de erros-padrão robustos (HC3). Conforme o teste de Durbin–Watson, não há evidência de autocorrelação dos resíduos. Embora o diagnóstico tenha apresentado indícios de não normalidade dos resíduos. Nesse sentido, a transformação logarítmica contribui para maior simetria dos resíduos, sendo a inferência robusta apropriada no contexto analisado (Gujarati e Porter, 2011; Greene, 2012). Por fim, o teste RESET sugere possível inadequação funcional, indicando que a especificação pode ser aprimorada com a inclusão de não linearidades, interações ou novas variáveis (fatores), aspecto a ser explorado em análises futuras.

No Nordeste, o Fator 1, associado ao uso de insumos e à estrutura produtiva (milho, custeio e máquinas), apresenta efeito positivo sobre a produção de leite, indicando que a intensificação do uso de recursos produtivos contribui para ganhos de desempenho. Esse resultado sugere que investimentos em insumos e mecanização são relevantes.

O Fator 2, relacionado à comercialização, apresenta efeito positivo e significativo, destacando o papel central do acesso a mercados na determinação da produção. Esse resultado sugere que municípios em que os produtores possuem maior inserção em canais de comercialização tendem a apresentar ganhos proporcionais mais elevados de produção, especialmente quando conseguem superar restrições associadas à informalidade e à baixa

estruturação institucional (Jung e Matte Júnior, 2017). Essa interpretação é consistente com evidências de que os determinantes da produção leiteira na região operam por limiares e não de forma contínua (Barbosa et al., 2018).

O Fator 3, que reúne cooperativas e assistência técnica, também apresenta efeito positivo, evidenciando a importância da organização produtiva e da difusão de conhecimento para o desempenho da atividade leiteira. Esse resultado indica que, mesmo em contextos menos estruturados, a presença de instituições e suporte técnico pode contribuir para melhorias produtivas.

O Fator 4 (escala) não se mostrou estatisticamente significativo, indicando que a expansão do rebanho, isoladamente, não se traduz em maior produção. Esse resultado está em linha com evidências de baixa produtividade relativa no Nordeste, mesmo em contextos de maior tamanho médio de rebanho (Santos et al., 2021). Em conjunto, os achados reforçam a necessidade de avanços simultâneos em comercialização, tecnologia e organização produtiva para o aumento da produção regional (Bacchi et al., 2022).

No Sul, todos os fatores apresentam associação estatisticamente significativa com a produção de leite. O Fator 1, que combina escala produtiva, cooperativismo, mecanização e assistência técnica, apresenta o maior efeito sobre a produção de leite. Esse resultado indica que, no Sul, o desempenho produtivo está associado à integração entre tecnologia, organização e escala, sugerindo que esses elementos operam de forma complementar e reforçam mutuamente seus efeitos.

O Fator 2, de natureza climática, apresenta coeficiente negativo, indicando que condições mais adversas de temperatura e precipitação estão associadas à redução da produção. Esse resultado é consistente com evidências de estresse térmico em sistemas intensivos, que afetam tanto a produção quanto o consumo alimentar dos animais (Oliveira et al., 2018; Silva et al., 2010).

O Fator 3, associado ao investimento, comercialização e industrialização, apresenta efeito positivo, refletindo a importância da capitalização e da inserção na cadeia agroindustrial para o desempenho produtivo. Esse resultado sugere que produtores mais integrados aos mercados e com maior capacidade de investimento tendem a apresentar níveis mais elevados de produção.

O Fator 4, relacionado à escala de produção, também apresenta efeito positivo e significativo, indicando que, no contexto sulista, a expansão da produção ocorre de forma articulada a ganhos de produtividade. Diferentemente do observado no Nordeste, a escala no

Sul reflete um processo de intensificação produtiva, no qual o aumento do rebanho está associado à adoção de tecnologias e melhorias no manejo (Bender Filho et al., 2023).

5. Considerações finais

De modo geral, os resultados corroboram a hipótese do estudo. A análise fatorial revelou a existência de fatores latentes distintos entre Nordeste e Sul, tanto em sua composição quanto em sua relevância. No Nordeste, a produção de leite mostrou-se mais associada a aspectos ligados à estrutura produtiva, ao acesso a insumos e à organização institucional, enquanto, no Sul, ganharam maior destaque fatores relacionados à escala produtiva, à capitalização e às condições ambientais. Esses resultados indicam que, embora ambas as regiões sejam caracterizadas pela predominância de estabelecimentos de menor porte, os mecanismos que representam a atividade leiteira diferem substancialmente.

