

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE ECONOMIA E RELAÇÕES INTERNACIONAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

THIAGO FERNANDES LADEIRA

**A EFICIÊNCIA TÉCNICA DA PECUÁRIA DE LEITE FAMILIAR E
SEUS CONDICIONANTES NO ESTADO DE MINAS GERAIS**

UBERLÂNDIA
2024

THIAGO FERNANDES LADEIRA

**A EFICIÊNCIA TÉCNICA DA PECUÁRIA DE LEITE FAMILIAR E
SEUS CONDICIONANTES NO ESTADO DE MINAS GERAIS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Economia.

Área de concentração: Desenvolvimento Econômico

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alves do Nascimento

Coorientador: Prof. Dr. Alzemar José Delfino

Uberlândia
2024

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

L154 2024	<p>Ladeira, Thiago Fernandes, 1982- A eficiência técnica da pecuária de leite familiar e seus condicionantes no estado de Minas Gerais [recurso eletrônico] / Thiago Fernandes Ladeira. - 2024.</p> <p>Orientador: Carlos Alves do Nascimento. Coorientador: Alzemar José Delfino. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Economia. Modo de acesso: Internet. Disponível em: http://doi.org/10.14393/ufu.te.2024.731 Inclui bibliografia. Inclui ilustrações.</p> <p>1. Economia. I. Nascimento, Carlos Alves do, 1967-, (Orient.). II. Delfino, Alzemar José, 1963-, (Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em Economia. IV. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 330</p>
--------------	--

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Economia
Av. João Naves de Ávila, nº 2121, Bloco 1J, Sala 218 - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902
Telefone: (34) 3239-4315 - www.ppge.ie.ufu.br - ppge@ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Economia				
Defesa de:	Tese de Doutorado, Nº 96, PPGE				
Data:	11 de dezembro de 2024	Hora de início:	09:00	Hora de encerramento:	12:50
Matrícula do Discente:	12113ECO005				
Nome do Discente:	Thiago Fernandes Ladeira				
Título do Trabalho:	A eficiência técnica da pecuária de leite familiar e seus condicionantes no estado de Minas Gerais				
Área de concentração:	Desenvolvimento Econômico				
Linha de pesquisa:	Agricultura, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	A modernização das estruturas produtivas no meio rural brasileiro e seu impacto sobre a agricultura familiar e não familiar e sobre as condições de trabalho dos assalariados agrícolas				

Reuniu-se a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Economia, assim composta: Prof. Dr. Clésio Marcelino de Jesus - UFU; Prof. Dr. Bruno Benzaquen Perosa - UFU; Prof. Dr. Jefferson Andronio Ramundo Staduto - UNIOESTE; Profa. Dra. Simone de Faria Narciso Shiki - UFSJ; Prof. Dr. Carlos Alves do Nascimento - UFU orientador do candidato. Ressalta-se que em conformidade com deliberação do Colegiado do PPGE e manifestação do orientador, a participação do aluno e dos membros externos da banca ocorreu de forma híbrida. Os professores Jefferson Andronio Ramundo Staduto e Simone de Faria Narciso Shiki participaram desde a cidade de Toledo (PR) e São João del Rei (MG), respectivamente. O aluno, o orientador e os demais membros da banca participaram presencialmente, na sala 1J32, campus Santa Mônica, Uberlândia (MG).

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa, Dr. Carlos Alves do Nascimento, apresentou a Banca Examinadora e o candidato, agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos examinadores, que passaram a arguir o candidato. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o candidato:

Aprovado.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Carlos Alves do Nascimento, Professor(a) do Magistério Superior**, em 11/12/2024, às 12:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Bruno Benzaquen Perosa, Professor(a) do Magistério Superior**, em 11/12/2024, às 12:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Clesio Marcelino de Jesus, Professor(a) do Magistério Superior**, em 11/12/2024, às 12:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jefferson Andronio Ramundo Staduto, Usuário Externo**, em 12/12/2024, às 14:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Simone de Faria Narciso Shiki, Usuário Externo**, em 17/12/2024, às 14:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5902013** e o código CRC **8F7728CD**.

Dedico este trabalho à minha mãe, Vera,
que, com a escola da vida, conduziu seus dois filhos
ao mais alto grau acadêmico;
e ao senhor Luiz Carlos da Silva (“Barbudo”),
principal inspiração desta tese.

AGRADECIMENTOS

Durante vinte e dois anos, sonhei com o dia em que estaria em condições de redigir estas linhas. Porém, eu jamais teria chegado aqui se não fosse o trabalho incansável do meu amigo, **Dr. Djalma Ferreira Pelegrini**. A ele, devo a totalidade de conquistas que alcancei desde que decidi mudar os rumos da minha vida, depois de vencer a depressão e outras consequências de um longo período sob trabalho degradante no setor bancário.

Com a mesma intensidade, agradeço ao meu orientador, **Dr. Carlos Alves do Nascimento**, e coorientador, **Dr. Alzemar José Delfino**. Duas sumidades da Economia Rural que nem no meu mais distante anseio imaginei que um dia guiariam os meus passos na tortuosa tarefa de pesquisar com excelência um assunto que, apesar de apaixonado, ainda não dominava suficientemente. Obrigado, professores, pelas palavras, pela amizade e, principalmente, pela compreensão que tiveram quando iniciei meu curso de doutorado em condição delicada de saúde.

Sou honradamente grato aos professores **Dr. Alexandre Gori Maia** e **Dr. Clésio Marcelino de Jesus** pela disponibilidade em compor minha banca de qualificação e pelas valorosas contribuições ao projeto original, contribuições estas que foram primordiais para elevar a qualidade e a profundidade do trabalho final.

No âmbito familiar, e inevitavelmente me vêm as lágrimas no rosto, inicio agradecendo ao grande amor da minha vida: minha filha, **Camila**. Quando minha pequena princesa veio ao mundo, eu já trilhava alguns anos do ensino superior e sua chegada no meio desse processo só me trouxe mais força para prosseguir. **Camila**, minha filha, você foi, é, e para sempre será a razão de tudo! Tudo!

Externo, também, a minha gratidão ao meu núcleo e alicerce de vida: pai, **Pedro**, mãe, **Vera** e irmão, **Francisco**. Vocês são exemplos para mim das mais diversas formas e me enche de orgulho saber que sou um pouco de cada um, com defeitos e qualidades, mas, acima de tudo, com paixão pelo conhecimento e busca por respostas, por mais complexas que sejam.

Em agradecimento póstumo, jamais poderia deixar de lembrar das minhas grandes referências de sabedoria e acolhimento: meu saudoso avô **Sebastião** (“**Neném**”) e meu inesquecível tio **Aníbal Autran** (“**Anibinha**”). Ainda que seja difícil aceitar que eles se foram, remanescem em mim os ensinamentos e a afetividade que forjaram o meu caráter e, por essa razão, sei que eles permanecem vivos em minha memória.

Agradeço também a todos os colaboradores do Instituto de Economia e Relações Internacionais da UFU – coordenadoria e secretaria do Programa de Pós-Graduação em Economia – que tão bem desempenham suas funções. Deixo registrada a minha gratidão. Gostaria, igualmente, de expressar meu sincero agradecimento à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro que possibilitou o desenvolvimento desta pesquisa.

E, assim, encerro o ciclo mais longo de toda a minha vida e, de certa forma, me sinto um pouco mais próximo dos grandes mestres que me educaram nas Artes Econômicas. Do rapaz de vinte anos, assistindo maravilhado às primeiras aulas do curso de Ciências Econômicas, ao homem feito de quarenta e duas primaveras, sinto que cumpri o objetivo a que me propus quando tomei ciência de que ser doutor em Economia era minha missão de vida. Pois bem, esse momento chegou.

Obrigado a todos que acreditaram em mim!

Tocando Em Frente
(Canção de Almir Sater e Renato Teixeira)

Ando devagar
Porque já tive pressa
Levo esse sorriso
Porque já chorei demais

Hoje me sinto mais forte
Mais feliz quem sabe
Só levo a certeza
De que muito pouco eu sei
Eu nada sei

Conhecer as manhas e as manhãs
O sabor das massas e das maçãs
É preciso amor pra poder pulsar
É preciso paz pra poder sorrir
É preciso a chuva para florir

Penso que cumprir a vida
Seja simplesmente
Compreender a marcha
E ir tocando em frente

Como um velho boiadeiro
Levando a boiada
Eu vou tocando os dias
Pela longa estrada, eu vou
Estrada eu sou

Conhecer as manhas e as manhãs
O sabor das massas e das maçãs
É preciso amor pra poder pulsar
É preciso paz pra poder sorrir
É preciso a chuva para florir

Todo mundo ama um dia
Todo mundo chora
Um dia a gente chega
E no outro vai embora

Cada um de nós
Compõe a sua história
Cada ser em si
Carrega o dom de ser capaz
E ser feliz

RESUMO

Este trabalho procurou investigar as condições de eficiência técnica da pecuária leiteira no Estado de Minas Gerais quando considerados os estabelecimentos rurais que satisfazem as condições de enquadramento na agricultura familiar por intermédio das duas principais abordagens metodológicas dedicadas a esse fim. Utilizando dados oriundos da pesquisa e assistência técnica públicas mineiras, modelos de análise por envoltória de dados e da estimação da função de produção pela abordagem da fronteira estocástica, foi possível calcular índices de eficiência técnica de 149 fazendas produtoras situadas em 124 municípios do referido estado. Adicionalmente, partindo de dados financeiros, produtivos e demográficos, tanto dos sistemas produtivos quanto do produtor responsável, os potenciais fatores condicionantes do índice atribuído foram considerados em regressão do tipo Tobit. Assim, a análise revelou preponderância de patamares de eficiência técnica abaixo do limite máximo, contudo, em níveis de eficiência alto ou médio-alto. Como fatores explicativos do índice de eficiência apurado, observou-se que os dispêndios isolados com alimentação, capital e trabalho são estatisticamente significativos para reduzir a eficiência. Além desses, o aumento da área explorada também foi capaz de produzir o mesmo efeito. Pela via oposta, a elevação da escala de produção, representada pela quantidade real produzida, *ceteris paribus*, foi hábil na elevação da eficiência técnica da produção leiteira. Por outro lado, a estimação da função de produção do tipo *translog*, a partir dos dados coletados, revelou que os insumos mais relevantes para determinação do produto do setor foram os dispêndios com alimentação, capital e outros custeios. Além desses, fatores climáticos de temperatura atmosférica e precipitação se mostraram relevantes para definição da função de produção. Como entendimento geral, restou a percepção de que a pecuária leiteira mineira, em seu estrato do tipo familiar, já se encontra em patamar amadurecido de eficiência técnica geral, cumprindo o produtor com o desempenhado esperado em um ambiente competitivo, apesar da necessidade de se compreender o desenvolvimento no meio rural de forma mais abrangente que aquela dada a outros setores econômicos. Ou seja, ainda que o papel da produção familiar de leite para o desenvolvimento econômico fosse a persecução da estrita eficiência técnica e lucratividade, esse quesito estaria cumprido a contento. Por fim, oferece-se como argumento final que, se existe uma crise persistente no setor leiteiro, essa precisa ser investigada igualmente nos demais elos da cadeia produtiva do leite.

Palavras-chave: Eficiência Técnica. Pecuária Leiteira. Produtor Familiar. Análise Envoltória de Dados. Fronteira Estocástica.

ABSTRACT

This thesis aimed to investigate the technical efficiency conditions of dairy farming in the state of Minas Gerais, focusing on rural establishments that meet the criteria for family farming. Using data from public research and technical assistance programs in Minas Gerais, models based on Data Envelopment Analysis (DEA) and the stochastic frontier production function approach were employed to calculate technical efficiency scores for 149 dairy farms located in 124 municipalities across the state. Additionally, financial, productive, and demographic data, both from the production systems and the farmers themselves, were analyzed using a Tobit regression to identify potential factors influencing the efficiency scores. The analysis revealed that most efficiency levels fell below the maximum threshold, though they were still within high or medium-high ranges. The results indicated that isolated expenditures on feed, capital, and labor were statistically significant in reducing efficiency. Additionally, expanding the farmed area also had a negative impact on efficiency. Conversely, an increase in production scale, represented by the actual quantity produced, *ceteris paribus*, led to higher technical efficiency in dairy farming. Furthermore, the estimation of the translog production function, based on the collected data, showed that the most important inputs for determining sector output were expenditures on feed, capital, and other operating costs. climatic factors such as air temperature and precipitation also played a significant role in shaping the production function. Overall, it became clear that family dairy farming in Minas Gerais has reached a mature level of technical efficiency, with producers performing as expected in a competitive environment. However, it is essential to recognize that rural development requires a broader perspective than that applied to other economic sectors. In other words, if the role of family dairy farming in economic development is primarily to achieve technical efficiency and profitability, this objective has largely been met. Finally, the study suggests that if a persistent crisis exists in the dairy sector, it must also be investigated in other links of the dairy production chain.

Keywords: Technical Efficiency. Dairy Farming. Family Farming, Data Envelopment Analysis. Stochastic Frontier.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Análise de Fronteira Estocástica, ou *Stochastic Frontier Analysis* – SFA
Análise por Envoltória de Dados, ou *Data Envelopment Analysis* – DEA
Assistência Técnica e Extensão Rural – ATER
Assistência Técnica e Gerencial – ATeG
Banker, Charnes e Cooper – BCC
Charnes, Cooper e Rhodes – CCR
Comissão Executiva do Leite – CEL
Comissão Federal de Abastecimento e Preços – COFAP
Comissões de Abastecimento e Preços – COAP
Comissões Municipais de Abastecimento e Preços – COMAP
Conselho Interministerial de Preços – CIP
Conselho Paritário Produtores/Indústrias de Leite do Estado de Minas Gerais – CONSELEITE-MINAS
Conselho Paritário Produtores/Indústrias de Leite do Estado do Paraná – CONSELEITE-PR
Conselho Paritário Produtores/Indústrias de Leite do Estado do Rio Grande do Sul – CONSELEITE-RS
Coronavirus disease 2019 – COVID-19
Custo Operacional Efetivo – COE
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa
Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais – Emater-MG
Empresa Dinamarquesa de Tecnologia Agrícola e Assistência Técnica – SEGES
Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG
Escala de produção tecnicamente ótima – EPTO
European Statistical Office – Eurostat
European Union Farm Accountancy Data Network – FADN
Estados Unidos da América – EUA
Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo – IPCA
Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE
Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas – IPEA
Lucro Bruto – LB
Mínimos Quadrados Ordinários – MQO
Problema de Programação Fracionária – PPF
Problema de Programação Linear – PPL
Problema de Programação Matemática – PPM
Produtividade Total dos Fatores – PTF
Produção Anual de Leite – PL
Produção de Leite pelo Total de Vacas – PLTV
Produção Diária por Vaca em Lactação – PDVL
Produção por Área – PLA
Receita Bruta – RB
Rendimentos Constantes à Escala de Produção – RCE
Rendimentos Variáveis à Escala – RVE
Serviço Nacional de Aprendizagem Rural – SENAR
Superintendência Nacional de Abastecimento – Sunab
Tecnologias da Informação – TI
Unidade Tomadora de Decisão – UTD

União Europeia – UE

United States Department of Agriculture – USDA

Vacas em Lactação pelo Total de Vacas do Rebanho – VLVR

Vacas em Lactação por Área para a Pecuária – VLA

Weighted Average Data Efficiency – WADE

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO III

Tabela 1. Percentual dos financiamentos obtidos por grupo de área (apenas pecuária - Brasil).	85
Tabela 2. Tecnologias adotadas por pecuaristas de leite no Brasil (quantitativo e percentual de estabelecimentos).....	86

CAPÍTULO V

Tabela 3. Estatísticas descritivas.....	105
Tabela 4. Eficiência das unidades produtivas na modalidade DEA.....	108
Tabela 5. Quantitativo e frequência acumulada de UTD's conforme nível de eficiência apurado.....	113
Tabela 6. Redução de insumos para UTD's ineficientes.....	114
Tabela 7. Resultados segundo estágio (var. dependente: escore de eficiência-DEA).....	120
Tabela 8. Resultados SFA (var. dependente: valor real produzido).....	124
Tabela 9. Resultados segundo estágio (var. dependente: escore de eficiência-SFA)	129
Tabela 10. Comparação de modelos.....	134

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II

Figura 1. Eficiência técnica e escala de produção tecnicamente ótima (EPTO).....	48
Figura 2. Reta de isocusto e a eficiência alocativa.....	50
Figura 3. Distribuição hipotética de produtividade e técnicas paramétricas e não paramétricas de avaliação da eficiência produtiva.....	53

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO II

Quadro 1. Formalização matemática do modelo CCR (parte A).....	55
Quadro 2. Formalização matemática do modelo CCR (parte B).....	55
Quadro 3. Formalização matemática do modelo BCC.....	57

CAPÍTULO IV

Quadro 4. Modelo DEA – orientação assumida: <i>input</i>	98
Quadro 5. Modelo SFA.....	103

CAPÍTULO V

Quadro 6. Resumo dos efeitos estimados.....	131
---	-----

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	17
CAPÍTULO I – A ECONOMIA DO LEITE NO BRASIL: DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO E ASPECTOS PRODUTIVOS	26
1.1 Contextos preliminares	26
1.2 Da origem ao controle direto estatal.....	26
1.3 Balanço da intervenção direta e a transição para o controle de preços	30
1.4 A produção leiteira no cenário do Complexo Agroindustrial (CAI) do leite em Minas Gerais: relacionando desregulamentação do mercado, abertura comercial e o desenvolvimento tecnológico	33
1.5 Tecnologia do processo produtivo do leite	35
1.5.1 Rebanho.....	36
1.5.2 Infraestrutura/instalações e outros capitais fixos.....	37
1.5.3 Insumos variáveis	38
CAPÍTULO II – DO CONCEITO UNIVERSAL DE EFICIÊNCIA À SUA APLICAÇÃO NO DOMÍNIO DA ECONOMIA	40
2.1 A definição geral de eficiência.....	40
2.2 Da eficiência econômica à eficiência econômica da produção.....	42
2.2.1 Lucratividade.....	44
2.2.2 Desempenho (<i>performance</i>)	45
2.2.3 Produtividade.....	46
2.2.4 Eficiência econômica da produção.....	47
2.3 Estrutura de custos, economias de escala e eficiência econômica na pecuária leiteira	50
2.4 Metodologias para medir a eficiência técnica	51

2.4.1	Noções prévias.....	52
2.4.2	O método DEA de estimação de eficiência.....	53
2.4.2.1	O modelo CCR.....	54
2.4.2.2	O modelo BCC.....	56
2.4.3	O método SFA.....	58
2.5	A análise de eficiência em dois estágios.....	59
2.6	A eficiência econômica da produção leiteira – revisão de literatura.....	61
2.6.1	Literatura internacional.....	62
2.6.2	Literatura nacional.....	67
CAPÍTULO III – A EFICIÊNCIA ECONÔMICA COMO VETOR DO DESENVOLVIMENTO RURAL: LIMITAÇÕES SUBJETIVAS E OBSTÁCULOS MATERIAIS.....		74
3.1	Desenvolvimento rural, Revolução Verde e modernização da agricultura no Brasil e no mundo.....	74
3.2	O comportamento do produtor rural tradicional.....	77
3.3	Os obstáculos objetivos à plena eficiência.....	83
3.3.1	Os limites da eficiência técnica.....	84
3.3.2	Os limites da eficiência alocativa.....	86
3.4	A relação entre eficiência econômica e desenvolvimento rural.....	88
CAPÍTULO IV – MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....		94
4.1	As tecnologias digitais na agricultura.....	94
4.2	Base de dados.....	96
4.3	Os modelos empíricos.....	97
4.3.1	O modelo empírico DEA.....	97

4.3.2 O modelo empírico SFA.....	100
CAPÍTULO V – A CONDIÇÃO DA EFICIÊNCIA TÉCNICA E DA PRODUÇÃO PECUÁRIA LEITEIRA FAMILIAR A PARTIR DE SEUS CONDICIONANTES: O QUE OS DADOS REVELAM?	104
5.1 Estatísticas descritivas	104
5.2 Estimativa do modelo DEA	108
5.2.1 Análise dos condicionantes dos escores DEA (segundo estágio)	119
5.3 Estimativa do modelo SFA	124
5.3.1 Análise dos condicionantes dos escores SFA (segundo estágio)	128
5.4 Comparação DEA <i>versus</i> SFA e implicações	132
SÍNTESES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	136
Referências.....	141
APÊNDICE – Relação de municípios e correspondente quantitativo de produtores constantes da amostra	158

INTRODUÇÃO

O surgimento da atividade pecuária¹, enquanto meio de subsistência da nossa espécie, coincide, aproximadamente, com o erguer da primeira revolução agrícola, há onze mil anos (Curry, 2013). Mais ainda, o confinamento de bovinos² com a finalidade de obtenção de leite e seus derivados tem sido observado, em acordo com as melhores evidências, há pelo menos cinquenta séculos (Kurlansky, 2018).

Nesse sentido, não configura exagero afirmar que o desenvolvimento sociocultural e econômico do gênero humano vem sendo moldado pela atividade laticinista, ao mesmo tempo em que essa prática o molda, seja qual grau de sofisticação civilizatória se considere.

Contudo, cumpre destacar que o advento e a persistência de produção e consumo de alimentos contendo lactose – principal carboidrato do leite de origem animal – não se deu de forma generalizada. Conforme Kurlansky (2018), tal fenômeno ocorreu tão somente em áreas e com povos que desenvolveram, concomitantemente, a capacidade de humanos adultos digerirem esse nutriente.

Sendo breve, pode-se afirmar que essa foi uma realidade, entre outros, para o povo europeu e, considerando sua dominância imperialista global, resta a percepção de que essa adaptação tenha sido universal, o que não é fato, e, em face desse evento, a sua distribuição geográfica se deu de forma relativamente isolada. Por esses e outros fatores, foram necessários séculos para que essa circunstância pudesse chegar à maioria dos continentes.

No caso brasileiro, de todas as atividades agropecuárias desenvolvidas em solo nacional, o registro histórico da produção de leite de vaca sugere ter sido esse um dos negócios mais controvertidos e sujeitos a avanços, contramarchas e interferências de toda sorte que se tem notícia, desde sua instalação em nosso território até o tempo presente.

Como será visto, evidência paradigmática disso encontra-se na multiplicidade de ações e políticas governamentais que intentaram controlar o preço do leite em suas diversas etapas ao longo de sua cadeia produtiva nos anos que se seguiram ao pós-guerra. Conforme aponta

¹ Neste trabalho, entende-se por pecuária a criação e manejo de gado bovino para a produção de carne e leite, principalmente. O uso ao longo do texto pode vir, ou não, sucedido da palavra “bovina”, ou outra semelhante.

² Bovinos são animais pertencentes à família *Bovidae*, subfamília *Bovinae*. Essa categoria inclui espécies domésticas, como bois (machos) e vacas (fêmeas), utilizados na agricultura para produção econômica ou de subsistência.

Meireles (1996), o ano de 1945 inaugura a prática de intervenção pública nos preços do leite em todo o território do Distrito Federal (ainda, Rio de Janeiro), em princípio. Entretanto, quatro décadas depois, na metade do decênio de 1980, o controle de preços já havia alcançado treze unidades da federação, atingindo o equivalente a 90% da produção de leite do tipo C³.

Paralelamente a esse fato, observava-se ainda que, mesmo que estivesse sob a rígida intervenção política, a produção de leite de vaca, quase na sua totalidade, não se dava de forma equânime, conformando a pouco razoável realidade de preços tabelados mais elevados em estados mais pobres, e *vice versa*, justamente para o leite de tipagem destinado às camadas mais humildes da população (Meireles, 1996).

Hoje, configura fato reconhecido que o Brasil ocupa posição de destaque na produção mundial de leite e seus derivados. Parte desse fenômeno pode ser explicado pela dimensão do mercado e pelos ganhos de produtividade advindos dos progressos tecnológicos experimentados pelo setor nas décadas que se sucederam à liberação dos preços.

Contudo, as implicações sociais dessa dinâmica não devem ser ignoradas, dado que as aludidas transformações técnicas não foram compartilhadas de maneira equilibrada quando se leva em consideração a localização espacial, o porte e a capacidade absorptiva dos distintos perfis de produtores rurais no país.

Em decorrência disso, a assimetria na dotação de fatores, tais como o acesso à assistência técnica, ao financiamento bancário, aos bens de capital, entre outros, promove um relativo grau de heterogeneidade estrutural capaz de segregar os diversos sistemas de produção, conferindo vantagens competitivas para aqueles que dispõem de maior escala de produção e acesso a capitais financeiros, como demonstram estudos recentes sobre efeitos comparados tanto sobre a produtividade (Simões; Reis; Avelar, 2017) quanto sobre a lucratividade individual do setor (Simões, 2018).

De fato, o fenômeno que pode ser destacado nos levantamentos censitários mais recentes reforça a percepção de existência de um processo de aumento da produção combinado com a redução do número de unidades rurais produtoras de leite, indicando uma aparente concentração do mercado fornecedor de leite cru com conseqüente abandono da atividade pelos produtores

³ De acordo com o Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal, vigente à época, o leite de vaca deveria ser categorizado para produção e consumo segundo suas características sanitárias e higiênicas, das quais se extraíam as nomenclaturas de leite tipo A (ou de granja); leite tipo B (ou de estábulo); e, finalmente, leite tipo C (ou padronizado). A propósito, o leite tipo A correspondia ao leite de menor concentração de microrganismos por mililitro do produto, permitindo-se a elevação desses nas classificações subseqüentes.

que operam de forma economicamente ineficiente, pauperizando o campo e agravando as desigualdades materiais desse importante estrato social.

Dados do Censo Agropecuário, divulgado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) desvelam que, enquanto o número de estabelecimentos agropecuários que produziram leite de vaca no de 2006 atingiu quantia próxima de 1.351 mil unidades, no levantamento de 2017, essa marca foi em torno de 1.176 mil, o que representa uma redução de 175 mil estabelecimentos, ou, em termos percentuais, 12,95%, no período considerado (IBGE, 2012; IBGE, 2019).

Pela ótica da produção, observa-se movimentação contrária, visto que, em 2006, a quantidade de leite produzida foi da ordem de 20,5 bilhões de litros e, onze anos depois, 2017, esse mesmo indicador registrou montante de 30 bilhões de litros. Isso representa uma elevação proporcional de, aproximadamente, 47%, equivalentes, em números absolutos, a quase 10 bilhões de litros produzidos a mais (IBGE, 2012; IBGE, 2019).

No caso específico do Estado de Minas Gerais, as condições econômicas dos agricultores familiares⁴ representam desafio semelhante do ponto de vista social e político na atualidade. Por essa razão, a questão da pobreza rural e suas consequências tem sido objeto de reflexão constante de estudiosos e pesquisadores dos mais diversos campos da atividade acadêmica. Como dito, o tema assume contornos mais críticos quando se trata das condições de sobrevivência da pequena e média propriedade rural⁵, dadas as suas vulnerabilidades estruturais e concorrenciais.

Em auxílio para melhor compreensão do tema, destacam-se pesquisas como as de Gurgel, Santos e Teixeira (2000), Marques *et al.* (2002), Lemos *et al.* (2003), Lopes e Pelegrini (2015), Bassotto *et al.* (2018). Tais trabalhos, ora baseados em estudos de caso por amostragem de unidades observadas, ora apoiados em informações provenientes de censos e outras fontes secundárias, reportaram interessantes resultados a respeito da influência de fatores como

⁴ Segundo a Lei nº 11.326, de 24 de julho de 2006, o agricultor familiar se caracteriza como aquele que pratica atividades no meio rural, atendendo, simultaneamente, aos seguintes requisitos: i) não detenha, a qualquer título, área maior do que 4 módulos fiscais; ii) utilize predominantemente mão de obra da própria família nas atividades econômicas do seu estabelecimento ou empreendimento; iii) tenha renda familiar predominantemente originada de atividades econômicas vinculadas ao próprio estabelecimento ou empreendimento; iv) dirija seu estabelecimento ou empreendimento com sua família.

⁵ Conforme o regramento legal (Lei 8.629, de 25 de fevereiro de 1993) a pequena propriedade é aquela cujo imóvel rural apresente área de até 4 módulos fiscais. A média propriedade é aquela cujo imóvel rural apresente área superior a 4 módulos fiscais até 15 módulos fiscais.

estrutura tecnológica, eficiência econômica, controle de custos, entre outros aspectos, sobre a rentabilidade de sistemas de produção de leite.

A propósito, com o advento e a democratização da rede mundial de computadores (*internet*), das tecnologias da informação (TI's) e de equipamentos pessoais com capacidade apreciável de armazenagem e processamento de dados, análises dessa natureza podem ser aprimoradas para além dos limites das técnicas usuais de pesquisa.

Mais especificamente, agrega-se a tal fato que a expansão do uso de aparelhos celulares do tipo *smartphone* – dispositivos equipados com recursos de grande utilidade em rotinas de gravação e armazenamento de dados – oportuniza, por meio de aplicativos específicos, a transmissão e a coleta remota de dados com vistas à formação de repositórios com volume e velocidade de tráfego considerável de informações úteis à pesquisa aplicada, ao mesmo tempo em que favorece a adoção de práticas salutares à administração de empreendimentos rurais, a gestão de custos de produção, por exemplo.

Dessa maneira, o esforço de pesquisa aqui proposto teve como estrutura básica: i) o emprego de aplicação para telefone celular com capacidade de gravação e transmissão remota; e ii) o levantamento direto por agentes de Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER) de informações de receitas e despesas mobilizadas no processo produtivo de propriedades leiteiras, na forma como será melhor exposto na seção sobre os aspectos metodológicos. Com isso, esperou-se formar base de dados consistente e, por isso, auxiliar para o avanço de áreas do conhecimento como as Economias Agrícola e Regional.

Com base nesse aparato, as reconhecidas metodologias de avaliações de eficiência produtiva, especificamente, a Análise por Envoltória de Dados, ou *Data Envelopment Analysis* (DEA), e a análise de Fronteira Estocástica, ou *Stochastic Frontier Analysis* (SFA), foram implementadas com o intuito de aferir o grau de eficiência técnica de unidades tomadoras de decisão (UTD's).

Além disso, de forma complementar à análise de eficiência e como suporte ao processo de tomada de decisão, constitui prática corrente na literatura econômica a expansão da análise por meio da aplicação de modelos de regressão para identificação de condicionantes estatisticamente significativos para um dado nível de eficiência técnica, chamado DEA em dois estágios (Ferreira, Gonçalves, Braga, 2007; Selim, Bursalioglu, 2013; Souza, 2006). Com base nesse ponto, o presente trabalho também pretendeu investigar os condicionantes dos níveis de eficiência técnica encontrados.

Assim sendo, o empenho de inovação aqui proposto reside no aproveitamento da escalabilidade de uso de aplicação para dispositivos móveis, em associação com iniciativa de levantamento em campo, com a finalidade de coleta de dados primários e informações qualitativas, visando ao provimento necessário à plena operação de algoritmos dedicados à análise da produção e eficiência, obtendo, dessa maneira, estimativas e modelos com maior poder preditivo face aos trabalhos similares precedentes, o que contribui para o avanço tanto da literatura de referência quanto das recomendações de políticas públicas para o setor da pecuária de leite mineira.

Inclusive, segundo dados oficiais, a pecuária leiteira em Minas Gerais é a mais prevalente das atividades agrícolas, podendo ser observada em todos os municípios mineiros, exceto em um⁶. Além do mais, o estado também comporta o maior contingente de produtores familiares de leite como proporção do todo nacional, algo em torno de 17%, de acordo com a mesma fonte (IBGE, 2019).

Contudo, a possível concentração do mercado produtor em torno de um menor número de estabelecimentos que produzem uma maior quantidade de leite pode significar, no longo prazo, a insustentabilidade econômica da atividade para um expressivo contingente de empreendimentos rurais, principalmente aqueles de reduzida escala de produção, tendo em vista que sistemas de produção de maior porte operacional apresentam rentabilidade superior (Olini *et al.* 2020).

Em virtude disso, a manutenção de unidades produtivas dotadas das mais distintas capacidades instaladas representa impactos significativos na realidade do campo, fazendo-se notar em fenômenos como contenção da pobreza rural, mitigação de problemas urbanos decorrentes do êxodo rural e assim por diante.

Em amparo a essas e outras questões relevantes, presume-se que tal quadro adverso possa ser atenuado mediante intervenções políticas, em particular, a orientação da ATER e da pesquisa agrícola e econômica, com destaque para a recomendação de uma correta gestão de custos e da escolha de um modelo tecnológico economicamente mais eficiente.

⁶ Refere-se ao Município de Santa Cruz de Minas, na mesorregião do Campo das Vertentes, em Minas Gerais. A rigor, esse fenômeno ocorre porque o referido município não possui zona rural e, caso assim não fosse, não seria absurdo afirmar que a pecuária leiteira estaria presente em todos os municípios do estado. Esse fato, por si só, demonstra a importância do segmento para a economia mineira. Para além disso, tendo em mente o caráter vital do leite como matéria-prima para toda a cadeia produtiva de lácteos, a relevância torna-se inequívoca.

Nesse sentido, considerando que uma adequada administração técnico-financeira seja vital para preservar a viabilidade desse setor, aprimorando resultados econômicos e assegurando a sobrevivência da atividade, os efeitos indiretos decorrentes podem extrapolar os ganhos individuais, estimulando a concorrência e o aumento da produção com reflexos em toda a cadeia produtiva de lácteos.

Para tanto, conhecer a realidade do setor, investigando com profundidade as condições tecnológicas e produtivas, constitui etapa fundamental. Nesse ponto, um caminho possível e bem explorado na literatura econômica vem a ser a análise da eficiência técnica de unidades produtivas.

De fato, por intermédio desse tipo de estudo tem sido possível compreender o nível e os condicionantes das várias formas de eficiência (técnica, de escala e alocativa)⁷ de determinadas atividades econômicas com resultados aplicáveis na orientação de políticas públicas e nos processos internos de tomada de decisão por parte de empresários e empreendedores em geral.

Assim, considerando a dimensão do mercado produtor familiar de leite do Estado de Minas Gerais, justifica-se tomar esta unidade da federação como objeto de estudo, uma vez que tal iniciativa pode auxiliar na compreensão das repercussões das dinâmicas descritas para a unidade da federação mais relevante em termos proporcionais da produção familiar de leite, bem como considerando a importância histórica, cultural e sociológica derivada da ubiquidade territorial desta atividade em solo mineiro.

Portanto, procurando colaborar para a expansão da compreensão dos temas que envolvem i) a necessidade de conhecimento dos níveis de eficiência técnica e ii) das formas de ampliá-la com vistas a uma melhor rentabilidade e sustentabilidade econômica da atividade de produção de leite de natureza familiar como forma de contribuição para o desenvolvimento das matérias referidas, esta pesquisa buscou responder a seguinte questão:

Dadas as condições tecnológicas individuais vigentes, existe hiato para ganhos de eficiência produtiva na pecuária leiteira familiar em Minas Gerais?

⁷ Apesar da existência das três fundamentais formas de eficiência, neste trabalho, optou-se por considerar tão somente a eficiência técnica, cujo sentido não rigoroso significa a utilização da menor quantidade possível de insumos (terra, capital, trabalho e outros) para um dado nível de produção. Em outras palavras, eficiência técnica envolve a completa ausência de desperdício de fatores de produção. Além dessa propriedade desejável de simplicidade de compreensão, a eficiência técnica também é adequada a estudos objetivos, uma vez que quantificável, como será visto, torna-se possível comparar e operacionalizar fenômenos que dela se desdobram, como, por exemplo, a investigação de seus condicionantes.

Apesar de constituir objeto de reflexão já explorado no passado (Stock, 2000; Rocha, 2017, entre outros), a matéria da eficiência econômica da pecuária de leite como gargalo do setor remanesce. As disparidades dos indicadores de competitividade quando a produção brasileira é comparada com pares internacionais precisam ser discutidas e as evidências apresentadas para que políticas públicas e as práticas de ATER sejam orientadas por evidências científicas.

Ante o exposto, a hipótese assumida na presente proposta sustenta que, dadas as condições tecnológicas vigentes no Estado de Minas Gerais, os estabelecimentos rurais produtores de leite que satisfaçam as condições de Unidade Familiar de Produção Agrária (UFPA) operam, majoritariamente, sob condição de ineficiência técnica com possibilidade de ganhos expressivos desse quesito.

Destarte, para responder a problematização e hipótese aqui postas, esta tese teve como objetivo geral investigar as condições de eficiência técnica da pecuária leiteira no Estado de Minas Gerais quando considerados os estabelecimentos rurais que satisfazem as condições de enquadramento na agricultura familiar. Além desse, foram objetivos específicos do trabalho:

- Desenvolver sistema próprio e dedicado à captura remota de dados de receitas, bem como despesas e levantamento tecnológico e patrimonial de estabelecimentos rurais produtores de leite;
- Estimar o estado de eficiência técnica por meio do uso das duas principais metodologias disponíveis, comparando-as. Sendo as mesmas: Fronteira Estocástica e Análise Envoltória de Dados;
- Estimar os parâmetros de um conjunto de variáveis explicativas para o nível de ineficiência das unidades produtivas observadas;
- Classificar os estabelecimentos rurais em eficientes ou ineficientes, bem como identificar características técnicas e fatores exógenos condicionantes de forma a viabilizar a análise das limitações impostas pelas variáveis que condicionam a ineficiência.

A preocupação com as condições de mercado da cadeia produtiva de leite ocupa espaço recorrente, tanto na opinião pública, quanto na ação política, como demonstra, entre outras medidas, a criação de fóruns permanentes e câmaras técnicas de avaliação das potencialidades e desafios do setor, dentre eles, a Comissão de Estudos Estratégicos para a Cadeia Produtiva de Lácteos (Minas Gerais, 2018) e o Grupo de Trabalho Interministerial, cuja finalidade é a de apresentar propostas para fortalecer a Cadeia Nacional do Leite (Brasil, 2023).

Em face da importância social e econômica da pecuária leiteira, torna-se relevante avançar na investigação das condições de eficiência e rentabilidade da atividade. Para tanto, um passo necessário para o progresso desse campo de estudo é a obtenção de dados qualificados e atualizados, fato que exige a busca de soluções ainda pouco exploradas.

Além disso, a disponibilização de aplicativo dedicado à coleta remota de dados cumpre uma etapa fundamental no processo de melhoria dos processos de gestão econômico-financeira e técnica dos sistemas de produção de leite, uma vez que oferece um instrumento de registro e consolidação de dados de fácil manuseio e acessível tanto a técnicos quanto a produtores de leite.

Desse modo, o desafio de coletar dados de um número representativo de sistemas de leite para análise e interpretação de resultados e os benefícios decorrentes da difusão de conhecimentos e rotinas, associados ao controle de custos e resultados econômicos, representam a motivação primordial desta pesquisa.

Em suma, diante da necessidade de se investigarem as reais condições operacionais da produção leiteira em Minas Gerais, propôs-se disseminar o uso de aplicativo para dispositivos móveis desenvolvido com a finalidade específica de atender ao referido segmento e, subsequentemente, capturar e tratar dados necessários à análise de eficiência técnica e heterogeneidade produtiva (objetos expressos deste estudo).

Baseado neste contexto, o presente estudo foi realizado com uma amostra composta por 149 propriedades produtoras de leite geograficamente distribuídas entre 124 municípios do Estado de Minas Gerais, tendo como característica transversal o enquadramento como UFPA's e a diversidade operacional e de escala de produção. Os dados foram coletados ao longo do período de janeiro de 2021 a junho de 2024 e representam um panorama das condições de produção leiteira na região considerada, com foco na avaliação da eficiência técnica. A caracterização detalhada da metodologia adotada será apresentada em capítulo próprio.

Com isso, foi possível atender a esses e outros anseios da pesquisa e do debate público, pois espera-se que tais ações aprimorem, a um só tempo: i) o estímulo à prática de gestão de custos – por parte dos produtores rurais –; e ii) o entendimento da dinâmica estrutural e mercadológica do setor, contribuindo, dessa forma, para áreas do conhecimento econômico.

Nesse sentido, a tese está estruturada da forma como segue: sucede a esta introdução o Capítulo I, que se ocupa de descrever o histórico da produção de leite como produto econômico no Brasil, além de pontuar alguns aspectos do processo produtivo que são razoavelmente

comuns a todo sistema de produção de leite de vaca. Após esse retrospecto, o Capítulo II trata do conceito de eficiência, sua aplicação nas mais diversas áreas do conhecimento e de que forma se dá a sua aplicação nos domínios das Ciências Econômicas. Inclusive, este mesmo capítulo abriga a revisão bibliográfica da literatura nacional e estrangeira sobre o tema da eficiência econômica em processos produtivos de leite.

Na sequência, o Capítulo III traz reflexões teóricas e aplicadas acerca da ideia de eficiência como vetor do desenvolvimento rural, suas potencialidades e suas dificuldades reais. Já o Capítulo IV introduz a metodologia e outros aspectos técnicos que subsidiaram a construção dos modelos estatísticos de aferição do nível de eficiência técnica e seus condicionantes. Assim sendo, o Capítulo V, subsequente, expõe os resultados encontrados e as discussões e análises que se julgaram pertinentes. Por fim, a seção dedicada a sínteses e considerações finais encerra o trabalho.

CAPÍTULO I – A ECONOMIA DO LEITE NO BRASIL: DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO E ASPECTOS PRODUTIVOS

Este capítulo tem como intento reexaminar os principais eventos relacionados com a instalação da pecuária de leite no Brasil e suas características produtivas, técnicas e mercadológicas, como recurso para a compreensão do estágio presente da realidade produtiva do setor.

Para tal finalidade, foi empreendido um breve apanhado dos primórdios da atividade leiteira, passando pelo longo caminho de atrofia, até o despertar das últimas décadas do Século XVIII para, enfim, culminar na perspectiva do leite como elemento de política pública, já no Século XX. Em complemento, introduziu-se uma seção dedicada à descrição do processo produtivo da pecuária de leite, bem como os principais insumos de produção envolvidos.

1.1 Contextos preliminares

Recuperar, ainda que parcialmente, a trajetória histórica da produção de leite de vaca, nesse caso, sua origem e desenvolvimento recente no território brasileiro, equivale à tentativa de narrar um fragmento da saga extraordinária desse produto que, para além da já destacada importância antropológica, assegura, nos dias atuais, 1/7 das necessidades calóricas de 6 bilhões de pessoas, sendo esse um fato que faz dele o alimento mais consumido no mundo (Gerosa, Skoet, 2013; Lopes, 2023).

No entanto, ao menos para o quadro nacional, a universalização do consumo de leite de vaca não surgiu de forma autônoma, permanecendo, por séculos, deprimidas tanto as técnicas empregadas quanto a dimensão da oferta e da demanda pelo produto (Castro, 2010; Vilela *et al.*, 2017), até que intervenções públicas específicas impulsionassem o setor a partir da década de 1930, como apresentado adiante.

1.2 Da origem ao controle direto estatal

Pois bem, os primeiros espécimes bovinos a desembarcarem no Brasil foram trazidos por Ana Pimentel, esposa do navegador português Martim Afonso de Souza, no ano de 1532, e

foram assentados em São Vicente-SP, sendo esses de origem europeia distribuídos entre as raças Caracu e Holandesa e no quantitativo de 32 cabeças (Castro, 2010; Vilela, 2023; Vilela *et al.*, 2017).

Todavia, a introdução de gado europeu em solo brasileiro encontrou limitações para a sua expansão, considerando a inadaptação desses animais ao clima tropical, dado que animais de tal perfil genético não toleravam bem as patologias e o calor típicos de climas de média latitude (Vilela, 2023).

Aliado a esse fato, o panorama geral definido pelas prioridades da corte portuguesa, no sentido de implantar um modelo de exploração de produtos primários voltados para a exportação e a predominância de práticas culinárias indígenas que desconheciam, até então a existência de bovinos, determinou um conjunto de barreiras tecnológicas e culturais que limitaram o alcance da atividade pelos trezentos anos que se seguiram (Dias, 2006; Vilela, 2023).

