

Análise de eficiência da produção leiteira entre as unidades federativas brasileiras em 2020

Efficiency analysis of dairy production among brazilian federative units in 2020

Núbia Sulamita Trajano da Silva¹

Shirlene Cristina Brito da Silva¹

Cícera Edna da Silva¹

Fernando Rocha Palácios¹

David Costa Correia Silva¹

O objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência da produção leiteira nas Unidades Federativas (UF) brasileiras no ano de 2020, por meio da Análise Envoltória de Dados (DEA), com modelos de retornos constantes (CRS) e variáveis de escala (VRS), orientados para *outputs*. A análise utilizou como insumos as áreas de pastagens, o crédito rural, o número de estabelecimentos e os vínculos formais de trabalho, e como produtos a quantidade (em mil litros) e o valor da produção (em mil reais). No modelo CRS, seis UFs alcançaram eficiência: Alagoas, Amapá, Ceará, Distrito Federal, Rio Grande do Sul e Santa Catarina. No modelo VRS, dez unidades atingiram eficiência, incluindo Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco e Roraima. Os resultados mostram diferenças relevantes no desempenho produtivo entre os estados e indicam espaço para aprimorar a alocação de recursos e orientar políticas públicas para o setor. Ao analisar simultaneamente todas as Unidades Federativas, o estudo introduz uma abordagem comparativa inédita em nível federativo e amplia a compreensão da eficiência produtiva da cadeia leiteira no Brasil.

Palavras-chave: análise envoltória de dados; cadeia produtiva do leite; eficiência técnica; economia agrária.

The objective of this study was to evaluate the efficiency of dairy production across the 27 Brazilian Federative Units in 2020 using Data Envelopment Analysis (DEA), employing constant returns to scale (CRS) and variable returns to scale (VRS) models oriented to outputs. The analysis considered pasture areas, rural credit allocation, the number of establishments, and formal employment ties as inputs, while the quantity of milk produced (in thousand liters) and the total value of production (in thousand reais) were defined as outputs. Under the CRS model, six Federative Units achieved full efficiency: Alagoas, Amapá, Ceará, Distrito Federal, Rio Grande do Sul, and Santa Catarina. Under the VRS specification, ten units achieved efficiency, including Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, and Roraima. The results reveal significant differences in productive performance across states and indicate opportunities to improve resource allocation and guide targeted public policies for the sector. By simultaneously evaluating all Federative Units, the study introduces an unprecedented comparative approach at the federative level and expands the understanding of productive efficiency within the Brazilian dairy supply chain.

Keywords: data envelopment analysis; dairy supply chain; technical efficiency; agricultural economics.

JEL Classification: Q12; D24; C61

¹ Universidade Federal Rural da Amazônia. E-mail: david.silva@ufra.edu.br

1 Introdução

Em 2020, o Brasil detinha o maior rebanho bovino do mundo, com mais de 217 milhões de cabeças, superando Índia e Estados Unidos (WPR, 2024). No mesmo ano, ocupava a terceira posição na produção mundial de leite, com volume superior a 26 milhões de toneladas (FAO, 2025). Esses dados evidenciam a relevância econômica da cadeia leiteira no contexto do agronegócio brasileiro.

Além de sua importância produtiva, o leite e seus derivados possuem elevado valor nutricional, sendo fontes de proteínas de alto valor biológico, carboidratos, gorduras, vitaminas e minerais essenciais, especialmente cálcio (Marques et al., 2024). Sua composição varia conforme fatores como raça do gado, estágio de lactação e processamento (Fox, 2015), e o consumo regular é recomendado para suprir necessidades nutricionais ao longo da vida (Murphy et al., 2017).

A relevância do consumo de leite e derivados ultrapassa a mera nutrição, sendo um elemento central na formação de laços sociais, na manutenção de tradições e na expressão da diversidade cultural do povo. Assim, o leite possui ligação cultural com diversas tradições gastronômicas, eventos sociais e faz parte dos costumes espalhados por todo território brasileiro.

Dada a miríade de elementos que cercam esse alimento, a demanda leiteira mobiliza alguns fatores produtivos que engendram a oferta desse produto. Segue que a análise econômica é fundamentada na disponibilidade de recursos produtivos e gestão de recursos escassos. Pois, uma vez que haja inadequação ou a ausência de atenção a essas variáveis provavelmente haverá prejuízos empresariais ou variações significativas de preços. Nesse sentido, a procura pela eficiência deve ser o principal objetivo das unidades produtivas.

A literatura nacional tem aplicado amplamente a Análise Envoltória de Dados (DEA) para avaliar a eficiência na pecuária leiteira. Estudos como os de Peres, Costa e Leal (2021), Buss, Sabbag e Mendieta (2020), Piedade et al. (2023) e Bassotto et al. (2023) analisam a eficiência produtiva em propriedades rurais ou em recortes regionais específicos. Outras pesquisas, como Gomes et al. (2018, 2024), investigam a eficiência em programas de assistência técnica ou em estudos de caso. Revisões sistemáticas, a exemplo de Almeida e Bacha (2021), indicam que grande parte da literatura brasileira permanece concentrada em análises locais ou estaduais.

Apesar da relevância desses estudos para compreender a eficiência produtiva em contextos específicos, ainda são escassas análises que examinem simultaneamente todas as Unidades Federativas brasileiras sob uma mesma estrutura comparativa, o que limita a compreensão das disparidades produtivas em escala nacional.

Diante desse cenário, este estudo teve como objetivo analisar a eficiência da produção leiteira nas Unidades Federativas brasileiras no ano de 2020, por meio da Análise Envoltória de Dados (DEA). Ao avaliar as 27 UFs sob um mesmo modelo e estrutura comparativa, o trabalho introduz uma abordagem inédita em nível federativo e preenche uma lacuna importante na literatura ao oferecer uma visão abrangente da eficiência nacional. Essa perspectiva amplia a compreensão das disparidades regionais e permite uma análise mais ampla das políticas públicas e estratégias de desenvolvimento em âmbito federal e estadual, contribuindo para o debate sobre eficiência produtiva no setor leiteiro brasileiro.

2 Referencial teórico

2.1 Fronteiras Conceituais: Eficácia, Produtividade e Eficiência

O desenho de estratégias de sobrevivência e expansão no agronegócio contemporâneo requer rigor na mensuração do desempenho das unidades produtoras. No entanto, a literatura econômica frequentemente aponta para o uso impreciso ou sobreposto de três conceitos fundamentais: eficácia, produtividade e eficiência (Paradi; Sherman; Tam, 2018). Para fins de modelagem econômica, faz-se indispensável delimitar conceitualmente estas fronteiras operacionais.

