Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Análise da	eficiência	técnica (da pecua	ária de (corte para	regiões	brasileiras
	selecionad	das – um	a anális	e de fro	nteira esto	cástica	

Maristela de Mello Martins

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestra em Ciências. Área de concentração: Economia Aplicada

Maristela de Mello Martins Bacharela em Ciências Econômicas

Análise da eficiência técnica da pecuária de corte para regiões brasileiras selecionadas — uma análise de fronteira estocástica

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:

Prof. Dr. HUMBERTO FRANCISCO SILVA SPOLADOR

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestra em Ciências. Área de concentração: Economia Aplicada

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Martins, Maristela de Mello

Análise da eficiência técnica da pecuária de corte para regiões brasileiras selecionadas – uma análise de fronteira estocástica / Maristela de Mello Martins. - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2019.

164 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Eficiência 2. Pecuária de corte 3. Fronteira estocástica 4. Suplementação I. Título

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Darci Umbelina e Dercilio Martins,

dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por sempre me amparar e por ter iluminado o meu caminho com pessoas que foram muito importantes para o desenvolvimento desta dissertação.

Aos meus pais, Dercilio e Darci, e à minha irmã, Letícia, pelo amor e apoio incondicional ao longo de toda a minha vida, por acreditarem em mim e me incentivarem a superar desafios.

Ao Prof. Humberto Spolador, pela confiança concedida a mim, pelas valiosas lições ensinadas e pela atenção com que acompanhou este trabalho. Seu profissionalismo e entusiasmo ao transmitir conhecimento, bem como ao lidar com a pesquisa, são exemplos para todos os seus alunos.

A equipe de Custos de Produção, do Cepea, que realiza o meticuloso trabalho de ir à campo coletar informações primárias sobre pecuária de corte e que me permitiu utilizar esta base de dados em minha pesquisa, bem como, gentilmente, me prestou auxílio para o entendimento das informações. Em especial, agradeço ao Giovanni Penazzi e ao Renato Prodoximo por responderem as minhas dúvidas sempre com muita paciência.

Ao Prof. Gerd Sparovek, do GeoLab, por ter permitido que eu utilizasse a base de dados do Índice de Aptidão do Meio Físico (IAMF), e à Marcela Araújo, pelas valiosas conversas, sugestões e auxílio no uso desses dados.

Ao Prof. Fábio Marin, por ter cedido os dados do levantamento GYGA-ED, e ao Luís Antolin e Caio Jhonathan, pelo suporte no tratamento dessas informações.

Ao pesquisador Eric Njuki, por compartilhar seu conhecimento e, de forma muita atenciosa, apresentar diversas contribuições para este estudo.

Aos membros da banca do exame de qualificação, Prof. Alexandre Nunes, Prof. Sergio De Zen e Thiago Bernardino, pelas sugestões que muito contribuíram para a finalização desta dissertação.

Aos colegas Pedro Soares e André Danelon, pelas discussões quanto a metodologia, compartilhamento de materiais e por ambos estarem sempre dispostos a ajudar.

À Beatriz Ferreira, Isabella Ballestero, Juliana Ferraz, Lia Frezzarin, Sumara Tondati, aos amigos do Cepea e do PPGEA, pelas boas conversas e demonstrações de apoio e carinho que tornaram o mestrado mais leve.

Aos professores e funcionários do LES.

Ao CNPq, pelo suporte financeiro durante o período do mestrado.

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	9
1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
 2.1. Panorama sobre a pecuária de corte brasileira. 2.2. Variáveis edafoclimáticas e pecuária	23
3. METODOLOGIA	35
3.1. Referencial teórico	43 52 57
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
 4.1. Análise dos dados 4.2. Modelo I 4.2.1. Testes para verificar a presença de ineficiência técnica 4.2.2. Fronteira estocástica de produção e determinantes da ineficiência técnica 4.3. Modelo II 4.3.1. Testes para verificar a presença de ineficiência técnica 4.3.2. Fronteira estocástica de produção e determinantes da ineficiência técnica 4.4. Modelos I e II com a variável de tendência temporal 	777881100101104
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	125
REFERÊNCIAS	129
APÊNDICES	139