Isso posto, essa realidade, segundo Dias (2006), começa a se alterar por ocasião da chegada da Família Real portuguesa em 1808, que trouxe consigo hábitos da gastronomia europeia, cuja base utilizava laticínios como manteiga, queijo e o próprio leite em alguns de seus preparos.

Outro fato destacado, ainda conforme o autor, foi a construção por Dom Pedro I, na década de 1810, de um laticínio caseiro, na Cidade do Rio de Janeiro, para a produção de queijo e manteiga. Entretanto, essas iniciativas tiveram caracteres mais pontuais e não foram capazes de estimular uma mudança significativa no padrão de produção e consumo de leite e seus derivados, pelo menos até a década de 1870.

A partir desse decênio, o declínio da economia cafeeira alterou o cenário político nacional e ensejou a modernização e diversificação da produção rural, fazendo com que outras atividades agrícolas pudessem se desenvolver e expandir. Assim, com a abolição da escravatura, em 1888, conformaram-se as bases para a disseminação geográfica do segmento, com registro de atividade pecuária do Sul ao Nordeste do país (Vilela *et al.*, 2017).

Ainda que pesem esses fatores incidentais de estímulo, a pecuária de leite brasileira não experimentou avanços significativos pelos cinquenta anos que se seguiram. Como dito, a contar de 1930, e com as ebulições políticas desse tempo, é que se pode dizer que a atividade leiteira recebeu atenção específica do setor público para que se viabilizasse sua consolidação.

Nesse sentido, a chegada de Getúlio Vargas ao poder central coincide com a consolidação de um movimento em favor da ampliação do consumo *per capita* do leite de vaca que se iniciara no mundo industrializado, com destaque para os Estados Unidos da América (EUA) (Brinkmann, 2014).

Ao final da Primeira Guerra Mundial (1914-1918), o leite de vaca foi declarado nos Estados Unidos como o mais importante dos “alimentos protetores” por sua rica composição proteica e de micronutrientes (vitaminas e sais minerais). Com isso, diante do cenário de privação e reconstrução do pós-guerra, a designação de um alimento com tamanha importância nutricional e de obtenção relativamente fácil atendia aos anseios sociais e políticos da época (Brinkmann, 2014).

Mais ainda, data desse mesmo período o surgimento de um imaginário eugenista que atribuía uma relação direta entre o consumo individual de leite e a condição material dos países. Isto é, as nações mais modernas e prósperas eram justamente aquelas que apresentavam um maior nível de ingestão individual de leite de vaca. Como desdobramento desse estado de coisas, surgiu, em 1915, nos EUA, o *National Dairy Council*, órgão de pesquisa e propaganda da indústria leiteira norte-americana, cuja atuação na difusão e incentivo ao consumo de leite repercutiu na Europa e propiciou a criação de entidades congêneres (Brinkmann, 2014).

Assim, formado o ambiente político e institucional de universalização do acesso ao leite pela população no mundo industrializado, a transferência desse aparato para o saber corrente da elite governante brasileira se deu por força da emergente influência política e cultural estadunidense na América Latina. Por essa razão, o recém-constituído governo pós-revolução de 1930 iniciou formalmente uma série de iniciativas que visavam internalizar o leite de vaca na rotina dietética e alimentar do cidadão brasileiro.

A saber, em 1931, foi instituída uma campanha publicitária na mídia impressa voltada para esse fim, exibindo em seu conteúdo como elemento mais representativo o lema “Beba mais leite!”. Ainda segundo Brinkmann (2014), a motivação para a ativa presença do Estado nessa seara, agindo quase como “promotor de vendas” do leite de vaca, pode ser imputada aos supracitados avanços na ciência da nutrição produzida no hemisfério norte, naquela época.

Além do mais, o autor sustenta que, mesmo que se pondere a influência da motivação estritamente acadêmica sobre a decisão do poder público de encampar a “causa do leite”, fato é que esse movimento atendeu ao anseio de livrar o povo brasileiro do estigma racialista que prevalecia até então e interpretava a nossa população como degenerada e indolente por força da

miscigenação étnica, praticamente condenando o Brasil ao atraso e ao subdesenvolvimento de maneira inescapável pelo determinismo genético.

Desse modo, transferia-se para a questão da baixa qualidade do padrão alimentar brasileiro a justificativa para a suposta inferioridade racial, restando apenas que o governo implementasse medidas de aprimoramento do perfil nutricional dos alimentos mais consumidos pelas massas populares para melhorar, entre outras coisas, sua vitalidade e disposição para o trabalho.

Nesse quesito, o leite cumpria a contento a finalidade de fornecer macro e micronutrientes essenciais ao pleno desenvolvimento de adultos e crianças, segundo os especialistas daquele período. Em termos práticos, o objetivo material da recém-criada política alimentar, que atribuía ao leite de vaca a distinção de único alimento “essencial e imprescindível”, seria elevar a ingestão média individual de leite dos estimados 130 mililitros para algo em torno do padrão das potências avançadas, que se situava entre 500 mililitros e 1 litro de leite por dia (Brinkmann, 2014).

Definidas as metas e os eixos de ação, as principais deficiências identificadas pelos formuladores daquela política pública para garantir uma adequada oferta de leite à população foram tanto o alto preço praticado pelos comerciantes quanto a qualidade geral do produto. Parte considerável da explicação para a constituição desse incômodo quadro residia nas técnicas empregadas para produção e conservação do produto, bem como na logística de transporte disponível na ocasião.

Dado que o principal meio de escoamento de mercadorias nas primeiras décadas do Século XX ainda era o modal ferroviário e o principal mercado consumidor era a capital federal, a insuficiência de produtores na região imediatamente próxima ao centro consumidor exigia a importação oriunda do Estado de Minas Gerais. Como a maioria das composições não dispunha de sistema de refrigeração, tampouco suas operadoras ofereciam rotas noturnas, era praticamente certo que a maior parte do leite transportado chegava ao seu destino sem condição de consumo. Ainda que esse não fosse o caso, as técnicas de esterilização microbiológica disponíveis eram rudimentares e conferiam ao leite processado sabor desagradável (Brinkmann, 2014).

A solução política encontrada, pois, moveu-se nas seguintes direções: i) pelo lado da produção - incentivar a entrada de novos produtores e mobilizá-los em forma de cooperativas; ii) pelo lado da distribuição e a comercialização - atribuir ao Estado a responsabilidade de

organizar pontos de beneficiamento e venda do produto, prezando pela padronização do atendimento e segurança sanitária do produto final.

Como decorrência, em julho de 1940, foi criada a Comissão Executiva do Leite (CEL), cujas atribuições cobriam justamente a operacionalização das linhas gerais de ação da nova política do leite do Estado Novo. Dentre as diversas atuações da CEL até meados da década de sua constituição, destacam-se: nacionalização de entrepostos leiteiros; fundação de 43 cooperativas distribuídas entre os Estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais; e construção de mais de 30 lojas para a comercialização preponderante de leite e derivados (Brinkmann, 2014).

No entanto, o acirramento do conflito da Segunda Guerra Mundial, que se desdobrava simultaneamente ao avanço das atividades da CEL, infligiu uma série de dificuldades técnicas, logísticas e financeiras que lançaram a iniciativa governamental no caminho da inviabilidade e seus resultados práticos ficaram seriamente comprometidos. Dessa forma, exauridas as possibilidades de intervenção direta na atividade, o eixo de estímulo governamental ao setor se deslocou para a lógica do controle de preços, matéria da seção subsequente.

1.3 Balanço da intervenção direta e a transição para o controle de preços

Findada a era de interação direta entre o setor público e o segmento produtivo da pecuária de leite com vistas à estruturação e uma primeira tentativa de dinamização da atividade, é lícito afirmar que o resultado líquido em termos de elevação do *quantum* disponível para a população em geral não foi relevante.

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, citados por Dias (2006), a produção nacional de leite de vaca parte, em 1930 – ano da inflexão de propósitos governamentais frente à questão da insuficiência de oferta de leite para o mercado –, de um nível próximo a 2.074 milhões de litros para 2.430 milhões de litros em 1938⁸. Isto é, houve um crescimento experimentado da ordem de 21,5%.

Se considerado que, no mesmo período, a população brasileira estava situada em 35.522 mil habitantes (1930), chegando a 45.714 mil pessoas em 1945 (IPEA, 2023), tem-se um crescimento populacional algo em torno de 28,7%. Assim, fica sugerido que a primeira etapa conhecida de apoio ao setor pecuário leiteiro não foi capaz de lograr êxito em sua meta mais

⁸ Última informação estatística disponível, considerando o período de intervenção direta, que vai até 1945. Após o ano de 1938, o levantamento reinicia já em 1949, muito provavelmente, em função dos impactos da guerra.

fundamental de elevação do consumo por indivíduo, uma vez que a população variou positivamente a uma taxa superior ao aumento da quantidade produzida de leite de vaca no interstício destacado.

Contudo, não se podem descartar prováveis méritos mais difusos e de quantificação incerta que exerceram influência sobre a transição da pecuária de leite para uma produção tecnicamente mais qualificada, fazendo com que uma atividade, até então, direcionada à subsistência migrasse paulatinamente para um setor dinâmico e voltado para as regras de um mercado organizado.

À vista disso, cabe avançar a análise para o movimento governamental subsequente que, em ato contínuo, consistiu na introdução de uma série de dispositivos voltados para o tabelamento de preços de laticínios com o propósito de, a princípio, apoiar a produção de leite consumido na Capital Federal daquele tempo (Meireles, 1996).

Com essa movimentação, o governo central abandonou a concepção de suporte direto ao segmento de laticínio, apoio esse de relevante repercussão fiscal e de gastos públicos, para uma abordagem mais regulamentar, de menor ou nenhum impacto, do ponto de vista das finanças públicas, ainda que oficialmente as razões alegadas tenham sido a proteção às granjas leiteiras e o estímulo à formação de novas fontes de produção (ver Resolução nº 102/1945 do Serviço de Abastecimento da Coordenação da Mobilização Econômica).

Para tanto, a peça normativa fundamental dessa segunda fase de tutela estatal sobre o mercado leiteiro veio a ser a aludida Resolução nº 102, de 20 de março de 1945. Esse dispositivo introduziu, a contar do dia 1º de abril do mesmo ano, preços mínimos que deveriam ser praticados na compra do litro de leite produzido. Além do mais, cinco foram os patamares de preços definidos, cada um dependendo da transação envolvida, sendo os mesmos: i) o valor pago pelas usinas aos produtores; ii) o preço pago pela CEL às usinas; ou, iii) no caso da venda final pelas leiterias, prevaleciam preços diferentes de balcão, entrega a domicílio ou servido nas mesas.

Mais tarde, em 1951, um comitê específico de monitoramento de preços e abastecimento, denominado Comissão Federal de Abastecimento e Preços (COFAP), passou a operar como alçada de definição dos preços do leite. Um ano mais tarde, foi criado o Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal que ampliou o leque de tabelamento por introduzir 3 categorias distintas de produção e venda de leite, a

depender de suas características higiênicas e sanitárias, isto é, o regulamento estabelecia critérios para enquadramento do leite nos chamados tipos A, B e C (ver nota de rodapé nº 3).

Por se tratar da categoria de consumo das camadas mais populares da sociedade, a ingerência pública efetiva recaiu sobre o leite tipo C. Para tanto, a COFAP realizava reuniões regulares para definir valores a serem pagos pelo preço final do produto em todas as capitais da Região Sudeste, obedecendo a natureza da transação envolvida nos moldes da Resolução nº 102. Então, uma vez conhecidos esses valores, os mesmos eram tornados conhecidos mediante portaria publicada na imprensa oficial e em jornais de grande circulação. Posteriormente, os demais estados e municípios fixavam seus níveis de preço por intermédio de órgãos auxiliares, nomeados Comissões de Abastecimento e Preços (COAP) e Comissões Municipais de Abastecimento e Preços (COMAP), respectivamente (COFAP [...], 1962).

Com a extinção da COFAP e sua substituição pela Superintendência Nacional de Abastecimento (Sunab), criada em 1962, e posteriormente integrada ao Conselho Interministerial de Preços (CIP), estabelecido em 1968, a cadeia produtiva do leite passou a ser amplamente controlada, com incidência alcançando desde o leite *in natura* até sobremesas lácteas e queijos por ocasião do preço pago ao produtor (Meireles, 1996).

Esse longo ciclo de intervenção do Estado nos preços do leite e produtos lácteos perdurou até o ano de 1990 e entregou como resultado concreto um ordenamento ambíguo e que gerou, de acordo com Meireles (1996), desigualdade de condições na captação do leite pela indústria, atingindo, dessa maneira, a lucratividade e a capacidade de inversão de capital dos laticínios sem, contudo, equacionar as dificuldades enfrentadas pelos produtores diante de suas voláteis e desafiadoras estruturas de custos de produção.

Assim, levando em conta todo o quadro de crise aguda que atingiu o Brasil na década de 1980, aliado ao diagnóstico mais amplo de atraso tecnológico de grande parte dos setores produtivos, bem como um indesejável arranjo de indexação generalizada de preços, o Governo Federal decidiu abandonar o tabelamento do preço do leite e seus derivados por meio da Portaria nº 43 de 13 de julho de 1990 da Sunab, ficando a definição do preço do leite e derivados lácteos submetida às negociações estabelecidas entre produtores e indústria (Gomes, 1990).

Ou seja, daquele momento até os dias atuais, tem prevalecido a determinação livre dos valores praticados no setor de leite e derivados, ainda que existam algumas poucas iniciativas privadas de constituir agremiações com o objetivo de estimar balizas para os custos

regionalizados de produção com a finalidade de sinalizar aos agentes do mercado a remuneração mínima (preço de referência) capaz de cobrir os custos de produção.

São exemplos disso o Conselho Paritário Produtores/Indústrias de Leite do Estado de Minas Gerais – CONSELEITE-MINAS e seus congêneres do Paraná e Rio Grande do Sul (CONSELEITE-PR e CONSELEITE-RS, respectivamente), não tendo, de maneira alguma, os valores definidos por essas entidades qualquer caráter compulsório pelas partes interessadas.

1.4 A produção leiteira no cenário do Complexo Agroindustrial (CAI) do leite em Minas Gerais: relacionando desregulamentação do mercado, abertura comercial e o desenvolvimento tecnológico

O processo de liberalização do setor lácteo da década de 1990 se desenrolou em associação com a redução das alíquotas de importação do leite e seus derivados e impôs profundas transformações e desafios ao CAI⁹ do leite no Brasil (Bankuti; Souza Filho, 2006). Com o fim das políticas de preços mínimos, a abertura comercial generalizada, a formação do MERCOSUL (1991) e a implementação do Plano Real (1994), o setor passou a se integrar ao mercado global, exigindo maior comportamento competitivo por parte dos atores do complexo, inclusive sob indícios de concorrência contra preços internacionais artificialmente baixos (*dumping*) (Santos; Barros, 2006).

Segundo Cruz e Bacha (2015), a solução encontrada pelos produtores para permanecerem no mercado foi investir em tecnologias para aumentar a quantidade produzida e aprimorar a qualidade do produto, naquilo que pode ser traduzido como uma modificação progressiva da base técnica da produção, por meio do uso de processos e equipamentos modernos, o que, em termos sucintos, significou a modernização do setor leiteiro.

Contudo, a transição de sistemas produtivos lastreados na aplicação de técnicas tradicionais em direção à adoção de tecnologias cada vez mais sofisticadas parece não ter alcançado a majoritária parte da base de produtores nacionais, redundando em um setor de

⁹ Conforme Palencia (2016), o termo Complexo Agroindustrial se refere às atividades agrícolas e industriais interligadas via divisão do trabalho e trocas intersetoriais, conformando uma nova alocação de recursos para o setor agropecuário. No caso do leite, os principais elos desta cadeia, ainda segundo a autora, são: a indústria de insumos (ração, vacina, agroquímicos, implementos, equipamentos, máquinas, etc.), as atividades de produção agropecuária, a logística de captação, a indústria de transformação e beneficiamento, a distribuição, os varejistas e, na ponta, os consumidores.

estrutura produtiva heterogênea, tecnicamente concentrada e desfavorável ao pequeno produtor (Silva, Tsukamoto, 2011; Andrade *et al.* 2023), especialmente o produtor familiar.

No caso de Minas Gerais, não existem razões para acreditar que o desenvolvimento da cadeia produtiva do leite¹⁰ e seus componentes não tenha sofrido transformações semelhantes. Com isso, o estágio atual de sua estrutura apresenta concentração espacial da produção (Perobelli; Araújo; Castro, 2018) e da disponibilidade tecnológica (Simões; Reis; Avelar), assimetrias e poder de mercado (Scalco, 2011) e uma elevada complexidade em seus macrosssegmentos (Bassotto *et al.*, 2023).

Sobre este último ponto, Bassotto *et al.* (2023) caracterizaram a cadeia produtiva do leite nos seguintes componentes: (i) Pré-produção, compreendendo as organizações de capacitação, pesquisa e extensão rural e os insumos, que correspondem às máquinas e equipamentos usuais da atividade (tanque de resfriamento, ordenhadeira, etc.); (ii) Produção e Organização, constituído pelas propriedades leiteiras e entidades coletivas (associações e cooperativas); (iii) Processamento, abarcando empresas de transformação e beneficiamento do leite; e (iv) Comercialização, responsável pelas vendas a atacado e varejo mercado consumidor.

Esta estrutura, segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) (Embrapa Gado de Leite, 2024a; Embrapa Gado de Leite, 2024b), é responsável, por exemplo, por abrigar, na atualidade, mais de 130 mil produtores que comercializam leite (21,2% do total nacional), obtendo um quantitativo próximo a 9.000 milhões de litros de leite cru (líder nacional) a partir de um rebanho aproximado de 3.000 mil cabeças.

Deste modo, dada a recorrência do tema e a importância do conhecimento básico daquilo que significa a tecnologia elementar do segmento, a partir deste ponto, passa-se ao exame de alguns aspectos produtivos gerais da pecuária de leite, destacando suas principais definições, seus insumos e processos tecnológicos correntes utilizados na obtenção dessa matéria-prima indispensável ao CAI do leite.

¹⁰ A literatura acadêmica, com relação aos níveis de análise da organização do agronegócio, comporta três definições consagradas: Sistema Agroindustrial (SAI), quando não há associação com nenhuma matéria-prima ou produto final agropecuário; o próprio CAI, quando o ponto de partida é um determinado produto básico; e, finalmente, Cadeia de Produção Agroindustrial (CPA), definida a partir de um dado produto final. Com isso, o termo correto a ser empregado quando da análise de mercado de leite e seus derivados, deveria ser cadeia produtiva *de lácteos*, todavia, preservou-se o termo utilizado no trabalho de referência consultado (Bassotto *et al.*, 2023) por motivos éticos. Embora tratem do mesmo problema, tais expressões dizem respeito a espaços de análise distintos e atendem a propósitos variados (Ceará, 2018). Ainda assim, entende-se que o uso intercambiado aqui não prejudica o rigor científico e atende ao propósito de contextualizar e posicionar a produção de leite na estrutura de seu respectivo mercado.

1.5 Tecnologia do processo produtivo do leite

Produzir leite de vaca corresponde a um processo que passa ao largo do trivial. O conjunto de insumos (*inputs*) necessários para a obtenção do produto-alvo (*output*) leite, bem como a sua combinação ótima – aquela capaz de não desperdiçar recursos – exige, por parte do produtor rural, uma ampla gama de conhecimentos zootécnicos, econômicos e gerenciais. Dessa forma, expõe-se, nesta seção, uma discussão superficial acerca dos principais elementos a serem considerados quando o pecuarista decide qual tecnologia de produção adotar em seu empreendimento.

Em termos não rigorosos, o conjunto mínimo de procedimentos a se levar em conta na atividade leiteira, com vistas à obtenção de leite próprio para comercialização, consiste na seleção e manutenção de rebanho bovino – na sua maioria de fêmeas – seguidas da regular ordenha de vacas paridas (em lactação).

Atualmente, diversas ações de rotina são requeridas para um adequado desempenho operacional, sendo as principais: i) cultivo ou aquisição de alimentos, podendo ser plantio de pastagens, compra de ração e sal mineral, dentre outros; ii) vacinação, identificação e tratamento de enfermidades do rebanho; iii) manejo da reprodução do rebanho por monta natural, inseminação artificial ou transferência de embriões; iv) criação de bezerras; v) ordenha diária das vacas (em geral, 2 vezes por dia), conservação adequada do leite até efetiva captação para transformação ou beneficiamento, comumente, em tanques de resfriamento; e iv) correta higienização da estrutura dedicada à ordenha para prevenir contaminações e permitir a realização de um novo ciclo de produção.

Para além dessas, outras tarefas de cunho gerencial se agregam às operações descritas, tais como: gestão do rebanho (decisão sobre a correta proporção entre vacas lactantes e os demais semoventes, descarte de animais, distribuição do plantel nas pastagens e outros), organização de documentação contábil, controle do fluxo financeiro e de caixa, recolhimento de tributos e demais incumbências.

Com isso em mente, parte-se para a discriminação da infraestrutura elementar para seu funcionamento e demais bens de produção responsáveis pelos custos fixos da atividade. Em seguida, tratar-se-ão os aspectos gerais daqueles insumos consumidos em acordo com o volume da produção, isto é, os principais integrantes dos custos variáveis que são relevantes para o processo produtivo.

1.5.1 Rebanho

Seguramente, o insumo primordial da atividade leiteira vem a ser o plantel de animais. Por outro lado, escapa da compreensão pública não especializada a importância de algumas características genéticas que são capazes de determinar o desempenho de todo o sistema de produção.

Dessa forma, diante das cerca de 65 raças bovinas com dupla aptidão (potencial comercial para fornecer leite e carne) existentes no país (Dias, 2006), também subsiste considerável variabilidade de características em termos de produtividade, resistência física às condições ambientais (clima e doenças contagiosas, principalmente) e composição nutricional do leite (carboidratos, proteínas, gordura, dentre outros) a cada uma delas, ficando a cargo do produtor decidir qual o melhor perfil de linhagem que atenda ao seu propósito.

Quanto à origem, as principais raças com vocação leiteira (pouco mais de 15 das 65 citadas) disponíveis no Brasil remetem à Europa (tronco *bos taurus*) e à Índia (tronco *bos indicus*). Nesse sentido, as linhagens europeias são reconhecidas pela alta produtividade e reduzida resistência (rusticidade) a variações térmicas e parasitas. Nesse grupo, estão incluídas as raças Holandesa, Guernsey, Jersey e Pardo-Suíço. Na classe indiana, cujas características mais proeminentes são a elevada resistência física, porém, reduzida produtividade leiteira, observam-se variedades como Gir, Guzerá e Sindi.

Além dessas, raças brasileiras híbridas (tauríndicas) desenvolvidas para atender as necessidades específicas da pecuária nacional são igualmente funcionais, apresentando-se como alternativas às demais raças elencadas ao buscar, essencialmente, animais que apresentem resistência e produtividade sob condições de clima tropical. São os mais importantes representantes desse grupo o gado Girolando e, no passado, o Pitangueiras (Dias, 2006)

Segundo o *United States Department of Agriculture* (USDA, 2023), o Brasil dispõe do terceiro maior rebanho leiteiro do mundo, com um total em torno de 17 milhões de cabeças ordenhadas, ultrapassado apenas pela Índia – primeira colocação – e União Europeia (UE), na sequência.

Desse total, somente 5% correspondem a gado de puro sangue europeu ou indiano, sendo o restante composto pelos mais variados graus de miscigenação (Dias, 2006). Assim, a decisão que se coloca ao produtor sobre qual rebanho formar para obter a quantidade e a qualidade do leite desejado deve ser ponderada, levando em consideração cada atributo de cada

raça específica e tomando por consideração as condições climáticas regionais, os equipamentos e os recursos à disposição.

1.5.2 Infraestrutura/instalações e outros capitais fixos

A infraestrutura básica para a correta operação de um sistema de produção de leite deve levar em conta a racionalização dos principais processos de manejo, quais sejam: a alimentação e a ordenha dos animais (Araújo Neto *et al.*, 2002). Para tanto, procede-se à edificação de instalações destinadas ao cumprimento dessas etapas. Podendo variar em graus de adoção pelo produtor, conforme a disponibilidade e o planejamento do sistema de produção, alguns desses componentes são [adaptado de Araújo Neto *et al.* (2002)]:

- Centro de manejo: estrutura destinada à ordenha e alimentação de vacas;
- Curral: instalação reservada para a suplementação alimentar dos animais;
- Sala de ordenha: ambiente projetado para uma coleta mais higiênica e conveniente do leite;
- Brete: semelhante a uma jaula, tem a finalidade de direcionar os bovinos ao tronco de contenção ou viabilizar alguns procedimentos veterinários;
- Tronco de contenção: dispositivo utilizado para conter e facilitar atividades como vacinação, marcação e ações de reprodução;
- Embarcadouro: local designado para o carregamento e descarregamento seguro dos animais;
- Bezerreiro: construção de ferro ou madeira dispostos em piquetes de pastagem para uma retenção e alimentação adequadas dos bezerros.

Adicionalmente, dois tipos de máquinas e equipamentos de uso bastante difundido e, na prática, altamente recomendáveis, complementam o ativo imobilizado de uma propriedade leiteira típica e servem para agregar qualidade e produtividade ao circuito de ordenha e conservação do leite até a efetiva captação.

Em primeiro lugar, destaca-se o sistema de ordenha mecânica, detentora de duas versões, sendo cada uma delas apropriada para determinado planejamento e condição aquisitiva do produtor, quais sejam: ordenha mecânica por “Sistema Canalizado” e “Sistema Balde ao Pé” (Lopes; Campos; Romeu, 2006).

Como os nomes sugerem, a ordenha canalizada, mais custosa, automatiza a coleta do leite e o conduz ao recipiente de armazenamento por meio de cânulas, eliminando a etapa de condução manual do leite e evitando a exposição do produto aos agentes contaminantes presentes no ar, quando o mesmo é recolhido diretamente em balde de ordenha próximo ao animal (Lopes; Campos; Romeu, 2006), que é o caso do segundo sistema referido. Por esses motivos, o sistema canalizado tem por vocação atender sistemas com escala de produção mais elevada enquanto o sistema de balde atende propriedades com média produtiva menos considerável.

Afinal, sublinha-se a utilidade do tanque de resfriamento de leite, também denominado tanque de expansão, cuja atribuição é receber o leite canalizado pelo sistema de ordenha mecânica ou, meramente, a trasfega manual da ordenha não canalizada. Uma vez acondicionado e resfriado, reduz-se a proliferação de bactérias no leite, permitindo, desse forma, evitar a deterioração do produto e sua completa inutilização comercial.

1.5.3 Insumos variáveis

Avançando sobre os aspectos gerais do processo produtivo da pecuária de leite, resta examinar, neste último tópico do capítulo, os principais materiais de consumo corrente que, via de regra, variam a intensidade do uso conforme se altera o volume de produção, ou melhor, quanto maior é o rebanho leiteiro com vistas a um aumento da produção, maior tenderá a ser a utilização desses suprimentos, daí a terminologia insumos variáveis. Seguindo Lopes, Campos e Romeu (2006), tais matérias-primas podem ser assim agrupadas:

- **Produtos veterinários:** dizem respeito a artigos relacionados à saúde e ao bem-estar do rebanho, tanto em caráter preventivo quanto curativo. Nessa classe, abrigam-se os medicamentos e outros artigos de sanidade animal, destacando-se os remédios biológicos, os antibióticos, os vermífugos e os dermatológicos;
- **Melhoramento genético:** é todo e qualquer gênero relacionado à prática de inseminação artificial para aprimoramento do rebanho com o objetivo fundamental de qualificar o plantel para elevação da produtividade e/ou da resistência física (Verneque *et al.*, 2016). Os principais itens desse grupo são o sêmen, o botijão de nitrogênio e a palheta de procedimento.
- **Alimentação:** é categoria de fecho e também a mais representativa em termos de proporção no uso total de insumos. O grupo de itens de alimentação alcança um amplo espectro

de provimentos e gêneros diversos destinados à correta nutrição dos animais com impactos diretos na produtividade e higidez bovina (Machado *et al.*, 2011). Além dos itens mais evidentes como ração, silagem e sal mineral, igualmente estão englobados gêneros agrícolas como sementes e fertilizantes para a formação de pastagens.

Sendo essa a ideia geral dos aspectos produtivos da pecuária de leite¹¹, uma questão potencialmente interessante que pode surgir, e de fato surge, a respeito de qualquer processo de produção vem a ser a existência de um método capaz de identificar a melhor forma de combinar insumos para a obtenção da maior quantidade possível de produto.

Assim, o capítulo seguinte busca qualificar essa discussão no sentido de definir a forma como esses insumos e equipamentos podem ser combinados de forma dita tecnicamente eficiente para a obtenção mais favorável do produto leite, empreendendo uma recuperação semântica do conceito de eficiência e a forma como é formalizado no domínio das Ciências Econômicas. Além disso, apresenta a revisão de literatura dos trabalhos mais relevantes que tratam da temática da eficiência econômica aplicada ao caso específico da pecuária de leite.

¹¹ Em síntese, admite-se que sempre haverá a utilização de outros equipamentos e materiais de consumo, com maior ou menor nível de sofisticação tecnológica, que podem ser adotados no processo produtivo do leite, ou conforme a necessidade específica. Contudo, é prática corrente na literatura que, ao construir o fato estilizado de representação dos aspectos mais importantes da atividade leiteira, reportar os itens abordados cumpre o intento. Com isso, preserva-se a simplicidade expositiva necessária para descrever a tecnologia mínima exigida para operar um sistema de produção de leite viável (*vide* obras citadas).

CAPÍTULO II – DO CONCEITO UNIVERSAL DE EFICIÊNCIA À SUA APLICAÇÃO NO DOMÍNIO DA ECONOMIA

Até este ponto, o vocábulo “eficiência” foi empregado, presumindo-se a acepção ampla do termo. Por “ampla”, pretende-se dizer o sentido não rigoroso, técnico ou teoricamente fundamentado em qualquer ramo do conhecimento. Em virtude desse fato, é proposta do presente capítulo percorrer o caminho conceitual da palavra, partindo de sua definição semântica original até a formalização técnico-teórica que dá suporte ao estudo da eficiência como objeto específico da análise econômica. Da mesma forma, pretende-se apresentar o respectivo estado da arte do tema mais específico que interessa a este trabalho, a saber, a eficiência técnica da produção de leite.

2.1 A definição geral de eficiência

De acordo com a definição etimológica, o substantivo “eficiência” tem origem na expressão latina *efficientia* e esta, por sua vez, está relacionada com o verbo *efficere*, cujo significado pode ser entendido como "cumprir, fazer ou atender". Sendo assim, o sentido primitivo de eficiência está vinculado a algo como a capacidade trivial de cumprir uma tarefa. Para maior esclarecimento, eis algumas definições lexicográficas possíveis:

- 1 Capacidade de produzir um efeito; efetividade, força.
- 2 Capacidade de realizar bem um trabalho ou desempenhar adequadamente uma função; aptidão, capacidade, competência.
- 3 Qualidade do que é passível de aplicação vantajosa; proveito, serventia, utilidade: *Não concordo com a eficiência de leis tão antigas.*
- 4 Atributo ou condição do que é produtivo; desempenho, produtividade, rendimento: *Nada se compara à eficiência dessas máquinas importadas.* (Eficiência, 2015).

Contudo, com o desenvolvimento científico de modo geral, o conceito de eficiência assumiu um sentido mais estreito, passando a significar a relação entre a própria competência para produzir um efeito desejado e a utilização de recursos para tal, ficando para a sua congênere “eficácia” o significado mais aberto de apenas produzir um efeito em si (Gico Júnior, 2020).

Dessa perspectiva, o conceito de eficiência passa a assumir um estado desejável de coisas no sentido de vir a ser “a capacidade de produzir um efeito ao menor uso de recursos

possível para este fim”. Com essas características, a utilidade prática da ideia de eficiência encontrou campo fértil de aplicação em diversos ramos do saber, podendo alguns exemplos serem especificados, como será visto adiante.

Na Física, por exemplo, a eficiência mecânica representa o volume de trabalho ou energia preservados em um dado processo. Como em diversos fenômenos físicos, existe a perda desses elementos na forma de vibração, calor, fricção, dentre outros, correspondendo a eficiência à proporção dada entre o trabalho produzido e a energia aplicada para tanto. Com isso, uma máquina ideal seria aquela que realizasse determinado trabalho sem nenhuma perda (Çengel; Cimbala, 2015).

Em outra aplicabilidade, agora na área biológica, tem-se, *e.g.*, a eficiência ecológica. Nessa, subjaz a noção de transferência de energia entre os seres vivos presentes em uma cadeia alimentar específica. Dessa forma, a eficiência ecológica resulta da medida da razão percentual de energia efetivamente convertida por um determinado nível trófico a outro dentro da teia alimentar considerada (Mönkkönen; Yliserniö; Hämäläinen, 2009)

Na esfera da Ciência da Computação, mais especificamente, no ramo da Inteligência Artificial (IA), algoritmos de aprendizado de máquina (*machine learning*) podem ser avaliados por sua eficiência de aprendizagem, o que significa a habilidade de aprender, generalizar e adaptar dados e informações rapidamente a partir de poucos exemplos, segundo Cisneros, Mikolov e Sivic (2022).

Conforme os autores, dentre as formas de medir tal capacidade, destaca-se a métrica denominada *Weighted Average Data Efficiency* (WADE), que se baseia no tempo necessário para atingir vários pontos de verificação (*checkpoints*) de precisão do algoritmo. Portanto, ainda que diverjam em aspectos particulares, as aplicações científicas do conceito de eficiência envolvem, via de regra, a concepção do uso ótimo de determinados recursos (insumos) para alcançar um planejado efeito (produto).

Já no domínio das Ciências Humanas, é na Economia, mais do que em qualquer outra de suas ramificações, que a definição de eficiência assume forma mais clara e objetiva (Gico Júnior, 2020) e, por se tratar do conceito central desta tese, os dois tópicos seguintes se ocupam detidamente da revisão teórica e bibliográfica da eficiência econômica, partindo de sua abstração pura e culminando com a apresentação da mais recente literatura aplicada que trata do tema da eficiência econômica da produção leiteira, tanto nacional quanto internacionalmente.

2.2 Da eficiência econômica à eficiência econômica da produção

A centralidade do conceito de eficiência para as Ciências Econômicas pode ser exemplificada pela outorga do Prêmio do Banco da Suécia para as Ciências Econômicas em Memória de Alfred Nobel – popularmente conhecido como Prêmio Nobel de Economia e, provavelmente, a mais prestigiosa deferência da profissão – a ao menos quatro trabalhos cujos fenômenos investigados envolviam expressamente alguma forma de alocação eficiente de recursos, sendo esses conduzidos pelos economistas Leonid Kantorovich e Tjalling Koopmans (prêmio de 1975); James Buchanan (prêmio de 1986); Maurice Allais (prêmio de 1988); e Ronald Coase (prêmio de 1991) (Lindbeck, 2001; Zerbe Júnior, 2001).

Na realidade, desde a sua fundação – cuja convenção mais aceita aponta para o Século XVIII –, a teoria econômica ortodoxa tem se ocupado essencialmente da modelagem do comportamento dos agentes econômicos, pressupondo alguma forma de atuação eficiente. Nessa abordagem, entende-se que tais agentes operam em bases estritamente racionais, o que leva compradores e produtores a perseguirem a otimização de uma dada função com o objetivo de maximizar a utilidade dos bens consumidos, no caso dos primeiros, e o lucro auferido, para os últimos (Beckhert, 2009).

Assim, é da interação entre unidades econômicas descentralizadas – empresas e consumidores –, na busca por seus interesses individuais, que a ortodoxia econômica postula que surgiria a condição definitiva e que todo sistema econômico real tenderia a gravitar em torno (na ausência de constrangimentos para tanto), sendo esse o equilíbrio eficiente dos mercados ou equilíbrio geral, espécie de estado estacionário no qual a alocação dos bens econômicos se torna a melhor possível para os atores envolvidos (Beckhert, 2009).

Derivada dessas conclusões, a economia do bem-estar, especialidade que se encarrega do estudo da eficiência alocativa dos recursos econômicos disponíveis e a consequente distribuição de renda associada a ela, configura um campo no qual é conferida materialidade à eficiência econômica. Por meio de princípios já consagrados para medir a eficiência econômica de forma objetiva, o mais célebre e difundido dentre todos é o critério de eficiência de Pareto ou ótimo de Pareto.

Introduzido pelo sociólogo e economista italiano Vilfredo Pareto (1896), a ideia de eficiência de Pareto declara que, grosso modo, existe um estado tal no sistema econômico no qual é impossível realocar recursos para elevar o bem-estar de um indivíduo sem

necessariamente piorar a situação de outro. Assim sendo, em todas as ocasiões em que seja possível uma mudança na distribuição de recursos que melhore a dotação de um agente sem fazer com que outro seja negativamente afetado, pondera-se que essa mudança é uma melhoria no sentido de Pareto (Zerbe Júnior, 2001).

Ainda que sujeito a críticas e ponderações, o critério de eficiência de Pareto encontra aplicações até mesmo fora do campo econômico, como na engenharia (Wang *et al.*, 2020) e na computação (Ojstersek; Brezocnik; Buchmeister, 2020).

Décadas mais tarde, os economistas Nicholas Kaldor (1939) e John Hicks (1939) propuseram uma interpretação do princípio de eficiência de Pareto com premissas menos restritivas e, portanto, aplicável em maior número de circunstâncias.

Para esses estudiosos, ganhos de eficiência do bem-estar podem ser assim considerados sempre que aqueles indivíduos que ficam em melhor situação por força de redistribuição de recursos puderem compensar agentes que sentem piora em seu quadro, resultando, dessa forma, em uma melhoria de Pareto. Na literatura, eventos dessa natureza recebem o nome de eficiência de Kaldor-Hicks.

Agora, movendo o foco da análise da economia do bem-estar – cujo ponto principal é a satisfação (utilidade) coletiva atingida em acordo com uma dada distribuição individual de recursos, oportunidade em que se examinou a ideia de eficiência vinculada à demanda dos consumidores – para a economia da produção, faz-se o trajeto necessário para apresentar o conceito de eficiência sob a ótica da oferta, arcabouço que permeia todo o desenvolvimento desta pesquisa a partir deste ponto.

Os trabalhos canônicos que versam sobre a caracterização da relação entre economia da produção e eficiência econômica são atribuídos a Debreu (1951, 1954) e a Dasgupta e Heal (1979) (Meireles, 2023). A contar deles, a discussão formal sobre a importância de se medir, comparar e aprimorar a eficiência de produtores avançou consideravelmente em termos de substância científica para essas finalidades.

Assim, é prática disseminada na literatura da economia da produção estabelecer a eficiência de processos produtivos como sendo condição necessária para obtenção de ganhos operacionais, seja por meio da minimização de custos no uso de insumos, seja na maximização da produção ou do lucro obtido, a depender da função a ser otimizada (custos ou produção) e no contexto de um mercado competitivo (Cummins, Weiss, 2013; Rebelo, Matias, Carrasco, 2013).

Nesse diapasão, o caminho para a correta persecução desse propósito passa pelo exame do processo de produção pela via de um conjunto de conceitos e indicadores relacionados entre si e que integram o vocabulário técnico da economia da produção naquilo que tange o objeto de otimização de processos produtivos e resultados operacionais.

Porém, Tangen (2005) adverte que regimes de otimização produtiva são frequentemente construídos sem que se saiba exatamente o que está sendo medido, portanto, otimizado. Esse fato, por si, justifica o esclarecimento prévio dos principais conceitos envolvidos no processo. Desse modo, é esperado que um fenômeno resulte em outro, isto é, que o aumento da eficiência tenha por consequência ganhos operacionais, tornando-se necessário que os indicadores que caracterizam essa dinâmica sejam corretamente definidos sob pena de perda da oportunidade de compreender e, então, racionalizar o uso de recursos essenciais para a melhoria da competitividade e da sustentabilidade econômica de qualquer atividade produtiva.

Portanto, para o caso de pesquisas cuja intenção venha a ser o conhecimento exato de indicadores que reflitam a excelência – ou falta dela – de processos produtivos, é necessária essa delimitação de suas representações, tanto para o valor científico da análise, quanto para a efetividade daquilo que se pretende aferir a fim de evitar que qualquer tentativa de aprimoramento da produção possa ficar comprometida (Tangen, 2005).

Posto isso, consideram-se quatro os conceitos fundamentais que merecem uma síntese mais detida, pois, ainda que inter-relacionados, descrevem eventos distintos e seus usos práticos não são equivalentes ou intercambiáveis. Em resumo, tais termos são: lucratividade, desempenho (*performance*), produtividade e eficiência econômica da produção, tendo sido a maioria deles já mencionados neste trabalho, embora não tenham sido tratados formalmente.

2.2.1 Lucratividade

Em economias de mercado, o comportamento esperado de produtores é geralmente no sentido de maximização do lucro da atividade. A justificativa para essa afirmação sugere ser essa condição necessária para o crescimento e sustentabilidade econômica de qualquer negócio privado. Expresso, de forma geral, como sendo o resultado da receita total deduzida do custo total, a ideia de lucro, nessa especificação, retorna um valor absoluto que pouco informa sobre a adequação do mesmo aos esforços mobilizados no processo produtivo.

Para transmitir informações mais relevantes, portanto, recorre-se à expressão do lucro operacional como proporção, por exemplo, do patrimônio (ativo) líquido da empresa (Tangen, 2005), dando origem ao princípio da lucratividade. Traduzida de forma percentual, a lucratividade sintetiza, por meio dessa taxa, o retorno financeiro obtido com a inversão dos recursos produtivos.

Embora a lucratividade possa ser entendida como uma medida da eficiência operacional de uma empresa, a relação nem sempre se dá de forma direta, haja vista, por exemplo, a influência do aumento exógeno de preços de insumos, ainda que elevações de eficiência possam levar à realização de maiores lucratividades no longo prazo (Tangen, 2002). Logo, compreender os condicionantes da lucratividade é fundamental para medir com acurácia o desempenho empresarial (Hada; Mihalcea, 2020), indicador que será descrito na sequência.

2.2.2 Desempenho (*performance*)

O desempenho empresarial, ou *performance*, corresponde, em regra, à agregação de critérios de qualidade operacional ao conceito mais restrito de produtividade. Como será exposto a seguir, enquanto a produtividade é vista como uma medida específica que se concentra na relação entre produção e insumos, o desempenho é um conceito mais amplo que abrange aspectos econômicos e produtivos diversos (Tangen, 2005).

Em face disso, indicadores de desempenho incluem uma variedade de objetivos, como gestão de custo, flexibilidade de adaptação, velocidade de produção, confiabilidade e qualidade de produtos e processos. Todavia, ao passo que alguns trabalhos consideram os objetivos de qualidade como parte integrante da produtividade (Günter; Gopp, 2022, por exemplo), outros argumentam que melhorias na qualidade não devem ser contabilizadas como aumentos na produtividade, a menos que diretamente resultem em aumento da produção sem aumento proporcional de insumos.

Ao abordar a distinção entre qualidade e produtividade, oferece-se uma perspectiva mais clara sobre como esses conceitos são percebidos e aplicados no contexto da economia da produção. A admissão das diferenças semânticas entre desempenho e produtividade permite que se atribua a esta o caráter eminentemente de processo físico e quantificável, logo, passível de análise sistemática.

2.2.3 Produtividade

Foco maior desta investigação, Tangen (2005) nos esclarece que a ideia de produtividade surge na literatura econômica ainda em meados do Século XVIII, na obra do fisiocrata Quesnay (1766, apud Tangen, 2005). De lá para cá, o conceito se tornou uma das mais importantes variáveis que governam os estudos sobre atividades econômicas de produção. Ao longo desse tempo, o termo assumiu múltiplas interpretações, sendo elas tanto de caráter verbal quanto matemático.

Em matéria da descrição verbal nos seus primórdios, pode-se citar Littré (1882), para quem a produtividade significava tão somente a capacidade de produzir. Mais atualmente, Moseng e Rolstadås (2001) assumem ser a produtividade a habilidade de satisfazer as necessidades do mercado por bens e serviços com o mínimo consumo de recursos para tanto.