A eficácia vincula-se estritamente ao cumprimento de metas e objetivos previamente estabelecidos, sem que haja uma preocupação central com a dimensão monetária ou física dos recursos consumidos nesse processo. No contexto da atividade leiteira, uma unidade produtora ou uma região é considerada eficaz simplesmente se cumpre a função de ofertar leite ao mercado, negligenciando o custo de oportunidade dos fatores de produção mobilizados.

A produtividade, por sua vez, configura-se como uma medida puramente técnica expressa pela razão matemática entre o volume de saídas (*outputs*) e a quantidade de entradas (*inputs*) (Atici; Podinovski, 2015). Embora seja um indicador gerencial valioso, a produtividade carrega uma limitação analítica: ela é, em sua essência, uma medida parcial. Expressões clássicas do setor, tais como “litros de leite por hectare/ano” ou “litros de leite por vaca em lactação/dia”, falham ao isolar o impacto combinado de múltiplos fatores simultâneos, como a injeção de crédito rural, o uso de mão de obra qualificada e a infraestrutura de ordenha.

O conceito de eficiência, por conseguinte, assume um caráter significativamente mais amplo, comparativo e otimizador. Conforme preconizado pela teoria microeconômica da produção, a eficiência técnica reflete a capacidade de uma firma (ou região) de operar sobre a fronteira de produção tecnologicamente viável (Varian, 2010). Uma unidade tomadora de decisão é considerada tecnicamente eficiente se, e somente se, for impossível expandir qualquer um de seus *outputs* sem aumentar a quantidade de algum *input*, ou, alternativamente, se for impossível reduzir qualquer *input* sem comprometer o volume de suas saídas (Cooper; Seiford; Zhu, 2011). A análise da eficiência, portanto, pressupõe a existência de múltiplos insumos e produtos e baseia-se no confronto direto entre o desempenho real de uma unidade e o melhor desempenho observado dentro do seu grupo de comparabilidade (os *benchmarks* de fronteira).

2.2 Fundamentos e Vantagens da Análise Envoltória de Dados (DEA)

A necessidade de mensurar de forma empírica a eficiência técnica em setores caracterizados pela ausência de preços de mercado explícitos para todos os fatores ou pela ocorrência de múltiplas estruturas de produção levou ao desenvolvimento da Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis* — DEA). Formulada originalmente por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), a DEA consolidou-se como uma técnica de programação linear não paramétrica voltada à estimação de fronteiras determinísticas de produção (Cooper; Seiford; Tone, 2007).

Diferentemente das abordagens econométricas tradicionais, como a Análise de Fronteira Estocástica (*Stochastic Frontier Analysis* — SFA), que exigem a imposição prévia de uma forma funcional estrita para a tecnologia de produção (como as funções do tipo Cobb-Douglas

ou Translog), a DEA estima a fronteira de forma empírica a partir do envolvimento dos dados observados. Essa característica confere à metodologia uma flexibilidade única, permitindo que os pesos e as ponderações associados a cada variável sejam determinados de forma endógena pelo próprio modelo, maximizando o escore de eficiência de cada unidade individualmente.

No setor agropecuário, onde as unidades operam sob severas restrições de recursos finitos e condições climáticas adversas, a DEA destaca-se por sua capacidade de lidar simultaneamente com insumos expressos em diferentes unidades de medida (como quilômetros quadrados de terra, contagem de vínculos formais e valores monetários de crédito) e convertê-los em um índice de eficiência único e adimensional, variando de 0 a 1 (Gomes et al., 2012). Além de classificar as unidades em eficientes e ineficientes, a modelagem fornece as metas e as folgas de insumos para cada unidade subótima, indicando o percentual exato de desperdício e desenhando caminhos práticos para a reconfiguração gerencial do setor.

2.3 Aplicações da DEA na Pecuária Leiteira Nacional: Evidências e Limitações

A cadeia do agronegócio leiteiro ocupa uma posição estratégica de alta capilaridade social e econômica no Brasil, respondendo por parcela significativa do PIB agropecuário e atuando como um vetor essencial de fixação do homem no campo e geração de renda mensal contínua (CNA, 2021). Contudo, a análise da literatura nacional revela que a busca pela eficiência produtiva no setor ocorre em um ambiente de profunda heterogeneidade técnica e gerencial.

Estudos empíricos conduzidos nas últimas duas décadas recorrem de forma frequente à modelagem DEA para diagnosticar o desempenho da atividade laticinista no país. Revisões sistemáticas, a exemplo da realizada por Almeida e Bacha (2021), indicam que a maior parte das pesquisas brasileiras se concentra em recortes microeconômicos locais, analisando cooperativas específicas, amostras de produtores familiares ou bacias leiteiras estaduais delimitadas (como em Minas Gerais, São Paulo e Paraná).

De forma consistente, esse conjunto de estudos aponta que a produção leiteira brasileira opera sob níveis elevados de ineficiência técnica crônica. Pesquisas como as de Bassotto et al. (2023), Buss, Sabbag e Mendieta (2020) e Peres, Costa e Leal (2021) situam as médias de eficiência técnica setorial em intervalos que variam de 0,58 a 0,71 para modelos sob retornos constantes de escala (CRS), e de 0,74 a 0,81 para modelos sob retornos variáveis (VRS). Esse diagnóstico persistente revela um substancial espaço para ganhos produtivos nacionais, sinalizando que a mera difusão de tecnologias de manejo e práticas gerenciais básicas possui o potencial de expandir a oferta de leite sem demandar a abertura de novas áreas ou o aumento de custos estruturais.

A literatura aponta unanimemente para dois vetores centrais como os principais determinantes da eficiência técnica no campo: a qualidade da gestão interna da propriedade e o acesso à assistência técnica qualificada e continuada. Conforme demonstrado por Gomes et al. (2018), produtores vinculados a programas robustos de capacitação gerencial desenharam um “ciclo virtuoso”, onde a continuidade do aprendizado técnico traduz-se na otimização do uso de insumos caros — como concentrados alimentares e medicamentos veterinários —, resultando em saltos de rentabilidade e eficiência. Por outro lado, o isolamento logístico, a baixa

escolaridade e a ausência de treinamento financeiro são mapeados por Rocha et al. (2020) como as principais causas da ineficiência e da exclusão de pequenos produtores do mercado formal de laticínios.