RESUMO

Análise da eficiência técnica da pecuária de corte para regiões brasileiras selecionadas – uma análise de fronteira estocástica

A pecuária de corte brasileira tem se destacado no cenário internacional. Apesar disso, a atividade é bastante heterogênea, refletindo em desempenho díspar entre os pecuaristas. O objetivo desta pesquisa foi mensurar a eficiência técnica dos produtores de gado de corte de regiões brasileiras selecionadas, ou seja, medir o quanto estão produzindo em relação ao máximo potencial e, de forma concomitante, analisar possíveis determinantes dessa eficiência. Para a realização deste objetivo, foi empregada a Análise de Fronteira Estocástica (SFA), e considerou-se que a produção (quantidade de arrobas produzidas) é explicada pelos insumos (terra, trabalho e capital), sistema de produção dos animais, genética e meio físico. Por sua vez, as variáveis explicativas para a eficiência técnica dos produtores relacionamse à alimentação dos animais (suplementação mineral e proteica), às pastagens (adubação, rotação de pastagens e integração lavoura-pecuária) e à assistência técnica. A base de dados quanto à produção, insumos e manejo é do Cepea/CNA, instituições que por meio do projeto "Campo Futuro" definem fazendas típicas de regiões importantes para a pecuária de corte. As condições do meio físico foram incorporadas na análise de duas formas alternativas: variáveis edafoclimáticas (Modelo I) e índice de aptidão do meio físico (Modelo II), provenientes do levantamento GYGA-ED e do GeoLab, respectivamente. A amostra continha informações de 279 fazendas típicas e foram analisadas entre os anos de 2002 e 2017, empregando-se o método para dados cross-section. Os resultados indicaram que a produção de gado de corte no Brasil tem desempenho médio elevado: de 91,22% no primeiro modelo e de 90,87% no segundo. Em ambos os modelos, a área de pastagens é o insumo que mais impacta na quantidade produzida, dado que, nos atuais padrões de produção, a atividade majoritariamente demanda amplas extensões de terra. No entanto, os sistemas extensivos per se impactam negativamente a produção (efeito contrário àquele verificado para o confinamento). Constatou-se, ainda, que quanto melhor é a genética dos animais (representada pelo ganho de peso diário dos mesmos), mais próxima a fazenda típica está da fronteira de produção. Os coeficientes da fronteira de produção no Modelo I sinalizaram a estreita relação entre a quantidade produzida e as variáveis edafoclimáticas, ainda que o efeito dessas seja indireto majoritariamente. Quanto às variáveis explicativas para a ineficiência técnica, em ambos os modelos a assistência técnica mostrou-se como negativa para o desempenho dos produtores. De modo contrário, no Modelo II, os resultados para o número de piquetes (proxy para a rotação de pastagens) e a suplementação mineral sugeriram que estes reduzem a ineficiência técnica da pecuária.

Palavras-chave: Eficiência; Pecuária de corte; Fronteira estocástica; Suplementação

ABSTRACT

Analysis of the beef cattle efficiency for selected Brazilian regions – a stochastic frontier analysis