Sendo tal indicador essencial para estudos de eficiência, esses e outros autores que enunciaram a produtividade em sentenças subjetivas o fizeram de forma pouco rigorosa e, por essa razão, as mesmas são pouco servíveis a investigações objetivas.

Por outro prisma, abordagens em linguagem matemática para determinar a produtividade como grandeza observável gravitam em torno da noção comum de representação da razão dada entre o produto (isto é, os bens produzidos) e os insumos (recursos consumidos). Ainda assim, o que pode ser encontrado na literatura de referência oscila entre a produtividade como sendo equivalente às unidades de produto divididas pelas unidades de insumo (Chew, 1988) até a produtividade que expressa essa mesma razão multiplicada por algum conceito de qualidade (Al-Darrab, 2000)¹², como discutido anteriormente.

Desses enfoques quantitativos, interessa ao escopo e entende-se como mais adequado aquele que assume ser a produtividade a taxa resultante da proporção dada pela produção realizada dividida pelo uso efetivo de insumos uma vez que é a técnica mais parcimoniosa e que prepondera na literatura de referência, como ficará demonstrado na revisão bibliográfica que compõe esta seção.

É importante mencionar que produtividade, enquanto medida propriamente dita, deve avaliar a PTF, ou seja, a razão definida entre o produto obtido e todos os insumos produtivos, ou fatores de produção, empenhados no processo de produção. Inclusive, o critério de inclusão

¹² A revisão pormenorizada acerca das múltiplas interpretações científicas de produtividade pode ser encontrada no trabalho de Tangen (2005).

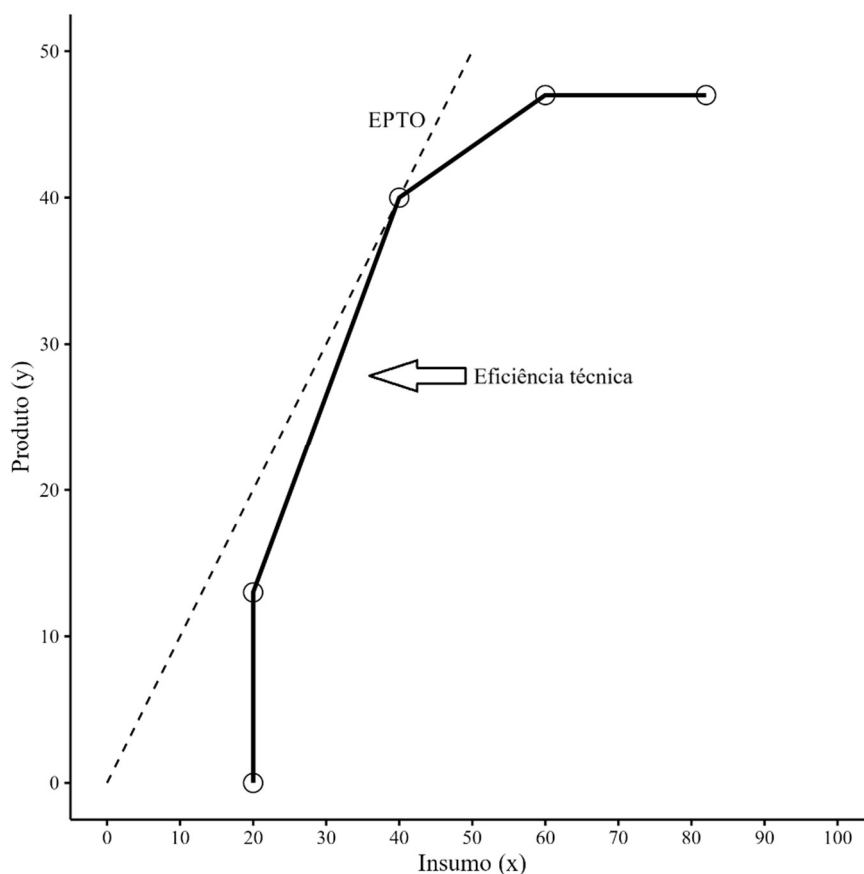
da totalidade de fatores de produção utilizados é mandatório e qualquer medida que considere os insumos parcialmente pode ser enganosa e acaba por distorcer o real desempenho de uma unidade produtiva tomada em consideração, descaracterizando o caráter da produtividade enquanto padrão de medida objetiva (Coelli *et al.*, 2005).

2.2.4 Eficiência econômica da produção

Para maior clareza de exposição, suponha-se um processo de produção simplificado no qual um único bem é elaborado, utilizando-se apenas um insumo produtivo¹³. Dele, pode ser definido um conjunto de produção constituído por todas as combinações de uso do insumo (x) para a obtenção do produto (y) em cuja fronteira se localizam os valores de x e de y técnica ou tecnologicamente eficientes, ou seja, o *locus* gráfico no qual todos os pares ordenados representam a mais elevada produtividade viável para cada quantidade positiva de x e y , respectivamente. Dessa forma, como primeira aproximação da construção teórica da eficiência produtiva, veja-se a representação:

¹³ Raciocínio baseado em Farrel (1957).

Figura 1. Eficiência técnica e escala de produção tecnicamente ótima (EPTO)



Fonte: elaborada pelo autor.

Tal esquema gráfico da Figura 1 é útil, pois, proporciona melhor compreensão da eficiência da produção sob dois critérios, sendo um técnico e o outro físico. Em primeira análise, agentes produtivos que operam ao longo da curva definida pela fronteira de produção são classificados como tecnicamente eficientes, ao passo que aqueles que produzem abaixo da fronteira são ditos tecnicamente ineficientes uma vez que maior quantidade de produto pode ser fabricada, mantida constante a quantidade de insumo mobilizado, até que o limite correspondente à fronteira seja alcançado.

Portanto, a fronteira de produção representa o máximo de produto que pode ser obtido para todas as combinações de insumos (ótica da orientação pelo produto) ou, alternativamente, para qualquer quantidade máxima de produto factível, observando-se qual vem a ser a correspondente quantidade mínima de insumos (ótica da orientação pelos insumos) frente a uma dada tecnologia disponível.

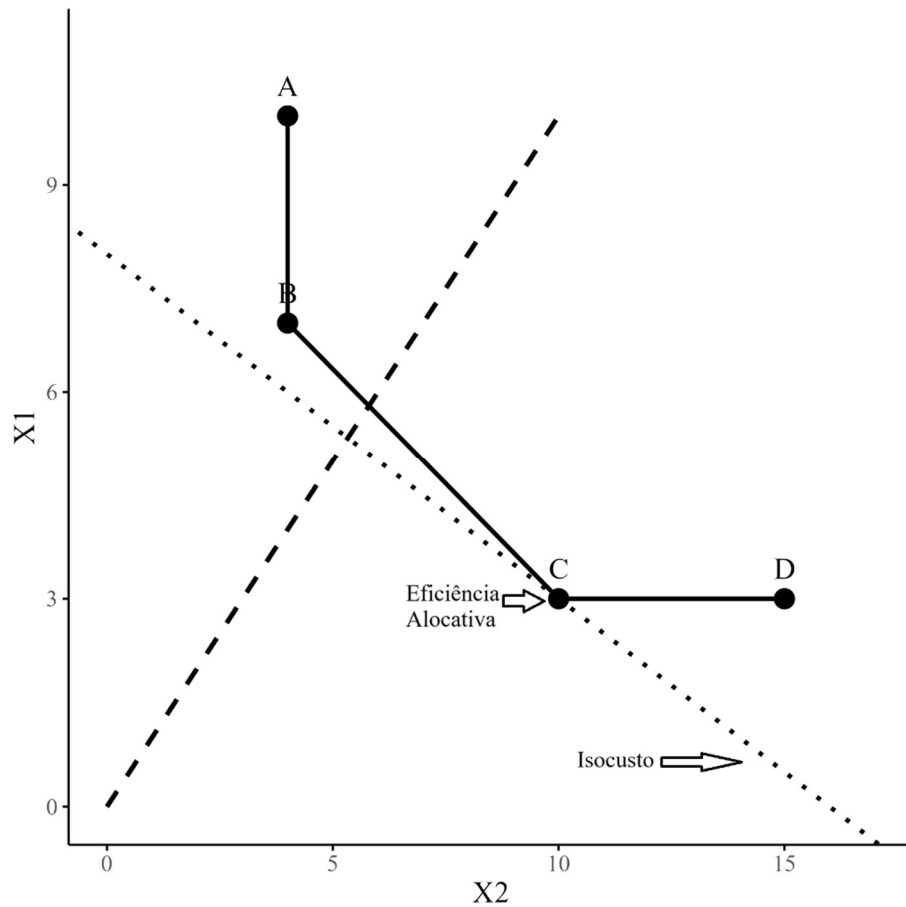
Não obstante, mesmo que opere sob eficiência técnica, não significa necessariamente que a unidade produtiva esteja maximizando sua produtividade. Se traçada uma reta partindo da origem, o ponto que tangencia exatamente a função de produção é aquele em que a produtividade é máxima, significando, com isso, a escala de produção tecnicamente ótima (EPTO) ou, em termo breve, eficiência de escala. Em consequência, se tomado qualquer outro ponto sobre a fronteira, ainda que a produção esteja sendo tecnicamente maximizada, o mesmo será menos produtivo devido aos efeitos de escala.

Grosso modo, qualquer nível de produção situado à esquerda da EPTO se encontra no trecho com retornos crescentes à escala, podendo a produtividade ser elevada conforme se caminha para o ponto com EPTO. Inversamente, pontos à direita desse patamar operam no intervalo com retornos decrescentes à escala, implicando que o desempenho produtivo pode ser aprimorado, reduzindo-se o nível de produtividade em direção à EPTO.

Contudo, além desses fenômenos, é conveniente considerar o efeito dos avanços tecnológicos exógenos que implicarão em melhorias técnicas ao longo do tempo. Nesse caso, sempre que surgirem novas formas de combinação dos insumos produtivos, tudo o mais permanecendo igual, esperam-se deslocamentos para cima da fronteira de produção. Assim, todas as unidades produtivas poderão produzir tecnicamente mais mercadorias, dado o mesmo nível de insumos, do que produziam previamente, sem que isso signifique aprimoramentos endógenos da produtividade (Meireles, 2023).

Agora, se relaxada hipótese de singularidade do fator de produção, deixando que haja dois insumos produtivos (x_1 e x_2) e, ainda, conhecido o nível de preço de ambos, permite-se estabelecer uma reta de custo constante (isocusto) e, no ponto exato em que a reta de isocusto é tangente a uma função de quantidade constante (isoquanta), tem-se uma solução que maximiza a produtividade, bem como minimiza o custo de produção, sendo essa uma condição que recebe o termo de eficiência alocativa.

Figura 2. Reta de isocusto e a eficiência alocativa



Fonte: elaborada pelo autor.

Dessa forma, e com base na Figura 2, tomadas em conjunto, a eficiência técnica, de escala e a eficiência alocativa, quando plenamente satisfeitas, encerram o conceito abrangente de eficiência econômica (Pastor; Aparicio; Zofío, 2022). Isso implica que uma UTD é economicamente eficiente se, simultaneamente, a mesma realiza a produtividade marginal máxima viável, dada sua disponibilidade de insumos e, conhecendo o vetor de preços desses insumos, escolhe a combinação que minimiza o custo de produção.

2.3 Estrutura de custos, economias de escala e eficiência econômica na pecuária leiteira

Um desdobramento imediato que decorre da exposição da disponibilidade tecnológica básica na atividade leiteira, nos moldes do exercício feito no capítulo precedente, e com respeito aos conceitos de eficiência econômica da produção, vem a ser a forma como a escolha do

sistema de produção define a estrutura de custos e a repercussão desta na interação com as variações da escala de produção e nas condições de eficiência. De acordo com a teoria dos custos, as configurações físicas do sistema de produção e o preço dos insumos definem os custos de produção da empresa (Fassio *et al.*, 2005) e, conseqüentemente, a eficiência econômica e a lucratividade do negócio (Arêdes *et al.*, 2006; Meireles, 2023).

Neste sentido, a estrutura de custos na pecuária leiteira pode ser analisada com base em seus custos fixos e variáveis. Os custos fixos são aqueles dispêndios que não variam com o nível de produção, tais como mão de obra familiar, impostos fixos, depreciação de benfeitorias, máquinas e animais de serviço. Por outro lado, são definidos como custos variáveis desembolsos que estão diretamente relacionados ao volume de produção, incluindo alimentação do rebanho, itens de reprodução e sanidade e outras despesas gerais (Arêdes *et al.*, 2006).

Assim, uma relação importante existente entre os custos e o nível de produção, de acordo com a teoria das economias de escala, sugere que, à medida que a produção aumenta, o custo médio de produção tende a diminuir devido à diluição dos custos fixos e ao uso mais eficiente dos insumos, reforçando a noção de que maiores níveis de produtividade representam condição necessária para um desempenho economicamente eficiente (Lopes; Reis; Yamaguchi, 2007).

Mais ainda, propriedades com maior escala de produção conseguem negociar melhores preços em insumos, como rações e medicamentos (Carvalho, 2000), fenômeno conhecido como economia de escala pecuniária. Portanto, o resultado dos efeitos exógenos da escala de produção (efeito pecuniário) em associação com os efeitos endógenos ligados à melhoria de desempenho tende a reduzir os custos de produção e melhorar os patamares de eficiência (Carvalho, 2000). Assim sendo, de posse desses conceitos principais, passa-se a uma breve revisão das metodologias usuais para mensuração das variações do componente específico de eficiência técnica.

2.4 Metodologias para medir a eficiência técnica

Neste tópico, discutem-se as principais metodologias desenvolvidas para medir a eficiência técnica. Para tanto, abordaram-se as técnicas, considerando as duas maiores classes de estimação de eficiência disponíveis: a abordagem por programação matemática (método não paramétrico) e a abordagem econométrica (paramétrica).

2.4.1 Noções prévias

Anteriormente, ficou caracterizado que unidades produtivas eficientes são aquelas que não podem aumentar a produção de um determinado bem sem diminuir a produção de algum outro ou, ainda, reduzir algum insumo de produção sem elevar o uso de outro recurso para permanecer no mesmo nível de produto, sendo tal condição denominada “Pareto-Koopmans eficiente”¹⁴ (Koopmans, 1951).

Desse modo, medir a eficiência técnica corresponde a comparar a produtividade de uma dada unidade de produção com aquelas unidades que se mostraram Pareto-Koopmans eficientes. Todavia, a quantificação do nível de eficiência não constitui matéria de resolução simples, sendo a escolha acertada da técnica a utilizar crucial para o correto desenvolvimento da análise (Rosano-Peña, 2012).

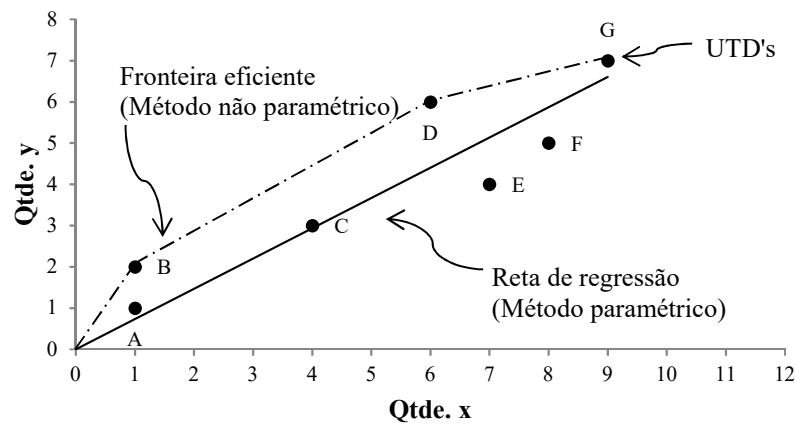
Em linhas gerais, os métodos disponíveis para avaliação de eficiência concentram-se nos referidos modelos paramétricos e não paramétricos. Os modelos paramétricos admitem uma relação funcional entre as variáveis e buscam estimar os parâmetros da função de produção, partindo das técnicas econométricas usuais para a obtenção de uma equação de reta que otimize um plano de regressão.

Já os modelos não paramétricos levam em consideração o conjunto de observações disponíveis para, a partir dele, elaborar uma fronteira eficiente que corresponda a combinações lineares entre as unidades mais eficientes. De toda forma, o grau de ineficiência é calculado pela distância entre a unidade sob análise e a fronteira eficiente calculada.

Para ilustrar a discussão, a Figura 3 exibe as duas abordagens discutidas, paramétrica e não paramétrica, para fins de comparação.

¹⁴ Em reconhecimento aos trabalhos de Vilfredo Pareto e Tjalling Koopmans

Figura 3. Distribuição hipotética de produtividade e técnicas paramétricas e não paramétricas de avaliação da eficiência produtiva



Fonte: elaborada pelo autor.

Em geral, problemas relacionados com a avaliação da eficiência de sistemas de produção são tratados por meio das abordagens da análise por envoltória de dados (DEA) e/ou fronteira estocástica (SFA). A primeira, classificada como não paramétrica, assume apenas a concavidade da fronteira eficiente de produção, ignorando possíveis erros aleatórios presentes nos dados, sendo todo desvio de uma unidade produtiva em relação à fronteira integralmente atribuído à ineficiência.

Por sua vez, a técnica paramétrica SFA admite a presença de ruídos estatísticos e exige a especificação de uma determinada função de produção que, a partir de técnicas econométricas apropriadas, permite realizar inferências sobre os estimadores de ineficiência e a distribuição das variáveis do modelo (Moreira; Fonseca, 2005).

2.4.2 O método DEA de estimação de eficiência

A questão que se impõe diante de uma abordagem não paramétrica vem a ser a forma de calcular a fronteira eficiente e, para esse fim, a análise por envoltória de dados tem sido uma técnica amplamente empregada em estudos de pesquisa operacional. Para a exposição do método DEA, apresentam-se as características dos dois modelos mais importantes disponíveis na literatura, a saber: o modelo CCR proposto por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), que pressupõe rendimentos constantes à escala de produção (RCE), e o modelo BCC de Banker,

Charnes e Cooper (1984), que relaxa a hipótese de rendimentos constantes e admite uma função de produção com rendimentos variáveis à escala (RVE).

A análise comum feita pelos modelos CCR e BCC consiste na generalização da produtividade como a razão entre um insumo e um produto para qualquer número desses elementos por meio da obtenção de produtos e insumos compostos pela agregação de suas quantidades individuais, ou seja:

$$\text{Produto composto} = u_1 y_{1j} + u_2 y_{2j} + \dots + u_s y_{sj} = \sum_{s=1}^p u_s y_{sj}. \quad (1)$$

$$\text{Insumo composto} = v_1 x_{1j} + v_2 x_{2j} + \dots + v_m x_{mj} = \sum_{m=1}^i v_m x_{mj}. \quad (2)$$

Em que u_s e v_m correspondem a ponderadores associados às quantidades y_{sj} e x_{mj} de produto e insumo, respectivamente, da UTD_o , para todo $o = 1, 2, \dots, n$.

Na prática, a justificativa para o uso dos ponderadores é garantir que a produtividade máxima calculada a partir da razão entre o produto e o insumo compostos de cada unidade produtiva não ultrapasse a unidade. Consequentemente, analisar a eficiência produtiva pela ótica da DEA corresponde a encontrar a solução para distintos problemas de programação matemática (PPM) com as respectivas condições que caracterizam cada um dos modelos relatados.

2.4.2.1 O modelo CCR

Esse modelo, ao presumir uma função de produção com retornos constantes à escala, o que significa dizer que variações percentuais no uso dos insumos de produção correspondem a variações idênticas no produto obtido, pode ser formulado pelo PPM para uma dada UTD_o . Para isso, considere-se o Quadro 1:

Quadro 1. Formalização matemática do modelo CCR (parte A)

Caso de orientação para a minimização dos insumos	Caso de orientação para a maximização do produto
$\max_{u,v} \theta_0 = \frac{\sum_{s=1}^p u_s y_{s0}}{\sum_{m=1}^i v_m x_{m0}} \quad (3)$	$\min_{u,v} \theta_0 = \frac{\sum_{m=1}^i v_m x_{m0}}{\sum_{s=1}^p u_s y_{s0}} \quad (4)$
<p>Sujeito a:</p> $\frac{\sum_{s=1}^p u_s y_{sj}}{\sum_{m=1}^i v_m x_{mj}} \leq 1;$ $u_s, v_m \geq 0;$ <p>$(s = 1, \dots, p; m = 1, \dots, i; j = 1 \dots n).$</p>	<p>Sujeito a:</p> $\frac{\sum_{m=1}^i v_m x_{mj}}{\sum_{s=1}^p u_s y_{sj}} \geq 1;$ $u_s, v_m \geq 0;$ <p>$(s = 1, \dots, p; m = 1, \dots, i; j = 1 \dots n).$</p>

O Quadro 1 representa um problema de programação fracionária (PPF) com infinitas soluções ótimas para u_s^* e v_m^* e esse fato exige que seja imposta a condição de um valor constante para o denominador da função objetivo. Fixando em $\sum_{m=1}^i v_m x_{mj} = 1$ para a orientação a insumo e $\sum_{s=1}^p u_s y_{sj} = 1$ para a orientação a produto, a questão se torna um problema de programação linear (PPL) cujas novas formulações, primal e dual, são:

Quadro 2. Formalização matemática do modelo CCR (parte B)

Orientado para a minimização dos insumos		Orientado para a maximização do produto	
<i>i) Primal</i>	<i>ii) Dual</i>	<i>i) Primal</i>	<i>ii) Dual</i>
$\max_u \theta_0 = \frac{\sum_{s=1}^p u_s y_{s0}}{\sum_{m=1}^i v_m x_{m0}} \quad (5)$	$\min_{\varphi, \lambda} \varphi \quad (6)$	$\min_u \theta_0 = \frac{\sum_{m=1}^i v_m x_{m0}}{\sum_{s=1}^p u_s y_{sj}} \quad (7)$	$\max_{\varphi, \lambda} \varphi \quad (8)$
Sujeito a:	Sujeito a:	Sujeito a:	Sujeito a:
$\sum_{m=1}^i v_m x_{m0} = 1;$	$\varphi x_{m0} - \sum_{j=1}^n x_{mj} \lambda_j \geq 0;$	$\sum_{m=1}^i u_s y_{sj} = 1;$	$\varphi y_{s0} - \sum_{j=1}^n y_{sj} \lambda_j \geq 0;$

$\sum_{s=1}^p u_s y_{sj} -$ $\sum_{m=1}^i v_m x_{mj} \leq 0;$ $u_s, v_m \geq 0;$ $(s = 1, \dots, p; m =$ $1, \dots, i; j = 1 \dots n).$	$-y_{s0} +$ $\sum_{j=1}^n y_{sj} \lambda_j \geq 0;$ $(s = 1, \dots, p; m =$ $1, \dots, i; j = 1 \dots n)$	$\sum_{s=1}^p v_m x_{mj} -$ $\sum_{m=1}^i u_s y_{sj} \leq 0;$ $u_s, v_m \geq 0;$ $(s = 1, \dots, p; m =$ $1, \dots, i; j = 1 \dots n).$	$-x_{m0} +$ $\sum_{j=1}^n x_{mj} \lambda_j \geq 0;$ $(s = 1, \dots, p; m =$ $1, \dots, i; j = 1 \dots n)$
---	---	---	---

Em que o primal do problema, conforme o Quadro 2, denominado método dos multiplicadores, procura informar qual é a redução necessária para se atingir o mínimo uso possível de recursos de forma a alcançar a eficiência compatível com a maximização da soma do produto correspondente às quantidades produzidas e seus respectivos ponderadores s e m dentro do conjunto de UTD's consideradas.

Por seu turno, o problema dual, conhecido como método do envelope, indica os valores de λ_j que retornam o mínimo de φ , admitindo que λ_j representa a participação da UTD _{j} para a construção da meta da UTD₀. Pelo teorema da dualidade, ambos os modelos resultarão no mesmo valor ótimo para a função objetivo, caso esse ótimo exista.

2.4.2.2 O modelo BCC

Com a finalidade de adequar a DEA à possibilidade de uma função de produção com retornos variáveis à escala, Banker, Charnes e Cooper (1984) propuseram um modelo que admite uma fronteira eficiente do tipo RVE na qual a variação percentual no uso dos fatores de produção pode implicar em retornos não necessariamente equivalentes no produto. Um dos avanços proporcionados pelo modelo BBC diz respeito à dissociação do conceito de eficiência em elementos técnicos e de escala.

A eficiência de escala é definida como sendo a razão entre a eficiência BCC e a CCR e mede o desvio entre a UTD avaliada e o *benchmark*¹⁵ que opera de forma mais produtiva a uma

¹⁵ Unidade produtiva utilizada como referência para as demais por apresentar eficiência máxima.

dada dimensão de escala. Para completar a descrição do modelo, apresenta-se o Quadro 3, análogo aos anteriores:

Quadro 3. Formalização matemática do modelo BCC

Orientação para minimização dos insumos		Orientação para maximização do produto	
<i>i)</i> Primal	<i>ii)</i> Dual	<i>i)</i> Primal	<i>ii)</i> Dual
$\min_{\varphi, \lambda} \varphi$ (8)	$\max_u \theta_0 =$	$\max_{\varphi, \lambda} \varphi$ (10)	$\min_v \theta_0 =$
	$\sum_{s=1}^p u_s y_{s0} - u_*$ (9)		$\sum_{s=1}^p v_m x_{m0} - v_*$
Sujeito a:	Sujeito a:	Sujeito a:	(11)
$\varphi x_{m0} -$		$x_{m0} -$	Sujeito a:
$\sum_{j=1}^n x_{mj} \lambda_j \geq 0;$	$\sum_{m=1}^i v_m x_{m0} = 1;$	$\sum_{j=1}^n x_{mj} \lambda_j \geq 0;$	$\sum_{m=1}^i u_s y_{sj} = 1;$
$-y_{s0} +$	$\sum_{s=1}^p u_s y_{sj} -$	$-\varphi y_{s0} +$	$\sum_{s=1}^p v_m x_{mj} -$
$\sum_{j=1}^n y_{sj} \lambda_j \geq 0;$	$\sum_{m=1}^i v_m x_{mj} -$	$\sum_{j=1}^n y_{sj} \lambda_j \geq 0;$	$\sum_{m=1}^i u_s y_{sj} - v_* \leq$
$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1;$	$u_* \leq 0;$	$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1;$	$0;$
$\lambda_j \geq 0;$	$u_s, v_m \geq 0;$	$\lambda_j \geq 0;$	$u_s, v_m \geq 0;$
$(s = 1, \dots, p; m =$	$(s = 1, \dots, p; m =$	$(s = 1, \dots, p; m =$	$(s = 1, \dots, p; m =$
$1, \dots, i; j = 1 \dots n).$	$1, \dots, i; j = 1 \dots n);$	$1, \dots, i; j = 1 \dots n).$	$1, \dots, i; j = 1 \dots n);$
	$u_* \in \mathbb{R}.$		$v_* \in \mathbb{R}.$

Inversamente ao modelo CCR, a especificação primal do PPL, no modelo BCC, corresponde ao modelo do envelope e o seu dual, ao método dos multiplicadores. Além disso, uma importante característica do modelo BCC vem a ser a representação dos fatores de escala por meio das variáveis u_* e v_* para as orientações a produto e insumos, respectivamente. A

interpretação desses valores caracteriza o tipo de retorno à escala da fronteira eficiente, indicando os valores positivos os retornos decrescentes, sendo negativos para retornos crescentes e zero no caso de retornos constantes.

2.4.3 O método SFA

Para efeito da presente pesquisa, propõe-se assumir estratégia de modelagem de SFA inspirada no referencial assumido por Njuki, Bravo-Ureta e O'Donnell (2019), cujos pressupostos admitem e controlam para a interferência de fatores externos à tecnologia de produção adotada pelas unidades observadas, fato que, frequentemente, ocorre na atividade agropecuária, dando origem ao modelo de fronteira estocástica de produção com parâmetros aleatórios.

Nesse sentido, assumindo uma função neoclássica de produção em sua forma *translog*¹⁶, tem-se:

$$\ln(q_{it}) = f^t(x_{it}, z_{it}) + \varepsilon_{i,t} - u_{it}. \quad (18)$$

Em que: q_{it} representa o nível de produção da unidade i no tempo t ; x_{it} denota o consumo dos insumos de produção de i em t ; e z_{it} assume os valores de um vetor de variáveis ambientais. São estas as variáveis: z_i^* são as características não observáveis e não estocásticas invariáveis no tempo (tipo de solo, por exemplo); z_{it}^* são variáveis estocásticas não observáveis que variam no tempo (e.g., velocidade do vento); e, por fim, e z_{1it}, \dots, z_{jit} são variáveis observáveis não controláveis que variam temporalmente (temperatura, precipitação e outras). Na sequência, ε_{it} corresponde aos erros do modelo e u_{it} indica o grau de ineficiência técnica no tempo t da unidade i .

Em termos econométricos, o modelo teórico definido em (1) poderá ser testado mediante a seguinte especificação empírica:

$$\ln(q_{it}) = \phi_i + \sum_{j=1}^J \rho_{jit} \ln z_{jit} + \sum_{j=1}^J \sum_{h=j}^J \rho_{jh} (\ln z_{jit})(\ln z_{hit}) + \sum_{m=1}^M \beta_{mit} \ln(x_{mit}) + v_{it} - u_{it} \quad (19)$$

¹⁶ Corresponde à aproximação de segunda ordem para uma função arbitrária $h(z)$ nos limites de $z = 1$.

Para o qual $\phi_i \equiv \phi(z_i^*)$ representa um parâmetro fixo que captura os efeitos não observáveis de variáveis ambientais estocásticas (condições geográficas) invariantes no tempo.

Longe de exauridas, discussões acerca das virtudes e desvantagens das diversas técnicas de medição da eficiência e da produtividade podem ser encontradas, entre outros, nos trabalhos de Banker (1993), Tupy e Yamaguchi (1998) e Moreira e Fonseca (2005).

De forma sumária, os autores expõem que a utilização de técnicas de programação linear (não paramétrica) presentes nos modelos DEA pode fornecer cálculos mais adequados de eficiência (ou ineficiência) quando admitida a hipótese de influência nula ou não significativa de possíveis erros aleatórios sobre a estimativa da fronteira eficiente.

Caso contrário, a abordagem econométrica (paramétrica) da SFA, ao depurar os elementos de ineficiência e de erros estatísticos, é capaz de gerar fronteiras eficientes livres de possíveis interferências de variáveis não admitidas no modelo. Contudo, a imposição necessária de uma relação funcional entre as variáveis pode não refletir as condições tecnológicas reais.

2.5 A análise de eficiência em dois estágios

Uma extensão recorrente que surge em estudos de eficiência produtiva vem a ser o levantamento das condições de eficiência e ineficiência, isto é, diante de um conjunto de regressores selecionados, quais seriam os efeitos desses sobre a variável de eficiência. Nesse sentido, a técnica usual empregada nesses contextos tem sido o modelo de regressão censurada, também denominado Tobit.

A regressão Tobit censurada em intervalo é uma variante do modelo Tobit para dados limitados a um intervalo específico. Esse tipo de regressão é útil quando a variável dependente é contínua, mas restrita a um intervalo conhecido (nesse caso, entre 0 e 1 – valores máximos e mínimos dos escores de eficiência). A regressão Tobit modela o valor verdadeiro da variável limitada pelos limites superior e inferior.

Para tanto, seja y^* a variável latente (não observada) que segue um processo de regressão linear:

$$y^* = X\beta + \varepsilon y^* \quad (20)$$

Em que:

- X são as variáveis explicativas.
- β são os coeficientes a serem estimados.
- $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ é o termo de erro normalmente distribuído.

A variável observada y é uma versão censurada de y^* , com os limites inferior $L = 0$ e superior $U = 1$, de modo que:

$$y = \begin{cases} 0 & \text{se } y^* \leq 0 \\ y^* & \text{se } 0 < y^* < 1. \\ 1 & \text{se } y^* \geq 1 \end{cases} \quad (21)$$

A função de verossimilhança para a regressão Tobit censurada em $[0,1]$ é dada por:

$$L(\beta, \sigma) = \prod_{y_i=0} \Phi\left(-\frac{X_i\beta}{\sigma}\right) = \prod_{0 < y_i < 1} \frac{1}{\sigma} \phi\left(\frac{y_i - X_i\beta}{\sigma}\right) \prod_{y_i=1} \left[1 - \Phi\left(\frac{1 - X_i\beta}{\sigma}\right)\right], \quad (22)$$

para os quais:

- $\phi(\cdot)$ é a função densidade da distribuição normal.
- $\Phi(\cdot)$ é a função de distribuição cumulativa da normal.
- β são os coeficientes a serem estimados.
- σ é o desvio-padrão do erro.

Os coeficientes β estimados indicam como as variáveis explicativas X influenciam a variável latente y^* . A censura faz com que as observações de y sejam truncadas no intervalo $[0, 1]$. Portanto, os coeficientes não podem ser interpretados da mesma forma que em uma regressão linear comum. Eles refletem a relação entre as variáveis quando y^* está no intervalo censurado.

Considerando serem esses os principais aspectos das técnicas mais difundidas em estudos de eficiência produtiva, passa-se, no tópico seguinte, ao levantamento da revisão bibliográfica dos trabalhos mais relevantes que aplicam métodos equivalentes ou similares ao caso específico da pecuária de leite a fim de que seja possível mapear o estado da arte desse tema e melhor posicionar o presente estudo, suas contribuições e potenciais inovações incorporáveis ao conhecimento científico atual.

2.6 A eficiência econômica da produção leiteira – revisão de literatura

Frente à exibição das principais técnicas de estimação da produtividade e eficiência produtiva à disposição da pesquisa aplicada, esta sessão tem por intuito recapitular os mais eminentes estudos sobre a matéria em pauta, sublinhando aspectos relevantes como abrangência geográfica, amostragem, metodologia, resultados e considerações finais.

Como critério para esse levantamento, esta seção está dividida em dois subtemas, quais sejam: literatura nacional e internacional publicada nos últimos dez anos. Sobre a literatura nacional, foi realizada busca manual na plataforma *Google Scholar* para identificação dos trabalhos mais importantes, conforme a contagem de citações, além da seleção de manuscritos previamente conhecidos.

Para o segundo caso, literatura estrangeira, fez-se uso de varredura e compilação de artigos científicos disponíveis nas bases de dados *Web of Science* e *Scopus*, utilizando-se como palavras-chave os conceitos fundamentais que permeiam o fenômeno da eficiência produtiva. Recorde-se: lucratividade, desempenho (*performance*), produtividade e eficiência econômica, sendo todos esses termos pesquisados com ligeira contextualização e em associação com os termos “fazenda de laticínios” e “produção de leite”.

Após tradução para a língua inglesa, o seguinte conjunto de tópicos foi investigado: i) "*Profitability of dairy farms*"/"*Profitability of raw milk production*"; ii) "*Economic performance of dairy farms*"/"*Economic performance of raw milk production*"; iii) "*Productivity of dairy farms*"/"*Productivity of raw milk production*"; "*Efficiency of dairy farms*"/"*Efficiency of raw milk production*".

Feito esse procedimento, foi empreendida a junção das duas bases por meio do pacote *bibliometrix* (versão 4.1.4) (Aria; Cuccurullo, 2017) do programa estatístico R, viabilizando, dessa forma, a visualização massificada de propriedades fundamentais de cada trabalho, tais como: impacto e relevância, número de citações, dentre outros. Diante dessas informações, e uma vez classificados todos os artigos por sua respectiva importância acadêmica e temática, optou-se por restringir os trabalhos cujo domínio geográfico avaliado pertença aos dez maiores países produtores *per capita* de leite de vaca. Essa classificação foi obtida por meio do repositório de dados *Our World in Data*¹⁷.

¹⁷ Disponível em: <<https://ourworldindata.org/>>.

Por essa característica, entende-se que países com alta produtividade *per capita* pode ser um indicativo de alta eficiência e, com isso, consegue-se isolar um grupo de nações pertinentes para referência e comparação com as necessidades da realidade brasileira. São eles: (por ordem decrescente de produção *per capita*): Nova Zelândia, Irlanda, Dinamarca, Holanda, Bielorrússia, Luxemburgo, Uruguai, Estônia, Lituânia e Letônia, sempre que tenha sido possível localizar trabalho disponível para esses países. Indo aos textos.

2.6.1 Literatura internacional

Em trabalho abordando a pecuária de leite na Nova Zelândia, Ma, Bicknell e Renwick (2019) averiguaram o papel da intensificação alimentar do gado leiteiro, isto é, a substituição parcial de pastejo por suplementação como silagem e extrato de palma na eficiência técnica de uma amostra de 257 propriedades rurais, no espaço entre 2010 e 2013. Apoiada na estimação de uma fronteira estocástica com efeitos fixos, a pesquisa identificou que não se pode rejeitar a hipótese de impacto positivo da suplementação alimentar na eficiência técnica da produção de leite. Além desse fator, a área da propriedade, o quantitativo do rebanho e a frequência de ordenhas também desempenharam efeito estatisticamente significativo e positivo sobre a variável explicada.

Em estudo correlato, Ma, Renwick e Zhou (2020) observaram que o nível de endividamento do setor de laticínios neozelandês exibiu, na ocasião, trajetória crescente e, assim, empenharam-se em calcular o impacto dessa ocorrência sobre o desempenho da atividade leiteira naquele território. Partindo da taxa de endividamento, definida pela razão passivo/ativo, os autores exploraram os efeitos desse indicador sobre a produtividade e a rentabilidade do segmento.

Para tanto, dados técnicos e econômicos de 2.637 propriedades rurais foram considerados no período compreendido entre os anos de 2005 e 2014. A abordagem de estimação envolveu um modelo econométrico para dados em painel com efeitos fixos. Como corolário, o estudo apontou que o endividamento das fazendas foi, em média, estatisticamente significativo e com efeito negativo sobre a produtividade e a rentabilidade observadas. Complementarmente, os achados indicaram que a produtividade foi positivamente influenciada por técnicas de intensificação da produção, frequência de ordenha, raça do rebanho e a razão de lotação animal.

Não somente essas evidências, mas também os autores não puderam afastar a hipótese de que a rentabilidade foi positivamente afetada pelo preço pago pelo leite produzido, o modelo de negócios (arrendamento ou propriedade) e, novamente, a frequência de ordenha, perfil genético do rebanho e taxa de lotação animal.

Análises adicionais revelaram que o endividamento, na forma como assumido, impactou negativamente a eficiência técnica e o retorno sobre os ativos. Como consideração final, os autores sugeriram que a potencial presença de atributos específicos pode fazer com que o sentido dos impactos (positivo ou negativo) sobre a *performance* das unidades produtivas pode ser diverso, se tomados caso a caso, muito em função do ciclo de vida da fazenda e da capacidade gerencial dos produtores de leite.

Investigando outra base territorial, Mikelionytė e Eičaitė (2020) trataram de pesquisar a eficiência das fazendas leiteiras da Lituânia, considerando propriedades de portes econômicos diferentes, conforme o valor anual de produção padrão. Utilizando indicadores de recursos, produtos e resultados como expressão da eficiência produtiva – ao invés das técnicas de modelagem usuais –, os autores se valeram de dados secundários disponibilizados pela *European Union Farm Accountancy Data Network* (FADN) para os anos de 2013, 2015 e 2017. Sem reportar a dimensão da amostra, o trabalho levou em conta fazendas agrupadas em cinco classes distintas por porte econômico.

Como indícios, os autores identificaram que, em termos dos indicadores de recursos produtivos, as propriedades mais eficientes foram aquelas cujo faturamento se situava entre 50 mil e 500 mil euros de produção anual padrão. Já as menos eficientes foram as de menor porte econômico, situando-se entre 2 mil e 8 mil euros de produção. Para os indicadores de uso de insumos, fazendas de porte médio e médio-grande ficaram entre as mais eficientes (valor da produção padrão entre 25 mil e 50 mil euros).

Na sequência, levando em conta os indicadores de resultados, os especialistas observaram que, apesar de apresentarem maior volume de produção, fazendas de maior porte econômico também faziam uso mais intenso de insumos, resultando que propriedades de porte médio conseguissem dirimir melhor esse efeito, sendo, dessa forma, as mais eficientes nesse quesito.

Como desfecho, o estudo mostrou que, tomados todos os indicadores em conjunto, as unidades de produção de menor porte econômico se mostraram as menos eficientes da amostra assumida. Como resultado, apontou-se que a eficiência produtiva cresceu conforme aumentou

o porte dos produtores, ocasionando que aquelas propriedades de médio para grande porte se revelassem como as mais eficientes no contexto geral.

Novamente tendo a Nova Zelândia como objeto, Soliman e Djanibekov (2021) empregaram um modelo DEA em dois estágios para sondar a *performance* ecológico-econômica, ou “ecoefficiência”, de uma amostra contando com 108 propriedades produtoras de leite pelo período de um ano. Dados sobre a produção de elementos sólidos do leite e dos custos de produção foram empregados para estimar a *performance* econômica – ou o lucro auferido, na interpretação dos autores – das unidades avaliadas.

Paralelamente, valores referentes à emissão de gases do efeito estufa e de lixiviação de nutrientes foram assumidos como parâmetro para definir o desempenho ambiental. Em primeira etapa, foram calculados os *scores* de ecoeficiência por envoltória de dados, sendo possível, assim, estimar a máxima redução possível das variáveis ambientais, mantido constante o nível de lucro. No segundo estágio, os efeitos das características geofísicas e as práticas gerenciais foram incorporadas em um procedimento integrado de regressão truncada e *bootstrapping* como regressores dos *scores* obtidos.

À guisa de interpretação dos resultados, os *experts* apontaram que uma redução de 27% nas externalidades negativas geradas no processo produtivo era viável sem impactar o lucro da atividade. Como consideração final, os autores indicaram que a adoção de práticas corretas de manejo na fazenda pode ser uma opção para melhorar a eficiência leiteira. Além disso, a topografia do solo e as temperaturas mais elevadas se mostraram associadas a níveis reduzidos de ecoeficiência.

Por seus turnos, Asmild, Kronborg e Rønn-Nielsen (2021) conduziram um estudo analítico abordando fazendas orgânicas e convencionais de laticínios na Dinamarca, abarcando o período de 2011 a 2015. Conforme os autores, a escolha do país em questão como objeto de estudo se deveu à sua relevância na produção de laticínios e ao seu compromisso com práticas agrícolas sustentáveis. A amostra foi provida pela empresa dinamarquesa de tecnologia agrícola e assistência técnica – SEGES, perfazendo um total de aproximadamente 1.500 observações por ano.

A técnica utilizada foi o índice de Malmquist em dois estágios para avaliar a mudança de produtividade ao longo do tempo nessas fazendas. O índice derivou de estimativas da fronteira obtidas pela envoltória convexa dos dados, que é uma abordagem comum em estudos de eficiência e produtividade, ainda de acordo com o estudo.

As variáveis consideradas nos modelos de eficiência compreenderam dados de insumos e produtos, como de praxe. Os insumos admitidos foram os custos de alimentação (que incluíram a compra de grãos e forragem), os custos trabalhistas (calculados como o valor estimado do trabalho da família mais os trabalhadores remunerados), outros custos variáveis (como energia, combustível, fertilizantes, despesas veterinárias, entre outros), custos fixos (que englobaram despesas de manutenção, impostos, seguros, dentre outros) e os custos de capital (definidos como 4% do valor dos ativos tangíveis, incluindo a terra).

Pelo lado do produto, foram incluídas as receitas geradas pela produção de leite e a receita de outras vendas. Os resultados indicaram que, até 2014, não havia um argumento sólido a favor da produção de laticínios orgânicos, já que a superioridade tecnológica variava conforme a combinação de insumos e produtos. Entretanto, em 2015, tanto os agricultores orgânicos quanto os convencionais consideraram a tecnologia orgânica superior.