No que tange à dimensão das estruturas produtivas, a relação entre o tamanho da propriedade e a eficiência apresenta nuances importantes. Enquanto análises tradicionais tendem a associar propriedades de grande escala a maiores índices de eficiência devido a ganhos tecnológicos, pesquisas como as de Piedade et al. (2023) demonstram que fazendas com grandes extensões territoriais nem sempre se posicionam na fronteira, frequentemente incorrendo em deseconomias de escala devido a gargalos na gestão da mão de obra e subutilização da terra. Paralelamente, Peres, Costa e Leal (2021) evidenciam que produtores de pequeno porte, quando amparados por um modelo de gestão intensivo e controle rigoroso de custos, são plenamente capazes de alcançar a eficiência máxima, indicando que o sucesso produtivo está atrelado à qualidade do gerenciamento dos recursos e não ao tamanho absoluto da operação.

Apesar da riqueza operacional destas investigações locais e regionais, a literatura brasileira padece de uma lacuna metodológica importante: a escassez de análises que submetam todas as 27 Unidades Federativas sob uma mesma estrutura comparativa macroeconômica. Ao concentrar as avaliações em amostras locais e relativamente homogêneas, a literatura limita a compreensão das assimetrias federativas e institucionais que condicionam a cadeia do leite em escala nacional. É nesse hiato que este estudo se insere, utilizando uma abordagem macro para oferecer um mapa abrangente da eficiência produtiva do agronegócio leiteiro no federalismo brasileiro.

3 Metodologia

3.1 Apresentação dos Modelos Matemáticos DEA

A mensuração da eficiência técnica da produção leiteira foi realizada por meio da Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis* – DEA), uma técnica não paramétrica fundamentada em programação linear que permite avaliar o desempenho relativo de unidades tomadoras de decisão (*Decision Making Units* – DMUs), caracterizadas pela mobilização de múltiplos insumos para a geração de múltiplos produtos (Cooper; Seiford; Zhu, 2011).

Dadas as características institucionais e de mercado da atividade leiteira no Brasil, optou-se por modelos com orientação a *outputs* (produtos). Sob essa perspectiva de otimização econômica, o objetivo matemático reside em maximizar a quantidade e o valor da produção gerada, mantendo-se fixas as quantidades dos insumos dadas pelo estoque estrutural de cada unidade federativa (Vlontzos et al., 2014).

Para discriminar o impacto da dimensão operacional sobre o desempenho dos estados, a fronteira empírica foi estimada sob dois pressupostos axiomáticos distintos: os modelos CRS (*Constant Returns to Scale*) e VRS (*Variable Returns to Scale*).

3.1.1 Modelo CRS (Constant Returns to Scale) com Orientação a Outputs

O modelo CRS, proposto originalmente por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), assume a hipótese de retornos constantes de escala, pressupondo linearidade estrita e proporcionalidade direta entre as variações de insumos e produtos (Kočišová, 2015). Este modelo mensura a Eficiência Técnica Global, sendo indicado para cenários em que todas as DMUs operam em sua escala ótima de produção (Paradi; Sherman; Tam, 2018).

Formalmente, considere um conjunto de n DMUs ($j = 1, 2, \dots, n$), onde cada unidade utiliza um vetor de m insumos $x_{ij} = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})^T$ para produzir um vetor de s produtos $y_{rj} = (y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj})^T$. Para a avaliação de uma DMU específica, denominada DMU_o (onde $o \in \{1, 2, \dots, n\}$), o problema de programação linear (PPL) na forma de *Envelopamento* é formulado da seguinte maneira:

Maximizar ϕ_o

Sujeito a:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} &\leq x_{io}, \forall i = 1, 2, \dots, m \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} &\geq \phi_o y_{ro}, \forall r = 1, 2, \dots, s \\ \lambda_j &\geq 0, \forall j = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

Onde:

- ϕ_o representa o escore de eficiência técnica da DMU_o , atuando como o fator escalar de expansão radial dos produtos ($\phi_o \geq 1$).
- x_{io} e y_{ro} correspondem, respectivamente, às quantidades observadas do insumo i e do produto r na unidade em avaliação (DMU_o).
- λ_j é o vetor de pesos (ponderações) atribuído às DMUs da amostra para a construção da unidade virtual de referência (unidade de *benchmark*).

Para manter a uniformidade de interpretação usual da literatura econômica, o índice final de eficiência técnica (θ_{CRS}) é expresso pelo inverso do fator de expansão gerado pelo modelo:

$$\theta_{CRS} = \frac{1}{\phi_o}$$

Desse modo, se $\theta_{CRS} = 1$ (ou $\phi_o = 1$), a unidade federativa posiciona-se sobre a fronteira e é classificada como globalmente eficiente. Se $\theta_{CRS} < 1$, a unidade é ineficiente, indicando que os seus produtos poderiam ser expandidos em uma proporção de (θ_{CRS}) sem qualquer acréscimo de insumos.

3.1.2 Modelo VRS (Variable Returns to Scale) com Orientação a Outputs

Considerando que as assimetrias regionais brasileiras impõem escalas operacionais profundamente heterogêneas entre as unidades federativas, a premissa de retornos constantes pode penalizar estados que operam fora da dimensão ideal por restrições estruturais. Para isolar esses efeitos, aplica-se o modelo VRS, desenvolvido por Banker, Charnes e Cooper (1984), que acomoda economias ou deseconomias de escala ao admitir retornos crescentes, decrescentes ou constantes (Paradi; Sherman; Tam, 2018).

O modelo VRS afere a chamada Eficiência Técnica Pura, mensurando se a gestão dos recursos é eficiente independentemente do porte da DMU. Matematicamente, o modelo introduz uma restrição de convexidade ao PPL do envelopamento, garantindo que a unidade sob análise seja comparada unicamente com estados de porte similar (Cooper; Seiford; Tone, 2007). A formulação matemática do modelo VRS orientado a *outputs* é dada por:

$$\text{Maximizar } \phi_o$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq x_{io}, \forall i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq \phi_o y_{ro}, \forall r = 1, 2, \dots, s$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j \geq 0, \forall j = 1, 2, \dots, n$$

A inclusão da restrição $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ impede que os *benchmarks* observados sejam extrapolados linearmente para escalas irrealistas, alterando o formato da fronteira de uma superfície cônica (CRS) para um envelope convexo fragmentado (VRS).