Brazilian beef cattle is one of the most significant activities in the international agribusiness market. Despite that, the activity is quite heterogeneous, thus producers have disparate performance. The objective of this research is to measure the technical efficiency of beef cattle producers from selected Brazilian regions, by measuring how much they are producing in relation to their maximum potential and, at the same time, analyse potential determinants of efficiency. In order to achieve this objective, Stochastic Frontier Analysis (SFA) was used for the estimation, which considered that production (quantity produced of carcass) is explained by inputs (land, labor and capital), production system of animals, genetics and environment. In its turn, the explained variables for efficiency of producers are related to: animal feed (mineral and protein supplementation), pasture (fertilizing, rotation of pasture and crop-livestock integration) and technical assistance. For data on production, inputs and management the source are Cepea/CNA, institutions that through the "Campo Futuro" project define typical farms in relevant producer regions of Brazilian beef cattle. Environmental conditions were included in the analysis in two alternative ways: soil and climatic variables (1st Model) and agricultural aptitude index (2nd Model), from the GYGA-ED and GeoLab, respectively. There were information about 279 typical farms in the sample, which were analysed from 2002 to 2017. The data was pooled for estimation and, therefore, the method for cross-section data was used. The results indicated that beef cattle in Brazil has high average performance: 91.22% on the 1st Model and 90.87% on the 2nd Model. In both, among all inputs, the produced quantity is highly impacted by the pasture area since, currently, the activity demands large areas. However, low-intensity of pasture systems affects production negatively (confinement has a contrary effect). The production frontier is easier achieved when high genetic material of animals is present (represented by their daily weight gain). In the 1st Model, the coefficients indicated a close relationship among production and soil and climatic variables, however their effect is mostly indirect. Regarding the explanatory variables for technical inefficiency, in both models technical assistance reduced producer performance. On the other hand, in the 2nd Model, pasture rotation and mineral supplementation decreased in technical inefficiency of beef cattle.

Keywords: Efficiency; Beef cattle; Stochastic frontier; Supplementation

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Rebanho bovino conforme as regiões brasileiras, de 1997 a 2017	15
Figura 2. Produtividade da pecuária de corte brasileira (kg de carcaça/animal abatido), de 1997 a 2017	
Figura 3. Unidade animal por hectare em 2013 no Brasil.	18
Figura 4. Unidade animal por hectare projetada para 2030 no Brasil	18
Figura 5. Áreas prioritárias para a intensificação da pecuária no Brasil	19
Figura 6. Rebanho confinado conforme os estados brasileiros, de 2000 a 2017	21
Figura 7. Rebanho semi-confinado conforme os estados brasileiros, de 2000 a 2017	22
Figura 8. Fronteira de produção para um produto e um insumo	36
Figura 9. Distribuição geográfica das regiões analisadas na presente pesquisa	45
Figura 10. Zonas climáticas homogêneas, definidas com base no GDD, índice de aridez a e sazonalidade da temperatura.	
Figura 11. Índice de Aptidão do Meio Físico (IAMF) para culturas perenes	52
Figura 12. Distribuição de frequências dos insumos considerados na fronteira estocástica produção.	
Figura 13. Relação entre a produção (quantidade de arrobas produzidas) e a área de pasta	
Figura 14. Relação entre a produção (quantidade de arrobas produzidas) e o trabalho (números funcionários e diaristas).	
Figura 15. Relação entre a produção (quantidade de arrobas produzidas) e o capital (mil F	
Figura 16. Distribuição de frequências do ganho de peso diário dos animais	74
Figura 17. Distribuição de frequências das variáveis exógenas que determinam a ineficiêr técnica.	
Figura 18. Distribuição de frequências da eficiência técnica	90
Figura 19. Distribuição de frequências da eficiência técnica	. 109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição da amostra45
Tabela 2. Classes definidas para o GDD
Tabela 3. Classes definidas para a sazonalidade da temperatura
Tabela 4. Classes definidas para o índice de aridez anual
Tabela 5. Variáveis que compõem a fronteira estocástica de produção62
Tabela 6. Variáveis determinantes da eficiência técnica
Tabela 7. Estatística descritiva das variáveis que compõem a fronteira estocástica de produção70
Tabela 8. Distribuição de frequências das variáveis edafoclimáticas
Tabela 9. Estatística descritiva das variáveis que explicam a ineficiência técnica76
Tabela 10. Resultados do modelo de MQO79
Tabela 11. Resultado do teste para verificar a normalidade dos resíduos do MQO80
Tabela 12. Resultados do modelo empírico
Tabela 13. Teste de Wald comparando a <i>Cobb-Douglas</i> e a translog
Tabela 14. Efeitos marginais das variáveis exógenas sobre $E(\boldsymbol{u})$ e $V(\boldsymbol{u})$
Tabela 15. Eficiência técnica conforme os sistemas de produção91
Tabela 16. Teste <i>t</i> de <i>Student</i> entre a eficiência técnica média conforme os sistemas de produção
Tabela 17. Eficiência técnica conforme as classes de área total da propriedade (hectares)94
Tabela 18. Teste <i>t</i> de <i>Student</i> entre a eficiência técnica média conforme as classes de área total da propriedade
Tabela 19. Eficiência técnica estimada conforme a realização de adubação ou ILP e recebimento de assistência técnica95
Tabela 20. Teste <i>t</i> de <i>Student</i> entre a eficiência técnica média das fazendas típicas que realizam ou não adubação de pastagens e ILP e recebem ou não assistência técnica96
Tabela 21. Eficiência técnica conforme as quantidades de suplementação mineral fornecida aos animais (kg/UA/dia)
Tabela 22. Eficiência técnica conforme as quantidades de suplementação proteica fornecida aos animais (kg/UA/dia)
Tabela 23. Teste <i>t</i> de <i>Student</i> entre a eficiência técnica média conforme as classes de suplementação mineral
Tabela 24. Teste <i>t</i> de <i>Student</i> entre a eficiência técnica média conforme as classes de suplementação proteica
Tabela 25. Eficiência técnica média conforme as classes de número de piquetes99
Tabela 26. Teste <i>t</i> de <i>Student</i> entre a eficiência técnica média conforme as classes de número de piquetes