Isso pode ser atribuído à proteção das fazendas convencionais pelos altos preços do leite, parcialmente devido ao sistema de cotas¹⁸, até então vigente. Após a abolição das cotas e a queda nos preços do leite, as fazendas orgânicas demonstraram uma superioridade na produtividade, o que foi evidenciado pela deterioração significativa na produtividade das fazendas convencionais e a melhoria nas fazendas orgânicas de 2014 para 2015, conforme revelado pelo índice de Malmquist.

Em ensaio mais recente, Chavas *et al.* (2022) propuseram uma análise econômica da eficiência produtiva de fazendas leiteiras irlandesas. Com foco no papel da política agrícola, o estudo foi baseado em uma amostra representativa extraída da FADN de, aproximadamente, 350 unidades observadas ao longo dos anos 2000 a 2018. Estimativas de eficiência técnica, alocativa e de escala foram levantadas a partir de um modelo de produção do insumo composto e produto composto. Os autores reportaram, apoiados nesses cálculos, uma heterogeneidade e variações significativas nas eficiências técnicas e alocativas, tanto em termos de indivíduos quanto ao longo do tempo.

Subsidiariamente, foram calculados os custos de oportunidade das cotas de comercialização de lácteos no âmbito da política agrícola europeia. Nesse caso, os resultados indicaram que o sistema de cotas de comercialização restringe a capacidade de produção dos

¹⁸ Sistema introduzido em 1980 na UE para resolver problemas de excesso de produção, os "lagos de leite", ao impor limites quantitativos para o leite produzido. Segundo a melhor informação disponível, esse sistema chegou ao fim em 2015.

pecuaristas. Por último, foram averiguados os condicionantes dos níveis de ineficiência partindo de uma regressão censurada para dados longitudinais com efeitos aleatórios. Como apanhado geral, o estudo apontou que o sistema de subsídios daquela localidade está positivamente associado com o nível de eficiência, porém seus efeitos alteram conforme variam os períodos de suspensão do regime de cotas.

Finalizando a revisão bibliográfica internacional, referencia-se o estudo de Cele, Hennessy e Thorne (2023). Apoiado no mesmo repositório de dados da FADN para uma amostra de, em média, 280 fazendas irlandesas entre 2010 e 2018, o trabalho também contextualiza a análise dentro do regime de cotas de comercialização da política agrícola europeia (2010 a 2014, como período “pré-cota”, e 2015 a 2018, como “pós-cota”).

Diante desse quadro, o empenho de análise se estruturou na determinação de uma função de meta-fronteira de produção – conceito utilizado na análise de funções de produção quando existem múltiplos grupos ou entidades (fazendas produtoras, no caso) operando sob diferentes condições tecnológicas –, tendo como variável dependente o valor das receitas obtidas com a venda de leite e de animais.

Já como variáveis explicativas, isto é, os insumos de produção, os itens considerados foram: i) terra (própria e alugada) medida em hectares alocados na atividade; ii) trabalho, remunerado e não remunerado, representando o total de unidades de trabalho na fazenda leiteira; iii) custos diretos, abrangendo despesas como rações, forragem, inseminação artificial, dentre outros, e custos indiretos, os quais foram calculados com base na proporção da produção bruta, garantindo a exclusão de dupla contagem de terra e trabalho.

De forma geral, os resultados sugeriram que políticas voltadas para promover a melhoria da qualidade do solo e da mão de obra na Região Leste da Irlanda, assim como aquelas políticas que se relacionam com grupos de discussão (análogos às associações de produtores, comuns na realidade brasileira) na Região Sul, bem como o gerenciamento do tamanho do rebanho, seriam úteis para melhorar a eficiência produtiva das propriedades após a abolição do sistema de cotas.

Além disso, algumas fazendas expandiram a produção para além de sua escala ótima no período “pós-cota”, o que levou a uma redução nos níveis de eficiência, indicando a necessidade de reorientar a assistência técnica e a extensão rural com a finalidade de estimular a adoção de cautela e prudência nas decisões de expansão das fazendas, especialmente, na região do sudoeste irlandês.

Sendo essa a revisão bibliográfica estrangeira julgada atual e pertinente aos escopos desta tese, trata-se, na próxima seção, de levantamento com atribuição semelhante, sendo, contudo, dedicado ao conhecimento produzido pela literatura acadêmica nacional.

2.6.2 Literatura nacional

A literatura doméstica relevante que aborda o objeto particular da eficiência produtiva da pecuária leiteira e seus tópicos relacionados vem se desenvolvendo ao longo das últimas três décadas. Em revisão sistemática, Almeida e Bacha (2021) delimitaram como marco temporal de interesse a década de 1990 – em função das transformações estruturais a que o setor foi submetido, como foi oportunamente abordado – e compararam 29 manuscritos que assumiram algum tipo de análise de eficiência da atividade leiteira como objetivo declarado. O método bibliométrico empregado foi a busca sistemática nas bases de dados Scopus, *Science Direct*, *Google Scholar*, *Web of Science* e Scielo.

De acordo com o estudo, alguns pontos de destaque levados, inclusive, a título de conclusão da pesquisa, mereceram a atenção dos pesquisadores por caracterizarem o perfil analítico da produção científica publicada desde então. Conforme salientam os autores, pode-se concluir, a respeito literatura recente sobre eficiência técnica, econômica ou ambiental da produção de leite no Brasil, que: i) ocorre elevado quantitativo de estudos para Minas Gerais, mas poucos para os outros estados da Federação; ii) três são os métodos utilizados para mensurar a eficiência: envoltória de dados, fronteira estocástica, e análise contábil; iii) ainda permanecem escassas investigações sobre a eficiência ambiental; e iv) predominam estudos sobre a ineficiência da atividade.

Buscando expandir e complementar os esforços de Almeida e Bacha (2021), narra-se a seguir a síntese do conteúdo dos principais trabalhos disponibilizados na plataforma *Google Scholar*, no passado recente, para construir uma dimensão do estado da arte nesse domínio da pesquisa empírica brasileira.

No primeiro artigo revisado, Mareth *et al.* (2019) levantaram os condicionantes da eficiência técnica de 253 estabelecimentos rurais produtores de leite distribuídos por 14 municípios do Estado do Rio Grande do Sul ao longo do ano de 2010. O método aplicado na sondagem para cálculo dos níveis de eficiência/ineficiência e suas causas foi a DEA em dois estágios.

Pelo uso de regressão do tipo Tobit, foi possível esclarecer os condicionantes da ineficiência apurada conforme as seguintes variáveis explicativas: variável *dummy* para escolaridade; *dummy* para expressar presença de celeiro plano e sala de ordenha na fazenda; *dummy* para emprego de inseminação; índice de vacas da raça holandesa em relação ao número total de vacas; e, por fim, *dummy* para utilização de serviços de assistência técnica.

Como resultados encontrados e conclusões a eles associadas, o estudo demonstrou que as diferenças nos índices médios de eficiência técnica relatados na literatura podem ser atribuídas às características dos estudos analisados, tais como a educação do operador da fazenda, o tamanho da propriedade (número de vacas e produção de leite), custos de alimentação e mão de obra, e o uso de serviços.

Além disso, os resultados indicaram que os produtores de leite da amostra poderiam aumentar a produção de leite em 50,1% em média (nível de ineficiência) se melhorassem sua eficiência técnica. Em resumo, a análise destacou a importância de fatores como educação, dimensão da fazenda e práticas de gestão na eficiência da produção leiteira.

Alterando o foco geográfico para o Estado do Mato Grosso do Sul, Buss, Sabbag e Mendieta (2020) propuseram avaliar a eficiência técnica de 15 propriedades produtoras de leite localizadas na microrregião de Dourados, por meio do método DEA, sob a justificativa de ser o agronegócio o segundo principal fator de desenvolvimento econômico dos municípios da região examinada.

De forma idêntica ao trabalho anterior, os pesquisadores se valeram de um modelo Tobit para estimação dos fatores que impactam os níveis de eficiência/ineficiência aferidos a partir da envoltória de dados, levando em consideração dados de assistência técnica empregada, genética do rebanho, custos de produção, capacitação técnica, experiência com a atividade, nível de instrução do produtor e uso de complementação alimentar como potenciais elementos explicativos para os níveis de eficiência.

Do diagnóstico produzido, os resultados pertinentes mostraram que os coeficientes de correlação estatisticamente significativos foram aqueles associados às variáveis: assistência técnica contratada, perfil genético do rebanho e uso de complementação alimentar. Quanto aos níveis de eficiência, restou apontado que as unidades produtoras de leite com maior eficiência compartilhavam características semelhantes em relação aos seus *inputs* e *outputs*. Essas unidades incluíram um significativo investimento em maquinário, benfeitorias e equipamentos, bem como uma produção robusta, com volumes superiores a 100 litros por dia, sendo essa

produção resultado do número de animais em lactação, melhoramento genético e disponibilidade de alimento.

Por outro lado, as unidades produtivas menos eficientes apresentaram atributos próprios, tais como áreas de tamanho reduzido e geralmente com baixa eficiência na relação vaca/ha, muitas vezes, inferior a 1. Apesar de contarem com pastagem apropriada, essas unidades não utilizaram sistemas de manejo rotacionado ou irrigação. Além disso, elas apresentaram uma produção inferior, mais especificamente, com volumes abaixo de 100 litros por dia.

Fundamentados em base espacial mais ampla, Peres, da Costa e Leal (2021) constituíram amostra representativa de 13 regiões brasileiras produtoras de leite dos Estados de Rondônia, Rio Grande do Norte, Minas Gerais, Goiás, Santa Catarina e Rio Grande do Sul para estudar a eficiência técnica e de escala de unidades produtoras de leite oriundas, especificamente, da agricultura familiar. Metodologicamente, a pesquisa foi caracterizada como descritiva, aplicada e qualitativa. Para avaliação descritiva, foi utilizada análise de correlação e DEA orientada a insumos.

Os recursos produtivos considerados no cálculo da eficiência/ineficiência foram os custos variáveis, os custos operacionais e a gestão da propriedade familiar. Pelo lado dos produtos, três foram definidos: animais em lactação, litros de leite por animal e litros ao dia por propriedade. Os resultados principais revelaram maiores custos médios de produção, principalmente, em relação aos custos operacionais, com a região de Bambuí/MG demonstrando a maior eficiência e ocupando o primeiro lugar no *ranking*. Duas UTD's, Bambuí/MG e Itapuranga/GO, revelaram problemas de eficiência em escala, enquanto seis delas foram identificadas como tecnicamente ineficientes, nomeadamente Colorado do Oeste/RO, Angicos/RN, Caicó/RN, Unai/MG, Orizona/GO e Ijuí/RS.

Consequentemente, concluiu-se que Bambuí/MG foi a propriedade mais eficiente, considerando tanto a técnica quanto a escala, sendo, portanto, a referência em otimização de recursos. Por outro lado, o Município de Caicó/RN foi considerado a unidade produtiva mais ineficiente, necessitando de redução nos custos por hectare para alcançar eficiência, com proporções específicas de 60% nos custos variáveis, 62% nos custos operacionais e 25% nos custos de gestão da propriedade familiar. Como orientação geral, evocou-se a necessidade de melhor gestão dos recursos utilizados no processo produtivo.

Em tese de doutoramento, Ferreira (2022) fez avançar a compreensão de indicadores de eficiência técnico-econômica de produtores familiares de leite assistidos pelo programa de

assistência técnica e gerencial (ATeG) do programa Mais Leite do Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR) no Estado do Mato Grosso do Sul. Contando com uma amostra de 451 unidades produtivas, a pesquisa abarcou os anos de 2015, 2016 e 2017.

Para calcular as medidas de eficiência econômica e produtiva, foram utilizados os valores médios de indicadores de desempenho econômico que compreenderam a Receita Bruta (RB), representando o montante obtido com as vendas de leite e animais, o Custo Operacional Efetivo (COE), que incluiu desembolsos diretos para compra de insumos, mão de obra e outros, e o Lucro Bruto (LB), calculado pela diferença entre a receita bruta e o custo operacional efetivo, considerando apenas os custos diretamente ligados à produção.

Já os indicadores de desempenho técnico abrangeram a Produção Anual de Leite (PL), resultado da soma das produções totais de leite, a Produção Diária por Vaca em Lactação (PDVL), a Produção de Leite pelo Total de Vacas (PLTV), as Vacas em Lactação por Área para a Pecuária (VLA), a Produção por Área (PLA) e as Vacas em Lactação pelo Total de Vacas do Rebanho (VLVR).

Tais indicadores foram comparados por meio de análises descritivas e outros meios utilizados para extrair informações relevantes dos dados coletados. Concluiu-se, com base nos resultados obtidos, que a assistência técnica desempenhou um papel crucial na atividade leiteira. Na interpretação da autora, os produtores tiveram acesso a informações sobre alternativas de produção, o que lhes permitiu otimizar o uso dos recursos disponíveis. Ainda segundo Ferreira (2022), esse fato contribuiu para o aumento da produtividade e assegura que essas famílias permaneçam na atividade.

Deslocando o objeto de estudo para o norte do país, Hamid *et al.* (2023) elaboraram ensaio científico circunscrito ao Estado do Pará, região pertencente ao bioma Amazônia e reconhecida como sujeita a desmatamentos ilegais para formação de pastagens de bovinos e a outras violações de ordem ambiental. Assumindo esse cenário, e tendo os Censos Agropecuários de 2016 e 2017 do IBGE como fonte de dados, os autores levaram a cabo uma proposta de análise das mudanças na eficiência da criação de gado nas microrregiões do estado paraense e também uma tentativa de identificação dos fatores que contribuíram para uma produção eficiente de gado em nível estadual.

Como técnicas metodológicas empregadas, o trabalho reportou ter sido construído o modelo DEA-BCC orientado a produto para intento de medição dos níveis de ineficiência, sendo essa escolha justificada, conforme os autores, em razão das diferentes escalas de

produção presentes na amostra e a ocorrência de fatores que não poderiam ser alterados no curto prazo.

Para verificar as variações temporais nos níveis de (in)eficiência, foi introduzido o índice de Malmquist de produtividade em conjunto com a análise DEA. Os elementos de *input* computados foram terra (pastagem), trabalho (pessoas empregadas) e capital (representando estruturas físicas dentro do estabelecimento agrícola). Como produto, a variável *output* usada para avaliar eficiência foi a receita gerada pela produção bovina, que incluiu o valor das vendas de leite e a venda de animais.

Enfim, para testar a relação entre a eficiência e potenciais variáveis exógenas, a regressão do tipo Tobit foi selecionada para esse fim. Inclusive, os seguintes fatores contextuais foram assumidos como variáveis explicativas: assistência técnica, experiência do produtor, agricultura não familiar, especialização em soja, crédito rural para pecuária, desmatamento e preço da terra.

Os conceitos associados a essas variáveis incluíram a proporção de estabelecimentos de criação de gado que recebiam assistência técnica em relação ao total de estabelecimentos, a proporção de produtores de gado com menos de 55 anos em relação ao total de produtores, a proporção de estabelecimentos de criação de gado classificados como não familiares em relação ao total, o quociente de localização da produção de soja em relação à produção agrícola, o valor médio das operações de crédito rural, a área desmatada e o preço médio da terra por hectare, considerando o município e o ano.

Após a operacionalização do modelo, a pesquisa constatou que, em média, houve uma melhoria marginal na eficiência da pecuária no Pará ao longo dos anos analisados, aumentando de 0,75 (75%), em 2006, para 0,76 (76%), em 2017. No entanto, nove das 17 microrregiões mostraram melhoria na eficiência individual, enquanto cinco apresentaram queda. A agricultura não familiar, o crédito rural e os preços da terra foram identificados como fatores que contribuíram negativamente para a ineficiência da atividade enquanto a especialização em soja e o desmatamento foram fatores que contribuíram positivamente para a eficiência. O estudo apontou que o apoio financeiro para melhorias tecnológicas e de infraestrutura, políticas ambientais mais rigorosas e um ambiente mais competitivo podem contribuir ainda mais para melhorar a eficiência da pecuária bovina naquele estado.

Agora, encerrando essa revisão, elenca-se outro levantamento que toma por base de análise a eficiência da pecuária de leite no Estado de Minas Gerais. Nesse artigo, Bassotto *et*

al. (2024) trataram estatisticamente uma amostra de 48 unidades familiares produtoras de leite com a intenção de calcular o nível de eficiência técnica das referidas propriedades por meio de um modelo DEA-BCC, dessa vez, orientado a insumos.

Como requerido pelo método, para a seleção das variáveis (*inputs* e *outputs*), os autores consideraram o critério de estabelecer, ao menos, o número de UTD's quatro a cinco vezes maior que a quantidade de variáveis incorporadas no modelo. Além dessa regra, o estudo admitiu apenas as variáveis mais relevantes, visto que muitas delas poderiam comprometer o resultado da análise DEA (Bassotto *et al.*, 2024).

Desse modo, decidiu-se por *output* como sendo a quantidade total de leite produzido, expressa em litros/dia e, como *inputs*, os custos dos insumos com alimentação, mão de obra eventual (apenas contratações temporárias, visto que as propriedades analisadas não contavam com contratações permanentes), manutenção de máquinas, implementos e benfeitorias (MIB) e energia, sendo todos expressos em reais. Uma vez estimado o modelo, os pesquisadores levantaram informações de interesse e assim as descreveram, como consta a seguir.

A análise sobre os insumos na produção de leite destacou a alimentação como o elemento mais significativo, corroborando a importância dada na literatura aos cuidados com os insumos na criação animal, especialmente, devido ao seu potencial impacto nos resultados da atividade leiteira. Observou-se que a escala de produção não exerceu influência sobre a eficiência técnica das propriedades estudadas, revelando que diferentes unidades de produção alcançaram eficiências variadas. Os resultados destacaram ainda a importância da gestão energética e da manutenção preventiva de equipamentos e instalações para melhorar a eficiência técnica das propriedades leiteiras familiares em Minas Gerais.

Em sede de conclusão, os estudiosos indicaram a necessidade de os produtores de leite monitorarem atentamente o uso de insumos em suas propriedades a fim de compreenderem e aplicarem mecanismos que promovam a eficiência técnica e aprimorem a utilização dos recursos necessários para a produção. Os resultados também sugeriram, segundo os autores, que propriedades leiteiras com um comprometimento inferior a 50% da produção para custear insumos tendem a ser mais eficientes economicamente.

Sendo isso, como se procurou evidenciar, a literatura acadêmica que lida com a questão da eficiência produtiva de propriedades leiteiras é ampla, tanto em termos quantitativos quanto de alcance territorial. Na prática, é possível encontrar trabalhos que se dedicam a investigar os níveis de eficiência e seus condicionantes para quase todos os países e regiões com produção

razoável de leite em escala mundial. Todavia, um fato característico da maioria dessas investigações e que chama à reflexão imediata é a falta de contextualização da eficiência produtiva no âmbito da temática mais abrangente do desenvolvimento rural.

Postulando que, no limite, ainda que todos os produtores operem no nível mais alto de eficiência produtiva, otimizando seus retornos e resultados financeiros – elementos indispensáveis à sustentabilidade econômica da atividade, por certo –, mesmo assim, persiste a tarefa de discutir se esse fato seria suficiente para suplantar os obstáculos estruturais de um setor historicamente propenso a crises agudas e com graves repercussões sociais em virtude da sua relevância para a geração de emprego e renda no campo.

Visando trazer elementos para esse debate, o próximo capítulo pretendeu recuperar as principais teorias do comportamento do produtor rural tradicional e sua relação com o desenvolvimento rural para tentar estabelecer em que nível é possível identificar os limites e as potencialidades dos esforços individuais de ganhos de eficiência e até que ponto esses esforços são capazes de transformar de forma real e efetiva a realidade socioeconômica no meio rural.

CAPÍTULO III – A EFICIÊNCIA ECONÔMICA COMO VETOR DO DESENVOLVIMENTO RURAL: LIMITAÇÕES SUBJETIVAS E OBSTÁCULOS MATERIAIS

Recuperando o alegado no capítulo precedente, qualquer que seja a tentativa de compreensão, a realidade produtiva da pecuária de leite não pode estar apartada do contexto mais amplo de suas repercussões na dimensão social do segmento. Ao primeiro exame, aventar a possibilidade de se eleger a eficiência econômica da produção leiteira como alavanca e vetor do desenvolvimento rural e também como alívio para os problemas específicos da produção leiteira pode parecer uma agenda promissora. Contudo, antes que a discussão conduza a julgamentos precipitados, logo, impróprios, faz-se necessário o exame dessa proposição à luz das evidências e teorias disponíveis.

Portanto, como fito deste capítulo, presta-se a uma tentativa de compatibilizar as interpretações teóricas tanto das transformações técnicas e mercadológicas do meio rural dos últimos 70 anos quanto da dinâmica esperada com relação ao comportamento do produtor rural frente às imposições de uma agricultura de orientação capitalista, com especial atenção ao caso da pecuária de leite no Brasil.

Em razão da diversidade de perspectivas, procurou-se identificar representações teóricas diversas daquelas que invocam como racional e previsível apenas o comportamento estritamente orientado para a maximização do resultado econômico, a exemplo do paradigma dominante, de modo a permitir a construção de um arcabouço explicativo mais confiável e, por esse motivo, mais adequado à interpretação da realidade e das intervenções públicas necessárias ao aprimoramento social tanto da pecuária de leite, em particular, quanto do meio rural na sua integralidade. Desse modo, segue o proposto.

3.1 Desenvolvimento rural, Revolução Verde e modernização da agricultura no Brasil e no mundo

O desenvolvimento rural, como objeto de interesse das sociedades atuais, surgiu nos anos que sucederam à Segunda Guerra em desdobramento da matéria específica do

desenvolvimento econômico como prática e teoria das Ciências Econômicas, ganhando tração em conteúdo e reconhecimento político até, pelo menos, a década de 1970 (Navarro, 2001).

Nesse primeiro momento, o desenvolvimento do meio rural foi entendido, por parte das principais nações ocidentais, como a transição da atividade agrícola tradicional para um padrão tecnológico modernizador das práticas vigentes naquilo que ficou conhecido como “Revolução Verde¹⁹” (Navarro, 2001). Invocando a finalidade de prover alimentos à crescente população do pós-guerra e evitar uma potencial escassez na oferta desses produtos, seus impactos ainda são objeto de debate, com as melhores evidências apontando para resultados ambíguos e sucesso relativo quando se leva em consideração as dimensões sociais, econômicas e ambientais da sua implementação em escala global (Pingali, 2012).

No geral, a modernização da agricultura seguiu a lógica de submissão dos processos naturais da agricultura aos objetivos de reprodução do capital típicos dos regimes capitalistas de produção, aproximando princípios ecológicos temporalmente extensivos e sequenciais em etapas cada vez mais intensificadas e simultâneas, similares a linhas de produção industrial (Delfino, 2016).

Ou seja, à revelia dos condicionantes naturais ligados ao curso normal de plantio, crescimento e colheita das culturas agrícolas que, originalmente ocorrem em etapas subsequentes, a modernização da agricultura pretendeu, não somente encurtar as distâncias cronológicas dessas etapas, como também mecanizá-las ao máximo, objetivando remover os obstáculos impostos pela natureza à acumulação capitalista (Delfino, 2016).

Todo esse aparato encontrou sustentação teórica no bojo da perspectiva econômica neoclássica para a qual o desenvolvimento agrícola é justificado pela introdução de produtos e processos tecnicamente inovadores. Isso ocorre devido à dinâmica da demanda por produtos agropecuários quando a procura excede a disponibilidade existente, ou em função do mercado de fatores produtivos, como variações nos custos de produção. Essas mudanças tecnológicas são, então, impulsionadas pelas forças internas do sistema econômico. Com isso, decisões alocativas dos agricultores consideram a oferta de terras agricultáveis e mão de obra no campo, buscando a combinação ótima desses fatores com base no princípio de maximização dos lucros (Pelegri *et al.*, 2022).

¹⁹ O termo “Revolução Verde” tem sido utilizado com frequência para designar a introdução de tecnologias genéticas para a criação e multiplicação de sementes adaptadas às diferentes condições de solos e climas, além da resistência a doenças e pragas. Seus efeitos se amplificaram a partir da utilização de fertilizantes, agrotóxicos e mecanização agrícola.

No caso particular da agricultura brasileira, a adesão ao paradigma da Revolução Verde e, por consequência, da modernização da atividade, se deu por meio da implementação, a partir da década de 1970, de três eixos fundamentais: pesquisa agropecuária, assistência técnica e crédito rural subsidiado. Como repercussão, esse movimento incentivou a adoção de pacotes tecnológicos baseados em sementes geneticamente melhoradas e de alto desempenho, dependendo do uso intensivo de agroquímicos e outras práticas para aumentar a produtividade agrícola (Campagnolla; Macêdo, 2022).

A dificuldade de adoção generalizada de tais pacotes tecnológicos, uma vez que inacessível à maioria dos produtores menos capitalizados, resultou em um êxodo rural sem precedentes no Brasil entre as décadas de 1960 e 1980, excluindo quase 30 milhões de labutadores rurais da produção agropecuária. Além disso, a concentração fundiária foi acentuada pela modernização agrícola da Revolução Verde, conforme indicado pelo aumento do Índice de Gini da posse de terras ao longo do tempo (Campagnolla; Macêdo, 2022). Ainda hoje, essa realidade histórica persiste com um número desproporcional de grandes proprietários controlando a maior parte das terras (Campagnolla; Macêdo, 2022).

José Graziano da Silva, um dos principais estudiosos do processo de modernização da agricultura brasileira, oferece uma crítica abrangente à Revolução Verde à brasileira. Ele reconhece os benefícios iniciais dessa abordagem, como o aumento da produtividade agrícola e a mitigação da fome em algumas regiões do país. Contudo, o estudioso destaca a dependência excessiva de insumos químicos, como pesticidas e fertilizantes, que levaram à poluição do solo, da água e à perda de biodiversidade. Além disso, Graziano enfatiza que essa abordagem intensiva contribuiu para a marginalização de pequenos agricultores e comunidades rurais (Silva, 1982).

Tomado por si, o processo de modernização da pecuária de leite no Brasil, à semelhança do observado na agricultura, foi impulsionado por uma série de mudanças estruturais e tecnológicas ao longo das últimas décadas. Inicialmente, houve uma transição de sistemas tradicionais de produção para modelos mais intensivos e especializados. Isso incluiu a adoção crescente de técnicas de manejo, melhoria genética, nutrição e maquinário. Esse movimento de mecanização foi acompanhado por uma elevação da produção nacional de leite da ordem de 680% no intervalo entre 1961 e 2015 (Vilela, 2016).

Embora não seja meta específica deste trabalho problematizar e debater em profundidade todas as nuances que envolvem as consequências da modernização agrícola tanto

no Brasil quanto no exterior, pontuar seus impactos mais notáveis serve ao propósito de subsidiar o entendimento sobre a forma como esses fatores interagem com o comportamento do agente rural, destacadamente o de pequena escala de produção, afetando diretamente o desenvolvimento pleno de suas habilidades produtivas.

Nesse caminho, a próxima seção aborda a questão do comportamento do produtor rural tradicional e suas múltiplas abordagens teóricas. Por resultado, espera-se esclarecer em que grau é factível supor que a busca pela eficiência econômica pode ser a conduta padrão no meio rural.

3.2 O comportamento do produtor rural tradicional

Se é fato que a lógica capitalista invadiu os domínios da agricultura convencional a contar do advento da Revolução Verde, o mesmo pode ser dito de aspectos mais subjetivos, como o comportamento do produtor rural típico? Ou as inconsistências das conclusões da teoria neoclássica não se restringem ao âmbito da sujeição do estado natural às regras monotônicas de desenvolvimento como sinônimo de industrialização e tecnificação ilimitada de todos os segmentos produtivos, podendo suas repercussões contraditórias também serem sentidas quando se pretende conciliar a análise microeconômica *mainstream* da teoria da firma ao comportamento do produtor rural tradicional?

Em outras palavras, até que ponto é possível esperar que atividade produtiva agrícola seja guiada pelo pressuposto da maximização do lucro e da produção eficiente, portanto, conforme sentenciado em parágrafo antecedente? Mais ainda, por mais que se admita ser essa a realidade, em que grau a estrutura do mercado dificulta a satisfatória persecução desse objetivo?

Essas são reflexões deste tópico. Ao final, procura-se confrontar o conteúdo teórico examinado com as duas grandes ondas transformadoras do mercado leiteiro no Brasil e na Europa, quais sejam: a supressão do controle de preços no país e a suspensão do sistema de cotas no Velho Continente. De posse desses elementos, espera-se tornar explícita a impertinência de determinados postulados da Economia Pura quando confrontadas com a realidade dos fatos aplicada ao setor leiteiro.

De partida, é oportuno registrar que o pressuposto de conduta maximizadora de lucros por parte do labutador rural tradicional não é consenso no campo teórico e o mesmo comporta

múltiplas interpretações para as razões de base que modelam o comportamento desses agentes do ponto de vista decisório (Abramovay; 2012). Para elucidar essas posições, perfilam-se os principais atributos de cada proposição.

Defendendo ser a agricultura pré-Revolução Verde um sistema racional no uso dos fatores e plenamente consciente da dinâmica dos mercados, Schultz (1966) formulou a visão do produtor rural tradicional como dotado de racionalidade econômica completa. Com isso, o autor afasta a possibilidade de o mesmo constituir categoria econômica provida de lógica comportamental diversa da de outros setores produtivos.

Abramovay (2012) discorreu sobre as principais ideias de Schultz e, na sua visão, o teórico conjecturou que o agricultor não somente opera sob condições de eficiência técnica, obtendo a maior quantidade de produto para a disponibilidade de insumos, como também é capaz de reconhecer o nível de preços relativos de forma a minimizar/maximizar custos/resultados, condição necessária para atingir a eficiência econômica geral. Inclusive, Schultz cunhou a expressão “pobres, mas eficientes” para ilustrar sua posição e parte de suas ideias influenciaram a formação de intelectuais e técnicos responsáveis pela implantação da Revolução Verde no mundo em desenvolvimento (Abramovay, 2012).

Ainda segundo Schultz (1966), a constatação de que a agricultura tradicional é inerentemente eficiente faz com que a superação de sua pobreza dependa, antes de qualquer coisa, da mudança dos meios com que produzem. Sendo acessível a eles insumos adequados e máquinas modernas por meio de políticas públicas de incentivo, por exemplo, os agricultores saberão impulsionar a produtividade de modo a atuar sob a melhor tecnologia disponível e ao menor custo possível, maximizando os ganhos privados e coletivos.

Em perspectiva alternativa e crítica à ótica de Schultz, Lipton (1968) assevera que o agricultor tradicional é, de fato, um maximizador, mas não de lucros, e sim de oportunidades de sobrevivência, em razão das diferenças de riscos envolvidos que separam a agricultura das empresas econômicas urbanas. Como exemplo, o autor invoca a questão das intempéries climáticas, que impedem que o agricultor tome decisões de investimento baseadas em uma média previsível das condições ambientais dos tempos passados.

Além desse quadro, informações imperfeitas a que se sujeita a atividade agrícola sobre o nível de preços compromete o conhecimento estável da razão entre eles e, por conseguinte, a definição da melhor alocação dos fatores produtivos. Por fim, critérios socialmente determinados com respeito à herança podem indicar menos a busca por rentabilidade do que

por segurança. A distribuição uniforme entre sucessores das terras conforme sua fertilidade, por exemplo, acaba por prejudicar o resultado econômico dos envolvidos.

Para o autor, portanto, é totalmente viável entender a conduta do produtor tradicional sob a perspectiva da busca pela otimização, pois há uma forma de agir racional, buscando a melhor adequação dos meios para alcançar determinados fins, desde que não se desconsidere o contexto no qual esses movimentos se dão.

Essa forma de racionalidade é o que impede que a ideia de maximização de lucros seja explanatória do comportamento do agricultor. Pelo contrário, o cerne da racionalidade dele é a tendência a evitar riscos. Consequentemente, há uma especificidade no tipo de cálculo econômico que os agricultores convencionais realizam em comparação com as empresas capitalistas, enfim.

Oportuno também salientar a representação do comportamento do produtor tradicional sugerida por Mellor (1963), Sen (1966) e Nakajima (2017). Como pressuposto, esses *experts* afirmam que nem no modelo de maximização do lucro, nem no minimizador de riscos, foi seriamente considerada a questão do consumo da família. Levando em conta que unidades agrícolas de base familiar se dedicam justamente à produção para consumo e comercialização, torna-se necessário que a análise microeconômica incorpore tal característica a fim de permitir uma modelagem híbrida do comportamento do produtor para que seja possível estabelecer o equilíbrio desse tipo específico de agente econômico.

Assim, Abramovay (2012) nos elucida que o equilíbrio econômico da família produtora rural é definido em termos subjetivos. Isso implica que fatores internos determinam sua produtividade, especialmente a relação entre a produção marginal obtida com o trabalho e o esforço envolvido. O conhecido *trade-off* neoclássico entre trabalho e lazer assume uma forma particular na produção desse grupo de interesse.

Portanto, enquanto as necessidades elementares da família não forem atendidas, existirá incentivo para mobilização de trabalho, mesmo com pouco retorno econômico. No entanto, uma vez que essas necessidades estejam satisfeitas, a percepção de utilidade marginal da produção adicional cai ao mesmo tempo em que cresce a aversão à penosidade do trabalho.

Ao contrário da abordagem de Schultz, não é a produtividade marginal dos recursos que guia as decisões de investimento dos agricultores. Na verdade, essa produtividade marginal é avaliada subjetivamente, não com base nos preços de mercado, mas na enorme dedicação

necessária para alcançar a produção de subsistência e, conseqüentemente, na propensão a evitar esse esforço assim que as necessidades básicas estejam supridas.

Já no domínio do pensamento sociológico, Glover (2008) analisa, tratando especificamente do *ethos* do produtor de leite em tese doutoral, o comportamento desses agricultores e a crise que os afeta, cuja realidade é a de um setor caracterizado por margens de lucro reduzidas, alta volatilidade de preços e um elevado nível de endividamento entre os agricultores.

A autora busca compreender por que, apesar dessas dificuldades, muitos agricultores persistem na profissão. Para isso, Glover (2008) fundamenta sua análise na teoria social de Pierre Bourdieu, utilizando conceitos como *habitus*, capital cultural, capital social e capital simbólico para explorar a resiliência dos produtores em continuar produzindo leite mesmo além dos estímulos puramente econômicos.

Habitus é um conceito central na teoria de Bourdieu e refere-se às disposições e práticas incorporadas que guiam o comportamento dos indivíduos. No contexto dos produtores de leite, o *habitus* inclui o amor pela terra, a tradição familiar e a identidade profissional. Essas disposições não são simplesmente preferências individuais, mas são moldadas por gerações de práticas agrícolas e sociais. O *habitus* dos agricultores de leite, portanto, incorpora um profundo apego à terra e à profissão, o que torna a ideia de abandonar a agricultura não apenas uma questão econômica, mas uma questão de identidade.

O capital cultural, outro conceito chave, engloba os conhecimentos e habilidades adquiridos, frequentemente, transmitidos de geração em geração. Para os agricultores, isso se traduz em técnicas agrícolas, conhecimento da terra e a capacidade de adaptar-se às condições variáveis da natureza. Esse capital cultural é um recurso vital que permite aos agricultores não apenas sobreviver, mas prosperar em um ambiente muitas vezes hostil. A transmissão desse conhecimento de uma geração para outra fortalece a continuidade e a resiliência da prática agrícola.

O capital social, por sua vez, refere-se às redes de relações e ao apoio social que os indivíduos podem mobilizar. No contexto dos produtores de leite, a solidariedade e o suporte dentro da comunidade agrícola são formas cruciais de capital social. Essas redes de apoio não apenas fornecem assistência prática em tempos de necessidade, mas também oferecem suporte emocional, ajudando os agricultores a enfrentarem as dificuldades da profissão. Nesse sentido,

a coesão e a solidariedade dentro dessas comunidades são fundamentais para a permanência ativa dos agricultores.

O capital simbólico é o prestígio e o reconhecimento que os indivíduos obtêm por meio de sua posição social e de suas ações. Para os produtores de leite, a dignidade e o orgulho associados à profissão de agricultor são formas significativas de capital simbólico. Esse reconhecimento não é apenas externo, vindo da sociedade em geral, mas também interno, dentro das próprias comunidades agrícolas. Esse capital simbólico fornece aos agricultores uma motivação adicional para continuar na profissão, apesar das adversidades.

Em síntese, Glover (2008) identifica várias razões pelas quais os produtores de leite continuam a trabalhar no segmento, mesmo diante de desafios significativos. Primeiramente, muitos agricultores têm uma forte conexão emocional com a terra e veem a agricultura como parte integral de sua identidade. Há também uma pressão social para manter a tradição familiar, que é profundamente enraizada nas práticas e valores transmitidos de forma intergeracional. Essa conexão emocional e social com a terra e a tradição agrícola é uma força poderosa que sustenta a continuidade da prática agrícola.

Outrossim, as relações dentro da comunidade agrícola fornecem um suporte essencial, tanto emocional quanto prático. A solidariedade entre os agricultores, que se ajudam mutuamente em tempos difíceis, fortalece a resiliência da comunidade como um todo, sendo essa rede de apoio uma forma de capital social que é fundamental para a sobrevivência e a sustentabilidade dos agricultores.

Outro fator importante é a resistência à mudança, que é uma característica do *habitus* dos agricultores, moldado por gerações de práticas agrícolas. Essa resistência não é simplesmente uma relutância em mudar, mas uma profunda conexão com as práticas e valores que definem a identidade dos agricultores. Assim, a adoção de novas práticas ou a saída da profissão não são apenas questões econômicas, mas desafios à própria identidade dos agricultores.

Os agricultores também desenvolvem estratégias de resiliência para lidar com as dificuldades. Essas estratégias incluem a diversificação da renda, por meio da qual os agricultores buscam fontes adicionais de sustento para complementar a produção de leite, e a inovação tecnológica, sendo adotados novos métodos e tecnologias para aumentar a eficiência e a produtividade. Essas estratégias são exemplos de como os agricultores utilizam seu capital cultural para adaptar-se e inovar em resposta aos desafios.

Para que os produtores de leite possam recuperar algum controle sobre a sua atividade, a autora sugere várias abordagens baseadas na teoria de Bourdieu. Uma dessas abordagens é o fortalecimento do capital social, promovendo redes de cooperação e apoio entre agricultores para aumentar a resiliência. Essa cooperação pode incluir a formação de cooperativas, podendo os agricultores, nesse caso, compartilharem recursos e conhecimentos, além da criação de redes de apoio mútuo para enfrentar desafios comuns.

Outra abordagem é a valorização do capital cultural. Programas de treinamento e educação podem ajudar os agricultores a se adaptar às novas tecnologias e práticas de mercado. Esses programas não apenas fornecem conhecimentos práticos, mas também fortalecem a confiança e a capacidade dos agricultores de inovar e se adaptar às mudanças. A valorização do capital cultural também envolve o reconhecimento e a celebração dos conhecimentos e habilidades tradicionais dos agricultores, que são fundamentais para a sustentabilidade da prática agrícola.

O reconhecimento do capital simbólico seria outra estratégia importante. Campanhas que aumentem a visibilidade e o prestígio dos agricultores poderiam reforçar a sua posição na sociedade. Esse reconhecimento não apenas valorizaria a contribuição dos agricultores para a sociedade, mas também fortaleceria o sentido de dignidade e orgulho dos próprios agricultores. O capital simbólico é uma força poderosa que pode motivar os agricultores a continuar na profissão e a empenhar por melhores condições de trabalho.

Finalmente, Glover (2008) sublinha a importância da militância por políticas governamentais que ofereçam suporte financeiro e regulatório aos produtores de leite. Essas políticas podem incluir subsídios, assistência financeira e regulamentos que protejam os agricultores contra as flutuações do mercado e os ajudem a investir em novas tecnologias e práticas sustentáveis. O apoio governamental é, na visão da autora, essencial para se criar um ambiente no qual os agricultores possam prosperar e manter a sustentabilidade de suas operações.

Enfim, a pesquisa oferece uma análise das razões pelas quais os produtores de leite continuam a operar mesmo sob condições adversas. A autora oferece uma perspectiva sobre o comportamento dos agentes produtores de leite, mostrando como os conceitos de *habitus*, capital cultural, capital social e capital simbólico podem ajudar a explicar a persistência dos agricultores na profissão, mesmo sob condições de ineficiência e deseconomias.

Em conclusão, Glover (2008) propõe que, com o apoio adequado, os produtores de leite podem recuperar algum controle sobre suas condições de trabalho e melhorar a sustentabilidade de suas operações. Essa análise não apenas lança luz sobre aspectos sociológicos e culturais do comportamento dos produtores de leite, mas também sugere estratégias práticas para fortalecer a adaptabilidade e a sustentabilidade do setor.

Diante desse prisma, viu-se que a taxonomia do comportamento do produtor tradicional extrapola em muito a mera consideração de fatores exclusivamente operacionais e econômicos, fazendo com que modelos fundamentados nessa visão estreita e simplificadora pode representar uma distorção da realidade.

Assim, assumindo que, metodologicamente, é de se esperar que, nas Ciências Econômicas, as teorias sejam precedidas de observações criteriosas, foi verificado que as motivações que guiam a produção rural são muito diversas daquelas esperadas pelo pensamento dominante (maximização do lucro), o que faz com que confiar que existam condições endógenas e externas para que a agropecuária se desenvolva “naturalmente” sob condições de eficiência pode redundar em efeitos contrários ao esperado.

Em reforço ao conteúdo abordado até este momento, dedica-se o próximo subtópico às evidências de obstáculos externos à plena operação da pecuária de leite sob condição de eficiência econômica, indicando que o argumento que afirma ser essa condição operacional uma variável sobre controle do produtor representa um ideário potencialmente fictício.

3.3 Os obstáculos objetivos à plena eficiência

Ainda que se considere aceitável que o agricultor tradicional se comporte de forma eficiente do ponto de vista econômico-produtivo, resta saber se as condições externas contribuem ou estorvam o pleno desenvolvimento de suas atividades. Para isso, recorre-se aos conceitos fundamentais da eficiência econômica teórica para que, diante dos indícios disponíveis, seja possível enxergar, na prática, os canais pelos quais fatores exógenos ao processo produtivo do leite podem afetar os esforços individuais na busca pela excelência na produção.

Esse é o propósito do próximo par de subseções e todas as informações reunidas foram devidamente consideradas quando da interpretação dos resultados dos modelos de eficiência

em capítulo dedicado a essa tarefa para que considerações e análises feitas à luz dos indícios apurados possam estar aderentes ao cenário efetivo em que estão inseridas.

3.3.1 Os limites da eficiência técnica

A eficiência técnica foi definida como sendo a condição operacional pela qual uma nomeada unidade produtiva está obtendo o máximo de produto possível para o mínimo conjunto de fatores produtivos necessários para tanto, dada uma certa condição tecnológica. Em termos ilustrativos, ser tecnicamente eficiente significa atuar em qualquer ponto *sobre* a fronteira de produção que, por sua vez, tem sua forma determinada pelos parâmetros que lhe dão origem.

Como esses parâmetros indicam, *inter alia*, a liberdade de substituição entre capital e trabalho de que dispõe o produtor²⁰, não é equivocado supor que a capacidade financeira do empreendedor rural de efetivamente empregar os mais diversos bens de capital em substituição à mão de obra humana determina os níveis de eficiência técnica que ele pode alcançar.

Sendo plausível esse raciocínio, reputa-se válido averiguar as evidências acerca de um dos principais meios de aquisição de máquinas e equipamentos agrícolas: o financiamento bancário por meio da concessão de crédito rural (Baricelo, Bacha, 2013; Da Silva, Winck, 2019). Nesse sentido, qualquer indício de seletividade adversa na seleção do crédito em desfavor de produtores rurais menos capitalizados/tecnificados pode significar restrição de acesso à melhor tecnologia disponível, impactando o nível de eficiência técnica da atividade leiteira, tanto individualmente quanto no todo.