Assim como na modelagem anterior, o escore final de eficiência técnica pura é computado por $\theta_{VRS} = 1/\phi_o$. Onde $\theta_{VRS} = 1$ indica eficiência técnica intrínseca ao nível de operação atual. A articulação analítica entre ambos os modelos permite, por fim, isolar a chamada Eficiência de Escala (*EE*), calculada pela razão direta entre os dois indicadores obtidos:

$$EE = \frac{\theta_{CRS}}{\theta_{VRS}}$$

Quando $EE = 1$, a DMU opera em sua escala ótima global; valores inferiores à unidade ($EE < 1$) revelam que, embora o estado possa apresentar uma gestão interna correta (eficiente no VRS), incorre em perdas econômicas decorrentes de uma dimensão operacional subótima.

3.2 Definição, Organização e Justificativa das Variáveis

A definição das variáveis utilizadas na análise de eficiência foi baseada na mobilização de fatores produtivos (*inputs*) e na geração de produtos (*outputs*). Cada um desses fatores é analisado dentro do seu respectivo contexto, permitindo compreender de que forma contribuem para a eficiência produtiva das unidades avaliadas.

3.2.1 Definição e Organização dos Inputs

As variáveis selecionadas como *inputs* para a análise DEA da eficiência na produção leiteira entre as Unidades Federativas brasileiras estão organizadas no Quadro 1, juntamente com as respectivas fontes de informação.

Quadro 1 - Insumos utilizados/unidades e fonte das informações utilizados nos modelos DEA

Insumos	Unidade	Fonte
Vínculos	Quantidade	Ministério do Trabalho
Estabelecimentos	Quantidade	Ministério do Trabalho
Área de Pastagem	Km ²	IBGE
Crédito Rural	Milhões R\$)	IPEADATA

Fonte: Brasil; IBGE; IPEADATA, 2024. Elaboração dos autores.

A seleção desses insumos fundamenta-se na teoria neoclássica da produção, que preconiza a combinação dos fatores terra, trabalho e capital para a geração de riquezas. Diante da indisponibilidade de dados censitários anuais contínuos para todas as unidades federativas no ano de 2020, adotou-se o uso de variáveis substitutas (*proxies*) consolidadas na literatura econômica para capturar a dinâmica do setor:

- **Vínculos (Fator Trabalho):** Representa o estoque de mão de obra alocada formalmente na atividade. A justificativa econômica para o seu uso reside na necessidade de mensurar a eficiência do emprego regular no agronegócio leiteiro. Os dados foram extraídos da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) do Ministério do Trabalho, utilizando-se os microdados da Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE Subclasse 2.0) por meio dos códigos “Criação de bovinos para leite”, “Preparação do leite” e “Comércio atacadista de leite e laticínios”. Esta delimitação metodológica permite capturar o fator trabalho tanto na base primária quanto nos elos imediatos de processamento local, refletindo a força de trabalho formal estrutural de cada UF.
- **Estabelecimentos (Capital Físico / Estrutura Operacional):** Em economia agrária, mensurar o capital físico estrito (maquinários, ordenhadeiras mecânicas, tanques de resfriamento) em nível macroeconômico constitui um desafio metodológico devido à escassez de séries anuais georreferenciadas. Desse modo, o número de estabelecimentos formais ativos operou como uma *proxy* para a capacidade instalada e para a infraestrutura física disponível em cada estado. Pressupõe-se que a variação na quantidade destas unidades territoriais distintas reflete a distribuição espacial das plantas de captação e produção, permitindo avaliar se a dispersão das unidades físicas afeta a eficiência do setor.

- **Área de Pastagem (Recurso Natural / Terra):** Representa a dimensão territorial mobilizada para o suporte alimentar do rebanho bovino leiteiro. A inclusão deste fator é indispensável para análises de eficiência agropecuária, pois permite discriminar estados que alcançam elevados volumes de produção por meio do uso intensivo do solo (sistemas de confinamento ou semiconfinamento) daqueles que dependem da expansão horizontal extensiva da fronteira agrícola. Os dados foram extraídos do Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra do IBGE (2024), isolando-se o estoque em quilômetros quadrados para o ano de 2020.
- **Crédito Rural (Capital Financeiro):** Atua como o elemento viabilizador de investimentos em tecnologia, custeio pecuário e modernização produtiva. O volume financeiro foi calculado pelo somatório do “Estoque de crédito rural - comercialização - pecuária” e do “Fluxo de crédito rural - custeio - pecuária” junto ao IPEADATA (2024). A justificativa econômica de sua inclusão repousa no papel do crédito como redutor de restrições de liquidez no campo, sendo uma variável essencial para verificar se o direcionamento de recursos subvencionados pelo Estado tem se traduzido em ganho de eficiência técnica relativa nas diferentes regiões do país.

3.2.2 Definição e Organização dos Outputs

Os outputs ou produtos representam as capacidades produtivas geradas a partir dos insumos disponíveis. No caso da produção leiteira, foram adotadas as variáveis quantidade e valor da produção como medidas, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 - Produtos/Unidade e fonte das informações utilizados no modelo DEA

Produtos	Unidade	Fonte
Quantidade	Mil litros	IBGE
Valor da Produção	Mil reais	IBGE

Fonte: IBGE (2024). Elaboração dos autores.

- **Quantidade (mil litros):** Os dados sobre a produção de leite foram retirados da Pesquisa de Produção Pecuária Municipal (PPM) do IBGE (2024), especificamente na subseção “Produção de origem animal”. Para garantir a normalização do período analisado, os valores de 2020 foram selecionados.
- **Valor da Produção (em mil reais):** Esta variável também foi obtida na PPM do IBGE (2024), na subseção “Produção de origem animal”, utilizando-se os dados monetários nominais consolidados do ano de 2020.

3.2.3 Tabulação e Softwares Utilizados

Os dados de corte transversal (*cross-section*) foram organizados em planilhas eletrônicas contendo a identificação das 27 DMUs (as UFs) e as suas dotações de fatores e produtos. Após a consistência do banco de dados, o arquivo foi processado no software Sistema de Apoio Integrado à Decisão (SIAD), versão 3.0, ambiente desenvolvido para pesquisas

operacionais computacionais capaz de solucionar problemas de programação linear através dos modelos DEA clássicos (MEZA et al., 2007).

4 Resultados e Discussão

A Tabela 1 apresenta a base empírica estrutural coletada para todas as bacias estaduais, contendo os valores absolutos observados que serviram ao cálculo dos envelopes de eficiência técnica nacional.