Tabela 27. Resultados do modelo de MQO.	102
Tabela 28. Resultado do teste para verificar a normalidade dos resíduos do MQO	103
Tabela 29. Resultados do modelo empírico.	104
Tabela 30. Teste de Wald comparando a Cobb-Douglas e a translog	106
Tabela 31. Efeitos marginais das variáveis exógenas sobre $E(\boldsymbol{u})$ e $V(\boldsymbol{u})$	108
Tabela 32. Eficiência técnica conforme os sistemas de produção.	110
Tabela 33. Teste <i>t</i> de <i>Student</i> entre a eficiência técnica média conforme os sistemas de produção.	111
Tabela 34. Eficiência técnica média conforme as classes do índice de aptidão do meio físi	
Tabela 35. Teste <i>t</i> de <i>Student</i> entre a eficiência técnica média conforme as classes do índi aptidão do meio físico.	
Tabela 36. Eficiência técnica conforme as classes de área total da propriedade (hectares).	. 113
Tabela 37. Teste <i>t</i> de <i>Student</i> entre a eficiência técnica média conforme as classes de área da propriedade.	
Tabela 38. Eficiência técnica estimada conforme a realização de adubação ou ILP e recebimento de assistência técnica.	114
Tabela 39. Teste <i>t</i> de <i>Student</i> entre a eficiência técnica média das fazendas típicas que realizam ou não adubação de pastagens e ILP e recebem ou não assistência técnica	114
Tabela 40. Eficiência técnica conforme as quantidades de suplementação mineral fornecion aos animais (kg/UA/dia).	
Tabela 41. Teste <i>t</i> de <i>Student</i> entre a eficiência técnica média conforme as classes de suplementação mineral	116
Tabela 42. Eficiência técnica conforme as quantidades de suplementação proteica forneci aos animais (kg/UA/dia).	
Tabela 43. Teste <i>t</i> de <i>Student</i> entre a eficiência técnica média conforme as classes de suplementação proteica.	
Tabela 44. Eficiência técnica média conforme as classes de número de piquetes	117
Tabela 45. Teste <i>t</i> de <i>Student</i> entre a eficiência técnica média conforme as classes de núm de piquetes	
Tabela 46. Modelo I com a variável de tendência temporal.	119
Tabela 47. Modelo II com a variável de tendência temporal	121
Tabela 48. Resultados do Teste de Razão de Verossimilhança	123

1. INTRODUÇÃO

A pecuária de gado de corte brasileira figura como uma das mais pujantes no contexto internacional de produção animal e, por conseguinte, na comparação com os demais setores da economia do País. Entre 1996 e 2017, a atividade teve participação média de 6,2% no Produto Interno Bruto (PIB) do País (CEPEA, 2017), resultado este que está muito atrelado à competitividade de sua respectiva cadeia produtiva. Segundo Miranda (2001), o Brasil possui vantagens comparativas em termos de custos e fatores de produção, o que possibilita um desempenho expressivo frente aos demais *players* mundiais.