Os rankings e o escalonamento multidimensional reforçam essa interpretação ao evidenciar maior concentração e especialização dos municípios sulistas, em contraste com uma maior dispersão e heterogeneidade no Nordeste. Apesar das limitações inerentes à representação bidimensional, o MDS contribuiu para tornar mais intuitiva a leitura dos padrões regionais identificados pelas demais técnicas.

A análise de regressão com os fatores latentes também evidenciou contrastes relevantes. No Sul, todos os fatores apresentaram associação estatisticamente significativa com a produção de leite, sugerindo uma resposta mais sistemática da atividade a um conjunto estruturado de dimensões produtivas e institucionais. No Nordeste, apenas parte dos fatores mostrou-se relevante, o que indica a presença de restrições estruturais e maior heterogeneidade na organização da produção.

Entre as limitações do estudo, destacam-se o uso de dados agregados a nível municipal e possíveis inadequações funcionais nos modelos estimados. Pesquisas futuras podem avançar ao incorporar abordagens espaciais, modelos dinâmicos ou indicadores mais diretos de desempenho produtivo.

Apesar dessas limitações, os resultados oferecem evidências relevantes para a compreensão do setor, destacando dinâmicas regionais diferenciadas. Em particular, as análises sugerem que políticas homogêneas tendem a ter efeitos limitados, reforçando a necessidade de ações ajustadas às especificidades regionais. Para o Nordeste, medidas voltadas à assistência técnica, à organização produtiva e ao acesso a insumos e crédito parecem centrais. No Sul, estratégias associadas à escala, à inovação e à agregação de valor tendem a ser mais eficazes.

Por fim, o estudo contribui para a literatura sobre o tema ao combinar diferentes técnicas estatísticas para atualizar evidências a respeito da dinâmica regional diferenciada da atividade leiteira no Brasil, caracterizada por um padrão mais fragmentado no Nordeste e mais integrado no Sul.

Referências

- ALVES, Leopoldina Braga. **Sinergias entre as instabilidades climáticas e a produção de leite no Ceará**. 2024. 102 f. Tese (Doutorado em Economia Rural) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2024.
- BACCHI, Matheus Demambre; ALMEIDA, Alexandre Nunes; TELLES, Tiago Santos. Spatio-temporal dynamics of milk production in Brazil. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 43, n. 1, p. 241-262, jan./fev. 2022. DOI: 10.5433/1679-0359.2022v43n1p241.
- BARBOSA, Vanessa Vasconcelos; SOUZA, Weronica Meira de; GALVÍNCIO, Josicleda Dominicano; SOBRAL, Maria do Carmo Martins. Influência da variabilidade climática na produção de leite na região semiárida do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S. l.], ano 14, v. 23, p. 244-266, jul./dez. 2018. ISSN: 2237-8642.
- BENDER FILHO, Reisoli; FAVARETTO, Juliana; MEDEIROS, Angélica Pott de. Caracterização da produção de leite no Rio Grande do Sul: especialização, concentração e fontes do crescimento (1999-2020). **Redes (St. Cruz Sul, Online)**, v. 28, 2023. ISSN 1982-6745. DOI: 10.17058/redes.v28i1.15634.
- BUAINAIN, A. M.; GARCIA, J. R. Pobreza rural e desenvolvimento do semiárido nordestino: resistência, reprodução e transformação. *In*: MIRANDA, C.; TIBURCIO, B. (org.). **A nova cara da pobreza rural: desenvolvimento e a questão regional**. Brasília: IICA, 2013. v. 17. (Série Desenvolvimento Rural Sustentável).
- CASTRO, César Nunes de. **A agricultura no Nordeste brasileiro: oportunidades e limitações ao desenvolvimento**. Brasília: IPEA, 2012. (Texto para Discussão, 1786). Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/1011>. Acesso em: 25 jan. 2026.
- CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA (CEPEA). **PIB do Agronegócio Brasileiro**. Piracicaba: CEPEA/USP, [202-]. Disponível em: <https://cepea.org.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>. Acesso em: 04 fev. 2026.
- CHADDAD, Fabio. **Economia e organização da agricultura brasileira**. Tradução de Paula Diniz. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.
- CORRAR, L. J.; PAULO, E.; DIAS FILHO, J. M. (coord.). **Análise multivariada: para os cursos de administração, ciências contábeis e economia**. São Paulo: Atlas, 2009.
- CRUZ, J. E.; MEDINA, G. d. S.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. R. d. Brazil's Agribusiness Economic Miracle: Exploring Food Supply Chain Transformations for Promoting Win–Win Investments. **Logistics**, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 23, 2022.
- DIAS, J. C. **As raízes leiteiras do Brasil**. 11. ed. São Paulo: Barleus, 2012. 167 p.
- EMBRAPA GADO DE LEITE. **Anuário do leite 2025: produção de leite e as mudanças climáticas**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2025. Edição digital. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1176413/anuario-leite-2025-producao-de-leite-e-as-mudancas-climaticas>. Acesso em: 24 jan. 2026.