Tabela 1 - UF, Inputs e Outputs da Produção Leiteira das Unidades Federativas Brasileiras (2020)

UF	Inputs				Outputs	
	Vínculos	Estabelecimentos	Pastagem	Crédito Rural	Litros	Valor
Acre	110	38	12.795	249.302.657	42.561	48.222
Alagoas	803	104	2.723	224.996.154	615.297	955.727
Amapá	131	11	144	1.737.045	4.848	12.111
Amazonas	68	17	8.413	63.326.624	43.533	69.263
Bahia	4.501	1.839	55.429	1.594.190.948	1.064.599	1.657.768
Ceará	1.349	136	915	544.001.392	871.529	1.419.912
Distrito Federal	714	92	209	9.898.310	29.275	43.913
Espírito Santo	2.045	1.140	9.823	408.706.726	392.474	656.647
Goiás	9.875	6.138	152.34	5.715.070.562	3.173.510	4.718.368
Maranhão	590	209	63.159	1.325.124.797	358.278	482.293
Mato Grosso	756	427	189.553	4.699.878.663	617.992	816.757
Mato Grosso do Sul	826	384	149.910	3.204.371.462	292.332	397.582
Minas Gerais	40.286	18.645	114.876	6.589.994.278	9.692.389	15.991.870
Pará	952	505	157.510	1.866.449.747	599.573	839.388
Paraíba	274	99	1.098	306.849.230	252.423	381.535
Paraná	6.481	1.618	18.739	4.055.322.878	4.671.014	7.837.084

Pernambuco	1.457	175	4.462	534.219.461	1.036.756	1.636.159
Piauí	368	60	1.454	397.132.449	69.342	151.553
Rio de Janeiro	5.853	2.034	6.264	222.169.554	441.076	684.051
Rio Grande do Norte	624	130	2.176	173.436.867	290.768	538.436
Rio Grande do Sul	3.261	633	786	3.675.634.401	4.249.805	6.869.770
Rondônia	1.387	418	70.973	2.267.940.915	925.803	1.084.738
Roraima	14	9	1.455	117.573.858	15.310	27.538
Santa Catarina	2.189	389	1.301	2.890.818.739	3.137.219	5.050.848
São Paulo	19.224	4.294	35.905	3.922.802.809	1.645.653	2.809.204
Sergipe	686	295	3.583	239.524.614	360.093	540.771
Tocantins	918	552	58.811	1.788.246.878	423.214	626.678
Brasil	105.742	40.391	1.124.820	47.088.722.014	35.316.666	56.348.186

Fonte: Elaboração dos autores.

A partir desse conjunto de dados, os índices de eficiência técnica foram gerados. A Tabela 2 consolida os índices de eficiência obtidos para cada unidade federativa em ambos os modelos. Os escores variam de 0,1892 (menor eficiência observada, registrada pelo estado de São Paulo no modelo CRS) até 1,0000, indicador de eficiência técnica plena e posicionamento sobre a fronteira de produção observada.

Tabela 2 - Resultados do Teste DEA para as UF Brasileiras – Modelos CRS e VRS

UF	CRS	VRS
Acre	0,2700	0,2780
Alagoas	1,0000	1,0000
Amapá	1,0000	1,0000
Amazonas	0,5423	1,0000
Bahia	0,2907	0,4648
Ceará	1,0000	1,0000
Distrito Federal	1,0000	1,0000
Espírito Santo	0,3743	0,4723
Goiás	0,3356	0,6077
Maranhão	0,4237	0,4255
Mato Grosso	0,5704	0,5720
Mato Grosso do Sul	0,2469	0,2476
Minas Gerais	0,5615	1,0000

Pará	0,4394	0,4403
Paraíba	0,7060	0,8494
Paraná	0,7732	1,0000
Pernambuco	0,9512	1,0000
Piauí	0,2037	0,2275
Rio de Janeiro	0,7120	0,7265
Rio Grande do Norte	0,7325	0,7548
Rio Grande do Sul	1,0000	1,0000
Rondônia	0,4657	0,4662
Roraima	0,8525	1,0000
Santa Catarina	1,0000	1,0000
São Paulo	0,1892	0,3411
Sergipe	0,6473	0,6565
Tocantins	0,3217	0,3224

Fonte: Elaboração dos autores.

A média nacional de eficiência técnica fixou-se em 0,6041 para o modelo CRS e 0,7230 para o modelo VRS. Esses patamares evidenciam um cenário macroeconômico de subotimização no uso dos fatores de produção. Em termos práticos, sob a ótica da orientação a *outputs*, o Brasil possui espaço para expandir substancialmente o volume físico (litros) e o valor monetário de sua produção leiteira sem a necessidade de incorporar novas áreas de pastagem, injetar novos volumes de crédito rural ou expandir a força de trabalho formal. Bastaria, para tanto, que as UFs ineficientes emulassem as práticas de alocação de insumos observadas nos seus respectivos *benchmarks* de fronteira.

Essa variação expressiva de desempenho encontra forte sustentação teórica e empírica na literatura agropecuária nacional, cujos estudos regionais pontuais costumam situar as médias de eficiência técnica setorial exatamente entre as faixas de 0,58 a 0,71 (modelos lineares e aditivos) e 0,74 a 0,81 (modelos com convexidade variável). A confirmação dessas médias em nível federativo macroeconômico corrobora os diagnósticos de Magalhães e Campos (2006) e Peres, Costa e Leal (2021).

4.1 Análise das UFs de Eficiência Plena Global (Fronteira CRS)

No modelo CRS, que opera sob o pressuposto de retornos constantes de escala (onde variações nos inputs geram respostas perfeitamente proporcionais nos outputs), seis UFs alcançaram a fronteira de eficiência máxima (1,0000): Alagoas, Amapá, Ceará, Distrito Federal, Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Essa configuração de fronteira revela dois fenômenos distintos que merecem interpretação econômica detalhada:

- **Os Polos Tradicionais de Alta Produtividade (Região Sul):** O posicionamento de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul na fronteira global reflete determinantes estruturais consolidados. Conforme apontado por Almeida e Bacha (2021), a cadeia de laticínios nestes estados é caracterizada por uma forte integração agroindustrial, regimes cooperativos consolidados (que reduzem custos de transação e otimizam a logística de captação de matéria-prima) e densidade tecnológica superior. Santa Catarina, por exemplo, extraiu uma produção expressiva de mais de 3,1 bilhões de litros de leite em 2020 utilizando uma área de pastagem comparativamente diminuta (1.301 km²), o que

indica alta conversão pasto-leite decorrente de melhoramento genético do rebanho, manejo rotacionado e suplementação nutricional adequada.