Segundo dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2018), em 2017 o Brasil foi responsável por 15% da produção mundial de carne bovina, o que faz do País o segundo maior produtor mundial, ficando atrás, apenas, dos Estados Unidos. Quanto à comercialização, o País foi o maior exportador da proteína animal, com participação de 18% nas exportações mundiais. Essas características conferem ao Brasil um papel de extrema relevância para a segurança alimentar mundial.

A importância do País como um grande fornecedor de produtos alimentares, sejam esses oriundos da agricultura ou da pecuária, torna-se ainda maior no contexto em que se espera um crescimento acentuado da população até a segunda metade do século XXI. Segundo Godfray *et al.* (2010), o aumento populacional, juntamente com a elevação da renda, implicará em uma maior quantidade demandada de alimentos. Concomitante a esse processo, os autores ponderaram que haverá uma maior competição por recursos essenciais para a produção (terra, água e energia). Logo, uma vez que os recursos são escassos, a maior produção de alimentos, para atender o aumento esperado no consumo, está atrelada principalmente a ganhos de produtividade.

No caso da pecuária brasileira, o aumento da produtividade se faz necessário, ainda, em razão das pressões pelo uso da terra. A criação de bovinos no Brasil é predominantemente extensiva, ou seja, ampla quantidade de terra é utilizada na forma de pastagens para que os animais tenham acesso à forragem, principal fonte de alimento. Nesse sentido, pressões ambientais demandando o uso mais sustentável da terra¹, bem como a expansão da área de

¹ Vale lembrar que no confinamento ou semi-confinamento, nos quais a produção por área é maior, o uso de ração para a alimentação dos animais também pode implicar em problemas ambientais. Esses decorrem da emissão de gases poluentes devido a aplicação de fertilizantes nas lavouras de grãos, os quais são insumos para a ração animal (GROSSI *et al.*, 2019).

cultivos agrícolas, são fatores que, assim como a maior demanda esperada por alimentos, resultam na necessidade de uma maior intensificação/produtividade da pecuária.

Deve-se ressaltar que o setor pecuário é bastante heterogêneo entre os produtores. Além disso, pelo fato de a maior parte da produção brasileira ser extensiva tem-se que, como características típicas do sistema, a mesma fica condicionada a variações climáticas, e o nível tecnológico empregado pelos produtores é inferior ao observado no semi-confinamento ou confinamento. Dessa forma, pode-se inferir que ainda há lacunas para melhorias na produtividade da pecuária de corte do Brasil.

Nesse contexto, torna-se relevante, primeiramente, averiguar qual é a eficiência técnica dos pecuaristas, ou seja, o quanto eles produzem em relação à quantidade máxima possível de ser obtida, dados os insumos e a tecnologia disponível. Para tanto, pode-se utilizar a Análise de Fronteira Estocástica (SFA), que estima a fronteira de produção e, posteriormente, confronta a mesma com a produção realmente obtida pelos produtores. Por meio da SFA, a diferença entre a produção máxima e aquela efetivamente observada pode ser explicada por choques aleatórios e pela ineficiência técnica dos produtores.

Uma vez mensurada a ineficiência técnica, pode-se avaliar quais são as variáveis exógenas que contribuem para a elevação, ou decréscimo, da mesma. Esta análise é importante no sentido de que sinaliza, dentre as variáveis selecionadas, quais são os entraves que impedem a obtenção de um melhor desempenho produtivo ou, de modo contrário, quais são os fatores que deveriam ser empregados com o objetivo de obter melhores resultados em termos de eficiência da produção.