Para explorar a questão, assume-se como *proxy* de capitalização dos agentes produtivos rurais a área total de sua propriedade. Em segundo movimento, faça-se a tabulação dessas áreas por classes de extensão total e a atribuição para cada grupo da proporção dos créditos rurais contraídos em relação ao total de créditos para o ano de 2006, isto é, as atividades pecuárias como percentual do total geral (agricultura e pecuária). Utilizando dados do Censo Agropecuário para as duas informações, e considerando a atividade pecuária em sentido amplo, e não apenas a leiteira, pode-se dispor o resultado tal como organizado na tabela a seguir (os dados se referem a todo o Brasil):

²⁰ Esse é, inclusive, o cerne da tese defendida por Hayami e Ruttan (1988), que busca justificar a inovação tecnológica na agricultura como sendo induzida pelos preços relativos dos fatores para que seja possível economizar recursos escassos e intensificar o uso de recursos abundantes.

Tabela 1. Percentual dos financiamentos obtidos por grupo de área (apenas pecuária - Brasil)

Grupos de área total	percentual do total geral
Mais de 0 a menos de 0,1 ha	0,03
De 0,1 a menos de 0,2 ha	0,02
De 0,2 a menos de 0,5 ha	0,05
De 0,5 a menos de 1 ha	0,1
De 1 a menos de 2 ha	0,24
De 2 a menos de 3 ha	0,21
De 3 a menos de 4 ha	0,28
De 4 a menos de 5 ha	0,3
De 5 a menos de 10 ha	1,36
De 10 a menos de 20 ha	2,69
De 20 a menos de 50 ha	4,33
De 50 a menos de 100 ha	2,48
De 100 a menos de 200 ha	2,11
De 200 a menos de 500 ha	2,68
De 500 a menos de 1.000 ha	1,74
De 1.000 a menos de 2.500 ha	2,33
De 2.500 ha e mais	1,94
Produtor sem área	0,13

Fonte: SIDRA/IBGE - Censo Agropecuário 2006. Elaboração própria

Assim, as informações trazidas pela Tabela 1 mostram que, se classificados os pecuaristas tomadores de crédito rural por grupos de área total, a participação dos valores levantados por produtores com menos de 5 hectares de terra como percentual do todo representa uma razão que não passou de 1,3%. Por outro giro, a proporção equivalente para pecuaristas com mais de 5 hectares salta para 21,7%, ou seja, o percentual de participação no valor em face de empréstimos contraídos por parte de pequenos produtores rurais foi cerca de 16 vezes menor que as demais categorias.

Muito provavelmente, o reflexo dessa realidade se faz sentir no nível de tecnificação dos pecuaristas de leite no Brasil. Se, novamente, usadas como *proxy* desse nível algumas tecnologias de uso recorrente em sistemas de produção minimamente tecnificados, quais sejam, a ordenha mecânica, a inseminação artificial e o tanque de resfriamento (Vilela *et al.*, 2017), os dados que se têm são os seguintes:

Tabela 2. Tecnologias adotadas por pecuaristas de leite no Brasil (quantitativo e percentual de estabelecimentos)

Tecnologia	Nº est adotam	%
Ordenha	33064	2,45
Inseminação	11445	0,85
Tanque	145595	10,78
Total est leite	1350809	

Fonte: SIDRA/IBGE - Censo Agropecuário 2006. Elaboração própria

A Tabela 2 mostra que, tomando por base o ano de 2006, apenas 0,85% do universo de mais de 1.350 mil estabelecimentos agropecuários que produziram leite de vaca podiam contar com inseminação artificial do rebanho. Um pouco melhor, porém, ainda em percentual extremamente reduzido, tem-se o uso de ordenha mecânica por 2,45% dessas unidades. Para encerrar, a presença do tanque de resfriamento pôde ser verificada em quase 11% do total de estabelecimentos. Essa condição de aguda desigualdade e heterogeneidade tecnológica foi apontada como crítica para o desempenho produtivo e nacionalmente corroborada por Vilela (2016) e, em base regional, por Simões, Reis e Avelar (2017).

3.3.2 Os limites da eficiência alocativa

Na seção própria, foi discutido que a eficiência alocativa é alcançada toda vez que uma UTD opera no ponto em que a reta de isocusto tangencia a curva de isoquanta. Sabendo que o produtor não dispõe de razoável controle sobre as combinações possíveis dos insumos produtivos, o mesmo pode ser dito sobre os preços desses insumos. Nesse sentido, qualquer perturbação que comprometa a estabilidade da reta de isocusto ou a torne enviesada pode comprometer o cálculo econômico que permite atingir a eficiência na alocação dos fatores.

A volatilidade de preços tanto do leite como produto quanto dos insumos agropecuários empregados é um fenômeno que alcança escala global e atinge negativamente o desempenho econômico das fazendas produtoras (Carneiro *et al.*, 2010). No Brasil, os indícios à disposição apontam que a realidade tende a ser semelhante e reforçam a hipótese de instabilidade da estrutura de custos da pecuária leiteira.

Atendo-se apenas ao período relativo à pandemia do *coronavirus disease* 2019-COVID-19 (2020-2023), pode ser verificado que os efeitos da emergência sanitária foram capazes de ressaltar uma dinâmica histórica de flutuações no mercado dos principais insumos com que se

depararam os produtores leiteiros. Relatório estatístico da Embrapa (Embrapa Gado de Leite, 2021) evidenciou que o custo de produção de leite aumentou significativamente entre janeiro de 2020 e março de 2021, representando algo em torno de 35%.

Os principais fatores apurados para essa elevação nos custos foram relacionados aos insumos utilizados na alimentação do rebanho, com destaque para concentrados (ração) e volumosos (silagens). Esses grupos enfrentaram aumentos expressivos devido a fenômenos como a elevação das exportações impulsionada pela desvalorização cambial, atrasos na safra em razão de condições climáticas desfavoráveis e aumento da demanda por grãos, como milho e farelo de soja.

Tomando essas informações, em sua devida proporção, como representativas do comportamento do mercado de insumos agropecuários, a instabilidade nos preços desses insumos pode representar um impacto significativo no desempenho e na eficiência das fazendas produtoras de leite. Em primeiro lugar, os insumos essenciais para a produção de leite, como ração animal e suplementos nutricionais, refletem uma parcela substancial dos custos operacionais. Quando sofrem flutuações abruptas, os preços desses insumos podem prejudicar seriamente a capacidade das fazendas de planejar e controlar seus gastos. A título de ilustração, se o preço do milho, um componente comum na ração animal, disparar devido a condições climáticas adversas ou pressões de mercado, há uma tendência em aumentarem os custos de produção de forma imprevista.

Essa relativa imprevisibilidade nos preços dos insumos também pode impactar a quantidade do leite produzido. Fazendas de gado leiteiro dependem de uma dieta consistente para manter a saúde e a produtividade do rebanho. Oscilações nos preços dos insumos podem levar os produtores a ajustar suas formulações de ração ou buscar alternativas mais baratas, muitas vezes, comprometendo seu valor nutricional. Esse fato, por sua vez, pode resultar em menor produção de leite por animal e repercutir negativamente na produtividade.

Além disso, a inconstância nos preços dos insumos dificulta o planejamento estratégico e financeiro das fazendas leiteiras. Os produtores precisam lidar com incertezas relacionadas aos custos de produção e às margens de lucro, o que pode afetar investimentos em tecnologia, manutenção e expansão das operações. No entanto, a volatilidade persistente nos preços dos insumos continua sendo um desafio significativo para a sustentabilidade e o crescimento das fazendas produtoras de leite, principalmente, se se fala da pequena propriedade e sua indisponibilidade financeira para suportar períodos de maiores perturbações no mercado.

3.4 A relação entre eficiência econômica e desenvolvimento rural

Por mais que os exemplos aqui apresentados não comportem o devido rigor de prova, o que se procurou enfatizar é que estudos que tenham como proposta calcular e avaliar as condições de eficiência produtiva da pecuária leiteira não podem estar desacompanhados da contextualização de suas possibilidades reais, pois, sem levar em consideração esses aspectos – o que parece ser o caso da maioria dos estudos levantados na revisão bibliográfica desta tese –, as conclusões derivadas desses resultados podem não ser as mais adequadas para o caso concreto.

Com isso, se bem se caracterizou o cenário no qual a eficiência econômica é apenas um dos fatores a serem observados pela pesquisa acadêmica, caso se esteja interessado em abordar a eficiência no quadro mais amplo da pecuária de leite como agente do desenvolvimento rural, é preciso avançar no entendimento do que vem a ser esse tipo particular de desenvolvimento e, desprezando o conceito das amarras simplificadoras que entendem o desenvolvimento rural única e exclusivamente como mecanização permanente e expansão da produção e da produtividade agropecuária de forma indefinida – tal como foi presumido nas primeiras fases da modernização da agricultura brasileira (Navarro, 2001) –, incorporar dimensões que vão além da máxima produtividade ao menor custo possível parece ser o caminho analítico correto.

Não por acaso, ao longo da revisão bibliográfica, foi possível identificar a ativa intervenção do poder estatal sobre os mercados produtores de leite ao longo do tempo e das regiões. Seguramente, as razões de base para a existência de fenômenos como o controle de preços no Brasil e o sistema de cotas de produção na Europa residem, entre outras, na necessidade de garantir a estabilidade do mercado e a segurança alimentar, protegendo tanto os produtores quanto os consumidores de flutuações de preços e excedentes de produção, bem como preservando a continuidade de uma atividade econômica portadora de ampla importância para o desenvolvimento social e econômica das áreas rurais.

Essas medidas, de certa forma, buscaram equilibrar a oferta e a demanda, evitando crises de superprodução que poderiam levar à queda dos preços e à derrocada dos produtores, especialmente dos pequenos agricultores que dependem fortemente do setor leiteiro para subsistência. Porém, as vicissitudes do mercado do leite extrapolam de longe a concepção caricata do pequeno produtor como único elo frágil da cadeia produtiva, visto que, se incorporada a dimensão internacional do mercado de laticínios, estar-se-á diante de um dos

setores produtivos mais protegidos do ponto de vista comercial no mundo todo (Siqueira; Linhares; Hott, 2011).

Contudo, ondas liberalizantes iniciadas no final do Século XX passaram a entender tais intervenções como barreiras à eficiência produtiva e à competitividade, restringindo a capacidade dos produtores de responder livremente às dinâmicas de mercado e inovar, além de um considerável custo econômico e político da manutenção daquelas medidas (Alvarez; Arias; Orea, 2006).

Além disso, subsistia, e, de fato, ainda subsiste o pretexto da modernização do setor como crucial para o desenvolvimento rural, pois uma agricultura mais eficiente e competitiva pode, em tese, impulsionar a economia local, melhorando a renda dos agricultores além de sustentabilidade da atividade laticinista (Meireles, 1996; Čechura, Kroupová, 2021; Bhat *et al.*, 2022; Malik *et al.*, 2022). A transição para políticas de mercado mais voltadas para a competição foi, portanto, um esforço não apenas para promover a ideia de um setor lácteo mais competitivo e adaptável, mas também para difundir a visão predominante de desenvolvimento rural na expectativa de que regiões agrícolas pudessem prosperar em um cenário econômico globalizado.

Assim, a abolição do sistema de cotas de produção de leite na UE (2015) e a desregulamentação do controle de preços de laticínios no Brasil (1990) representam duas cruciais mudanças na política agrícola e econômica de seus respectivos territórios, afetando sobremaneira os setores lácteos e os mercados locais. Em 31 de março de 2015, a UE aboliu o sistema de cotas de produção de leite que estava em vigor desde 1984. Esse sistema foi implementado originalmente para controlar a produção de leite, evitando excessos e estabilizando os preços no mercado europeu. As cotas limitavam a quantidade de leite que cada país membro podia produzir, com penalidades aplicadas àqueles que excediam suas respectivas participações (Eurostat, 2018).

A revogação do sistema foi vista como uma medida para liberalizar o mercado de leite na UE, promovendo a competitividade e incentivando a inovação no setor. Sem as cotas, os produtores de leite passaram a ter mais liberdade para ajustar sua produção conforme a demanda do mercado. Contudo, essa mudança também trouxe desafios significativos. A remoção das cotas resultou em um aumento na produção de leite, o que, por sua vez, levou a uma queda nos preços. Muitos produtores, especialmente, os menores, enfrentaram dificuldades financeiras devido à volatilidade do mercado e aos preços baixos do leite. Além disso, o aumento da oferta

pressionou ainda mais os preços, exacerbando a situação dos agricultores que já operavam com margens de lucro reduzidas (Jongeneel; Gonzalez-Martinez, 2022).

No Brasil, a desregulamentação do controle de preços de laticínios ocorreu de maneira mais gradual ao longo das últimas décadas. Durante a maior parte do Século XX, o governo brasileiro mantinha um controle rígido sobre os preços de produtos lácteos para garantir a estabilidade dos preços e a segurança alimentar. Esse controle incluía a fixação de preços mínimos para produtos como o leite e seus derivados com o objetivo de proteger os produtores contra as flutuações de mercado e garantir um suprimento constante para os consumidores.

A partir da década de 1990, o Brasil iniciou seu processo de liberalização econômica que incluiu a desregulamentação do setor lácteo. O governo reduziu gradualmente seu papel na fixação de preços, permitindo que o mercado determinasse os valores dos produtos lácteos. Essa desregulamentação foi acompanhada por um aumento na concorrência, tanto interna quanto externa, e pela consequente necessidade de investimentos em tecnologia e eficiência por parte dos produtores.

Assim como na UE, a desregulamentação trouxe incertezas e desafios. Por um lado, a competitividade aumentou e os consumidores se beneficiaram de uma maior variedade de produtos e preços mais baixos. Por outro lado, os produtores enfrentaram uma maior pressão para reduzir custos e melhorar a eficiência. Consequentemente, parcela dos pequenos produtores não conseguiram competir com as grandes empresas e acabaram saindo do mercado.

Embora tanto a abolição do sistema de cotas na UE quanto a desregulamentação dos preços no Brasil tenham tido o objetivo de liberalizar o mercado de laticínios e aumentar a competitividade, as duas políticas diferem significativamente em termos de implementação e impacto.

Na UE, a abolição das cotas foi uma mudança abrupta, com efeitos imediatos na produção e nos preços, enquanto, no Brasil, a desregulamentação foi um processo gradual. Na Europa, o aumento repentino da produção levou a uma queda acentuada nos preços e a dificuldades para os pequenos produtores, enquanto, no Brasil, a transição gradual permitiu uma adaptação mais lenta dos produtores às novas condições de mercado.

Ambas as políticas destacam a tensão entre a pressão política pela liberalização econômica e a proteção dos produtores locais. Na UE, a falta de uma transição gradual e de mecanismos de suporte para os produtores mais vulneráveis resultou em desafios significativos

para o setor lácteo. No Brasil, apesar do gradualismo, a desregulamentação também pressionou os produtores a se tornarem mais eficientes e competitivos em um mercado que se globalizava.

Em resumo, enquanto a abolição das cotas de produção na UE e a desregulamentação dos preços no Brasil intentaram modernizar e tornar o setor lácteo mais competitivo, ambas as políticas enfrentaram dificuldades ao equilibrar a liberalização de mercado com a necessidade de proteger os produtores locais e levar em consideração outras dimensões, que não as econômicas – assim como abordado previamente –, impondo aos formuladores de políticas públicas a necessidade de rever o conceito de desenvolvimento rural e suas formas de fomento.

Por sinal, a racionalidade subjacente a políticas públicas que intencionem a permanência do homem no campo para além da sujeição estrita das regras capitalistas de entrada e saída das atividades agrárias incorpora a realidade dos fatos. Nesse sentido, o ambiente rural e seus elementos naturais e humanos levam os estudiosos dessas questões a incorporar em seu vocabulário termos como desenvolvimento territorial e desenvolvimento agrário. Tais distinções se mostram necessárias pela premência de separar formas diversas de entender o que é o desenvolvimento, abrangendo não apenas os aspectos econômicos, mas também as dimensões sociais, territoriais e demográficas que caracterizam o espaço rural contemporâneo.

Conforme debatido por dos Anjos e Caldas (2005), fenômenos como a masculinização da agropecuária e o envelhecimento da população rural impõem desafios estruturais que vão além da lógica puramente produtivista. Em outras palavras, a consolidação do processo de modernização da agricultura observada ao final do Século XX e, ainda, a prevalência de condutas habituais na sucessão hereditária que diminuem a ocorrência de transmissão patrimonial para mulheres membros de famílias produtoras rurais, pressionam um êxodo feminino e juvenil movido pela falta de oportunidades econômicas e cria um cenário de vulnerabilidade no campo no qual a manutenção das atividades agrícolas e a reprodução social ficam comprometidas.

Além disso, Lima, Cardoso Júnior e de Lima (2017), sob a perspectiva de que as características próprias do território em que se pretende intervir são relevantes para o seu desenvolvimento, propõem uma abordagem integrada que reconhece a heterogeneidade das regiões geográficas e que valoriza as especificidades locais. O desenvolvimento territorial, portanto, também contrapõe visões meramente economicistas, buscando fortalecer redes de cooperação e elementos próprios que caracterizam as comunidades rurais – como suas limitações e potencialidades específicas –, implicando em políticas públicas que impulsionem

não apenas a agricultura familiar como um ator econômico, mas também como uma força social e cultural capaz de atender não somente suas demandas particulares como também implementar ações de anseio coletivo apoiadas, entre outras coisas, na sustentabilidade, na segurança alimentar e na inclusão socioambientais.

Sendo assim, é característico do Século XXI a adoção de políticas agrícolas cada vez mais “agrárias” que tomem parte de questões envolvendo justiça social e ambiental, fazendo com que o desenvolvimento rural não seja entendido como a impulsão do segmento via incentivos econômicos tradicionais, mas, igualmente, pela inclusão de ações que promovam a adequada divisão da terra, a igualdade de gênero, a perspectiva de sucessão, dentre outros, com vistas a garantir a sustentabilidade das dinâmicas do meio rural sob pena de se agravarem questões sociais históricas como a inabilidade dos setores urbanos em absorver mão de obra deslocada do campo, a insuficiência na oferta de alimentos, entre outras.

Nesse sentido, buscando compreender a questão do desenvolvimento rural para além da abordagem do fenômeno como mera consequência automática da liberdade dos mercados, Kageyama (2004) lança luz sobre a questão e declara que o desenvolvimento rural implica na introdução de novos produtos e serviços, conectados a novos mercados, bem como na busca por maneiras de reduzir custos por intermédio de novas trajetórias tecnológicas e na procura por reconstruir não apenas a agricultura nos estabelecimentos individuais, mas também em termos regionais e na economia rural como um todo.

Esses fatores representam, dessa maneira, uma alternativa às limitações e à falta de perspectivas inerentes ao paradigma da modernização e liberalização irrestrita, bem como ao rápido aumento de escala e industrialização que esse modelo impõe.²¹

Abramovay (2000), inclusive, instrui, de forma vigorosa, que configura mito fundador da civilização moderna acreditar que o conjunto da sociedade opera a partir da ação individual

²¹ Assim, Kageyama (2004) sedimenta um fato relevante que caracteriza o processo de desenvolvimento da agricultura brasileira quanto a uma inflexão de ênfase e abordagem. Se, a contar da década de 1960 até o início dos anos 1980, a modernização era encarada pelos formuladores de políticas públicas como um fenômeno essencialmente determinado pelo grau de mecanização/modernização do setor e viabilizado pela concessão generosa de fundos públicos subsidiados a produtores de maior porte econômico e com capacidade de absorver os avanços tecnológicos da época, essa realidade se altera a partir dos últimos anos dessa mesma década. Por certo, a crise fiscal do Estado brasileiro desses tempos, bem como as exacerbadas e inevitáveis contradições e repercussões sociais de tal modelo concentrador e segregador, impulsionaram a compreensão do desenvolvimento rural menos como um processo ilimitado de ganhos de produtividade e escala e mais como um fenômeno que precisa equacionar para além das condições econômicas, aspectos sociais, políticos e culturais. Forma-se, a partir de então, uma consciência crítica a qualquer perspectiva analítica que insista em atribuir à eficiência econômica o fim último da agricultura e seus respectivos complexos agroindustriais [ver Martine (1990)].

independente e que, seguindo objetivos específicos isolados, a soma desses movimentos corresponde ao funcionamento harmônico do sistema social. Como suporte à sua afirmação, o autor destaca a importância do capital social como elemento catalisador do desenvolvimento e como resposta ao imaginário liberal.

Para o referido autor, os casos de sucesso econômico emblemáticos dos Vales do Silício, nos EUA, e do Itajaí, no Brasil, ambos fortemente apoiados na cooperação entre os agentes da região, na troca de informações e na implantação de serviços auxiliares ao funcionamento das atividades econômicas principais, corroboram a visão do desenvolvimento como dependente da rede de relações entre organizações e serviços públicos e iniciativas empresariais, não havendo distinção se a natureza da atividade é urbana, *vide* o Vale do Silício, ou rural, no caso do Vale do Itajaí. Dessa reflexão, Abramovay (2000) conclui que o capital social disponível nos territórios pode ser mais determinante para o desenvolvimento socioeconômico que a atuação isolada em busca do lucro máximo.

Mediante o exposto, é inegável a importância da gestão dos custos e da produção, devendo ser, porém, a sua relação com a eficiência produtiva apenas um de tantos outros aspectos que um verdadeiro trajeto de desenvolvimento rural deve perseguir. Se considerada, por exemplo, a conexão a novos mercados, emerge a questão da concorrência desleal que a produção nacional de lácteos enfrenta diante de mercados como o argentino e o uruguaio que, recentemente, inundaram o mercado nacional com importações derivadas desses países em provável repetição de prática de *dumping* comercial que afeta a produção brasileira há, pelo menos, duas décadas (Siqueira *et al.*, 2011).

Por esperar que toda a parte introdutória, bem como os três primeiros capítulos que se encerram neste ponto, sejam suficientes para subsidiar, de forma técnica e crítica, a compreensão tanto dos modelos estatísticos quanto os resultados obtidos a partir deles, a próxima parte desta pesquisa, que engloba os dois capítulos subsequentes, traz, em um primeiro momento, os materiais e métodos utilizados e, em seguida, as estimativas apuradas segundo os procedimentos metodológicos descritos.

CAPÍTULO IV – MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Por ocasião da exposição dos principais aspectos teóricos das técnicas de estimação de fronteiras de produção nas modalidades DEA e SFA no Capítulo II, a este espaço reserva-se a explanação da parte prática complementar ao estudo proposto, ou seja, a rota de amostragem e coleta de dados, bem como a apresentação da estratégia de estimação dos modelos empíricos calculados a partir dos dados levantados.

Por essas razões, este capítulo apresenta os materiais e procedimentos metodológicos dispostos na seguinte ordem: i) descrição da base de dados; ii) descrição das variáveis; iii) modelos estimados; iv) cálculo dos parâmetros de efeitos de ineficiência; v) estimativa das elasticidades dos insumos, da escala e dos efeitos de ineficiência e do valor marginal dos insumos da produção; e vi) avaliação e caracterização da eficiência das explorações agrícolas e seus condicionantes.

Antes, porém, de discorrer sobre a base de dados propriamente, sublinha-se que parte dos dados desta investigação foram coletados por meio de sistema informacional próprio de captação remota e que, ainda que subsidiária, julga-se relevante discutir as tecnologias da informação aplicadas à atividade agrícola uma vez que a questão do uso de ferramentas digitais no meio rural vem sendo tratada na academia como uma revolução em curso (Ferraz, Pinto, 2017; Himesh *et al.*, 2018; Alves, Viana, Raineri, 2019; Bertoglio *et al.*, 2021; Kamal, Bablu, 2023). Para esse fim, a subseção que segue exhibe uma breve digressão a respeito dos conceitos básicos da presença desses recursos no âmbito da agricultura.

4.1 As tecnologias digitais na agricultura

A utilização de recursos de informática no apoio às atividades agrícola e agroindustrial representa aprimoramentos técnico-administrativos essenciais para os ganhos de produtividade do meio rural, recebendo os serviços tecnológicos gerados nesse contexto a denominação genérica de agroinformática (Meira *et al.*, 1996).

A despeito da concepção geral, o ramo da agroinformática comporta, em seus domínios, amplas áreas de interesse específico. Nesse ponto, Cócaro e Jesus (2008), em trabalho cujo escopo consistiu em levantamento das tendências recentes para o setor, destacaram que a

aplicação da informática na agricultura busca atender, de forma geral, a demandas por soluções técnicas nas áreas da rastreabilidade de produtos de origem animal, informações climáticas, comércio eletrônico e cotações *online*, além de fornecer ferramentas de apoio a cooperativas e aos serviços de ATER.

No caso particular da pecuária leiteira, as dinâmicas do mercado que se materializaram após a estabilização inflacionária do Plano Real e da desregulamentação estatal do setor impuseram desafios consideráveis às unidades produtivas, como mostra a pesquisa de Lemos *et al* (2003). Os autores sustentam que, em resposta às quedas do valor recebido por unidade produzida e da pressão sobre os custos de produção, a busca por inovações tecnológicas que viabilizem a rentabilidade da atividade configura o principal meio de sobrevivência econômica dos agentes.

Contudo, não se pode vislumbrar que soluções tecnológicas que promovam ganhos de produtividade sejam amplamente acessíveis a todos os produtores rurais, destacadamente aqueles de menor potencial produtivo/aquisitivo. Não obstante, a implantação de rotinas simples, tais como o registro de receitas e despesas para apuração e o controle dos custos de produção, pode significar melhoria substancial nos resultados econômicos de uma dada atividade produtiva (Seramim; Rojo, 2016).

Em auxílio à adoção de boas práticas gerenciais, a revolução tecnológica protagonizada pelos conhecidos *smartphones*, cuja gênese remonta ao aparelho *iPhone* – de produção e distribuição a cargo da empresa americana *Apple* –, lançado no ano de 2007 (Bambini; Luchiari-Júnior; Romani, 2014), representa ensejo notável para a difusão de conhecimentos tecnológicos relacionados com gestão econômica de atividades rurais.

No entanto, segundo Bambini, Luchiari-Júnior e Romani (2014), a criação do sistema operacional *Android* – da empresa Google –, no mesmo ano de 2007, cujo desenvolvimento e distribuição no formato *open source* (código aberto) impulsionou o surgimento de uma comunidade independente de desenvolvedores de aplicativos, popularizou o acesso a soluções *ad hoc*.

Paralelamente ao manuseio desses aplicativos, um conjunto de ferramentas gratuitas de desenvolvimento e programação, designado *Firebase* e ofertado igualmente pela Google, permite a coleta e a gestão de dados e informações gerados pelo usuário com conteúdo de alto valor analítico. Sendo esse o caso da presente pesquisa, a reunião de dados capturados por aplicativo de controle de receitas e despesas construído para funcionamento no sistema

operacional *Android* e gerenciado no ambiente do console do *Firebase* serviu como subsídio para análises de eficiência de propriedades rurais produtoras de leite no Estado de Minas Gerais.

4.2 Base de dados

A base de dados que fundamenta esta pesquisa foi composta pela reunião de três fontes secundárias. A primeira, provinda da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais (Emater-MG), contempla um universo de 101 produtores rurais situados no referido estado cadastrados e acompanhados no âmbito do programa Minas Leite.

Além dessa base, os dados de mais 48 produtores mineiros coletados por iniciativa da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais²² (EPAMIG) via aplicativo GERCAL – Gerenciamento de Custos da Atividade Leiteira (Aplicativo, 2024), de propriedade da instituição e de concepção e autoria deste autor, completa a amostra geral observada em um total de 149 propriedades rurais distribuídas entre 124 municípios do mesmo estado. Para fins de informação sobre o quantitativo de produtores sediados em cada uma das municipalidades destacadas, disponibilizou-se o Apêndice A ao final do trabalho.

Os dados referidos contam com fatos contábeis e financeiros, além de informações qualitativas e técnicas coletadas via formulário embarcado no próprio aplicativo. Uma vez compilados, os dados foram tratados em *softwares* do tipo *open source* baseados nas linguagens R, *Python*, JAVA, entre outros, bem como em estruturas repositórias destinadas à recepção, armazenamento e processamento de fluxo permanente de dados.

Para operacionalizar o levantamento pretendido, foram empenhados esforços de viagens a campo, ações em conjunto com entidades de classe, cooperativas e empresas privadas com a finalidade de instruir a respeito da operacionalização do *software*, assim como para aplicação de entrevista roteirizada.

Por fim, tal como requerido na especificação do modelo SFA (seção 2.3.3), dados diários de temperatura e precipitação foram extraídos da plataforma Google *Earth Engine*²³ para fins de representação das variáveis ambientais. Para o caso da primeira, após a

²² Financiada via projeto FAPEMIG APQ-00033-21 (“Competitividade dos Sistemas de Produção e Leite de Minas Gerais”).

²³ Disponível em: <https://earthengine.google.com/>.

disponibilização em graus Kelvin, houve a transformação para graus Celsius – para melhor compreensão – e, no caso da segunda, apresentou-se diretamente em milímetros (mm), ou seja, cada 1 mm de precipitação significa 1 litro (L) de água de chuva sobre uma superfície de área de 1 metro quadrado.

4.3 Os modelos empíricos

Uma vez oportunamente discutidas as propriedades teóricas dos métodos de mensuração de níveis de eficiência produtiva, passa-se à especificação dos modelos daí derivados e devidamente ajustados para considerar a base de dados descrita. Para esse fim, segue, em princípio, a configuração de forma e conteúdo das variáveis e especificações técnicas que encerram o modelo DEA e suas análises auxiliares. Em seguida, explicita-se a proposta de estimação dos parâmetros do modelo SFA em acordo com sua especificação econométrica.

4.3.1 O modelo empírico DEA

O modelo DEA foi executado, conforme suas configurações, utilizando o aplicativo RStudio (versão 2024.04.2+764), mais especificamente, com o auxílio do pacote e “*Benchmarking*”. Cada propriedade rural foi considerada uma UTD, atendendo as mesmas a contento os pressupostos de concorrência perfeita, isto é, todas vendem produtos idênticos e usam recursos idênticos, o que implica que os *inputs* e *outputs* são homogêneos entre elas e, ainda, o tamanho relativo de cada uma em relação à totalidade do mercado não as permite influenciar o preço do produto ou dos insumos empregados, que são elementos fundamentais para a validade dos resultados (Camanho *et al.*, 2023).

Posteriormente, para definição do modelo mais adequado, bem como das variáveis de entrada (*outputs* e *inputs*), buscou-se seguir de perto o propugnado pelas obras previamente referenciadas. Nesse sentido, Mareth *et al.* (2019) defendem que existe pouca divergência na literatura com respeito ao processo de escolha das variáveis de entrada em modelos DEA aplicados para o caso da pecuária de leite. Em geral, os *outputs* consistem em algum indicador de produção do leite (quantidade ou valor de mercado) e os *inputs* giram em torno dos indicadores de uso de fertilizantes, alimentação, trabalho e capital, além da dimensão do rebanho e da terra invertida no processo produtivo.

Quanto à especificação do modelo, admitiu-se a estratégia adotada por Rocha (2017). Isso significa que, para o cálculo das medidas de eficiência, inicialmente, considerando a natureza dos sistemas de produção de leite e a sazonalidade que provoca variações significativas na produção entre os períodos chuvoso e seco, além dos custos com alimentação nesses períodos diferentes, optou-se pelo uso do modelo BCC. Em seguida, essa medida de eficiência foi decomposta em uma medida de eficiência 'pura' e eficiência de escala. Portanto, calculou-se a eficiência, utilizando tanto o modelo CCR quanto o BCC com a finalidade de obter a medida de eficiência de escala (CCR/BCC).

Como anteriormente debatido, os modelos DEA podem assumir duas orientações possíveis: para produto, quando o objetivo é minimizar os recursos disponíveis sem alterar o nível de produção; e para insumos, quando a intenção é aumentar os produtos sem alterar os fatores de produção empregados.

Assim, como o produtor tem maior controle sobre os fatores de produção, podendo minimizar o uso de recursos e reduzir custos, os modelos DEA propostos terão orientação para *inputs*, justificando-se pelo fato de que a ineficiência está mais relacionada ao uso de insumos do que o caso oposto.

Em resumo ao exposto, o Quadro 4 consolida os parâmetros assumidos para a construção do modelo DEA neste trabalho:

Quadro 4. Modelo DEA – orientação assumida: *input*

Variáveis	Unidade (mil)	Classificação	Definição	Mnemônico
Receita com leite	R\$1000 (mil reais brasileiros)	<i>Output</i>	Valor total	o_y
Área	Hectare	<i>Input</i>	Área destinada à atividade	i_area
Tamanho do rebanho	Cabeça	<i>Input</i>	Quantidade de vacas em lactação	i_rebanho
Alimentação	R\$1000	<i>Input</i>	Valor total	i_alimentacao
Trabalho	R\$1000	<i>Input</i>	Contratado e familiar (remuneração)	i_trabalho
Capital	R\$1000	<i>Input</i>	Valor total	i_capital
Outros custeios	R\$1000	<i>Input</i>	Valor total	i_outros_custeios

Fonte: construído pelo autor

Um ponto fundamental a ser considerado na metodologia tradicional de avaliação de eficiência por DEA reside na tendência à classificação de plena eficiência por favorecimento de variáveis que tendem a qualificar o sistema produtivo analisado com escore igual a 1. Parte dos problemas advindos dessa característica otimista vem a ser a baixa capacidade do método em discriminar UTD's com 100% de eficiência (Mello *et al.*, 2005).

Dentre as alternativas existentes para superar a pouca acurácia do método em desempatar unidades produtivas com o mesmo escore de eficiência, Meza *et al.* (2004) propuseram considerar o evento oposto à máxima eficiência ao inverter a fronteira por meio da substituição dos *inputs* pelo *output*, e *vice-versa*, na formulação original. Como resultado, obtém-se uma fronteira invertida que avalia de forma pessimista as UTD's uma vez que classifica as piores unidades do ponto de vista operacional, formando, assim, uma “fronteira ineficiente”. Assim, considerando um cálculo que permita capturar as posições relativas que melhor se afastam da fronteira ineficiente, torna-se possível apurar índices de eficiência mais realistas.

Nesse sentido, este trabalho seguiu a lógica proposta por Meza *et al.* (2004) e definiu como eficiência final o valor de saída da seguinte média composta normalizada:

$$eficiência\ composta = \frac{eficiência\ clássica + (1-eficiência\ invertida)}{2} \quad (23)$$

para, enfim:

$$eficiência\ final = \frac{eficiência\ composta}{\max(eficiência\ composta)} \quad (24)$$

Em posse desses indicadores levantados, o modelo econométrico proposto abaixo foi estimado em segundo estágio com a intenção de identificar possíveis fontes explicativas para a ineficiência/eficiência calculada:

$$ET_{it} = \alpha_{0i} + \beta_{1it}TRR + \beta_{2it}TRB + \beta_{3it}ESC + \beta_{4it}ALM + \beta_{5it}ORD + \beta_{6it}INS + \beta_{7it}HOL + \beta_{8it}IDD + u_{it} \quad (25)$$

para o qual, os indexadores i e t são a UTD i no tempo t , ET responde pela variável dependente de nível de eficiência final, TRR representa a área dedicada à atividade em hectares, TRB representa os custos com mão de obra, ESC é a escala de produção em termos da quantidade produzida, ALM significa os custos com alimentação, ORD e INS são variáveis *dummy* para a presença de ordenha mecânica e inseminação artificial. Como de praxe, essas variáveis assumem valor 1 quando ocorrem e, 0, caso contrário.

Por fim, HOL corresponde à proporção de gado holandês no rebanho total e IDD à idade em anos do produto; u_i é o erro aleatório, e, ainda, α e β , definidos conforme seus respectivos índices, são os parâmetros desconhecidos a serem estimados pela técnica Tobit já discutida [solução metodológica similar à proposta por Mareth *et al.* (2019)]. Na sequência, são trazidas as informações a respeito da estratégia econométrica assumida para estimação da fronteira estocástica de produção.

4.3.2 O modelo empírico SFA

Buscando avaliar e compreender as características da função de produção da amostra assumida, o instrumental estatístico considerado encontra-se baseado, como visto, no trabalho de Njuki, Bravo-Ureta e O'Donnell (2019). Assumindo que os aspectos principais da modelagem foram, em parte, abordados na subseção 2.3.4, passa-se à apresentação dos elementos específicos para estudos dessa natureza com maior grau de detalhamento.

Dessa perspectiva, Njuki, Bravo-Ureta e O'Donnell (2019) fazem distinção entre a tecnologia de produção propriamente dita – que é o método para transformar insumos em produtos – e as características não controláveis do ambiente de produção como variáveis climáticas e topografia, as quais estão fora do poder diretivo da unidade produtora.

Sendo assim, o conjunto de tecnologias de um período que conforma todas as combinações possíveis de insumos e produtos naquele ambiente, além de suas características dadas, pode ser representado por uma função de distância do produto, ou, do inglês, *output distance function* (ODF) (Njuki; Bravo-Ureta; O'donnell, 2019).

A ODF mostra a eficiência máxima com a qual uma unidade produtiva pode escalar sua produção (aumentar *outputs*) mantendo constantes os insumos utilizados dentro de um ambiente e período específicos. A eficiência, nesse caso, é expressa como a maior proporção pela qual os *outputs* podem ser multiplicados até atingir a fronteira de produção eficiente, ou seja, sem

desperdícios ou ineficiências, sendo não negativa, linearmente homogênea e não decrescente em relação aos produtos (O'Donnell, 2017).

Dessa forma, existindo apenas um *output* (caso desta análise), e fazendo a quantidade produzida como função da distância do seu nível observado para o limite da fronteira de produção, a ODF pode ser disposta como:

$$\ln q_{it} = -\ln D^o(x_{it}, 1, z_{it}) - u_{it}. \quad (26)$$

em que $\ln q_{it}$ representa o logaritmo natural da quantidade de *output* produzido pela UTD i no período t . A variável $D^o(x_{it}, 1, z_{it})$ é a medida de ineficiência técnica, também conhecida como distância de *output*. O logaritmo natural desse indicador de ineficiência técnica é tomado e multiplicado por -1, sugerindo que uma maior ineficiência (um maior valor de D^o) está associada a uma menor quantidade de *output* q_{it} .

Essa medida indica o quão distante a UTD está da fronteira de eficiência técnica, considerando o vetor de insumos x_{it} e as condições ambientais z_{it} no período t . Rearranjando e generalizando q_{it} para qualquer valor, tem-se:

$$u_{it} \equiv -\ln D^o(x_{it}, q_{it}, z_{it}) \quad (27)$$

sendo u_{it} o efeito da ineficiência técnica.

Aproveitando a homogeneidade linear da ODF, a eficiência técnica pode ser representada de forma logarítmica, considerando os efeitos da ineficiência técnica (u_{it}). A forma funcional da ODF é geralmente desconhecida, então, uma função *translog* restrita com parâmetros de inclinação aleatórios é utilizada para aproximar essa relação²⁴.

$$\ln q_{it} = \phi_i + \sum_{j=1}^J \rho_{jit} \ln z_{jit} + \sum_{j=1}^J \rho_{jit} \ln(z_{jit}^2) + \sum_{j=1}^J \sum_{h=j}^J \rho_{jh it} (\ln z_{jit} \ln z_{hit}) + \sum_{m=1}^M \beta_{mit} \ln x_{mit} + v_{it} - u_{it} \quad (28)$$

²⁴ A forma *translog* é amplamente utilizada em estudos sobre produção pecuária de leite devido à sua flexibilidade funcional, permitindo capturar relações complexas e não-lineares entre os insumos, bem como interações e variações nas elasticidades de substituição, características comuns nesse setor. Essa abordagem acomoda a heterogeneidade tecnológica entre propriedades e regiões, possibilita a análise de retornos de escala e elasticidades de produção sem impor restrições rígidas, e é especialmente útil para explorar complementaridades entre fatores, como no caso da interação entre variáveis ambientais. Exemplos de uso podem ser encontrados em Frick e Sauer (2018), Bravo-Ureta, Wall e Neubauer (2021) e demais.

Especificando, tome-se $Z_{it} = (Z_i^*, Z_{it}^*, Z_{1it}, \dots, Z_{Jit})$ como um vetor de variáveis ambientais no qual: Z_i^* é um vetor de variáveis não observadas, não estocásticas e invariantes ao longo do tempo (por exemplo, tipo de solo); Z_{it}^* é um vetor de variáveis estocásticas não observadas que variam conforme o indivíduo i e o tempo t (por exemplo, número de dias sem geadas e velocidade do vento); e Z_{1it}, \dots, Z_{Jit} são variáveis observadas que variam em i e t (nesse caso, temperatura e precipitação).

$\phi_i \equiv \phi(Z_i^*)$ é um parâmetro fixo que captura os efeitos de variáveis ambientais não observadas, não estocásticas e invariantes ao longo do tempo e $\rho_{jit} \equiv \rho_j(Z_{it}^*)$, $\rho_{jh} \equiv \rho_{jh}(Z_{it}^*)$ e $\beta_{mit} \equiv \beta_m(Z_{it}^*)$ são parâmetros aleatórios que capturam os efeitos de variáveis ambientais estocásticas que variam conforme a unidade produtiva e o tempo. Assume-se que os parâmetros aleatórios são variáveis aleatórias independentes com $\rho_{jit} \sim N(\rho_j, \sigma_{\rho_j}^2)$, $\rho_{jh} \sim N(\rho_{jh}, \sigma_{\rho_{jh}}^2)$ e $\beta_{mit} \sim N(\beta_m, \sigma_{\beta_m}^2)$.

Também, assume-se que os efeitos de ruído e ineficiência são variáveis aleatórias independentes com $v_{it} \sim N(0, \sigma_v^2)$ e $u_{it} \sim N(0, \sigma_u^2)$. Se $\sigma_{\rho_j}^2 = \sigma_{\rho_j}^2 = \sigma_{\beta_m}^2 = 0$ para todos os valores de j , h e m . Então, se as variâncias dos parâmetros aleatórios são zero, o modelo se reduz a um modelo de fronteira estocástica com parâmetros de inclinação constantes e efeitos fixos da UTD no qual as diferenças de eficiência entre as mesmas são capturadas por efeitos fixos específicos de cada unidade produtiva e os parâmetros de produção são constantes. O Quadro 5 elenca as variáveis tratadas pelo modelo:

Quadro 5. Modelo SFA

Variáveis de entrada	Unidade	Classificação	Definição	Sinal esperado
Quantidade de leite	Valor real trimestral (R\$ mil)	Regressando	Valor total	-
Área	Hectares	Regressor	Área destinada à atividade	Positivo
Alimentação	Valor dispêndio trimestral (R\$ mil constantes)	Regressor	Valor total dispendido	Positivo
Pessoal	Valor dispêndio trimestral (R\$ mil constantes)	Regressor	Contratado e familiar (remuneração total)	Positivo
Capital	Valor dispêndio trimestral (R\$ mil constantes)	Regressor	Valor total invertido	Positivo
Outros custeios	Valor dispêndio trimestral (R\$ mil constantes)	Regressor	Valor total dispendido	Positivo
Temperatura	Média trimestral em °C	Regressor	Temperatura a 2 metros da superfície	Negativo
Precipitação	Média trimestral em mm	Regressor	Precipitação pluviométrica	Positivo

Fonte: construído pelo autor

Isso posto, o modelo proposto foi novamente estimado, fazendo uso do aplicativo R e tendo como base o pacote “*frontier*”, cuja função principal é analisar modelos de fronteiras estocásticas de produção (SFA). Dessa maneira, entende-se que os aspectos metodológicos necessários para a compreensão dos resultados levantados estão razoavelmente dispostos. A seguir, passa-se ao capítulo dedicado aos resultados estatísticos apurados e que subsidiam as discussões pertinentes.

CAPÍTULO V – A CONDIÇÃO DA EFICIÊNCIA TÉCNICA E DA PRODUÇÃO PECUÁRIA LEITEIRA FAMILIAR A PARTIR DE SEUS CONDICIONANTES: O QUE OS DADOS REVELAM?

Uma vez implantados os modelos DEA e SFA, este capítulo se ocupa de dispor as tabelas contendo os resultados e parâmetros estimados, assim como as argumentações sobre os valores apurados alicerçadas em todo o conteúdo referencial apresentado até este instante. Para bem da compreensão do escopo pretendido, esta parte do trabalho está subdividida da seguinte forma: i) a estimativa do modelo DEA; ii) a estimativa do modelo SFA; e iii) análise comparativa dos dois métodos.