- **O Efeito de Fronteira por Especialização ou Insumos Reduzidos:** A inclusão de UFs como Amapá e Distrito Federal na fronteira CRS não decorre de expressividade volumétrica (o Amapá registrou o menor volume nacional, com 4.848 mil litros), mas sim de uma otimização matemática estrita em relação aos insumos declarados. O Amapá operou com apenas 11 estabelecimentos registrados e um estoque mínimo de crédito rural (R\$ 1,73 milhão). Como a DEA afere a eficiência *relativa*, unidades com dotações de insumos extremamente baixas que conseguem gerar um output proporcional mínimo acabam sendo empurradas para a fronteira por falta de comparabilidade direta com unidades de grande porte, configurando um nicho de eficiência em escala reduzida.
- **A Eficiência Adaptativa do Nordeste (Ceará e Alagoas):** O Ceará destaca-se como um caso emblemático de eficiência adaptativa no Semiárido. Mesmo diante de restrições hídricas severas e operando com um volume de crédito rural intermediário (R\$ 544 milhões), o estado consolidou 871,5 milhões de litros de leite e obteve o maior valor de produção da região Nordeste (R\$ 1,41 bilhão). Esse desempenho indica o sucesso de estratégias institucionais focadas na pecuária leiteira intensiva familiar, amparada por técnicas de convivência com o clima e introdução de raças adaptadas, corroborando as análises de eficiência regional propostas por Magalhães e Campos (2006).

4.2 A Dinâmica de Escala e os Efeitos da Flexibilização (Fronteira VRS)

Ao transitar para o modelo VRS, o qual neutraliza o efeito do tamanho da operação ao admitir retornos variáveis (introduzindo a restrição de convexidade $\sum \lambda_j = 1$), o número de unidades eficientes saltou de seis para dez. Passaram a integrar a fronteira os estados do Amazonas, Minas Gerais, Paraná e Pernambuco, além de Roraima.

Essa alteração metodológica joga luz sobre um dos debates mais intensos da economia agrária brasileira: a relação entre o tamanho absoluto da produção e a eficiência técnica gerencial. O caso do estado de Minas Gerais é o mais ilustrativo desse comportamento. Maior produtor nacional histórico, registrando em 2020 mais de 9,6 bilhões de litros de leite e um faturamento setorial de R\$ 15,9 bilhões, o estado apresentou um escore CRS ineficiente de 0,5615, mas atingiu a eficiência plena (1,0000) sob o modelo VRS.

Economicamente, esse resultado indica que Minas Gerais possui uma eficiência técnica pura elevada (gerenciamento adequado de seus processos internos), porém sofre de sérias ineficiências de escala. A imensa heterogeneidade interna mineira — que abriga desde sistemas de confinamento altamente tecnificados no Triângulo Mineiro até propriedades de subsistência de baixíssima produtividade no Vale do Jequitinhonha — gera deseconomias de escala agregadas. O estado mobiliza um volume gigantesco de fatores produtivos: são mais de 40 mil vínculos formais e 18,6 mil estabelecimentos pulverizados. A DEA VRS reconhece que, dado o gigantismo da operação mineira, o estado extrai o máximo possível em termos absolutos, mas aponta que, se sua estrutura fosse reorganizada em unidades produtivas operando em escalas ótimas globais (como o modelo catarinense), os mesmos insumos poderiam render outputs significativamente maiores.

O mesmo fenômeno aplica-se ao Paraná (CRS de 0,7732 para VRS de 1,0000). O estado sulista possui bacias leiteiras altamente eficientes e tecnificadas (como a região de Castro), mas

a média estadual é puxada para baixo no modelo CRS devido à saturação de fatores ou inadequações na escala operacional de parte de seus produtores de menor porte, uma dinâmica de diferenciação tipológica já prevista nos modelos de clusterização de Gomes et al. (2005).

4.3 As Raízes Econômicas e Estruturais da Ineficiência Agregada

Quinze UFs permaneceram classificadas como tecnicamente ineficientes em ambas as formulações matemáticas da DEA, revelando gargalos institucionais e operacionais crônicos na gestão da atividade laticinista.

O resultado mais surpreendente e que demanda profunda reflexão econômica diz respeito ao estado de São Paulo. Detentor do menor índice CRS da amostra (0,1892) e de um escore VRS de apenas 0,3411, o território paulista operou em patamar severamente subótimo em 2020. Embora tenha mobilizado o segundo maior contingente de mão de obra formal (19.224 vínculos) e absorvido quase R\$ 4 bilhões em crédito rural, São Paulo gerou apenas 1,6 bilhão de litros de leite.

Esta ineficiência sistêmica paulista decorre de três fatores estruturais principais:

1. **Custo de Oportunidade da Terra:** O setor leiteiro em São Paulo compete diretamente com culturas agrícolas de altíssimo valor agregado e escala agroindustrial agressiva, notadamente a cana-de-açúcar e a citricultura. Isto empurra a atividade pecuária para terras marginais ou encarece drasticamente os custos operacionais (aluguel de pastagens e insumos), reduzindo a margem de conversão técnica.
2. **Deserção Logística e Perfil do Vínculo Empregatício:** O elevado número de vínculos formais computados na CNAE paulista pode estar concentrado em estruturas administrativas corporativas, agroindústrias de processamento secundário e sedes comerciais (comércio atacadista de leite e laticínios) localizadas no estado, e não necessariamente na atividade primária de ordenha e manejo no campo. Como a DEA confronta o total de vínculos com a produção primária gerada na PPM, esta distorção de perfil infla o *input* trabalho sem contrapartida direta no *output* volume, penalizando o escore de eficiência técnica da UF.
3. **Falta de Assistência Técnica Continuada:** Como bem demonstram Buss, Sabbag e Mendieta (2020) e Gomes et al. (2024), estados com cadeias pulverizadas e sem programas horizontais de assistência gerencial continuada tendem a apresentar produtores operando às cegas em termos de custos, resultando no uso subótimo de insumos caros (como ração concentrada e medicamentos) e gerando ineficiência técnica severa.