FÁVERO, Luiz Paulo Lopes; BELFIORE, Patrícia Prado. **Manual de análise de dados: estatística e modelagem multivariada com excel, SPSS e stata**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

FREITAS, C. A. *et al.* Análise de aspectos técnicos da pecuária de leite gaúcha: uma abordagem econométrica. *In*: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 43., 2005, Ribeirão Preto. **Anais [...]**. Ribeirão Preto: SOBER, 2005.

GREENE, William H. **Econometric Analysis**. 7. ed. Boston: Pearson Education, 2012.

GUJARATI, Damodar N.; PORTER, Dawn C. **Econometria básica**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH Editora, 2011.

HAIR, Joseph F.; BLACK, William C.; BABIN, Barry J.; ANDERSON, Rolph E. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

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

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo 2022**: informações de população e domicílios por setores censitários auxiliam gestão pública. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br>. Acesso em: 08 jan. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Agropecuário 2017**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 25 jan. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção da Pecuária Municipal**: 2023. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. v. 51.

JUNG, C. F.; MATTE JÚNIOR, A. A. Produção leiteira no Brasil e características da bovinocultura leiteira no Rio Grande do Sul. **Ágora**, Santa Cruz do Sul, v. 19, n. 1, p. 34-47, jan./jun. 2017. DOI: 10.17058/agora.v19i1.8446.

LEITE, José Luiz Bellini. Caminhos para a produção de leite em pequena escala. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 37, n. 2, p. 26756, ago. 2020.

MARTINS, H. C. *et al.* Os impactos da difusão tecnológica na bovinocultura leiteira: um estudo dos integrantes da cadeia agroindustrial do leite em um município de Minas Gerais. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 6, p. 1141-1146, 2014.

OLIVEIRA, Z. B.; SILVA, C. M.; SOUZA, I. J.; LINK, T. T.; BOTTEGA, E. L. Cenários de mudanças climáticas e seus impactos na produção leiteira no Sul do Brasil. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 12, n. 2, p. 110-121, 2018.

PAIVA, E. C. **Simulações metodológicas para detectar formação de expectativas e tornar a produção de leite sustentável no Semiárido Cearense**. 2018. 99 f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

SANTOS, D. A.; MODESTO, E. C.; RAGAZZI, F. G.; HOLMSTRÖM, T. C. N.; FRAGATA, N. P. Perfil da propriedade rural em diferentes bacias leiteiras e sua influência no desempenho zootécnico da atividade. **PUBVET**, v. 15, n. 1, a726, p. 1-8, jan. 2021. DOI: 10.31533/pubvet.v15n01a726.1-8.

SILVA, Roberto Marinho Alves da; NUNES, Emanuel Márcio. Perfil dos estabelecimentos de agricultura familiar associados em cooperativas na região Nordeste do Brasil. **Redes**, Santa Cruz do Sul, v. 30, 2025. DOI: 10.17058/redes.v30i1.18486. Disponível em: <https://seer.unisc.br/index.php/redes/article/view/18486>. Acesso em: 02 fev. 2026.

SILVA, T. G. F. da; MOURA, M. S. B. de; SÁ, I. I. S.; ZOLNIER, S.; TURCO, S. H. N.; SOUZA, L. S. B. de. Cenários de mudanças climáticas e seus impactos na produção leiteira em estados nordestinos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 8, p. 863-870, 2010.

SILVEIRA, Robson Mateus Freitas *et al.* Diversity in smallholder dairy production systems in the Brazilian semiarid region: farm typologies and characteristics of raw milk and water used in milking. **Journal of Arid Environments**, [S. l.], v. 203, p. 104774, ago. 2022. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2022.104774.

TELLES, T. S.; BACCHI, M. D.; SHIMIZU, J. Spatial distribution of microregions specialized in milk production. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 38, n. 1, p. 443-454, 2017.

TELLES, T. S. *et al.* Milk production systems in Southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 92, n. 1, e20180852, 2020. DOI: 10.1590/0001-3765202020180852.

VILELA, D. *et al.* Produção de Leite no Cerrado: conjuntura e análises. In: HOTT, M. C.; ANDRADE, R. G.; MAGALHÃES JUNIOR, W. C. P. de (org.). **Geotecnologias: aplicações na cadeia produtiva do leite**. Ponta Grossa: Atena, 2022. p. 77-81.