Cabe, porém, antes, a introdução das medidas sumárias habituais com a finalidade de oferecer o panorama geral dos valores envolvidos na construção dos modelos analíticos. Nesse sentido, indicadores de média, desvio-padrão, valor mínimo, valor máximo e coeficiente de variação foram tabulados em separado. Em uma primeira disposição, apresentam-se as estatísticas dos *inputs* e, logo em seguida, o mesmo ocorre para o *output*. Assim, passa-se a elas.

5.1 Estatísticas descritivas

A base de dados examinada contém lançamentos contábeis individuais e classificados conforme o plano de contas definido para cada iniciativa institucional captora dos mesmos (EPAMIG e Emater) e compreendidos no período dado entre janeiro de 2021 e junho de 2024. Então, para viabilizar a análise de eficiência técnica conforme especificação teórica e aplicada, procedeu-se à soma desses lançamentos sob quatro grandes grupos, segundo a finalidade de cada evento, sendo eles: i) grupo Alimentação; ii) grupo Trabalho; iii) grupo Capital; e iv) grupo Demais Custeios.

Considerando a semelhança entre os modelos DEA e SFA no que tange às variáveis-núcleo das análises, a apresentação das estatísticas de dispersão e tendência central desses componentes pode se dar em tabulação única para subsídio e melhor compreensão de ambos. Dito isso, a Tabela 3 que segue abaixo ordena os valores médios (Média), os desvios-padrão (Desv. pad.), os valores mínimos (Mín) e máximos (Máx), bem como o coeficiente de variação

(CV) para cada grupo de insumo, igualmente incluídos os *inputs* de rebanho e área explorada, além dos correspondentes indicadores para a variável de produto/*output*.

Tabela 3. Estatísticas descritivas

Grupo de *Inputs*

Variável	Média	Desv. pad.	Mín.	Máx.	CV (%)
Rebanho (cb)	17	24	1	153	144
Alimentação (R\$)	7531,53	16214,04	0,00	129187,28	215,28
Trabalho (R\$)	4432,86	3448,79	2815,08	43058,30	77,80
Área (ha)	26,00	2,64688	5,00	50,00	10,18
Capital (R\$)	12565,65	16592,17	0,00	124884,55	132,04
Demais Custeios (R\$)	21702,05	182669,46	0,00	1940658,44	841,72
Precipitação (mm)	4,46	2,45	0,09	13,30	55,02
Temperatura (°C)	23,33	3,02	11,69	29,59	12,94

Output

Variável	Média	Desv. pad.	Mín	Máx	CV
Produção (R\$)	37325,67	99474,64	1,37	1069215,55	266,50

Variáveis de segundo estágio

Binárias

Variável	Não dispõe	Dispõe
Inseminação (%)	0,92	0,08
Ordenha (%)	0,74	0,26

Quantitativas

Variável	Média	Desv. pad.	Mín.	Máx.	CV (%)
Holandês (%)	0,08	0,20	0,00	1,00	258,94
Idade (anos)	51	13	23	90	25

Fonte: elaborada pelo autor a partir de dados da pesquisa.

Partindo das informações da Tabela 3, depreende-se a considerável variabilidade entre os valores exibidos, fato verificável diretamente pelas diferenças absolutas dadas pelos valores mínimos e máximos, assim como, de modo relativo, pela dispersão capturada pelos coeficientes de variação. A começar pela dimensão do rebanho, verifica-se que, no interior da amostra assumida, a média de cabeças de gado ficou em 17, com desvio-padrão absoluto de 24 e relativo (CV) de 144%. Particularmente, o rebanho mínimo observado foi de apenas um animal e o máximo, de 153 cabeças.

Avançando para os dispêndios com alimentação, e aqui já se elucida que, não somente esse quesito, mas todos os valores monetários estão expressos por suas somas trimestrais e devidamente deflacionados pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), tendo sido tomado o mês de junho de 2024 como base 100²⁵, nota-se que o volume médio de gasto trimestral com alimentação foi de algo de em torno de R\$ 7,5 mil, com desvio-padrão próximo de R\$ 16 mil.

Nos extremos, tem-se como valor mínimo R\$ 0, o que implica que o gado foi alimentado com gêneros anteriormente disponibilizados por, pelo menos, um dos períodos analisados. Na posição oposta, o maior gasto alcançou quase R\$ 130 mil, fato que, aliado ao desvio-padrão da ordem de R\$ 16 mil e coeficiente de variação de 215,28%, evidencia a heterogeneidade da distribuição dos valores desse item de custo tipicamente considerado o mais crítico na composição do custo total (Bozic *et al.*, 2012), como destacado precedentemente, ressaltando-se o desafio quanto ao nível adequado do insumo para o resultado operacional.

Na sequência, o elemento de *input* trabalho, também reconhecidamente relevante para o desempenho da atividade (Pelegriani *et al.*, 2019), apresentou como média de desembolso o valor real de R\$ 4.432,86. Como valor mínimo, o quesito apontou para R\$ 2.815,08, isto é, o valor do salário mínimo nacional vigente no início do período analisado (2021), R\$ 1.100,00, multiplicado por três, haja vista a agregação trimestral dos montantes observados.

Essa cifra ocorre toda vez que a única mão de obra empregada é a do próprio produtor que faz jus, por convenção, à remuneração de um salário mínimo (Matsunaga *et al.*, 1976). Quanto ao valor máximo, desvio-padrão e coeficiente de variação, esses foram de R\$ 43.058,30, R\$ 3.448,79 e 77,80%, respectivamente. Novamente, essa realidade aponta para alta dispersão no uso do trabalho ao longo das propriedades amostradas.

Já os desembolsos de capital alcançaram a terceira maior dispersão relativa, com CV de 132%, com valores mínimo e máximo, em reais, de 0 e 124.884,55, respectivamente. Em termos da média e desvio-padrão, verificam-se os valores reais de R\$ 12.565,65 e 16.592,17, sucessivamente, sinalizando a disparidade tecnológica e estrutural dos sistemas de produção avaliados.

Finalizando o grupo de *inputs* tradicionais, tem-se a variável geral de outros custeios. Nesse componente, encontram-se somados custos que não correspondem àqueles tratados

²⁵ Contudo, para fins de simplificação, quando da implementação dos modelos SFA e os segundos estágios DEA e SFA, as variáveis monetárias foram apropriadamente consideradas em unidades de milhares de reais.

separadamente: trabalho, alimentação e capital. Sendo assim, lastreiam o indicador dispêndios vinculados a elementos como sanidade animal, financiamentos e bancos, impostos, transporte, material de expediente, aluguéis, despesas diversas, dentre outros.

Então, por reunir itens menos essenciais ao processo produtivo, a ocorrência de alguns componentes não se dá de forma generalizada e seus usos se dão em razoável discricionariedade, ao juízo do tomador de decisão/produtor. Esse fato se refletiu nos indicadores de dispersão, com um desvio-padrão próximo de R\$ 18 mil e o maior CV da amostra, calculado na ordem de 842% e, ainda, no contexto de uma média de, aproximadamente, R\$ 21 mil e valores extremos de R\$ 0,00 e R\$ 1.940 mil, respectivamente.

Já com relação à área dedicada à exploração da atividade, constatou-se uma média de 26 hectares mobilizados, com dimensão mínima de 5ha e máximo de 50 ha. A propósito das indicações de variabilidade, o desvio-padrão de 2,65 ha e coeficiente de variação de 10,18% apontam para uma relativa uniformidade na distribuição da área total invertida na produção de leite.

Por encerramento do bloco de insumos, têm-se as variáveis ambientais de temperatura e precipitação. Para o segundo elemento, precipitação, a média trimestral ficou situada algo em torno de 4,5 mm, com desvio-padrão de 2,45 mm, sendo o mínimo observado de quase 0,1 mm, máximo de 13,3 mm e CV de 55%. Quanto à temperatura, as médias trimestrais exibiram as seguintes medidas sumárias aproximadas: média de 23°C, desvio-padrão da ordem de 3°C, com mínima de 11,7°C, máxima 30°C e CV de quase 13%.

Com isso, percebe-se uma ocorrência de maior dispersão das chuvas e relativa estabilidade dos níveis de temperatura, que são quadros desfavoráveis para uma atividade que depende de temperaturas amenas e chuvas bem distribuídas e típicos dos tempos atuais de mudanças climáticas, principalmente, quando se considera que as raças bovinas especializadas para produção de leite são originárias de países de clima frio.

Detendo, agora, ao de item de *output*, qual seja, o valor da receita trimestral real da produção, é possível notar no segundo estrato da Tabela 3 que o patamar médio trimestral verificado foi de R\$ 37.325,67, com um desvio-padrão atribuído de R\$ 99.474,64 e CV de 266,50%, evidenciando forte distribuição dos dados de produção. Finalmente, a variabilidade acentuada também se manifesta quando examinados os valores limítrofes, sendo o mínimo de R\$ 1,37 e máximo próximo de R\$ 1.070 mil.

Em conclusão, se analisados em conjunto, esses dados, que ora serviram para a operacionalização de modelos de estimativa de níveis de eficiência técnica, também corroboram a percepção corrente na literatura da existência de uma multiplicidade de sistemas de produção de leite no Brasil, categorizados por porte produtivo e dotação tecnológica, como é fato nos trabalhos de Assis *et al.* (2005) e Barros *et al.* (2022), o que torna a gestão de propriedades leiteiras um processo tão complexo quanto é o número de sistemas de produção viáveis. Isso posto, e incorporando essas ponderações a todo o desenvolvimento teórico antecedente, segue a essa análise sumária o resultado da estimativa do modelo de eficiência por envoltória de dados.

5.2 Estimativa do modelo DEA

A Tabela 4 a seguir apresenta escores de eficiência calculados para as diferentes unidades produtivas (UTD's) utilizando as três modalidades de eficiência referenciadas na metodologia: eficiência a *inputs*, eficiência invertida e eficiência composta normalizada. Na sequência, interpretam-se esses escores e o *ranking* resultante das unidades produtivas.

Tabela 4. Eficiência das unidades produtivas na modalidade DEA

UTD	Eficiência a <i>input</i>	Eficiência invertida	Eficiência Composta Normalizada	Posição
126	1,0000	0,0000	1,0000	1
82	1,0000	0,0003	0,9999	2
125	1,0000	0,0003	0,9999	2
132	1,0000	0,0003	0,9999	2
138	1,0000	0,0003	0,9999	2
11	1,0000	0,0004	0,9998	3
145	1,0000	0,0004	0,9998	3
100	1,0000	0,0006	0,9997	4
14	1,0000	0,0009	0,9996	5
23	1,0000	0,0007	0,9996	5
34	1,0000	0,0011	0,9995	6
57	1,0000	0,0011	0,9995	6
147	1,0000	0,0010	0,9995	6
73	1,0000	0,0011	0,9994	7
28	1,0000	0,0014	0,9993	8
62	1,0000	0,0014	0,9993	8
44	1,0000	0,0016	0,9992	9
71	1,0000	0,0017	0,9992	9

UTD	Eficiência a <i>input</i>	Eficiência invertida	Eficiência Composta Normalizada	Posição
113	1,0000	0,0020	0,9990	10
120	1,0000	0,0021	0,9990	10
43	1,0000	0,0027	0,9986	11
5	1,0000	0,0029	0,9985	12
48	1,0000	0,0030	0,9985	12
86	1,0000	0,0032	0,9984	13
3	1,0000	0,0037	0,9981	14
19	1,0000	0,0037	0,9981	14
88	1,0000	0,0039	0,9981	14
142	1,0000	0,0041	0,9980	15
52	1,0000	0,0044	0,9978	16
114	1,0000	0,0047	0,9977	17
45	1,0000	0,0048	0,9976	18
20	1,0000	0,0054	0,9973	19
80	1,0000	0,0055	0,9973	19
54	1,0000	0,0059	0,9970	20
17	1,0000	0,0063	0,9969	21
7	1,0000	0,0069	0,9966	22
140	1,0000	0,0079	0,9961	23
135	1,0000	0,0083	0,9959	24
8	1,0000	0,0091	0,9955	25
75	1,0000	0,0096	0,9952	26
111	1,0000	0,0112	0,9944	27
91	1,0000	0,0117	0,9942	28
144	1,0000	0,0119	0,9941	29
92	1,0000	0,0120	0,9940	30
51	1,0000	0,0125	0,9938	31
105	1,0000	0,0123	0,9938	31
26	1,0000	0,0127	0,9936	32
65	1,0000	0,0128	0,9936	32
78	1,0000	0,0132	0,9934	33
53	1,0000	0,0142	0,9929	34
99	1,0000	0,0152	0,9924	35
42	1,0000	0,0167	0,9916	36
18	1,0000	0,0198	0,9901	37
46	1,0000	0,0203	0,9898	38
27	1,0000	0,0215	0,9893	39
59	1,0000	0,0214	0,9893	39
94	1,0000	0,0220	0,9890	40
97	1,0000	0,0227	0,9887	41
9	1,0000	0,0243	0,9878	42
90	1,0000	0,0247	0,9877	43
106	1,0000	0,0260	0,9870	44
81	1,0000	0,0288	0,9856	45

UTD	Eficiência a <i>input</i>	Eficiência invertida	Eficiência Composta Normalizada	Posição
58	1,0000	0,0334	0,9833	46
95	1,0000	0,0336	0,9832	47
21	1,0000	0,0345	0,9828	48
66	1,0000	0,0344	0,9828	48
69	1,0000	0,0375	0,9813	49
61	1,0000	0,0398	0,9801	50
49	0,9920	0,0320	0,9800	51
15	1,0000	0,0404	0,9798	52
109	1,0000	0,0409	0,9796	53
102	1,0000	0,0453	0,9774	54
29	1,0000	0,0466	0,9767	55
139	1,0000	0,0487	0,9757	56
103	1,0000	0,0496	0,9752	57
104	1,0000	0,0509	0,9746	58
24	1,0000	0,0515	0,9743	59
70	1,0000	0,0521	0,9740	60
84	1,0000	0,0536	0,9732	61
87	1,0000	0,0626	0,9687	62
63	1,0000	0,0632	0,9684	63
146	1,0000	0,0672	0,9664	64
12	1,0000	0,0735	0,9633	65
47	1,0000	0,0741	0,9629	66
128	0,9319	0,0109	0,9605	67
64	1,0000	0,0846	0,9577	68
107	0,9350	0,0212	0,9569	69
67	1,0000	0,0867	0,9567	70
89	1,0000	0,0896	0,9552	71
110	0,9188	0,0085	0,9552	71
40	1,0000	0,0950	0,9525	72
6	0,9442	0,0424	0,9509	73
55	0,9767	0,0753	0,9507	74
38	1,0000	0,0994	0,9503	75
68	0,9197	0,0208	0,9494	76
4	1,0000	0,1030	0,9485	77
85	0,9065	0,0102	0,9481	78
108	0,9286	0,0579	0,9354	79
31	1,0000	0,1323	0,9338	80
16	1,0000	0,1355	0,9323	81
83	0,9013	0,0411	0,9301	82
149	0,9466	0,0872	0,9297	83
77	1,0000	0,1492	0,9254	84
39	0,9170	0,0677	0,9247	85
119	0,8618	0,0143	0,9238	86
93	0,8618	0,0153	0,9233	87

UTD	Eficiência a <i>input</i>	Eficiência invertida	Eficiência Composta Normalizada	Posição
98	0,8946	0,0544	0,9201	88
130	0,9495	0,1129	0,9183	89
25	0,8900	0,0592	0,9154	90
124	0,9995	0,1713	0,9141	91
112	1,0000	0,1949	0,9026	92
134	1,0000	0,2621	0,8690	93
76	0,8622	0,1542	0,8540	94
141	0,9399	0,2526	0,8436	95
30	0,8514	0,2016	0,8249	96
74	0,7504	0,1119	0,8193	97
116	1,0000	0,3713	0,8144	98
10	0,8458	0,2193	0,8133	99
129	0,9287	0,3724	0,7782	100
79	0,6214	0,1017	0,7598	101
133	0,6775	0,1833	0,7471	102
118	0,9936	0,5051	0,7443	103
32	1,0000	0,5742	0,7129	104
41	0,6262	0,2184	0,7039	105
22	1,0000	0,6404	0,6798	106
101	0,9280	0,5875	0,6703	107
56	0,8667	0,5986	0,6340	108
127	0,8426	0,6995	0,5715	109
13	0,5531	0,4331	0,5600	110
72	1,0000	0,9232	0,5384	111
143	1,0000	0,9367	0,5316	112
148	1,0000	0,9662	0,5169	113
1	1,0000	1,0000	0,5000	114
2	1,0000	1,0000	0,5000	114
33	1,0000	1,0000	0,5000	114
35	1,0000	1,0000	0,5000	114
36	1,0000	1,0000	0,5000	114
96	1,0000	1,0000	0,5000	114
115	1,0000	1,0000	0,5000	114
117	1,0000	1,0000	0,5000	114
121	1,0000	1,0000	0,5000	114
122	1,0000	1,0000	0,5000	114
123	1,0000	1,0000	0,5000	114
131	1,0000	1,0000	0,5000	114
137	1,0000	1,0000	0,5000	114
37	0,9059	1,0000	0,4530	115
50	0,8618	1,0000	0,4309	116
60	0,8333	1,0000	0,4167	117
136	0,7954	1,0000	0,3977	118
Média	0,9689	0,2009	0,8840	-

Fonte: elaborada pelo autor a partir de dados da pesquisa.

A eficiência a *inputs* indica a eficiência com que as unidades produtivas utilizam os insumos disponíveis, ou seja, a eficiência tradicional. Um escore de 1,0000 sugere que a unidade está utilizando seus insumos de forma plenamente eficiente, sem possibilidade de redução adicional e sem afetar a produção. Por outro lado, a eficiência invertida representa a ineficiência relativa das unidades produtivas.

Um valor de 0,0000 indica ausência de ineficiências enquanto valores mais altos indicam maior ineficiência. A eficiência composta normalizada combina os escores de eficiência a *inputs* e eficiência invertida para fornecer uma medida composta de eficiência. Um valor de 1,0000 indica eficiência máxima enquanto valores mais baixos indicam níveis variados de ineficiência.

Unidades como as UTD's 126, 144, 82, 125 e 132 obtiveram escores de 1,0000 em eficiência a *inputs* e valores extremamente baixos em eficiência invertida, resultando em escores compostos de 1,0000, ou muito próximo. Essas unidades são totalmente eficientes, utilizando insumos de forma otimizada e sem ineficiências perceptíveis, ocupando as posições mais altas no *ranking*.

Já as UTD's 71, 14, 86, 5 e 43 também obtiveram escores de 1,0000 em eficiência a *inputs*, mas apresentam valores ligeiramente mais altos em eficiência invertida, resultando em escores compostos um pouco abaixo de 1,0000. Essas unidades ainda são consideradas eficientes, mas há uma pequena margem para melhoria na utilização dos insumos.

Por suas vezes, as UTD's 17, 28, 20, 80 e 114 mantêm escores de 1,0000 em eficiência a *inputs*, mas obtiveram valores mais consideráveis em eficiência invertida, resultando em escores compostos que variam de 0,9977 a 0,9953. Essas unidades são ainda eficientes, mas apresentam algumas áreas de ineficiência que podem ser melhoradas.

As UTD's 110, 68, 55, 76 e 134 obtiveram escores de eficiência a *inputs* próximos de 1,0000, mas apresentam valores substancialmente mais altos em eficiência invertida, resultando em escores compostos abaixo de 0,9500. Essas unidades demonstram maiores ineficiências na utilização de insumos, indicando uma necessidade significativa de melhorias operacionais.

Finalmente, unidades como as UTD's 119, 49, 141, 85 e 110 obtiveram escores de eficiência a *inputs* abaixo de 1,0000 e valores altos em eficiência invertida. Essas unidades apresentam significativas ineficiências tanto na utilização dos insumos quanto na produção.

Escores compostos como 0,9804, 0,9748 e 0,9706 indicam que essas unidades podem implementar medidas corretivas para melhorar a eficiência global.

Em complementação a essas informações, os indicadores de eficiência foram agrupados para fins de síntese e classificação conforme sua magnitude. Seguindo critério não rigoroso, porém conveniente ao caso em pauta, de classificação em cinco níveis de eficiência, a saber: baixa, média-baixa, média, média-alta e alta, devidamente divididos em intervalos de 0,2 ponto de escore. Partindo de 0,00 até 1,0, foi possível construir o panorama geral da eficiência técnica tomada em conjunto. O cálculo resultante se encontra na Tabela 5, na sequência.

Tabela 5. Quantitativo e frequência acumulada de UTD's conforme nível de eficiência apurado

Nível eficiência	Escore superior	Escore inferior	Quantitativo UTD's	Frequência acumulada
Alta	1,00	0,81	118	0,79
Média-alta	0,80	0,61	9	0,85
Média	0,60	0,41	21	0,99
Média-baixa	0,40	0,21	1	1,00
Baixa	0,20	0,00	0	1,00

Fonte: elaborada pelo autor a partir de dados da pesquisa.

Dessa apuração, destaca-se o fato de que 85% das propriedades avaliadas se situaram em nível de eficiência alto ou médio-alto. Por outro lado, apenas uma propriedade (0,67%) apresentou eficiência no espectro baixo (médio-baixo ou baixo, propriamente). Em campo neutro, isto é, no nível estritamente médio de eficiência, observaram-se 21 propriedades, algo próximo a 14% do total amostrado.

De partida, não se pode desconsiderar esse fato para a construção do entendimento a termo quanto ao nível de eficiência geral que caracteriza a pecuária leiteira familiar mineira, configurando evidência expressiva a alta frequência de propriedades nos limites superiores de eficiência técnica, conforme calculada.

Apesar dessas ocorrências, a análise dos escores de eficiência revela que, embora a grande maioria das unidades produtivas estejam operando de maneira eficiente (entre média-alta e alta eficiência), há uma gama de unidades que apresentam ineficiências variáveis. Inclusive, a metodologia DEA permite que tais ineficiências sejam tratadas por meio do cálculo da redução factível de cada insumo, mantendo o mesmo nível de produção observado.

Considerando isso, a Tabela 6, que segue, organiza tais informações e sugere os níveis de redução de cada insumo de produção com a finalidade de elevar a eficiência sem alterar o *quantum* produzido.

Tabela 6. Redução de insumos para UTD's ineficientes

UTD	Rebanho	Área	Alimentação	Trabalho	Capital	Outros custeios
1	7	5	382,38	538,33	7422,40	0,00
2	76	13	0,00	2094,38	62441,65	287,76
3	0	0	0,00	4,14	1,84	0,11
4	0	2	157,87	343,83	709,91	309,24
5	0	0	0,00	24,52	49,54	0,00
6	0	2	1115,14	198,09	397,09	124,84
7	0	0	19,08	49,52	109,48	0,00
8	0	2	21,01	361,21	262,60	0,00
9	0	8	0,00	1292,12	1525,17	0,00
10	3	7	566,00	1593,56	2212,00	272,01
11	0	0	0,00	0,64	0,70	0,00
12	0	2	0,00	320,77	1298,05	113,58
13	8	7	4790,50	2119,04	2452,95	230,21
14	0	0	4,73	10,12	15,33	0,00
15	0	0	8,74	31,70	62,43	0,00
16	0	1	302,92	158,26	251,66	1,92
17	0	0	0,00	6,59	18,01	0,00
18	0	0	27,11	41,32	461,33	0,00
19	0	0	0,00	5,70	14,42	0,00
20	0	0	0,00	12,72	80,95	0,00
21	0	1	0,00	168,91	0,03	0,00
22	4	8	0,00	840,74	11592,09	0,00
23	0	0	0,00	1,02	0,93	0,00
24	0	1	655,16	142,05	131,95	5,80
25	0	3	1075,61	467,06	1440,10	557,99
26	0	1	355,97	266,58	536,07	70,25
27	0	1	111,12	80,83	245,79	0,00
28	0	0	0,00	8,05	4,87	0,00
29	0	1	61,14	109,70	541,66	0,00
30	1	7	3890,52	2510,70	2696,65	191,80
31	1	1	0,00	159,18	1567,69	0,00
32	1	1	0,00	124,36	150,24	0,00
33	3	13	27091,68	1460,74	12849,36	3724,15
34	0	0	0,00	2,03	7,60	0,00
35	1	13	48165,92	1860,96	6171,55	7480,47
36	1	1	0,00	58,32	88,36	0,00

UTD	Rebanho	Área	Alimentação	Trabalho	Capital	Outros custeios
37	11	14	704,60	3693,93	5579,51	747302,99
38	0	2	846,90	495,99	172,24	101,73
39	0	2	193,41	496,07	478,39	4,30
40	6	13	0,00	1454,72	26149,72	0,00
41	3	12	11987,34	4120,99	5289,27	953,35
42	0	0	0,00	66,32	201,29	0,00
43	0	0	0,55	12,70	59,26	0,00
44	0	0	0,08	0,42	0,58	0,00
45	0	0	40,15	40,31	12,23	56,07
46	0	0	0,00	10,74	42,30	0,00
47	1	9	0,00	1331,32	17225,69	0,00
48	0	1	0,00	74,58	1424,27	0,00
49	0	1	3,38	130,77	884,38	2,64
50	10	14	3335,85	2075,06	2259,23	1046579,11
51	0	0	54,59	59,16	112,41	0,00
52	0	0	4,34	24,90	22,00	0,00
53	0	0	226,86	64,85	816,18	14,56
54	0	0	0,00	6,13	40,07	0,00
55	1	1	125,85	146,27	1418,70	0,94
56	1	11	0,00	1438,59	6745,30	168,57
57	0	0	0,00	33,89	47,58	0,00
58	0	1	162,96	160,34	851,76	0,00
59	0	0	0,00	15,44	57,44	0,00
60	8	32	2015,63	2424,33	8575,10	1465,91
61	2	4	0,00	533,45	6526,31	0,00
62	0	0	0,00	36,00	13,67	0,00
63	1	1	159,01	90,87	491,24	14,33
64	0	1	3421,95	181,84	597,09	0,00
65	0	0	217,67	48,13	778,66	13,66
66	0	3	254,86	395,01	498,75	0,00
67	0	1	0,00	175,60	637,51	0,00
68	0	1	1012,12	210,13	726,73	16,91
69	0	1	173,65	82,53	533,43	0,00
70	0	1	317,03	94,13	261,23	0,00
71	0	0	0,00	9,46	35,82	0,00
72	44	13	3011,47	3597,70	0,00	0,00
73	0	0	0,68	10,39	20,50	0,00
74	1	5	4370,20	1021,93	3862,65	123,95
75	0	1	0,00	77,63	147,03	0,00
76	1	4	3329,29	607,43	503,17	24,58
77	1	2	799,27	284,53	1725,09	0,00
78	0	0	16,03	54,06	307,24	0,00
79	4	9	5685,38	3116,72	13300,07	226,86

UTD	Rebanho	Área	Alimentação	Trabalho	Capital	Outros custeios
80	0	1	1,74	98,47	74,32	0,00
81	0	0	112,15	71,85	144,91	0,00
82	0	0	0,00	0,45	0,00	0,00
83	1	1	188,82	110,96	94,67	516,32
84	1	1	3,31	104,87	20,19	0,00
85	0	2	91,64	234,86	904,70	20,54
86	0	0	0,00	13,01	29,57	0,00
87	0	1	1292,49	145,16	183,43	0,00
88	0	0	3,30	16,07	68,99	0,00
89	0	2	76,97	309,02	1759,03	0,00
90	0	0	0,00	64,96	448,22	2,45
91	0	0	0,00	34,84	250,66	0,00
92	0	1	59,12	95,01	263,73	0,00
93	1	3	676,70	406,28	2069,80	92,11
94	0	0	0,00	42,47	482,32	0,00
95	0	1	267,97	177,23	0,04	0,00
96	38	13	943,59	21528,94	1813,33	15787,56
97	0	1	36,12	79,46	301,00	0,00
98	1	2	773,28	311,65	881,99	10,22
99	0	1	0,00	109,98	274,86	0,00
100	0	0	0,00	3,78	9,54	0,00
101	1	14	3738,02	2053,63	4452,39	44,45
102	0	2	863,16	279,53	120,85	0,00
103	0	0	36,11	53,22	400,79	0,00
104	0	1	692,96	118,01	547,29	0,00
105	0	0	0,00	37,72	76,31	0,00
106	0	1	161,32	124,43	207,39	0,00
107	1	4	149,54	527,36	1074,89	12,68
108	1	2	337,04	246,39	929,14	0,00
109	0	0	0,00	19,61	170,83	0,00
110	0	2	262,80	251,47	389,81	21,56
111	0	0	29,25	49,96	245,58	0,00
112	1	3	886,11	1299,67	1023,82	162,44
113	0	0	0,00	3,89	11,78	0,00
114	0	0	0,00	50,86	82,29	0,00
115	5	13	0,00	1931,99	20344,46	0,00
116	0	0	0,00	66,57	252,39	0,00
117	4	13	224,86	1700,88	0,00	0,00
118	9	5	10991,16	2947,50	1145,10	24721,52
119	0	0	10,41	59,91	58,67	0,76
120	0	0	0,00	6,38	0,00	0,00
121	58	13	0,00	1590,05	0,00	0,00
122	6	4	4934,92	730,37	0,00	243,14

UTD	Rebanho	Área	Alimentação	Trabalho	Capital	Outros custeios
123	25	13	0,00	2593,88	95,36	0,00
124	2	1	30,12	127,57	0,07	6,69
125	0	0	0,00	0,42	0,00	0,00
126	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
127	6	3	1849,15	417,37	442,05	1140,48
128	3	1	227,29	153,50	221,41	556,43
129	7	2	454,63	312,75	51,68	125,84
130	1	2	40,43	326,38	15,66	15,66
131	44	13	64592,99	1755,09	4841,94	20636,03
132	0	0	0,00	0,49	0,00	0,00
133	7	4	989,82	708,79	667,97	89,69
134	8	4	84,49	762,28	0,00	245,38
135	0	0	0,00	16,50	14,53	6,25
136	2	3	103,76	751,77	195,42	191,39
137	12	13	443,21	1877,42	33,24	0,00
138	0	0	0,00	0,67	0,38	0,03
139	1	1	179,60	129,51	0,00	0,00
140	2	1	26,81	151,44	74,39	0,00
141	4	1	918,19	183,41	137,62	550,36
142	2	2	0,00	305,49	0,00	24,23
143	8	3	3253,85	383,49	0,00	0,00
144	0	0	16,90	34,43	5,98	0,00
145	0	0	0,00	1,39	0,00	0,00
146	2	2	41,19	308,46	0,00	33,67
147	0	0	0,00	2,30	0,68	0,11
148	13	13	5536,34	4644,47	0,00	1162,64
149	3	2	674,09	361,33	41,48	155,19
Média	3	3	1601,22	677,13	1850,29	12597,43

Fonte: elaborada pelo autor a partir de dados da pesquisa.

Para identificar os valores apurados, iniciou-se com a matriz original de insumos e calculou-se a quantidade de insumos que poderia ser diminuída, multiplicando os insumos de cada unidade ineficiente pela sua eficiência normalizada. Em seguida, para encontrar a quantidade efetiva a ser reduzida, subtraiu-se a matriz de insumos reduzidos da matriz original.

Os resultados encontrados refletem a necessidade de reduções de insumos nas unidades decisórias (UTD's) para alcançar a eficiência, conforme a análise DEA. Em média, as unidades precisam diminuir 3ha de terras empenhadas na atividade e 3 cabeças do rebanho. Pelos diagnósticos exibidos, isso significa que produtores devem considerar a ocorrência de excesso de área não utilizada na atividade a fim de se evitarem custos desnecessários com cercamento,

adubação, além do próprio custo de oportunidade da terra ociosa. Raciocínio análogo pode ser feito ao argumento de redução do número de animais no plantel: a manutenção de uma boa proporção entre vacas em lactação e vacas secas e a posse estritamente necessária de machos (touro, novilhos e bezerros) para os resultados da atividade, o que, por exemplo – prática denominada gestão do rebanho –, pode implicar em ganhos de eficiência técnica por meio do melhor manejo desses bens de capital²⁶.

O volume de alimentação requer uma redução média de R\$ 1.601,22 enquanto os custos de pessoal/trabalho precisam ser reduzidos em R\$ 677,13. Além disso, há uma necessidade média de redução de R\$ 1.850,29 nos custos de capital e de R\$ 12.597,43 nos demais itens de custeios. Esses valores indicam que há um potencial considerável para otimização dos recursos utilizados, sugerindo a consequência prática desses montantes calculados a substituição da alimentação comprada (ração e outras) por alimentação a pasto, sendo esta mais barata.

Além disso, recomenda-se a racionalização do uso do fator trabalho e não sua substituição direta por capital, haja vista a necessidade de redução média superior no que diz respeito aos custos de capital. Quanto aos demais custeios, dada sua natureza agregada, a substancial redução média necessária para se aproximar da eficiência técnica máxima é um indicio de existência de desperdício de recursos em boa parte das etapas produtivas, não sendo possível, porém, determinar em que ponto exato se deve dar a intervenção gerencial.

Analisando os casos específicos de três UTD's com diferentes níveis de necessidade de redução, observam-se variações significativas na eficiência e nas ações necessárias para otimização. A UTD 33, por exemplo, que apresenta uma alta necessidade de ajustamento, deve reduzir substancialmente seus insumos para melhorar a eficiência. Com um rebanho potencialmente redutível em 3 unidades e uma área otimizável em menos 13 hectares, a UTD precisa reduzir seus custos de alimentação em quase R\$ 27 mil, seus custos de trabalho em algo próximo a R\$ 1,5 mil, e seu capital em R\$ 13 mil, aproximadamente, além dos demais custeios em R\$ 3.724,15.

Em sentido oposto, a UTD 19 precisa ajustar suas operações de maneira ínfima. Sem necessidade de ajuste nos estoques de rebanho e terra, a UTD deve reduzir seus custos de trabalho em R\$ 5,70 e os custos de capital em R\$ 14,42. Assim, as reduções necessárias são

²⁶ Em geral, a proporção de 80% de vacas em lactação sobre o total de vacas do rebanho é tomada como referência. (Mattos, 1986)

inversas à UTD 33 e indicam pouca necessidade de revisão de práticas operacionais para melhorar a eficiência.

Por outro lado, a UTD 76 demonstrou necessidade de redução intermediária. Com dedução sugerida de uma unidade de rebanho e 4 hectares de área, a UTD precisa eliminar algo em torno de R\$ 3 mil em custos com alimentação, R\$ 607,43 com pessoal, outros R\$ 503,17 com capital, além de R\$ 24,58 em demais custeios. Esses ajustes são relativamente modestos e sugerem que a unidade já está operando com um nível razoável de eficiência.

Essa breve análise ilustra como diferentes UTD's enfrentam desafios variados em termos de redução de insumos e custos, destacando a importância de estratégias personalizadas para cada caso. Ainda, os resultados propõem uma linha de atuação das UTD's, indicando áreas específicas nas quais a eficiência pode ser melhorada por meio da redução de insumos.

A aplicação detalhada da técnica DEA permite que cada unidade identifique suas áreas de ineficiência e tome medidas direcionadas para otimizar o uso de recursos. Implementar essas reduções pode resultar em uma operação mais sustentável e economicamente viável, além de contribuir para uma melhor alocação de recursos no setor. Sendo isso que se considera essencial para caracterizar o cálculo dos escores e seus desdobramentos e interpretações, conveniente é averiguar as potenciais variáveis explicativas de seus valores determinados.

5.2.1 Análise dos condicionantes dos escores DEA (segundo estágio)

Uma vez apurados os valores indicadores de eficiência técnica, ou escores de eficiência, a etapa seguinte consiste na investigação de seus condicionantes. Para isso, procedeu-se ao cálculo do modelo definido em (25) pelos estimadores de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) e Tobit. Como resultado, os parâmetros estimados e os diagnósticos estatísticos de interesse estão dispostos na tabela exposta a seguir:

Tabela 7. Resultados segundo estágio (var. dependente: escore de eficiência-DEA)

Variável	MQO		Tobit	
	(1)	(2)	(1)	(2)
i_area	-0,015*** (0,004)	-0,015*** (0,005)	-0,016*** (0,004)	-0,016*** (0,004)
o_y	0,0002* (0,0001)	0,0002 (0,0001)	0,0002** (0,0001)	0,0002* (0,0001)
i_alimentacao	-0,005*** (0,001)	-0,005*** (0,001)	-0,005*** (0,001)	-0,005*** (0,001)
i_pessoal	-0,0001*** (0,00003)	-0,0001*** (0,00003)	-0,0001*** (0,00003)	-0,0001*** (0,00003)
i_capital	-0,003*** (0,001)	-0,003*** (0,001)	-0,003*** (0,001)	-0,003*** (0,001)
i_outros_custeios	-0,0003*** (0,0001)	-0,0003*** (0,0001)	-0,0003*** (0,0001)	-0,0003*** (0,0001)
inseminacao		-0,021 (0,048)		-0,023 (0,047)
ordenha		0,004 (0,029)		0,007 (0,029)
hol		0,114* (0,064)		0,111* (0,062)
idade		-0,001 (0,001)		-0,001 (0,001)
Constante	1,741*** (0,158)	1,775*** (0,159)	1,744*** (0,156)	1,776*** (0,155)
N	167	167		167
R²	0,368	0,384		
R² ajustado	0,345	0,344		
Log Likelihood			81,301	83,222
Erro Padrão Residual	0,149 (gl = 160)	0,149 (gl = 156)		
Estatística F	15,556*** (gl = 6; 160)	9,708*** (gl = 10; 156)	97,520*** (gl = 6)	
Teste Wald				103,743*** (gl = 10)

Nota: * p<0,1; ** p<0,05; *** p<0,01. Fonte: elaborada pelo autor a partir de dados da pesquisa.

Portanto, considerando a especificação linear nível-nível das variáveis regredidas conforme disposto na Tabela 7, a interpretação dos coeficientes se dá de forma direta e os resultados apurados apontam para a existência de relação estatística significativa²⁷ entre todas as covariáveis implicadas no cálculo DEA (*input e outputs*), à exceção do nível de produção (*o_y*) no modelo MQO (2).

Além disso, para as variáveis exógenas à análise envoltória (inseminação, ordenha, hol e idade) presentes nos modelos MQO (2) e Tobit (2), apenas a variável representativa da proporção de gado holandês no rebanho total se mostrou estatisticamente relevante para determinação do nível de eficiência técnica, tendo as demais variáveis apresentado falha na hipótese de seus respectivos coeficientes serem diferentes de zero.

Com isso, mantido tudo o mais constante, a elevação de uma unidade da área explorada na atividade (hectare, para o presente caso) pode ser capaz de reduzir a eficiência (variante entre 0 e 1) em algo em torno de 0,015. Na prática, esse resultado reforça aquele reportado na Tabela 6 e demonstra o impacto potencial negativo de decisões isoladas de expansão da área comprometida com a produção de leite, reforçando o conceito de que o sistema de produção deve ser estruturado como um todo. Por sua vez, elevar a escala de produção em uma unidade (milhares de reais em valores constantes) tem um potencial de impacto positivo no escore de 0,0002, restando configurado o fato de que ganhos de produtividade dados pela expansão do numerador desse indicador [o termo *y* da expressão (3)] aprimoram a eficiência técnica final. Dito de outra forma, elevações autônomas na quantidade de leite produzido, estando todo o resto inalterado, constituem forma efetiva de aprimoramento da eficiência técnica, o que está de acordo com Lopes *et al.* (2006) e Padilha *et al.* (2022), por exemplo.

Tomados em conjunto, esses resultados indicam que decisões de aumentos na dimensão do sistema produtivo, representados pela expansão da área explorada e/ou da escala de produção, devem ser consideradas com cautela uma vez que o impacto do aumento da área pode sobrepujar o efeito da variação da escala sobre o nível de eficiência técnica, observação semelhante à apurada por Mareth *et al.* (2019).

²⁷ Sempre que uma variável exibe significância estatística, isso implica que o coeficiente de correlação parcial apurado é diferente de zero, ou seja, existe relação relevante entre esta e o regressando, pelo menos para o intervalo dado pelo nível de significância escolhido, geralmente, até 10%. Isso indica que a probabilidade de rejeitar incorretamente a hipótese nula (de que não há relação) é baixa, sugerindo que a variável tem um impacto relevante no modelo para a amostra e o contexto estudados. Esse procedimento serve, mormente, para corroborar hipóteses assumidas e a natureza da correlação (positiva ou negativa) teoricamente fundamentada.

Ademais, elevações/reduções isoladas nos dispêndios unitários (milhares de reais trimestrais constantes) com alimentação podem diminuir/impulsionar a eficiência técnica em 0,005. A mesma lógica vale para as variações unitárias com pessoal, capital e demais custeios na proporção de 0,0001, 0,003 e 0,0003, de forma respectiva.

Novamente, essas apurações concordam com os níveis de ajustamentos médios sugeridos diretamente pelo método DEA (Tabela 6) de racionalização dos custos com alimentação e mão de obra, podendo os coeficientes estimados ou os valores médios reportados serem utilizados como critério razoável de definição objetiva do nível de eficiência que se pretende atingir. Com exceção feita à variável de capital, não examinada pelos autores, tais estimativas concordam com a direção dos sinais preditos e verificados por Gelan e Muriithi (2012), Dong, Hennessy e Jensen (2013), Mareth *et al.* (2019), entre outros.

Assim, o diagnóstico exibido aparenta aderência teórica razoável dada a natureza *ceteris paribus* da análise, isto é, os parâmetros estimados, na condição de coeficientes de correlação parcial, sugerem que a elevação isolada dos insumos de produção, mantido todo o resto inalterado, tem a capacidade de erodir a eficiência técnica pelo simples fato de aumentar o uso total de fatores sem a devida correspondência no nível de produção, valendo igualmente o raciocínio para reduções ou aumentos autônomos na escala produtiva.

Avaliando agora as estimativas para as variáveis exógenas binárias de adoção de inseminação artificial e ordenha mecânica, as mesmas retornaram estimativas não estatisticamente significativas, contrariando a hipótese intuitiva e teoricamente prevista de impacto sobre a eficiência técnica, como anteriormente verificado por Alvarez e González (1999), Travassos *et al.* (2016) – para o caso do uso de inseminação, porém igualmente afastada no trabalho de Mareth *et al.* (2019).

Também inconclusiva, a adoção de ordenha mecânica com potencial efeito sobre a eficiência técnica foi confirmada por Hansson (2007), Chidmi *et al.* (2010) e Del Corral, Perez e Roibas (2011) e refutada por Cabrera, Solís e Del Corral (2010) e Mareth *et al.* (2019).

Porém, o dilema do uso, ou não, de ordenha mecânica para aprimoramentos de desempenho deve ser analisado com as devidas ressalvas uma vez que, a partir de certo nível de produção, ou, em outras palavras, para um determinado número de vacas a ordenhar, a adoção do recurso não serve apenas à gestão da eficiência, mas também como tecnologia viabilizadora de expansões de escala, dado os limites físicos impostos pela ordenha manual.

Prosseguindo, as variáveis exógenas quantitativas assumidas nos modelos II (MQO e Tobit), sendo elas, proporção de gado holandês no rebanho total e idade do produtor, se mostraram significativas apenas para o primeiro elemento. Conseqüentemente, aumentos unitários, expressos em termos percentuais, implicam que esses são capazes de impactar positivamente a eficiência técnica, em média, algo em torno de 0,11, achado similar ao de Gelan e Muriithi (2012) e diverso daquele verificado por Mareth *et al.* (2019).

Essa evidência, portanto, reforça a noção disseminada de que animais de raça holandesa são mais propícios a sistemas de produção de leite tecnicamente eficientes e seria uma orientação natural decorrente considerar a substituição de vacas de outras linhagens por vacas holandesas. Porém, esse é um resultado que novamente exige ponderação com lastro na prática pecuária de fato. Produtores que optam pela criação de animais com grande proporção de raça holandesa enfrentam dificuldades com potencial para anular ou até mesmo ultrapassar os ganhos de eficiência técnica em razão dos problemas que podem afetar os animais e que são advindos das condições de clima, de patógenos e da disponibilidade de alimentos em territórios de clima tropical, como é o caso do Estado de Minas Gerais.