Na outra ponta geográfica, as UFs da Região Norte como Pará (0,4394 no CRS) e Rondônia (0,4657) também exibem escores de eficiência rebaixados, mas por razões distintas das observadas no Sudeste. Nestes estados, a pecuária leiteira é predominantemente extensiva, atuando como uma atividade secundária ou de liquidez diária associada à pecuária de corte (sistemas de dupla aptidão). O Pará mobiliza uma imensa área de pastagem (157.510 km²) para extrair apenas 599,5 milhões de litros. Esta baixíssima densidade produtiva por quilômetro quadrado reflete a falta de tecnificação, pastagens frequentemente degradadas e ausência de

canais formais de escoamento e resfriamento do leite, forçando o produtor a converter o excedente em queijos artesanais subnotificados ou a operar com grandes desperdícios. Este diagnóstico valida a tese de Silva et al. (2025), que aponta que o isolamento logístico e a carência crônica de treinamento gerencial são os principais vetores da ineficiência leiteira nas fronteiras agrícolas brasileiras.

5 Conclusão

Este estudo cumpriu o objetivo de avaliar de forma macroeconômica e unificada a eficiência da produção leiteira nas 27 Unidades Federativas brasileiras para o ano de 2020. A aplicação da Análise Envoltória de Dados (DEA) sob os pressupostos de retornos constantes (CRS) e variáveis de escala (VRS) permitiu mapear as profundas assimetrias técnicas e gerenciais que caracterizam a cadeia de lácteos no federalismo brasileiro.

Os resultados consolidados revelam que a atividade leiteira opera sob um expressivo cenário de subotimização de seus fatores produtivos. A média nacional de eficiência técnica global de 0,6041 (CRS) indica que, mantendo-se perfeitamente fixos os estoques de terra, mão de obra formal e capital financeiro injetados no campo, o Brasil possuía um potencial teórico para expandir em quase 40% o volume físico e o valor de sua produção de leite. Ao isolar o efeito do porte operacional por meio do modelo VRS (cuja média se elevou para 0,7230), evidenciou-se que parte expressiva dessa ineficiência agregada não decorre de incapacidade gerencial interna, mas sim de graves distorções de escala que penalizam inclusive grandes polos históricos, como Minas Gerais e Paraná.

O comportamento diferenciado das UF's na fronteira de produção joga luz sobre os caminhos estratégicos necessários para o desenvolvimento do setor. Enquanto estados da Região Sul (Santa Catarina e Rio Grande do Sul) e polos específicos do Nordeste (Ceará e Alagoas) consolidam a sua presença na fronteira CRS devido à forte integração agroindustrial, densidade tecnológica superior e eficiência adaptativa, bacias tradicionais como São Paulo operam em níveis severamente subótimos devido ao elevado custo de oportunidade da terra e à alocação ineficiente do fator trabalho formal. Na Região Norte, os baixos índices do Pará e de Rondônia expõem os gargalos de uma atividade ainda predominantemente extensiva e de baixa densidade produtiva, carente de canais formais de escoamento e de assistência técnica continuada.

As implicações político-econômicas deste trabalho são multifacetadas e servem de subsídio para formuladores de políticas públicas, associações de produtores e órgãos de extensão rural. A identificação das UF's eficientes estabelece *benchmarks* práticos cuja governança setorial — baseada no cooperativismo capilarizado e no manejo rotacionado intensivo — deve ser emulada pelas unidades deficitárias. Para além da mera injeção de recursos financeiros, o estudo demonstra que o foco governamental deve transitar para a universalização de programas de assistência técnica gerencial continuada, capacitando o produtor para a otimização dos insumos operacionais e para o ajuste fino de sua escala de produção.

Como limitações inerentes à modelagem empírica realizada, destaca-se o recorte transversal adstrito ao ano de 2020, o qual pode absorver impactos atípicos decorrentes das dinâmicas de mercado e da pandemia de COVID-19, não capturando ciclos produtivos

plurianuais. Adicionalmente, embora as variáveis substitutas (*proxies*) utilizadas se tenham mostrado metodologicamente robustas, o modelo DEA determinístico não incorpora de forma direta fatores qualitativos exógenos de extrema relevância, tais como o índice pluviométrico regional, a qualidade genética específica do rebanho e o nível de instrução formal da mão de obra familiar não assalariada.

Como direções para pesquisas futuras, sugere-se fortemente a expansão desta abordagem macroeconômica por meio de painéis de dados longitudinais (análise de séries temporais), combinados com a aplicação do Índice de Produtividade de Malmquist, o que permitirá decompor as variações de desempenho ao longo do tempo em ganho de eficiência técnica pura (*catch-up*) e progresso tecnológico (*shifts* na fronteira). Recomenda-se, por fim, a realização de investigações qualitativas focadas nas práticas de governança das bacias do Semiárido e da Região Sul que alcançaram a fronteira global, a fim de extrair lições estruturais replicáveis para a modernização sustentável da pecuária leiteira nacional.

Referências

- ALMEIDA, Mariza De; BACHA, C. J. C. Literatura sobre a Eficiência da Produção Leiteira Brasileira. *Revista de Política Agrícola*, v. 30, n. 1, p. 20–33, 2021. Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1575>. Acesso em: 12 fev. 2026.
- ATICI, Kazim Baris; PODINOVSKI, Victor V. Using data envelopment analysis for the assessment of technical efficiency of units with different specialisations: An application to agriculture. *Omega*, v. 54, p. 72–83, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0305048315000171>. Acesso em: 3 mar. 2026.
- BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, v. 30, n. 9, p. 1078–1092, 1984. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1287/mnsc.30.9.1078>. Acesso em: 7 abr. 2026.
- BASSOTTO, Leandro Carvalho et al. Technical efficiency in family dairy farms in the State of Minas Gerais in 2021. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 62, n. 1, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/resr/a/7BpFKG8WYgxXsCnqXXKBPwQ/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 21 jan. 2026.
- BRASIL. Ministério do Trabalho. Relação Anual de Informações Sociais (RAIS). Disponível em: <http://pdet.mte.gov.br/aceso-online-as-bases-de-dados>. Acesso em: 24 jun. 2024.
- BUSS, Raquel Eberhard; SABBAG, Omar Jorge; MENDIETA, Fábio Henrique Paniagua. Eficiência da produção leiteira na microrregião de Dourados/MS: aplicação da análise envoltória de dados. *Exacta*, v. 18, n. 3, p. 649–667, 2020. Disponível em: <https://periodicos.uninove.br/exacta/article/view/12360?articlesBySimilarityPage=13>. Acesso em: 16 mar. 2026.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, v. 2, n. 6, p. 429–444, 1978. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0377221778901388>. Acesso em: 9 fev. 2026.
- CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (CNA). A pecuária de leite no Brasil: Diagnósticos e Perspectivas. Brasília: CNA, 2021.
- COOPER, William; SEIFORD, Lawrence; TONE, Kaoru. *Data Envelopment Analysis: A comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software*. 2. ed. New York:

Springer, 2007. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-0-387-45283-8>. Acesso em: 22 abr. 2026.

COOPER, William W.; SEIFORD, Lawrence M.; ZHU, Joe. Data envelopment analysis: History, models, and interpretations. International Series in Operations Research & Management Science, v. 164, p. 1–39, 2011. Disponível em: https://ideas.repec.org/h/spr/isochp/978-1-4419-6151-8_1.html. Acesso em: 14 maio 2026.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 18 jun. 2025.

FOX, P.; UNIACKE-LOWE, T.; MCSWEENEY, P.; O'MAHONY, J. Química e bioquímica de laticínios. Cham, Suíça: Springer International Publishing, 2015. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-14892-2>. Acesso em: 6 fev. 2026.

GOMES, Adriano Provezano et al. Assistência Técnica, Eficiência e Rentabilidade na Produção de Leite. Revista de Política Agrícola, v. 27, n. 2, p. 79–94, 2018. Disponível em: <https://rpa.sede.embrapa.br/RPA/article/view/1414>. Acesso em: 17 abr. 2026.

GOMES, Adriano Provezano et al. Custos, eficiência e rentabilidade na atividade leiteira. Custos e Agronegócio, v. 20, n. 2, p. 139–160, 2024. Disponível em: <http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero2v20/OK%20%207%20leiteira.pdf>. Acesso em: 2 jun. 2026.

GOMES, Eliane et al. DEA performance evaluation of livestock systems in Brazil. In: CHARLES, V.; KUMAR, M. (Org.). Data Envelopment Analysis and Its Applications to Management. Newcastle: Cambridge Scholars Publishing, 2012. p. 224–238. Disponível em: <https://dokumen.pub/data-envelopment-analysis-and-its-applications-to-management-9781443841320-1443841323.html>. Acesso em: 28 jan. 2026.

GOMES, Eliane Gonçalves et al. Análise de envoltória de dados para avaliação de eficiência e caracterização de tipologias em agricultura: um estudo de caso. Revista de Economia e Sociologia Rural, v. 43, n. 4, p. 607–631, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/resr/a/ncSqKwGQvzb4sYV3wpdNHB/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 11 mar. 2026.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Contas Econômicas Ambientais da Terra: Contabilidade Física. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/7319>. Acesso em: 25 jun. 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Geociências. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html?caminho=informacoes_ambientais/cobertura_e_uso_da_terra/monitoramento/grade_estatistica/serie_revisada_2022/tabelas/Mudancas_Estoques_xls/UFs/. Acesso em: 19 maio 2026.

KOČIŠOVÁ, K. Application of DEA models for efficiency evaluation. Economic Annals-XXI, v. 155, n. 11-12, p. 110-114, 2015. Disponível em: https://agricecon.agriculturejournals.cz/artkey/age-201502-0001_application-of-the-dea-on-the-measurement-of-efficiency-in-the-eu-countries.php. Acesso em: 8 abr. 2026.

MAGALHÃES, Klinger Aragão; CAMPOS, Robério Telmo. Eficiência técnica e desempenho econômico de produtores de leite no Estado do Ceará, Brasil. Revista de Economia e Sociologia Rural, v. 44, n. 4, p. 695–711, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/resr/a/gxQsSQmXLrycCwH59Q6zytk/?lang=pt>. Acesso em: 25 fev. 2026.

MARQUES, M. G. M. et al. Consumo de leite de vaca pelo ser humano: uma atualização baseada em evidências. *Brazilian Journal of Health Review*, v. 7, n. 1, p. 7709-7717, 2024. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJHR/article/view/67696>. Acesso em: 10 jun. 2026.

MEZA, L. A. et al. Seleção de variáveis em DEA aplicada a uma análise do mercado de energia eléctrica. *Investigação Operacional*, v.27, 21-36, 2007. Disponível em: <https://www.academia.edu/25546687/Selecao-de-variaveis-em-DEA-aplicada-a-uma-analise-do-mercado-de-energia-elctrica>. Acesso em: 13 jan. 2026.

MURPHY, K. et al. A composição do leite humano e da microbiota fecal infantil durante os três primeiros meses de vida: um estudo piloto. *Scientific Reports*, v. 7, n. 1, 2017. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/srep40597>. Acesso em: 5 maio 2026.

PARADI, Joseph C.; SHERMAN, H. David; TAM, Fai Keung. *Data Envelopment Analysis in the Financial Services Industry: A Guide for Practitioners and Analysts Working in Operations Research Using DEA*. Springer, v. 266, 2018. Disponível em: <https://www.springerprofessional.de/data-envelopment-analysis-in-the-financial-services-industry/15247248>. Acesso em: 23 mar. 2026.

PERES, Marcella Borba Martins; COSTA, Tatiane Bendo Da; LEAL, Edvalda Araujo. Análise de eficiência técnica e de escala aplicado aos custos da pecuária leiteira familiar. *Custos e Agronegócio*, v. 17, n. 3, p. 279–209, 2021. Disponível em: <http://www.custoseagronegocioonline.com.br/especialv17/OK%2015%20escala.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2026.

PIEIDADE, Diego Dobscha da Cruz et al. Análise de Eficiência de Produtores de Leite em Minas Gerais Através da DEA. *Revista FSA*, v. 20, n. 1, p. 284–308, 2023. Disponível em: <https://revista.unifsa.com.br/index.php/fsa/article/view/2624>. Acesso em: 15 maio 2026.

ROCHA, A. Eficiência técnica e de escala em diferentes sistemas familiares de produção de leite da microrregião de Uberlândia (MG), 2017. 45 f. Tese (Doutorado em Ciências Veterinárias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/19888>. Acesso em: 30 abr. 2026.

SILVA, H. A. et al. Ferramentas de gestão na pecuária leiteira familiar no sudoeste da Amazônia: estudo de caso. *Scientia Naturalis*, v. 7, n. 1, p. 182-192, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.29327/269504.7.1-15>. Acesso em: 24 jun. 2026.

VARIAN, Hal R. *Microeconomia: uma abordagem moderna*. 8. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

VLONTZOS, G.; NIAVIS, S.; MANOS, B. A DEA approach for estimating the agricultural energy and environmental efficiency of EU countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 40, p. 91-96, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032114006054>. Acesso em: 4 mar. 2026.

WORLD POPULATION REVIEW (WPR). *Cattle Population by Country 2020*. WPR, 2024. Disponível em: <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/cattle-population-by-country>. Acesso em: 11 jun. 2026.