Em vista disso, ainda que reconhecida a superioridade produtiva dessa variedade bovina, o que se tem observado, de fato, é a decisão pela manutenção de rebanhos resultantes de cruzamentos de animais de raça holandesa com animais de raças zebuínas (Gir, Guzerá e Sindi) para a produção de leite como estratégia de ajuste do desempenho animal às condições do meio a fim de se mitigar riscos de perdas e equilibrar o *trade-off* “resistência animal *versus* retorno econômico” (Martins Neto, 2018).

Em remate, diversamente do diagnóstico aqui encontrado, a relevância da idade do produtor de leite como condicionante parcial da eficiência técnica constitui resultado estatisticamente validado pelos trabalhos tanto de Alvarez e González (1999) quanto de Travassos *et al.* (2016). Contudo, os sinais apurados são opostos, com impacto positivo na eficiência, para a primeira pesquisa, e negativo, para a segunda.

Portanto, excluída a dimensão da área explorada na atividade, até o advento de novas evidências capazes de dirimir a contradição presente nos resultados aqui apontados e confrontados com a literatura disponível, uma observação coerente permite eleger os itens diretamente envolvidos no conceito de produtividade e eficiência (insumos e produtos) como as variáveis manifestamente importantes para o aprimoramento da eficiência técnica no setor

pecuário leiteiro, tanto na direção da correlação funcional estimada, quanto da robustez estatística apresentada.

Assim, concluída a análise por envoltória de dados e seus potenciais condicionantes, segue-se para a seção contendo as estimativas da eficiência técnica a partir da abordagem alternativa por fronteira estocástica.

5.3 Estimativa do modelo SFA

Partindo, deste ponto em diante, para a demonstração dos resultados empíricos obtidos a partir da base metodológica da seção 4.3.2 e do modelo especificado em (28), procede-se à disposição dos parâmetros estimados para que seja possível discutir os valores calculados, a concordância, ou seu oposto, com estudos pretéritos, bem como se faz a comparação destes com os prognósticos levantes na estimativa DEA e suas potenciais implicações. Isso dito, a Tabela 8 que segue serve a esse propósito:

Tabela 8. Resultados SFA (var. dependente: valor real produzido)

Variável	Coefficiente
log_i_area	-0,384 (0,915)
log_i_alimentacao	0,483*** (0,097)
log_i_pessoal	0,565 (0,453)
log_i_capital	0,344*** (0,084)
log_i_outros_custeios	0,098*** (0,038)
log_precipitacao	9,696*** (0,953)
log_temperatura	-3,755*** (0,986)
log_temp_x_precip	-3,095*** (0,309)
log_temp_quad	1,027*** (0,227)
log_precip_quad	-0,210* (0,115)
sigmaSq	1,671*** (0,343)
Gamma	0,002

Variável	Coefficiente
	(0,200)
Mu	-0,126
	(1,130)
Constante	0,078
	(0,998)

N 97
AIC 351,5 BIC 387,5
Log Likelihood -161,749

Nota: *p<0,1; **p<0,05; ***p<0,01.
Fonte: elaborada pelo autor a partir de dados da pesquisa.

Preliminarmente, ressalta-se que o modelo SFA presta à determinação da fronteira de produção, ou seja, tem como variável a ser determinada o valor real produzido em função do uso dos insumos relevantes para tanto, ou seja, trata-se de uma estimativa para a função de produção leiteira agregada. Além disso, a forma linearizada e expressa em logaritmos permite obter as respectivas elasticidades conforme a correlação parcial estabelecida pelo coeficiente atribuído a cada regressando.

Por essas razões, inicia-se pela análise do coeficiente atrelado ao fator produtivo área ($\log_i \text{ area}$), não tendo o mesmo retornado valor estatisticamente diferente de zero. Posto isso, não é possível afirmar que o tamanho da terra dedicada à exploração leiteira constitua elemento condicionante da quantidade produzida.

Diversamente do nível eficiência, em que oportunamente se identificou um impacto negativo significativo, a área de terra por si só não parece ter uma relação clara com a produção total de leite, ou seja, mais terra não necessariamente levou a mais leite produzido, nesses casos. Esse resultado discorda do apurado por Ma, Bicknell e Renwick (2019) ao analisarem fenômeno semelhante e sugere que regimes produtivos do tipo confinado sejam preferíveis aos sistemas extensivos.

Entretanto, para um aprofundamento nessa discussão, é importante considerar mais uma vez as particularidades da pecuária de leite de Minas Gerais, especialmente, no que diz respeito ao grau de especialização na atividade, a disponibilidade e a qualidade de alimentos para os rebanhos e a incidência de doenças. Como consequência, não são raras as criações de caráter misto com a finalidade de produção de leite e venda de bezerros para engorda e, se tomados como um todo, o comportamento de sistemas pecuários mistos de produção podem divergir dessa regularidade observada.

Progredindo para o insumo produtivo de alimentação ($\log_i_{alimentacao}$), a relação estatística positiva e significativa implica que elevações de 1% nos gastos com esse item são capazes de impulsionar, em média, a produção em, aproximadamente, 0,5%, destacando a relevância do fator para o desempenho operacional da pecuária de leite. Contudo, a potencial repercussão desfavorável sobre o nível de eficiência técnica se contrapõe à interpretação generalizada desse fato.

Mais explorada que a covariável anterior, o papel exercido pela utilização desse insumo consta, ao menos, dos trabalhos de Pérez-Méndez, Roibás e Wall (2020), para os quais o fornecimento de concentrados ao gado leiteiro evidenciou ser positivamente relacionado com o logaritmo do produto, tomando por base o território espanhol. Em sentido oposto, Yu *et al.* (2023) atestaram que a utilização dos fatores de produção ligada à alimentação concentrada e forragem se revelou oscilante entre impacto insignificante, positivo ou negativo, a depender da classificação da escala de produção das unidades examinadas e cujo destaque se dá ao coeficiente positivo para o caso da pecuária de pequena escala.

Os dois regressores seguintes, trabalho e capital ($\log_i_{pessoal}$ e $\log_i_{capital}$), exibiram comportamento inesperadamente diverso. Enquanto a variação na quantidade de trabalho não foi capaz de alterar a quantidade produzida, diante do coeficiente não estatisticamente diferente de zero, os dispêndios com itens de capital retornaram elasticidade de 1 para 0,344, isto é, aumentos/reduções de 1% no uso de capital são potencialmente impulsionadores/redutores do produto em 0,344%, em média.

Esses achados estão em situação oposta aos pronunciados nos trabalhos Singh e Sharma (2011) e Al-Sharafat (2013), para os quais houve relevância estatística para o uso de trabalho e o inverso para o fator capital. Efetivamente, esses valores encontrados significam que, ao invés de contratar mais mão de obra, tende a ser mais vantajoso direcionar os recursos para modernizar as instalações, adquirir melhores equipamentos ou melhorar as condições da fazenda. Isso provavelmente pode gerar um retorno positivo importante na produção de leite, sempre resguardando possíveis impactos no nível de eficiência técnica.

Encerrando a análise dos *inputs* convencionais, os demais custeios ($\log_i_{outros_custeios}$) exibiram coeficiente positivo e estatisticamente significativo de 0,082. Por consequência, essa informação alude que, para cada aumento de 1% nesses desembolsos (em termos reais), existe uma potencial repercussão positiva na quantidade real produzida próxima de 0,1%, em média, sendo verdadeiro o raciocínio contrário. Esse fenômeno também

foi observado por Yu *et al.* (2023), ao menos para o caso da pecuária de pequena escala, tal como aqui investigado.

Sendo assim, esclarece-se que os demais custos e despesas relacionados à atividade leiteira, podendo ser os dispêndios com material de sanidade e limpeza, artigos veterinários, fretes pagos, dentre outros, são também relevantes para a integralidade do processo produtivo e suas variações. Sejam para mais ou para menos, essas despesas exibem potencial efeito no mesmo sentido na produção total. Obviamente, e mais uma vez, pontua-se que essa afirmação prescinde da necessária contextualização de seus efeitos sobre o nível de eficiência técnica.

Em seguida, as variáveis ambientais de condições geográficas variantes no tempo correspondentes ao patamar de precipitação e temperatura atmosférica foram regredidas tanto em nível quanto em termos quadráticos e interativo, conforme a especificação do tipo *translog*.

Como repercussão, a variável de nível relacionada ao volume de precipitação apresentou significância estatística por meio do coeficiente positivo de, aproximadamente, 9,7, destacando a importância da intensidade pluviométrica para a produção de leite presumivelmente pela via do melhoramento qualitativo e quantitativo de pastagens, estando tudo o mais mantido constante. Descobertas semelhantes podem ser encontradas nas pesquisas de Njuki, Bravo-Ureta e O'Donnell (2019), e Njuki, Bravo-Ureta, Cabrera (2020) – para o caso das chuvas de primavera – e contrárias à de Qi, Bravo-Ureta, Cabrera (2015) – negativamente significativa para as chuvas de inverno, segundo os autores.

Além dessa, evidências do impacto negativo da variável de temperatura atmosférica sobre o nível produtivo da pecuária de leite são relativamente convergentes e podem ser localizadas nos trabalhos de Qi, Bravo-Ureta, Cabrera (2015), Njuki, Bravo-Ureta, Cabrera (2020) e Bravo-Ureta, Wall e Neubauer (2021), sendo esse resultado igualmente encontrado no modelo aqui computado. Uma explicação plausível para esse fenômeno pode ser definida no argumento de que as variações de temperatura geram stress animal capaz de impactar a produtividade no geral (Mukherjee; Bravo-Ureta; De Vries, 2013).

Mais ainda, a combinação dada pelas condições simultâneas de temperatura e precipitação (variável *log_temp_x_precip*) se mostraram negativamente relevantes para determinação da produção leiteira. De fato, o desconforto imposto ao animal por estados de tempo quente e úmido é capaz de afetar desfavoravelmente a produção pecuária (Kadzere *et al.*, 2002; Qi, Bravo-Ureta, Cabrera, 2015).

Por fim, assim como em Njuki, Bravo-Ureta e O'Donnell (2019), foi possível afastar a hipótese de inexistência de relação não linear (variáveis \log_temp_quad e \log_precip_quad), tanto para precipitação quanto para temperatura, indicando que, provavelmente, qualquer das variáveis pode impactar a produção leiteira de forma alternada (ora direta, ora inversa) a depender dos níveis críticos observados desses fatores. Na prática, “chuva de mais” ou “temperatura de menos” são igualmente indesejáveis do ponto de vista produtivo.

Em termos gerais, os resultados mostraram que investir em alimentação adequada e em capital (máquinas e infraestrutura) são formas eficazes de aumentar a produção de leite sem, contudo, perder de vista o nível de eficiência que se pretende. Além disso, o clima, especialmente, a chuva e a temperatura, desempenharam papéis importantes. O manejo correto das pastagens e a manutenção do bem-estar animal podem ajudar a manter a produção em patamar mais elevado ao lado da correta gestão dos demais custos e despesas envolvidos em processos típicos de obtenção de leite de vaca para fins comerciais.

E, por julgar serem esses os principais aspectos relacionados ao modelo de fronteira estocástica, passa-se, novamente como segundo estágio, à avaliação dos condicionantes do nível de eficiência calculado por meio dessa metodologia, para fins de comparação com o mesmo exercício feito para o modelo DEA.

5.3.1 Análise dos condicionantes dos escores SFA (segundo estágio)

Assim como na abordagem DEA, a análise por fronteira estocástica permite calcular um indicador de eficiência padronizado para estar contido no intervalo entre 0 e 1. Mediante a estimação do termo postulado em (27) e empiricamente extraído da expressão (28), o componente referido permite estabelecer baliza com os índices análogos derivados da envoltória de dados, conferindo maior corroboração de resultados, uma vez que, teoricamente, depura a ineficiência de termos de erro aleatórios não relacionados (Yu *et al.*, 2023), carregando esta característica para uma eventual definição de seus condicionantes.

Dito isso, esta subseção reporta tais resultados e visa levantar elementos para comparação dos dois métodos, SFA e DEA, permitindo, dessa forma, consolidar as evidências mais relevantes para os objetivos e hipóteses assumidos nesta pesquisa, seja apontando para um método potencialmente mais adequado que o outro, seja, no caso de equivalência de robustez, sinalizar um parâmetro de maior confiabilidade baseado no comportamento médio de ambas as

metodologias. Posto isto, passa-se à representação do modelo de segundo estágio pela abordagem SFA:

Tabela 9. Resultados segundo estágio (var. dependente: escore de eficiência-SFA)

Variável	MQO		Tobit	
	(1)	(2)	(1)	(2)
log_i_area	0,056 (0,047)	0,042 (0,048)	0,056 (0,046)	0,042 (0,046)
log_o_y	0,105*** (0,004)	0,101*** (0,004)	0,105*** (0,004)	0,101*** (0,004)
log_i_alimentacao	-0,002* (0,001)	-0,002** (0,001)	-0,002* (0,001)	-0,002** (0,001)
log_i_pessoal	-0,100* (0,058)	-0,100* (0,057)	-0,100* (0,057)	-0,100* (0,055)
log_i_capital	-0,011*** (0,002)	-0,011*** (0,001)	-0,011*** (0,001)	-0,011*** (0,001)
log_i_outros_custeios	-0,013*** (0,002)	-0,015*** (0,002)	-0,013*** (0,002)	-0,015*** (0,002)
inseminacao		0,042 (0,029)		0,042 (0,028)
ordenha		0,032* (0,017)		0,032* (0,017)
hol		0,052 (0,037)		0,052 (0,036)
idade		0,000 (0,001)		0,000 (0,001)
Constante	0,056 (0,047)	0,042 (0,048)	0,056 (0,046)	0,042 (0,046)
N	151	151	151	151
R²	0,823	0,836		
R² ajustado	0,816	0,825		
Log Likelihood	170,592	176,641		
F	122,459	78,235		
RMSE	0,09	0,08	0,09	0,08

Nota: * p<0,1; ** p<0,05; *** p<0,01. **Fonte:** elaborada pelo autor a partir de dados da pesquisa.

Dessa forma, considerando que as minúcias referentes ao sentido do efeito das variáveis (positivo ou negativo) já foram devidamente exploradas na seção 5.2.1, quando da discussão dos condicionantes da eficiência técnica apurada pelo indicador DEA, presume-se útil discutir tão somente as características distintas ao modelo SFA, permanecendo válidas as deduções e implicações feitas à luz da literatura disponível naquele trecho do trabalho.

Em primeiro lugar, a especificação decorrente da particularidade de modelos linearizados do tipo *translog* exposta na Tabela 9 implicou que o nível de eficiência foi regredido contra os logaritmos dos insumos e produto, acarretando em um modelo do tipo nível-log (ou semi-log). Por conta disso, a interpretação dos coeficientes estimados diverge daquela apresentada no segundo estágio do modelo DEA.

Como exemplo, pode-se tomar o efeito positivo de, aproximadamente, 0,1 do regressor representativo da escala de produção ($\log_o y$). Essa magnitude implica que, para cada elevação de 1 unidade (milhares de reais trimestrais em termos reais) na quantidade produzida, *ceteris paribus*, o potencial de aprimorar o nível de eficiência é $0,1/100 = 0,001$, lembrando que a variável dependente é censurada ao intervalo definido entre 0 e 1. Com isso, permanece válida a afirmação e demais inferências feitas na seção 5.2.1 de que a escala de produção é importante para a determinação do nível de eficiência, estando tudo o mais preservado de forma constante e especialmente para o caso de sistemas leiteiros.

Considerando que raciocínio semelhante pode ser feito para o caso das variáveis de insumo estatisticamente significativas de alimentação ($\log_i \text{alimentacao}$), mão de obra ($i_log_pessoal$), capital ($\log_i \text{capital}$), demais custeios ($\log_i \text{outros_custeios}$) e, como dito, entendendo que a correspondência teórica e aplicada foi confrontada de forma precedente, o destaque nesta seção fica a cargo da variável de *input* tradicional de área ($i_área$), que não foi capaz de demonstrar efeito significativo de sua variação sobre a eficiência técnica, contrariando o resultado de segundo estágio pelo método DEA, assim como parcialmente corroborado por Quiédeville *et al.* (2022).

Além disso, quanto às variáveis exógenas, a novidade ficou a cargo da variável binária de presença de ordenha mecânica. Na metodologia SFA, o indicador foi capaz de exibir significância estatisticamente positiva para determinar o nível de eficiência observado, permanecendo inalterados os demais, assim como afirmado por Maia *et al.* (2013).

Ante todos os aspectos discutidos até este ponto, convém a recapitulação unificada dos resultados calculados para fins de organização esquemática e síntese. Por esse motivo, o Quadro 6, que segue, reúne o compêndio dos efeitos estimados dos insumos sobre a eficiência técnica e a produção leiteira propriamente dita.

Quadro 6. Resumo dos efeitos estimados

Insumo produtivo	Eficiência técnica		Produção
	DEA	SFA	
Área	Prejudica	Indiferente	Indiferente
Escala de produção	Contribui	Contribui	NC
Alimentação	Prejudica	Prejudica	Contribui
Pessoal	Prejudica	Prejudica	Indiferente
Capital	Prejudica	Prejudica	Contribui
Outros custeios	Prejudica	Prejudica	Contribui
Inseminação artificial	Indiferente	Indiferente	NC
Ordenha mecânica	Indiferente	Contribui	NC
Percent. vacas holandesas	Contribui	Indiferente	NC
Idade do produtor	Indiferente	Indiferente	NC
Precipitação	NC	NC	Contribui
Temperatura atmosférica	NC	NC	Prejudica

Fonte: elaborado pelo autor a partir de dados da pesquisa.

Legenda: NC – não considerado

Com base nesse levantamento, espera-se clareza de exposição quanto à interpretação prática do principal objeto aqui investigado. Isso sendo, verifica-se o entendimento final da argumentação feita frente aos resultados, qual seja, apresentaram impacto estatisticamente significativo sobre o nível de eficiência técnica, independentemente do método utilizado: a escala de produção (inequivocamente positivo), os dispêndios com alimentação, pessoal, capital e outros custeios (inequivocamente negativo).

Por outra esfera, mostraram-se inequivocamente indiferentes para o nível de eficiência técnica: a utilização de inseminação artificial e a idade do produtor. Por fim, área empenhada, uso de ordenha mecânica e percentual de vacas holandesas sobre o total do rebanho foram insumos produtivos de efeito inconclusivo sobre a variável de eficiência técnica pela falta de validade estatística em algum dos dois casos (DEA ou SFA).

Para o evento dos condicionantes da produção total, foram diretamente importantes: o *quantum* de alimentação, o capital, outros custeios e a precipitação. No sentido oposto, o patamar de temperatura atmosférica tende a causar efeitos negativos sobre a produção leiteira. Enfim, sem impacto identificado, a área utilizada e o pessoal empenhado exibiram efeito nulo sobre a produção real. Com isso, pretendeu-se reportar, em termos comuns, a produtores e demais interessados o significado dos resultados das regressões na prática da atividade leiteira.

Enfim, diante da multiplicidade de elementos constantes da caracterização dos condicionantes da eficiência técnica, seja pelo método DEA, seja SFA, entende-se que é

pertinente uma avaliação comparativa deste e daquele como preparação para a seção final de sínteses e conclusões. Esse é o esforço da próxima subseção.

5.4 Comparação DEA *versus* SFA e implicações

Esta subseção, que encerra o presente capítulo que trata dos resultados, pretende arrematar os principais aspectos que envolvem a construção teórica dos modelos DEA e SFA – com destaque para as virtudes e desvantagens de cada abordagem –, bem como proceder à comparação entre eles à luz dos resultados calculados.

Em princípio, conforme debatido na seção própria, as principais vantagens da abordagem DEA são que a mesma não exige a especificação de uma forma funcional para uma dada função de produção, além de permitir o uso simultâneo de múltiplas *inputs* e *outputs* com diferentes unidades de medida. Mais ainda, o modelo se baseia nas melhores práticas reveladas, comparando uma unidade produtiva diretamente com seus pares.

No entanto, sua natureza determinística atribui todas as diferenças da fronteira à ineficiência, sem base estatística imediata, o que limita a inferência sobre seus parâmetros. Em contraste, a abordagem SFA diferencia ineficiência de erros aleatórios, permitindo testes estatísticos e construção de intervalos de confiança, mas exige a pré-especificação da forma funcional e suposições sobre a distribuição da ineficiência técnica (Theodoridis; Psychoudakis, 2008).

Contudo, ainda que sejam qualificadas todas as características dos dois métodos, estes precisam estar em consonância com a fundamentação teórica de cada fenômeno que se pretende investigar. Sendo assim, o restante desta subseção traz a confrontação dos dois modelos e seus resultados estruturada em dois blocos: i) uma comparação subjetiva dos resultados, analisando os coeficientes conforme as previsões teóricas; e ii) um cotejo objetivo, performando teste estatístico com a finalidade de detectar, ou não, diferenças significativas entre os coeficientes de cada modelo, desde que comparáveis.

Portanto, os coeficientes atribuídos aos insumos tradicionais nos modelos de segundo estágio (tabelas 7 e 9) mostram coerência com a teoria econômica da eficiência da produção. As variáveis de custos, como alimentação, pessoal e capital, apresentam coeficientes negativos e significativos em ambos os modelos, o que é esperado, dado que o aumento nas despesas geralmente reduz a eficiência técnica.

Isso reflete a realidade das UTD's: maiores gastos com insumos sem um retorno proporcional na produção podem impactar negativamente a eficiência. Além disso, o impacto positivo da produção (o_y e \log_o_y) é coeso com a teoria uma vez que maior produção, mantidos inalterados os usos de insumos, redundam em melhora da razão de produtividade.

Em termos de robustez, as variáveis que explicam a eficiência de forma mais consistente são os custos de capital (i_{capital} e \log_i_{capital}), alimentação ($i_{\text{alimentacao}}$ e $\log_i_{\text{alimentacao}}$), e pessoal (i_{pessoal} e \log_i_{pessoal}). Em ambos os métodos, essas variáveis mantêm significância estatística, sugerindo que elas são condicionantes centrais para explicar a eficiência técnica. No entanto, o impacto da área da propriedade (i_{area} e \log_i_{area}) variou entre os modelos. No DEA, o coeficiente é negativo e significativo enquanto, no SFA, ele não apresentou significância, indicando que o tamanho da área pode influenciar a eficiência de forma distinta, dependendo do método de análise.

Em síntese, as conclusões sobre o comportamento da eficiência técnica das propriedades não mudam radicalmente a depender do método utilizado. Pelo DEA, o tamanho da área produtiva apareceu como um fator importante para explicar a ineficiência, o que não é corroborado pelo SFA. Todavia, dado que esse é um fator de produção classificável como fixo, sua importância para questões de curto prazo pode ser secundária.

Além disso, a produção (o_y) teve uma influência marginal no DEA, mas é altamente significativa no SFA, sugerindo que o método estocástico captura melhor os ganhos de eficiência associados ao aumento da produção. Esses atributos elencados indicam que, dependendo do método adotado, a interpretação dos fatores que afetam a eficiência das unidades de produção, ainda que variem, preservam elementos em comum, sendo justamente aqueles de mais fácil manejo e acesso ao produtor de leite.

Já com relação às variáveis explicativas identicamente utilizadas nos dois modelos (Constante, inseminacao, ordenha, hol e idade), pode-se tomar uma perspectiva mais direta de confrontação dos parâmetros estimados. Isto é, na presença de modelos distintos que utilizam as mesmas covariáveis, Clogg, Petkova e Haritou (1995), sugere-se utilizar a estatística z^{28} para testar a diferença entre coeficientes de duas regressões, visto que o resultado confirma diferença significativa com nível descritivo menor que 1% (Santos, 2017). Logo, uma vez calculados os

²⁸ $z = (b_A - b_B) / (\sqrt{SEb_A^2 + SEb_B^2})$, em que b_A e b_B são os coeficientes estimados e SEb_A^2 e SEb_B^2 significam as respectivas variâncias dos coeficientes.

valores do teste de diagnóstico estatístico, os valores levantados encontram-se dispostos na Tabela 10, assim representada:

Tabela 10. Comparação de modelos

10.1. Modelo DEA – MQO (1) vs. modelo SFA – MQO (1)

Variável	Coefficientes	Diferença	Estatística z	p valor
Constante	1,769 / 0,826	-0,943	-1,709	0,087
inseminacao	-0,022 / 0,042	0,064	1,143	0,253
ordenha	0,004 / 0,032	0,028	0,824	0,410
hol	0,118 / 0,052	-0,066	-0,889	0,374
idade	-0,001 / -0,000	0,000	0,380	0,704

10.2 Modelo DEA – MQO (2) vs. modelo SFA – MQO (2)

Variável	Coefficientes	Diferença	Estatística z	p valor
Constante	1,771 / 0,826	-0,945	-1,771	0,077
inseminacao	-0,025 / 0,042	0,067	1,221	0,222
ordenha	0,007 / 0,032	0,025	0,757	0,449
hol	0,116 / 0,052	-0,063	-0,883	0,377
idade	-0,001 / -0,000	0,000	0,365	0,715

Fonte: elaborada pelo autor a partir de dados da pesquisa.

Detalhando os achados da tabela acima e destacando aquilo passível de interpretação, tem-se que: no caso do modelo DEA-MQO (1) em comparação com o SFA-MQO (1), a diferença do intercepto foi de -0,9428, com um valor z de -1,6788 e um p-valor de 0,0932, sugerindo que essa diferença não é estatisticamente significativa ao nível de 5%.

Para o DEA-MQO (2) em comparação com o SFA-MQO (2), a diferença da constante foi de -0,9433, com z de -1,7091 e p-valor de 0,0874, também não estatisticamente significativa. A análise para o MQO (2) revelou que a diferença na inseminação foi de 0,0641, com um valor z de 1,1427 e p-valor de 0,2531. A diferença na variável ordenha foi de 0,0281, com valor z de 0,8244 e p-valor de 0,4097. Para a variável hol, a mesma subtração foi de -0,0657, com valor z de -0,8889 e p-valor de 0,3740. A idade apresentou diferença de 0,0004, com valor z de 0,3802 e p-valor de 0,7038. Todas essas diferenças não são estatisticamente significativas, conforme postulado pelo teste em questão.

Em relação ao DEA-Tobit (1) comparado com o SFA-Tobit (1), a diferença da constante foi de -0,9455, com um valor z de -1,7194 e um p-valor de 0,0855, novamente não significativa. Para o DEA-Tobit (2) em comparação com o SFA-Tobit (2), a diferença do intercepto retornou

-0,9447, com um valor z de -1,7706 e p-valor de 0,0766, que tende a ser significativa. A diferença na variável inseminação foi da ordem de 0,0666, com valor z de 1,2214 e p-valor de 0,2219.

Para o caso dos coeficientes da variável ordenha, a diferença calculada foi de 0,0252, com valor z de 0,7567 e p-valor de 0,4493. A mesma operação para a variável de proporção de gado holandês (hol) foi de -0,0634, com valor z de -0,8828 e p-valor de 0,3774. Finalmente, a idade apresentou uma diferença de 0,0004, com valor z de 0,3652 e p-valor de 0,7149. Mais uma vez, a maioria das diferenças não foi significativa.

Em conclusão, as comparações mostraram que as diferenças nos coeficientes entre os modelos MQO e Tobit, tanto no modelo (1) quanto no (2), não são estatisticamente significativas, exceto para o intercepto no modelo (2) do Tobit, que está próximo do limite de significância. Isso sugere que, em geral, os modelos DEA e SFA não apresentaram coeficientes significativamente diferentes em ambos os modelos para o conjunto de variáveis mutuamente incluídas nos referidos arcabouços.

Por essas razões expostas, os indícios até aqui discutidos indicam que tanto a envoltória de dados quanto a fronteira estocástica foram eficazes na captura do fenômeno que se pretendeu aferir, a saber, os condicionantes da eficiência técnica da pecuária de leite. Seja em qual metodologia se apoie, as dessemelhanças de resultados que surgiram podem ser consideradas não relevantes para as reflexões seguintes e tal estado de coisas permite que as considerações finais e as sínteses do trabalho sejam construídas em bases mais confiáveis, sendo essas o foco do próximo e último capítulo.

SÍNTESES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho procurou oferecer uma abordagem abrangente dos mais apropriados mecanismos metodológicos disponíveis para investigar as condições de eficiência técnica da pecuária leiteira no Estado de Minas Gerais quando considerados os estabelecimentos rurais que satisfazem as condições de enquadramento na agricultura familiar. Com efeito, as principais técnicas empregadas neste tipo de pesquisa eram, até então, utilizadas na literatura de forma isolada e, portanto, qualquer discrepância que pudesse revelar imprecisões de cálculo ou inadequação de quaisquer dos métodos ao caso concreto não era apropriadamente considerada. Nesse sentido, a avaliação comparativa aqui empreendida foi oferecida como inovação potencial.

Destaca-se, ainda, o contexto dos dados utilizados. Oriunda de iniciativas da pesquisa e da extensão rural pública mineira, a base amostral combinou levantamentos feitos tanto em campo quanto por transmissão remota de informações. Até onde foi possível verificar, essa realidade também tem caráter pioneiro, demonstrando a relevância da integração dos serviços públicos de apoio à agropecuária e a necessidade de expansão de iniciativas equivalentes. Além disso, a atualidade das informações (janeiro de 2021 a junho de 2024) tornou os resultados mais efetivos e úteis a intervenções públicas ou privadas tempestivas.

Do tema propriamente dito, espera-se que a caracterização histórica, social e técnico-operacional da pecuária de leite tenha sido suficiente para ratificar a percepção comum e a vasta demonstração científica da importância do hígido funcionamento do setor produtivo leiteiro para o desenvolvimento socioeconômico como um todo. Contudo, a questão da adequada remuneração da produção do leite de vaca, logo, da sustentabilidade econômica da atividade, atravessa décadas sem uma resolução aparente.

Nesse sentido, examinar o papel de cada um dos atores envolvidos nesse imbricado mercado tem se tornado cada dia mais urgente. Estado, indústria laticinista, fornecedores de insumos e pecuaristas de leite compõem a principal estrutura responsável pelo sistema de formação de preços desse relevante segmento produtivo e o desequilíbrio em qualquer um desses elos, conferindo poder econômico capaz de inviabilizar a existência de determinados perfis de produtores, pode redundar em prejuízos sociais incalculáveis.

Assim, se assumida a premissa de que parte da problemática do mercado de leite está na ineficiência do produtor, este trabalho procurou esclarecer até que ponto tal argumento procede. Decerto, o que foi possível evidenciar foi que a eficiência técnica média do produtor familiar de leite se situa em nível elevado, algo em torno de 88% da eficiência máxima e acima dos 80% para 6/7 das propriedades avaliadas, esclarecendo que, em um mercado desregulado e orientado por práticas individuais otimizantes, o segmento da produção familiar de leite parece estar cumprindo sua função econômica esperada, fenômeno que nenhuma das metodologias aplicadas foi capaz de refutar.

Portanto, a hipótese assumida nesta tese, qual seja: “dadas as condições tecnológicas vigentes no Estado de Minas Gerais, os estabelecimentos rurais produtores de leite que satisfaçam as condições de UFPA, operam, majoritariamente, sob condição de ineficiência técnica, com possibilidade de ganhos expressivos desse quesito”, não se verificou, uma vez que o oposto se mostrou mais provável. Ainda que rigorosamente possa ser afirmado que tal lacuna de aprimoramento exista, uma vez que não se observou eficiência máxima para a totalidade da amostra, sua dimensão se mostrou limitada e potencialmente irrelevante para uma atividade dinâmica na prática.

Mesmo que não fosse esse o caso, o que restou evidenciado pela Tabela 6 foi que, sob correta orientação ou treinamento prévio, o expurgo de desperdícios com vistas à melhor combinação dos insumos produtivos – e conseqüente melhora do nível de eficiência técnica – tende a ser possível por meio do acesso a conhecimentos de transmissão relativamente simples. A propósito, essa observação representa tema relevante para os serviços de ATER.

Assim, os indícios deste trabalho sinalizaram que os problemas mais relevantes da cadeia produtiva do leite precisam ser colocados em termos que vão para além das fazendas produtoras, e uma agenda de pesquisa mais ampla e integrativa configura o caminho correto. Inclusive, considerando ser este um tema que fica como sugestão para investigações futuras, esta pesquisa também apresentou pontos que podem ser expandidos ou melhorados.

A propósito, a incorporação de outras variáveis exógenas como potenciais fatores explicativos para a eficiência podem trazer conhecimentos adicionais, tais como formação técnica, expectativa de sucessão, presença de outras rendas estáveis, por exemplo. Também, a exploração de outras formas funcionais atribuíveis à fronteira de produção (*e. g.*, Cobb-Douglas e outras versões da *translog*) pode ser útil para corroborar, ou não, parâmetros estimados em outras especificações.

Além do mais, ressalta-se que a comparação de resultados obtidos em investigações semelhantes a esta em território brasileiro, *vis-à-vis* as ocorrências internacionais, pode conduzir a conclusões desproporcionais e inadequadas, haja vista a predominância da exploração da atividade leiteira com base em rebanho de puro sangue europeu, destacadamente em potências do setor como os EUA, a Nova Zelândia e a Irlanda.

Como esclarecido, a realidade imposta por ecossistemas de clima tropical obriga adaptações operacionais que podem tornar sistemas de produção nessas condições incomparáveis com seus pares de base tecnológica setentrional. Portanto, urge a expansão de estudos sistemáticos e regulares da realidade produtiva brasileira para bem do desenvolvimento pleno do setor, devendo todo resultado derivado ser devidamente contextualizado para a construção de uma literatura genuinamente nacional.

Por fim, foi tônica recorrente deste trabalho o argumento de que a eficiência técnica não deve servir como único critério de determinação da permanência do produtor na atividade leiteira. Visões rígidas de eficiência “a todo custo”, apesar de refletirem um mundo teórico ideal, não leva em consideração a realidade histórica, e, de fato, o desenvolvimento agrário-rural levado a cabo nas nações avançadas já está incorporando elementos que excedem a pura racionalidade econômica, fenômeno que se torna ainda mais imprescindível em países em desenvolvimento e caracterizados por estruturas sociais adversamente desiguais e disfuncionais.

Diante de tudo isso, a propalação pública da eficiência como único fator responsável pela crise do setor leiteiro não encontra suporte nas evidências. Porém, não se sustenta aqui que é facultado ao produtor familiar desconhecer suas condições de eficiência técnica. Muito pelo contrário, o quanto antes o produtor familiar de leite adquirir ou aprimorar conhecimentos capazes de auxiliá-lo na tarefa de elevar sua lucratividade, melhor.

Outrossim, sabe-se, das condições mais básicas da análise econômica, que o lucro é uma função do preço de mercado e da quantidade produzida. Tendo o produtor relativo controle apenas sobre a quantidade que produz, e as evidências indicam que este quesito ele otimiza a contento, sobra para a variável preço – da qual o produtor familiar geralmente é mero tomador – a responsabilidade latente pelo desequilíbrio estrutural desse segmento.

Para além desses fatos, se as vicissitudes do processo produtivo leiteiro já o torna intrincado por si só, questões externas ao aspecto operacional são elementos que têm incluído complexidades adicionais. De fato, a realidade dada pelo advento das emergências climáticas,

que vêm se impondo no tempo presente, há de fazer com que os agricultores e pecuaristas incorporem em seus cálculos econômicos também os impactos ambientais de sua atividade. Como visto em determinados trabalhos da revisão bibliográfica, o conceito tradicional de eficiência já vem considerando elementos de sustentabilidade ambiental e ecológica, fato que, apesar de estritamente necessário, inevitavelmente torna o processo produtivo ainda mais tortuoso.

Em síntese, este trabalho empenhou-se em qualificar a discussão acerca da literatura sobre eficiência técnica aplicada ao caso leiteiro. Como apanhado geral, entende-se que o assunto deve ser contextualizado em duas dimensões indispensáveis. A primeira, de cunho teórico e de alcance geral, assume que o dilema da produção agrícola transcende setores particulares e a imposição de regras mercadológicas estritamente capitalistas e impessoais corresponde à construção de uma realidade distorcida e capaz de gerar provações humanas desnecessárias.

Outra, de ordem mais política e específica, porém não desconectada da antecedente, refere-se às singularidades do setor lácteo. Como visto, o leite e seus derivados constituem artigos de consumo sujeitos a elevada proteção tarifária e outras intervenções públicas ao redor do mundo. Quando não os mais protegidos, seguramente, os laticínios figuram sempre no topo dessa classificação.

Obviamente, esse fenômeno não se dá por mero acaso. Fatores socioculturais, a importância nutricional desse alimento estratégico, bem como as miríades envolvidas no processo produtivo da pecuária de leite, exige que o funcionamento regional desse mercado seja corretamente compartilhado com o poder público, sempre na medida da estrita necessidade de seu correto desenvolvimento.

A propósito, pondera-se que deriva deste trabalho a recomendação de políticas públicas específicas para desenvolvimento do setor, em particular, citam-se ações de: i) acesso à educação rural de qualidade que permita ao produtor assimilar conhecimentos técnicos e gerenciais, ii) estímulo à permanência do produtor assentado no campo e de sucessão na atividade por parte das gerações futuras e, por fim, iii) defesa dos interesses concorrenciais dos elos mais frágeis da cadeia produtiva, tanto frente aos agentes internos quanto à oferta internacional.

Assim, diante de todo o conteúdo apresentado, a consideração final digna de registro que fica é a de que os problemas do setor leiteiro, tanto em Minas Gerais, quanto alhures,

somente serão superados quando o melhor arranjo estrutural desse mercado for alcançado, significando, entre outras coisas, ausência de poder de mercado em qualquer dos elos da cadeia de produção, cooperação da iniciativa estatal, tanto no aspecto regulamentar quanto na difusão de conhecimento técnico e gerencial suficiente para capacitar e emancipar os produtores e, por fim, com o compromisso do próprio produtor com a atividade que, na maioria dos casos, fornece o seu próprio sustento e o de sua família por gerações a fio.

Referências

ABRAMOVAY, R. **Paradigmas do capitalismo agrário em questão**. Edusp, 2012.

_____. O capital social dos territórios: repensando o desenvolvimento rural. **Economia aplicada**, v. 4, n. 2, p. 379-397, 2000.

AL-DARRAB, I. A. Relationships between productivity, efficiency, utilization, and quality. **Work study**, v. 49, n. 3, p. 97-104, 2000. <https://doi.org/10.1108/00438020010318073>

AL-SHARAFAT, A. Technical efficiency of dairy farms: A stochastic frontier application on dairy farms in Jordan. **Journal of Agricultural Science**, v. 5, n. 3, p. 45, 2013. <http://dx.doi.org/10.5539/jas.v5n3p45>

ALMEIDA, M.; BACHA, C. J. C. Literatura sobre eficiência na produção leiteira brasileira. **Revista de Política Agrícola**, v. 30, n. 1, p. 20, 2021. Disponível em: <<https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1575/pdf>>. Acesso em: 04 abr. 2024.

ÁLVAREZ, A.; ARIAS, C.; OREA, L. Explaining differences in milk quota values: the role of economic efficiency. **American journal of agricultural economics**, v. 88, n. 1, p. 182-193, 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8276.2006.00846.x>

ÁLVAREZ, A. M.; GONZÁLEZ, E. Using Cross-Section Data to Adjust Technical Efficiency Indexes Estimated With Panel Data. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 81, n. 4, p. 894-901, 1999. <https://doi.org/10.2307/1244332>

ALVES, L. K. S.; VIANA, G. P.; RAINERI, C. Utilização de ferramentas digitais na pecuária e extensão rural. **Pubvet**, v. 13, p. 162, 2019. <https://doi.org/10.31533/pubvet.v18n07>

ANDRADE, R. G. et al. Evolução recente da produção e da produtividade leiteira no Brasil. **Revista Foco**, v. 16, n. 5, p. e1888-e1888, 2023. <https://doi.org/10.54751/revistafoco.v16n5-075>

APLICATIVO Gerenciamento de Custos na Atividade Leiteira. **Informe Agropecuário**. EPAMIG 50 tecnologias, Belo Horizonte, v. 45, p.20, 2024. Edição especial 50 anos EPAMIG.

ARAUJO NETO et al. Produção de Leite no Meio-Norte do Brasil. In: **Sistema de Produção**, 3. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2002. Disponível em: <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Leite/LeiteMeioNorte/introducao.html>>. Acesso em: 14 dez. 2023.

ARÊDES, Agda et al. Análise de custos na pecuária leiteira: um estudo de caso das propriedades assistidas pelo programa de desenvolvimento da pecuária leiteira da região de Viçosa. **Custos e@ gronegócios**, v. 2, n. 1, p. 45-68, 2006. Disponível em: <<http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero1v2/Analise%20de%20custos.pdf>>. Acesso em: 17 dez. 2024.

ARIA, M.; CUCCURULLO, C. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of informetrics**, v. 11, n. 4, p. 959-975, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>

ASMILD, M.; KRONBORG, D.; RSØNN-NIELSEN, A. Applying statistical methods to compare frontiers: are organic dairy farms better than the conventional?. In: **Advances in Efficiency and Productivity Analysis**. Springer International Publishing, 2021. p. 335-348. https://doi.org/10.1007/978-3-030-47106-4_14

ASSIS, A. G. et al. Sistema de produção de leite no Brasil, Circular Técnica 85, Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, MG, 2005. Disponível em <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/595700/1/CT85SistprodleiteBrasil.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2024.

BAMBINI, M. D.; LUCHIARI-JÚNIOR, A.; ROMANI, L. A. S. Mercado de aplicativos móveis (Apps) para uso na agricultura. In: **Embrapa Informática Agropecuária-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA, 2014, São Carlos, SP. Ciência, inovação e mercado: anais. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2014.

BANKER, R. D. Maximum likelihood, consistency and data envelopment analysis: a statistical foundation. **Management science**, v. 39, n. 10, p. 1265-1273, 1993. <https://doi.org/10.1287/mnsc.39.10.1265>

BANKUTI, F. I.; SOUZA FILHO, H. M. A informalidade em sistemas agroindustriais: os casos dos sistemas agroindustriais da carne bovina e do leite. IN: ZUIN, L. F. S.; QUEIROZ, T. R. Agronegócios: gestão e inovação. São Paulo: Saraiva, 2006.

_____.; 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. <https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078>

BARICELO, L. G.; BACHA, C. J. C. Oferta e demanda de máquinas agrícolas no Brasil. **Revista de política agrícola**, v. 22, n. 4, p. 67-83, 2013. Disponível em: <<https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/download/857/801>>. Acesso em: 13 abr. 2024.

BARROS, M. V. et al. An analysis of Brazilian raw cow milk production systems and environmental product declarations of whole milk. **Journal of Cleaner Production**, v. 367, p. 133067, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133067>

BASSOTTO, L. C. et al. Projeções econômicas: estudo multicaso em propriedades leiteiras familiares do Sul de Minas Gerais. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC**. 2018.

_____. et al. A Cadeia Produtiva do Leite no Estado de Minas Gerais. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 22, n. 2, p. 40-47, 2023. <http://dx.doi.org/10.5892/ruvrd.v22i2.6441>

_____. et al. Eficiência técnica em propriedades leiteiras familiares no Estado de Minas Gerais em 2021. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 62, p. e261483, 2024. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2022.261483>

BERTOGLIO, R. et al. The digital agricultural revolution: a bibliometric analysis literature review. **Ieee Access**, v. 9, p. 134762-134782, 2021. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3115258>

BHAT, R. et al. Global dairy sector: trends, prospects, and challenges. **Sustainability**, v. 14, n. 7, p. 4193, 2022. <https://doi.org/10.3390/su14074193>

BECKERT, J. Beyond the market: The social foundations of economic efficiency. Princeton University Press, 2009.

BOZIC, Marin et al. Mean-reversion in income over feed cost margins: Evidence and implications for managing margin risk by US dairy producers. **Journal of dairy science**, v. 95, n. 12, p. 7417-7428, 2012. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5818>

BRASIL. Decreto nº 11.771, de 09 de novembro de 2023. Institui Grupo de Trabalho Interministerial com a finalidade de apresentar propostas para fortalecer a Cadeia Nacional do Leite. 2023. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/decreto/D11771.htm#:~:text=DECRETO%20N%C2%BA%2011.771%2C%20DE%209,%E2%80%9Ca%E2%80%9D%2C%20da%20Constitui%C3%A7%C3%A3o%2C>. Acesso em: 23 de abr. 2024.

BRAVO-URETA, B. E.; WALL, A.; NEUBAUER, F. Dairy farming from a production economics perspective: An overview of the literature. **Handbook of Production Economics**, p. 1-39, 2021. https://doi.org/10.1007/978-981-10-3450-3_31-1

BRINKMANN, S. Leite e modernidade: ideologia e políticas de alimentação na era Vargas. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, v. 21, p. 263-280, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0104-59702014005000004>

BUSS, R. E.; SABBAG, O. J.; MENDIETA, F. H. P. Eficiência da produção leiteira na microrregião de Dourados/MS: aplicação da análise envoltória de dados. **Exacta**, v. 18, n. 3, p. 649-667, 2020. <https://doi.org/10.5585/exactaep.v18n3.12360>

CABRERA, V. E.; SOLIS, D.; DEL CORRAL, J. Determinants of technical efficiency among dairy farms in Wisconsin. **Journal of dairy science**, v. 93, n. 1, p. 387-393, 2010. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2307>

CAMANHO, A. S. et al. A literature review of economic efficiency assessments using Data Envelopment Analysis. **European Journal of Operational Research**, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2023.07.027>

CAMPAGNOLLA, C.; MACÊDO, M. M. C. Revolução Verde: passado e desafios atuais. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 39, n. 1, p. 26952, 2022. <http://dx.doi.org/10.35977/0104-1096.cct2022.v39.26952>

CARNEIRO, A. V. et al. **Volatilidade de preços do leite e do alimento concentrado e efeitos nos custos**. Boletim CBLeite, Juiz de Fora, v. 4, n. 12, p. 9-14, dez. 2010.

CARVALHO, M. P. Economia de escala em produção de leite. **MilkPoint**, 2000. Disponível em: <<https://www.milkpoint.com.br/artigos/producao-de-leite/economia-de-escala-em-producao-de-leite-8638/>>. Acesso em: 17 dez. 2024.

CASTRO, J. S. **O Leite em Minas Gerais**. Belo Horizonte: Medialuna Editora, 2010.

CEARÁ. Caderno Didático de Administração Agroindustrial (Governo do Estado do Ceará). **Cadernos da Rede**, v. 1, n. 1, p. 1990-2130, 2018. Disponível em: <https://www.seduc.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/37/2011/01/agroindustria_administracao_agroindustrial.pdf>. Acesso em: 16 dez. 2024.

ČECHURA, L.; KROUPOVÁ, Z. Technical efficiency in the European dairy industry: can we observe systematic failures in the efficiency of input use?. **Sustainability**, v. 13, n. 4, p. 1830, 2021. <https://doi.org/10.3390/su13041830>

CELE, L. P.; HENNESSY, T.; THORNE, F. Regional technical efficiency rankings and their determinants in the Irish dairy industry: A stochastic meta-frontier analysis. **Agribusiness**, v. 39, n. 3, p. 727-743, 2023. <https://doi.org/10.1002/agr.21791>

ÇENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. **Mecânica dos Fluidos: fundamentos e aplicações**. Tradução de Fábio Saltara; Jorge Luis Baliño e Karl Peter Burr. 3ª. ed. [S.l.]: McGraw Hill Education, 2015.

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. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)

CHAVAS, J. P. et al. An economic analysis of production efficiency: Evidence from Irish farms. **Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue canadienne d'agroéconomie**, v. 70, n. 2, p. 153-173, 2022. <https://doi.org/10.1111/cjag.12314>

CHEW, W. B. No-nonsense guide to measuring productivity. **Harvard Business Review**, v. 66, n. 1, p. 110-118, 1988. Disponível em: <https://www.flingdiet.com/web-content/hwbfiles/140-17no-nonsense10864a_132.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2024.

CHIDMI, B. et al. Analyzing the determinants of technical efficiency among traditional dairy farms in Wisconsin: a quantile regression approach. In: **Agricultural and Applied Economics Association 2010 Annual Meeting**, 25-27 jul. 2010, Denver, USA. Anais [...]. Denver: AAEEA, 2010. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/6550569.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2024.

CISNEROS, H.; MIKOLOV, T.; SIVIC, J. Benchmarking Learning Efficiency in Deep Reservoir Computing. In: **Conference on Lifelong Learning Agents**. PMLR, 2022. p. 532-

547. Disponível em: <<https://proceedings.mlr.press/v199/cisneros22a/cisneros22a.pdf>>. Acesso em: 02 jan. 2024.

CLOGG, C. C.; PETKOVA, E.; HARITOU, A. Statistical methods for comparing regression coefficients between models. **American journal of sociology**, v. 100, n. 5, p. 1261-1293, 1995. <https://doi.org/10.1086/230638>

CÓCARO, H.; JESUS, J. C. S. **A Agroinformática em Empresas Rurais: algumas tendências**. In: 46º Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 46., 2008, Anais..., Rio Branco: SOBER, 2008.

COELLI, T. J. et al. **An introduction to efficiency and productivity analysis**. springer science & business media, 2005.

COFAP tabela preço da carne bovina e do leite. **Correio da Manhã**, Rio de Janeiro, ano LXII, número 21.274, p. 1, 4 de agosto de 1962. Disponível em: <https://memoria.bn.br/pdf/089842/per089842_1962_21274.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2023.

CRUZ, A. A; BACHA, C. J. C. Modernização do setor leiteiro no Estado de Minas Gerais a partir de 1990. **Agropecuária, meio ambiente e desenvolvimento: anais...**, 2015. Disponível em: <<https://icongresso.itarget.com.br/tra/arquivos/ser.5/1/5319.pdf>>. Acesso em: 14 dez. 2024.

CUMMINS, J. D.; WEISS, M. A. Analyzing firm performance in the insurance industry using frontier efficiency and productivity methods. Springer New York, 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/J-Cummins/publication/259621192_Analyzing_Firm_Performance_in_the_Insurance_Industry_Using_Frontier_Efficiency_and_Productivity_Methods/links/5be3216ba6fdcc3a8dc6462f/Analyzing-Firm-Performance-in-the-Insurance-Industry-Using-Frontier-Efficiency-and-Productivity-Methods.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2024.

CURRY, A. The milk revolution. **Nature**, v. 500, n. 7460, p. 20, 2013. <https://doi.org/10.1038/500020a>

DA SILVA, B. A.; WINCK, C. A. Evolução da quantidade de máquinas e implementos agrícolas nas propriedades rurais brasileiras (1960-2017). **Revista Visão: Gestão Organizacional**, v. 8, n. 1, p. 174-188, 2019. <http://dx.doi.org/10.33362/visao.v8i1.1934>

DASGUPTA, P. S.; HEAL, G. M. **Economic theory and exhaustible resources**. Cambridge University Press, 1979. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511628375>

DEBREU, G. The coefficient of resource utilization. **Econometrica: Journal of the Econometric Society**, p. 273-292, 1951. <https://doi.org/10.2307/1906814>

_____. A classical tax-subsidy problem. **Econometrica: Journal of the Econometric Society**, p. 14-22, 1954. <https://doi.org/10.2307/1909828>

DEL CORRAL, J.; PEREZ, J. A.; ROIBAS, D. The impact of land fragmentation on milk production. **Journal of Dairy Science**, v. 94, n. 1, p. 517-525, 2011. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3377>.

DELFINO, A. J. **O produtor familiar na pecuária leiteira: limites e potencialidades**. 2016. 200 f. Tese (Doutorado em Economia) - Universidade Federal de Uberlândia. 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/17650/1/ProdutoFamiliarPecuaria.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2024.

DIAS, J. C. **500 anos de leite no Brasil**. São Paulo: Calandra Editorial, 2006.

DONG, F.; HENNESSY, D. A.; JENSEN, H. H. Size, productivity and exit decisions in dairy farms. In: **ANNUAL MEETING**, 2013, Washington, DC. Proceedings [...]. Washington, DC: **Agricultural and Applied Economics Association**, 2013. Disponível em: <https://ageconsearch.umn.edu/record/150339/files/AAEA%202013-dairy%20farm_06012013.pdf>. Acesso em: 04 out.2024.

DOS ANJOS, F. S.; CALDAS, N. V. O futuro ameaçado: o mundo rural face aos desafios da masculinização, do envelhecimento e da desagrarização. **Ensaio FEE**, v. 26, n. 1, p. 661-694, 2005. Disponível em: <<https://revistas.planejamento.rs.gov.br/index.php/ensaios/article/viewFile/2097/2479>>. Acesso em: 08 out. 2024

EFICIÊNCIA. In: Michaelis, **Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa**. São Paulo: Melhoramentos, 2015. Disponível em: <<https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/eficiencia/>>. Acesso em: 27 dez. 2023.

EMBRAPA GADO DE LEITE. ANUÁRIO leite 2021: saúde única e total. **Embrapa Gado de Leite**, v. 1, p. 1-53, 2021. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/224371/1/Anuario-Leite-2021.pdf>>. Acesso em: 14 abr. 2024.

_____. Centro de Inteligência do Leite – CILeite. **Leite em Números - Produção e Produtividade**. Coordenação: Glauco Rodrigues Carvalho et. al. 2024a. Disponível em: <https://www.cileite.com.br/leite_numeros_producao>. Acesso em: 16 dez. 2024.

_____. Centro de Inteligência do Leite – CILeite. **Leite em Números - Produtores**. Coordenação: Glauco Rodrigues Carvalho et. al. 2024b. Disponível em: <https://www.cileite.com.br/leite_numeros_produtores>. Acesso em: 16 dez. 2024.

EUROSTAT. Milk and Milk Products—30 Years of Quotas. 2018. Disponível em: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Archive:Milk_and_milk_products_-_30_years_of_quotas. Acesso em: 16 jun. 2024.

FARRELL, M. J. The measurement of productive efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society Series A: Statistics in Society**, v. 120, n. 3, p. 253-281, 1957. <https://doi.org/10.2307/2343100>

FASSIO, Levy Heleno et al. Custos e shut-down point da atividade leiteira em Minas Gerais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 43, p. 759-777, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0103-20032005000400007>

FERRAZ, C. O.; PINTO, W. F. Tecnologia da Informação para a agropecuária: utilização de ferramentas da tecnologia da informação no apoio a tomada de decisões em pequenas propriedades. **Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar**, Tupã, São Paulo, Brasil, v. 3, n. 1, p. 38-49, 2017. Disponível em: <<https://owl.tupa.unesp.br/recodaf/index.php/recodaf/article/view/48>>. Acesso em: 4 jul. 2024.

FERREIRA, L. R. S. **Indicadores de eficiência técnico-econômica dos produtores de leite assistidos pelo Programa de Assistência Técnica e Gerencial-ATeG Mais Leite SENAR/MS**. 2022. 61 f. Tese (Doutorado em Ciência Animal) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2022. Disponível em: <<https://repositorio.ufms.br/retrieve/ea1318b8-5c96-4ef4-89a9-85b03d28933b/TESE%20LAURA%20R.%20S.%20FERREIRA.pdf>>. Acesso em: 05 abr. 2024.

FERREIRA, M. A. M.; GONÇALVES, R. M. L.; BRAGA, M. J. Investigação do desempenho das cooperativas de crédito de Minas Gerais por meio da Análise Envoltória de Dados (DEA). **Economia Aplicada**, v. 11, n. 3, p. 425-445, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1413-80502007000300006>

FRICK, F.; SAUER, J. Deregulation and productivity: Empirical evidence on dairy production. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 100, n. 1, p. 354-378, 2018. <https://doi.org/10.1093/ajae/aax074>

GELAN, A.; MURIITHI, B. W. Measuring and explaining technical efficiency of dairy farms: a case study of smallholder farms in East Africa. **Agrekon**, v. 51, n. 2, p. 53-74, 2012. <https://doi.org/10.1080/03031853.2012.695140>

GEROSA, S.; SKOET, J. Milk availability: Current production and demand and medium term outlook, Chapter 2. Milk and dairy products in human nutrition. MUEHLHOFF E., BENNETT A., MCMAHON D.(eds), Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2013. Disponível em: <<https://www.fao.org/3/i3396e/i3396e.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2022.

GICO JUNIOR, I. T. Bem-Estar Social e o Conceito de Eficiência. **Revista Brasileira de Direito**, Passo Fundo, v. 16, n. 2, p. 1-43, nov. 2020. <https://doi.org/10.18256/2238-0604.2020.v16i2.3581>

GLOVER, J. **Why do dairy farmers continue to farm? Can Bourdieu's theory aid our understanding and suggest how farmers could regain some control in their industry?**. 2008. 459 f. (Doutorado em Filosofia em Pequenos Negócios) – Business and Economics School, Loughborough University, Loughborough, 2008. Disponível em: <<https://repository.lboro.ac.uk/ndownloader/files/17123075>>. Acesso em: 16 jun. 2024.

GOMES, S. T. Novos Tempos na Política do Leite. **Departamento de Economia Rural, Centro de Ciências Agrárias-UFV**, 1990. Disponível em: <http://arquivo.ufv.br/der/docentes/stg/stg_artigos/Art_045%20-%20NOVOS%20TEMPOS%20NA%20POL%CDTICA%20DO%20LEITE%20%2820-11-90%29.pdf>. Acesso: 11 dez. 2023.

GÜNTER, A.; GOPP, E. Overview and classification of approaches to productivity measurement. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 71, n. 4, p. 1212-1229, 2022. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-05-2019-0241>

GURGEL, A. C.; SANTOS, F. A .A.; TEIXEIRA, E. C. Relações de produção na pecuária leiteira de Minas Gerais - 1995. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.38, n.4, p.29-51, 2000.

HADA I. D.; MIHALCEA M. M. The importance Of profitability indicators In assessing The financial performance Of economic entities. **The Annals of the University of Oradea**, v. 29, n. 2020, p. 219, 2020. Disponível em: <<https://dea.lib.unideb.hu/server/api/core/bitstreams/5a2122e5-a91a-4d47-a84a-e1d84a17d420/content#page=213>>. Acesso em: 24 mar. 2024.

HAMID, S. S. et al. Changes and Factors Determining the Efficiency of Cattle Farming in the State of Pará, Brazilian Amazon. **Sustainability**, v. 15, n. 13, p. 10187, 2023. <https://doi.org/10.3390/su151310187>

HANSSON, H. Strategy factors as drivers and restraints on dairy farm performance: evidence from Sweden. **Agricultural Systems**, v. 94, n. 3, p. 726-737, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2007.02.002>

HICKS, J. R. The foundations of welfare economics. **The economic journal**, v. 49, n. 196, p. 696-712, 1939. <https://doi.org/10.2307/2225023>

HIMESH, S. et al. Digital revolution and Big Data: a new revolution in agriculture. **CABI Reviews**, n. 2018, p. 1-7, 2018. <https://doi.org/10.1079/PAVSNR20181302>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Agropecuário 2006**: Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação. Segunda apuração. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2012. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/51/agro_2006.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2022.

_____. **Censo agropecuário: resultados definitivos 2017**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019. Disponível em: <https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/index.html>. Acesso em: 19 jan. 2022.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA) – Ipeadata. **Estimativa da população no Brasil (Frequência: Anual de 1872 até 2022)**. Disponível em: <<https://http/www.ipeadata.gov.br>> . Acesso em 6 dez. 2023.

JONGENEEL, Roel; GONZALEZ-MARTINEZ, Ana. EU dairy after the quota abolition: inelastic asymmetric price responsiveness and adverse milk supply during crisis time. *Agriculture*, v. 12, n. 12, p. 1985, 2022. <https://doi.org/10.3390/agriculture12121985>

KADZERE, C. T. et al. Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livestock production science*, v. 77, n. 1, p. 59-91, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00330-X](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00330-X)

KAGEYAMA, A. Desenvolvimento rural: conceito e medida. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, v. 21, n. 3, p. 379-408, 2004. <http://dx.doi.org/10.35977/0104-1096.cct2004.v21.8702>

KALDOR, N. Welfare propositions of economics and interpersonal comparisons of utility. *The economic journal*, v. 49, n. 195, p. 549-552, 1939. <https://doi.org/10.2307/2224835>

KAMAL, M.; BABLU, T. A. Mobile applications empowering smallholder farmers: an analysis of the impact on agricultural development. *International Journal of Social Analytics*, v. 8, n. 6, p. 36-52, 2023. Disponível em: <<https://norislab.com/index.php/ijsa/article/view/24>>. Acesso em: 04 jul. 2024.

KOOPMANS, T. C. Analysis of production as an efficient combination of activities. *Analysis of Production and Allocation*, p. 33-97, 1951.

KURLANSKY, M. **Milk!: A 10,000-year Food Fracas**. Bloomsbury Publishing USA, 2018.

LEMOS, M. B. et al. Tecnologia, especialização regional e produtividade: um estudo da pecuária leiteira em Minas Gerais. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 41, n. 3, p. 117-138, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0103-20032003000300006>

LIMA, D. A. L. L.; CARDOSO JÚNIOR, H. M. C.; DE LIMA, C. V. S. Agricultura Familiar e Desenvolvimento Territorial Rural: experiências e desafios da política pública no Sudoeste Goiano. *REDES: Revista do Desenvolvimento Regional*, v. 22, n. 3, p. 113-144, 2017. <https://doi.org/10.17058/redes.v22i3.8549>

LINDBECK, A. The Sveriges Riksbank (Bank of Sweden) Prize in Economic Sciences in Memory of Alfred Nobel 1969-2000. *The Nobel Prize. The First 100 Years*, p. 197-217, 2001. https://doi.org/10.1142/9789810248543_0010

LIPTON, M. The theory of the optimising peasant. *The Journal of Development Studies*, v. 4, n. 3, p. 327-351, 1968. <https://doi.org/10.1080/00220386808421262>

LITTRÉ, E. Dictionnaire de la langue française contenant... la nomenclature... la grammaire... la signification des mots... la partie historique... l'étymologie.. Hachette, 1882.

LOPES, F. F.; CAMPOS, E. M.; ROMEU, J. C. Insumos Agropecuários. In: CÔNSOLI, M. A.; NEVES, M. F. (Coord.) **Estratégias para o leite no Brasil**. São Paulo: Atlas, 2006. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5466592/mod_folder/content/0/Livros%20Prof.%20Marcos%20Fava%20Neves/Estrategias%20para%20o%20Leite%20no%20Brasil%20

[%20Fava%20Neves%20%20Consoli%202006.pdf?forcedownload=1](#)>. Acesso em: 14 dez. 2023.

LOPES, M. A. **Brasil em 50 alimentos**, Embrapa, Brasília. 2023. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1153294/brasil-em-50-alimentos>>. Acesso em: 23 de nov. 2023.

_____. et al. Efeito da escala de produção nos resultados econômicos de sistemas de produção de leite na região de Lavras (MG): um estudo multicaseos. **Boletim de Indústria Animal**, v. 63, n. 3, p. 177-188, 2006. Disponível em: <<https://www.professormarcosaurelio.com.br/wp-content/uploads/2017/08/7-3-30-Efeito-resultados-economicos-producaod-e-leite.pdf>>.

Acesso em: 14 out. 2024. <https://www.professormarcosaurelio.com.br/wp-content/uploads/2017/08/7-3-30-Efeito-resultados-economicos-producaod-e-leite.pdf>

_____.; PELEGRINI, D. F. Gerenciamento de custos na atividade leiteira- Belo Horizonte: **EPAMIG**, 2015. 22.ed. 28p.; 2015.

LOPES, P. F.; REIS, R. P.; YAMAGUCHI, L. C. T. Custos e escala de produção na pecuária leiteira: estudo nos principais estados produtores do Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 45, p. 567-590, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0103-20032007000300002>

MA, W.; BICKNELL, K.; RENWICK, A. Feed use intensification and technical efficiency of dairy farms in New Zealand. **Australian Journal of Agricultural and Resource Economics**, v. 63, n. 1, p. 20-38, 2019. <https://doi.org/10.1111/1467-8489.12283>

_____.; RENWICK, A.; ZHOU, X. The relationship between farm debt and dairy productivity and profitability in New Zealand. **Journal of Dairy Science**, v. 103, n. 9, p. 8251-8256, 2020. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17506>

MACHADO, F. S. *et al.* Exigências nutricionais de bovinos leiteiros para produção sustentável nos trópicos. In: PEREIRA, L. G.R; NOBRE, M.M; NEVES, A. L.A; CAMPOS, M.M; MENDONÇA, L.C; GOMIDE, C. A. M; SANTOS, G. G; SIQUEIRA, K. B. (Org.). **Pesquisa, desenvolvimento e inovação para a sustentabilidade da bovinocultura leiteira**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, p. 173-187. 2011. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Wagner-Arbex/publication/221875675_Procedimento_metodologico_para_identificacao_de_SNPs_e_m_dados_de_ESTs_com_aplicacao_de_inferencia_difusa/links/00b49517fc2afe63d9000000/Procedimento-metodologico-para-identificacao-de-SNPs-em-dados-de-ESTs-com-aplicacao-de-inferencia-difusa.pdf#page=174>. Acesso em: 15 dez. 2023.

MAIA, G. B. S. et al. Produção leiteira no Brasil. **BNDES Setorial**, n. 37, mar. 2013, p. 371-398, 2013. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/1514/1/A%20mar37_09_Produ%C3%A7%C3%A3o%20leiteira%20no%20Brasil_P.pdf>. Acesso em: 19 set. 2024.

MALIK, M. et al. Application of optimization techniques in the dairy supply chain: A systematic review. **Logistics**, v. 6, n. 4, p. 74, 2022. <https://doi.org/10.3390/logistics6040074>

MARETH, T. et al. Analysing the determinants of technical efficiency of dairy farms in Brazil. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 68, n. 2, p. 464-481, 2019. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-06-2018-0234>

MARQUES, V. M. *et al.* Custos e escala na pecuária leiteira: estudo de casos em Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 26, n. 5, p. 1027-34, 2002.

MARTINE, G. Fases e face da modernização agrícola brasileira. **Revista Planejamento e Políticas Públicas**, n. 3, p. 3-43, 1990. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/14797/1/ppp_n3_Artigo1_fases_e_fases.pdf>. Acesso em: 07 out. 2024.

MARTINS, P. C.; FARIA, V. P. Histórico do Leite no Brasil. In: CÔNSOLI, M. A; NEVES, M. F. (Coord.) **Estratégias para o leite no Brasil**. São Paulo: Atlas, 2006. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5466592/mod_folder/content/0/Livros%20Prof.%20Marcos%20Fava%20Neves/Estrategias%20para%20o%20Leite%20no%20Brasil%20-%20Fava%20Neves%20-%20Consoli%202006.pdf?forcedownload=1>. Acesso em: 14 dez. 2023.

MARTINS NETO, T. et al. Viabilidade econômica de vacas leiteiras F1 Holandês x Zebu com diferentes bases maternas e ordens de parto. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 70, p. 1959-1969, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4162-10054>

MATTOS, W. R. S. Medidas para o aumento da eficiência na produção leiteira. In: PEIXOTO, A. M.; MOURA, J. C.; FARIA, V. P. **Bovinocultura Leiteira: fundamentos da exploração racional**. pp. 113-130. Piracicaba: FEALQ, 1986.

MATSUNAGA, M. et al. Metodologia de custo de produção utilizada pelo IEA. **Agricultura em São Paulo**, v. 23, n. 1, p. 123-139, 1976. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/ftpica/rea/tomol_76/artigo3.pdf>. Acesso em 22 jul. 2024.

MEIRA, C. A. A. *et al.* Agroinformática: qualidade e produtividade na agricultura. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 13, n. 2, p. 175-194, 1996.

MEIRELES, A. J. **A desrazão laticinista**: a indústria de laticínios no último quartel do século XX. 5. São Paulo: Cultura Editores, 1996.

MEIRELES, M. Production Economics and Economic Efficiency. In: **Advanced Mathematical Methods for Economic Efficiency Analysis: Theory and Empirical Applications**. Cham: Springer International Publishing, 2023. p. 17-32. https://doi.org/10.1007/978-3-031-29583-6_2

MELLO, J. C. C. B. S et al. Curso de análise de envoltória de dados. **XXXVII Simpósio brasileiro de pesquisa operacional**, p. 20520-2547, 2005. Disponível em: <<http://www.din.uem.br/~ademir/sbpo/sbpo2005/pdf/arq0289.pdf>>. Acesso em: 17 jul. 2024.

MELLOR, J. W. The use and productivity of farm family labor in early stages of agricultural development. **Journal of Farm Economics**, v. 45, n. 3, p. 517-534, 1963. <https://doi.org/10.2307/1235430>

MEZA, L. A. et al. FSDA–FREE software for decision analysis (slad–software livre de apoio à decisão): a software package for data envelopment analysis models. in **Congreso Latino-iberoamericano de Investigación Operativa–CLAIO**, volume 12, 2004. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/31372/1/2243.pdf>>. Acesso em 17 jul. 2024.

MIKELIONYTĖ, D.; EIČAITĖ, O. Assessment of the efficiency of Lithuanian dairy farms of different economic sizes. **Scientific Papers Series-Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development**, v. 20, n. 1, p. 365-373, 2020. Disponível em: <https://managementjournal.usamv.ro/pdf/vol.20_1/Art48.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2024.

MINAS GERAIS. Decreto nº 47.404, de 27 de abril de 2018. Institui a Comissão de Estudos Estratégicos para a Cadeia Produtiva de Lácteos do Estado de Minas Gerais e dá outras providências. 2018. Disponível em: <<https://www.jornalminasgerais.mg.gov.br/?dataJornal=2018-04-28>>. Acesso em: 05 de out. 2020.

MÖNKKÖNEN, M.; YLISERNIÖ, A.-L.; HÄMÄLÄINEN, T. Ecological Efficiency of Voluntary Conservation of Boreal-Forest Biodiversity. **Conservation Biology**, 23 (2), 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.01082.x>

MOREIRA, A. R. B.; FONSECA, T. C. R. Comparando Medidas de Produtividade: DEA, fronteira de produção estocástica. Rio de Janeiro: IPEA, 2005. (**Texto para Discussão** nº 1069). Disponível em: <<https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/1985>>. Acesso em: 26 set. 2009.

MOSENG, B. D.; ROLSTADÅS, A. Success factors in the productivity process. In: **10th World Productivity Congress**. 2001.

MUKHERJEE, D.; BRAVO-URETA, B. E.; DE VRIES, A.. Dairy productivity and climatic conditions: econometric evidence from South-eastern United States. **Australian Journal of Agricultural and Resource Economics**, v. 57, n. 1, p. 123-140, 2013. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8489.2012.00603.x>

NAKAJIMA, C. N. Subsistence and commercial family farms: some theoretical models of subjective equilibrium. In: **Subsistence agriculture and economic development**. Routledge, 2017. p. 165-184. <https://doi.org/10.4324/9781315130408-19>

NAVARRO, Z. Desenvolvimento rural no Brasil: os limites do passado e os caminhos do futuro. **Estudos avançados**, v. 15, p. 83-100, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142001000300009>

NJUKI, E.; BRAVO-URETA, B. E.; CABRERA, V. E. Climatic effects and total factor productivity: econometric evidence for Wisconsin dairy farms. **European Review of Agricultural Economics**, v. 47, n. 3, p. 1276-1301, 2020. <https://doi.org/10.1093/erae/jbz046>

_____.; _____.; O'DONNELL, C. J. Decomposing agricultural productivity growth using a random-parameters stochastic production frontier. **Empirical Economics**, v. 57, n. 3, p. 839-860, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00181-018-1469-9>

O'DONNELL, C. J. Estimating total factor productivity change when no price or value-share data are available. **Centre for efficiency and productivity analysis working papers, University of Queensland**, 2017. Disponível em: <<https://economics.uq.edu.au/files/5037/WP012017.pdf>>. Acesso em: 08 jul. 2024.

OJSTERSEK, R.; BREZOCNIK, M.; BUCHMEISTER, B.. Multi-objective optimization of production scheduling with evolutionary computation: A review. **International Journal of Industrial Engineering Computations**, v. 11, n. 3, p. 359-376, 2020. <https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2020.1.003>

OLINI, L. M. G. et al. Fatores que afetam a rentabilidade da pecuária de leite. **Nativa**, v. 8, n. 2, p. 295-301, 2020. <https://doi.org/10.31413/nativa.v8i2.8448>

PADILHA, A. L. et al. Efeito da escala de produção de leite na rentabilidade de pecuaristas leiteiros da mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 43, n. 5, p. 1985-2002, 2022. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2022v43n5p1985>

PALENCIA, N. P. Complexo Agroindustrial do Leite no Brasil: indicadores socioeconômicos, adoção de tecnologias e transformações nas últimas décadas. **Revista de Economia Do Centro-Oeste**, v. 2, n. 2, p. 55-72, 2016. <https://doi.org/10.5216/reoeste.v2i2.41625>

PASTOR, J. T.; APARICIO, J.; ZOFÍO, J. L. **Benchmarking Economic Efficiency: Technical and Allocative Fundamentals**. International Series in Operations Research and Management Science, Springer Cham. 2022. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-84397-7>

PELEGRINI, D. F. et al. Effect of socioeconomic factors on the yields of family-operated milk production systems. **Semina: Ciências Agrárias, Londrina**, v. 40, n. 3, p. 1199-1214, 2019. <http://doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n3p1199>

_____. et al. Gênese e obsolescência do Sistema Estadual de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 38, n. 3, p. 26652, 2022. <http://dx.doi.org/10.35977/0104-1096.cct2021.v38.26652>

PERES, M. B. M.; DA COSTA, T. B.; LEAL, E. A. Análise de eficiência técnica e de escala aplicado aos custos da pecuária leiteira familiar. **Custos e @gronegocio on line**, v. 17, Edição Especial, 2021. Disponível em: <<http://www.custoseagronegocioonline.com.br/especialv17/OK%2015%20escala.pdf>>. Acesso em: 13 ago. 2024.

PÉREZ-MÉNDEZ, J. A.; ROIBÁS, D.; WALL, A. Somatic cell counts, reproduction indicators, and technical efficiency in milk production: A stochastic frontier analysis for Spanish dairy farms. **Journal of dairy science**, v. 103, n. 8, p. 7141-7154, 2020. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17146>

PEROBELLI, F. S.; ARAÚJO, I. F.; CASTRO, L. S. As dimensões espaciais da cadeia produtiva do leite em Minas Gerais. **Nova Economia**, v. 28, n. 01, p. 297-337, 2018. <https://doi.org/10.1590/0103-6351/4789>

PINGALI, P. L. Green revolution: impacts, limits, and the path ahead. **Proceedings of the national academy of sciences**, v. 109, n. 31, p. 12302-12308, 2012. <https://doi.org/10.1073/pnas.0912953109>

QI, L.; BRAVO-URETA, B. E.; CABRERA, V. E. From cold to hot: Climatic effects and productivity in Wisconsin dairy farms. **Journal of dairy science**, v. 98, n. 12, p. 8664-8677, 2015. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9536>

QUIÉDEVILLE, S. et al. Influence of climate stress on technical efficiency and economic downside risk exposure of EU dairy farms. **The Journal of Agricultural Science**, v. 160, n. 5, p. 289-301, 2022. <https://doi.org/10.1017/S0021859622000375>

REBELO, S.; MATIAS, F.; CARRASCO, P. Application of the DEA methodology in the analysis of efficiency of the Portuguese hotel industry: an analysis applied to the Portuguese geographical regions. **Tourism & Management Studies**, v. 9, n. 2, p. 21-28, 2013.

ROCHA, A. G. F. **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. <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.te.2017.16>

ROSANO-PEÑA, C. Eficiência e impacto do contexto na gestão através do DEA: o caso da UEG. **Produção, São Paulo**, v. 22, n. 4, p. 778-787, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0103-65132012005000086>

SANTOS, D. F.; BARROS, G. S. C. Importações brasileiras de leite: impactos micro e macroeconômicos. **Economia Aplicada**, v. 10, p. 541-559, 2006. <https://doi.org/10.1590/S1413-80502006000400004>

SANTOS, R. R. **Relação entre a discriminação salarial de gêneros e o crescimento do PIB per capita no Brasil: análise por municípios**. 2017. 41 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Economia) - INSPER Instituto de Ensino e Pesquisa. 2017. Disponível em: <<https://repositorio.insper.edu.br/handle/11224/1754>>. Acesso em: 20 set. 2024.

SCALCO, P. R. **Identificação de poder de mercado no segmento de leite in natura e UHT**. Viçosa, 2011. 178f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada). Universidade Federal de Viçosa. 2011. Disponível em: <<http://locus.ufv.br/handle/123456789/147>>. Acesso em: 16 dez. 2024.

SCHULTZ, T. W. Transforming traditional agriculture: Reply. **Journal of farm Economics**, v. 48, n. 4, p. 1015-1018, 1966. <https://doi.org/10.2307/1236629>

SELIM, S.; BURSALIOGLU, S. A. Analysis of the determinants of universities efficiency in turkey: Application of the data envelopment analysis and panel Tobit model. **Procedia-Social**

and Behavioral Sciences, v. 89, p. 895-900, 2013.
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.952>

SEN, A. K. Peasants and Dualism with or without Surplus Labor. **Journal of political Economy**, v. 74, n. 5, p. 425-450, 1966. <https://doi.org/10.1086/259198>

SERAMIM, R. J.; ROJO, C. A. Gestão dos custos de produção da atividade leiteira na agricultura familiar. **Revista Gestão & Tecnologia**, v. 16, n. 3, p. 244-260, 2016.
<https://doi.org/10.20397/2177-6652/2016.v16i3.941>

SILVA, J. A.; TSUKAMOTO, R. Y. A modernização da pecuária leiteira e a exclusão do pequeno produtor. **GEOGRAFIA (Londrina)**, v. 10, n. 2, p. 147-162, 2011.
<https://doi.org/10.5433/2447-1747.2001v10n2p147>

SILVA, J. G. Agricultura e Crescimento Econômico. In: SILVA, J. G. **A Modernização Dolorosa: Estrutura agrária, fronteira agrícola e trabalhadores rurais no Brasil**. 2. ed. Zahar, Rio de Janeiro, 1982. Cap. 1, p. 17-32.

SIMÕES, A. R. P. The dynamic impacts of farm-level technology adoption on production, prices and profitability in brazil's dairy supply chain. 2018. 123 f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018.

_____.; REIS, J. D.; AVELAR, P. S. A heterogeneidade tecnológica da pecuária leiteira em Minas Gerais. **Agrarian**, v. 10, n. 37, p. 261-269, 2017.
<https://doi.org/10.30612/agrarian.v10i37.6782>

SIMÕES, A. R. P.; REIS, J. D.; AVELAR, P. S. A heterogeneidade tecnológica da pecuária leiteira em Minas Gerais. **Agrarian**, v. 10, n. 37, p. 261-269, 2017.
<https://doi.org/10.30612/agrarian.v10i37.6782>

SINGH, S.; SHARMA, S. Measurement of technical efficiency in dairy sector of India: A stochastic frontier production function approach. **TMC Academic journal**, v. 5, n. 2, p. 51-64, 2011. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Surender-Mor/publication/304284494_Measurement_of_technical_efficiency_in_dairy_sector_of_India_A_stochastic_frontier_production_function_approach/links/576e334708ae621947424bdb/Measurement-of-technical-efficiency-in-dairy-sector-of-India-A-stochastic-frontier-production-function-approach.pdf>. Acesso em: 17 set. 2024.

SIQUEIRA, K. B. et al. Investigações recentes de dumping no mercado lácteo brasileiro. **Revista Informações Econômicas**, v. 41, p. 34-40, 2011. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/53475/1/Artigo-meta-2011-InfEc-Kennya-tec4-0811.pdf>>. Acesso em: 14 abr. 2024.

_____.; LINHARES, L. F.; HOTT, M. C. Uma análise das barreiras tarifárias no comércio internacional de lácteos. **Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite**, 2011. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/921537/1/BOP32UmaAnalisedasBarreirasTarifariasnoComercioInternacionaldeLacteos.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2024.

SOLIMAN, T.; DJANIBEKOV, U. Assessing dairy farming eco-efficiency in New Zealand: A two-stage data envelopment analysis. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 64, n. 3, p. 411-428, 2021. <https://doi.org/10.1080/00288233.2020.1837188>

SOUZA, G. S. Significância de efeitos técnicos na eficiência de produção da pesquisa agropecuária. **Revista Brasileira de Economia**, v. 60, n. 1, p. 69-86, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0034-71402006000100005>

STOCK, L. A. Determinants of efficiency for brazilian dairy farms. **Oklahoma State University**. 2000. 144 p. Tese (Doutorado Agricultural Economics). Stillwater, Oklahoma 2000.

TANGEN, S. A. theoretical foundation for productivity measurement and improvement of automatic assembly systems. Licentiate thesis, **The Royal Institute of Technology**, Stockholm. 2002

_____. Demystifying productivity and performance. **International Journal of Productivity and performance management**, v. 54, n. 1, p. 34-46, 2005. <https://doi.org/10.1108/17410400510571437>

THEODORIDIS, A. M.; PSYCHOUDAKIS, A. Efficiency Measurement in Greek Dairy Farms: Stochastic Frontier Vs. Data Envelopment Analysis. **International Journal of Economic Sciences and Applied Research**, v. 1, n. 2, p. 53-67, 2008. Disponível em: <<https://ssrn.com/abstract=1517144>>. Acesso em: 20 set. 2024.

TRAVASSOS, G. F.; SOBREIRA, D. B.; GOMES, A. P.; CARNEIRO, A.V. Determinantes da eficiência técnica dos produtores de leite da Mesorregião da Zona da Mata - MG. **Revista de Economia e Agronegócio**, v.13, p.63- 92, 2016. Disponível em: <<https://periodicos.ufv.br/rea/article/view/7577>>. Acesso em: 14 set. 2024.

TUPY, O.; YAMAGUCHI, L. C. T. Eficiência e produtividade: conceitos e medição. **Embrapa Pecuária Sudeste-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 1998.

United States Department of Agriculture (USDA). Dairy: World Markets and Trade. Jul. 2023. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/dairy.pdf>>. Acesso em 13 dez. 2023.

VERNEQUE, R. S. et al. A contribuição do melhoramento animal para a pecuária de leite. In: VILELA, D.; FERREIRA, R. de P.; FERNANDES, E. N.; JUNTOLLI, F. V. (Ed.). **Pecuária de leite no Brasil: cenários e avanços tecnológicos**. Brasília, DF: Embrapa, 2016.

VILELA, D. Desafios e oportunidades para a pecuária de leite no Brasil. In: VILELA, D. et al. **Pecuária de leite no Brasil: cenários e avanços tecnológicos**. Brasília, DF: Embrapa, p. 127-144, 2016. Disponível em: <https://www.fucap.edu.br/dashboard/livros_online/0f3e396a926a22a79ccc015494abb9c3.pdf#page=128>

_____. A história dos 491 anos do leite no Brasil: passado, presente e o futuro?. **MilkPoint**, 2023. Disponível em: <<https://www.milkpoint.com.br/artigos/producao-de-leite/historia-do-leite-no-brasil-passado-presente-e-futuro-233795/>>. Acesso em: 26 nov.2023.

_____. et al. A evolução do leite no Brasil em cinco décadas. **Revista de Política Agrícola**, v. 26, n. 1, p. 5-24, 2017. Disponível em: <<https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/viewFile/1243/1037>>. Acesso em: 26 nov.2023.

WANG, Z. et al. Analysis of weighting and selection methods for pareto-optimal solutions of multiobjective optimization in chemical engineering applications. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 59, n. 33, p. 14850-14867, 2020. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.0c00969>

YU, Z. et al. Production efficiency of raw milk and its determinants: Application of combining data envelopment analysis and stochastic frontier analysis. **Agriculture**, v. 13, n. 2, p. 370, 2023. <https://doi.org/10.3390/agriculture13020370>

ZERBE JUNIOR, R. O. **Economic efficiency in law and economics**. Edward Elgar Publishing, 2001. <https://doi.org/10.4337/9781843761488.00006>

APÊNDICE – Relação de municípios e correspondente quantitativo de produtores constantes da amostra

Município	Produtores
AGUA COMPRIDA	1
ALEM PARAIBA	1
ALFENAS	2
ALMENARA	1
ALVARENGA	1
ANGELANDIA	1
ANTONIO CARLOS	3
ASTOLFO DUTRA	1
AUGUSTO DE LIMA	1
BARBACENA	3
BELMIRO BRAGA	1
BERILO	1
BICAS	1
BIQUINHAS	1
BOCAIUVA	1
BOM JARDIM DE MINAS	1
BOM SUCESSO	1
BOTUMIRIM	1
BRASILIA DE MINAS	1
BUENOPOLIS	1
BURITIS	1
CAMPOS GERAIS	1
CAPELA NOVA	1
CAPELINHA	1
CARANDAI	1
CARMO DO PARANAIBA	1
CATUTI	1
CONEGO MARINHO	1
CORDISBURGO	1
CORDISLANDIA	1
COROMANDEL	1
CORONEL PACHECO	2
CRISTAIS	1
DELFINOPOLIS	1
DIONISIO	2
FARIA LEMOS	1
FORMIGA	1
FRANCISCO BADARO	1
FRANCISCO SA	1
FRANCISOPOLIS	1
FUNILANDIA	1
GUAPE	1

GUARARA	1
ICARAI DE MINAS	1
IJACI	1
INGAI	1
ITABIRITO	1
ITACAMBIRA	1
ITAIPE	1
ITAPECERICA	1
JABOTICATUBAS	2
JAMPRUCA	1
JANAUBA	1
JENIPAPO DE MINAS	1
LAGOA DOS PATOS	1
LAMIM	1
LEME DO PRADO	1
LIBERDADE	1
LIMA DUARTE	1
MADRE DE DEUS DE MINAS	1
MALACACHETA	1
MANHUMIRIM	1
MANTENA	2
MAR DE ESPANHA	2
MARIPA DE MINAS	1
MARTINHO CAMPOS	1
MERCES	2
MONTES CLAROS	1
MORADA NOVA DE MINAS	1
MORRO DA GARCA	1
NAZARENO	1
NINHEIRA	1
NOVA PORTEIRINHA	1
OLIVEIRA	1
OLIVEIRA FORTES	1
PAI PEDRO	4
PALMA	1
PARACATU	2
PARAOPEBA	1
PAULA CANDIDO	1
PEDRA DOURADA	1
PEDRAS DE MARIA DA CRUZ	1
PEDRO LEOPOLDO	1
PEQUERI	2
PESCADOR	1
PIRANGUCU	1
PIRAUBA	1
POCO FUNDO	1

PRATA	1
PRATINHA	1
PRESIDENTE JUSCELINO	1
RECREIO	1
RESPLENDOR	1
RIO NOVO	1
RIO POMBA	2
RIO VERMELHO	1
RODEIRO	1
SANTA RITA DE CALDAS	2
SANTA RITA DO ITUETO	1
SANTA VITORIA	4
SANTANA DE PIRAPAMA	2
SANTO ANTONIO DO AMPARO	1
SAO DOMINGOS DO PRATA	1
SAO JOAO DA PONTE	1
SAO JOAO NEPOMUCENO	1
SAO JOSE DO DIVINO	1
SAO JOSE DO GOIABAL	1
SAO JOSE DO MANTIMENTO	1
SENHORA DOS REMEDIOS	1
SERITINGA	1
SERRANIA	1
SETUBINHA	1
SILVEIRANIA	3
TAPIRAI	1
TARUMIRIM	1
TEIXEIRAS	1
TEOFILO OTONI	2
TOCANTINS	1
TRES PONTAS	1
TURVOLANDIA	1
UBERLANDIA	1
URUCUIA	1
VARZEA DA PALMA	1
VERISSIMO	1
Total	149