Sendo assim, a presente pesquisa tem como objetivo estimar a fronteira estocástica de produção para regiões brasileiras produtoras de gado de corte e, simultaneamente, mensurar os efeitos de determinadas variáveis exógenas sobre o desempenho produtivo nessas localidades.

Para tanto, considera-se que a quantidade produzida é dependente dos insumos, da genética, do sistema de produção (cria; recria; engorda; cria-recria; recria-engorda; ciclo completo e confinamento) e das condições edafoclimáticas, ou, de modo alternativo, da aptidão do meio físico, uma vez que essas duas últimas variáveis afetam principalmente o desenvolvimento das pastagens. Por sua vez, a ineficiência técnica é explicada pelas escolhas dos produtores quanto à adoção de práticas que visem melhorias produtivas. Em decorrência da disponibilidade de dados, nessa pesquisa considerou-se que tais melhorias são: suplementação alimentar (mineral e proteica), adubação de pastagens, rotação de pastagens, assistência técnica e integração lavoura-pecuária (ILP).

Espera-se que a eficiência técnica das fazendas que se caracterizam pela utilização de confinamento seja maior do que a das demais, uma vez que na produção intensiva o nível tecnológico empregado é superior ao do sistema extensivo. Além disso, espera-se que as variáveis selecionadas como possíveis determinantes da ineficiência técnica exerçam efeito negativo sobre a mesma. Dessa forma, espera-se que as fazendas que fazem adubação, rotação de pastagens, suplementação alimentar, ILP e/ou recebem assistência técnica tenham desempenho superior àquele das que não empregam tais práticas. Ainda nesse sentido, espera-se que a quantidade de insumos fornecida aos animais (sal mineral e sal proteinado) e o número de piquetes (*proxy* para a rotação de pastagens) tenham relação direta com o nível de eficiência técnica.

Os dados sobre produção e manejo utilizados nessa pesquisa são do projeto "Campo Futuro", realizado pela Confederação Nacional da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA) em parceria com o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA), da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – ESALQ/USP. Por meio deste Projeto, as instituições fazem o levantamento das características de produção típicas de regiões selecionadas e, portanto, a análise da presente pesquisa restringe-se às localidades acompanhadas pelo Projeto. As informações compreendem o período de 2002 a 2017, totalizando 279 observações que foram empilhadas para a estimação. Por sua vez, os dados sobre as variáveis edafoclimáticas são do levantamento mundial feito por Van Wart *et al.* (2013), o qual é denominado GYGA Extrapolação de Domínio (GYGA-ED), e por fim, as informações sobre a aptidão do meio físico são do GeoLab, da ESALQ/USP.

As análises baseadas na metodologia de SFA para a pecuária são escassas, principalmente quando se considera o Brasil como foco das mesmas. Nwigwe *et al.* (2016), Hadley (2006) e Barnes (2008) utilizaram a SFA para analisar a eficiência técnica dos produtores de gado de corte da Nigéria, Inglaterra e País de Gales, e Escócia, respectivamente. Para o Brasil, Nascimento *et al.* (2012) e Brito (2016) aplicaram a SFA para analisar a eficiência técnica da pecuária leiteira, utilizando dados primários e o Censo Agropecuário de 2006, respectivamente. Para a pecuária de corte, há ainda o trabalho de Gomes; Souza; Abreu (2017), que foi desenvolvido também com base nos dados municipais do Censo Agropecuário de 2006.

A presente pesquisa figura, até o momento, como uma abordagem singular para a análise da heterogênea e complexa relação existente entre meio físico, produção vegetal (pastagens) e produção animal por meio da SFA. Essa análise diferencia-se das demais principalmente pela base de dados utilizada, que fornece informações representativas de fazendas típicas, e por assumir uma variável medida em quantidade produzida para o produto

considerado na função de produção. Os autores citados anteriormente, que analisaram a pecuária de corte, utilizaram apenas uma variável monetária (receita da produção), como *proxy* para a quantidade produzida, em decorrência da dificuldade de ter acesso à essa última informação e, do mesmo modo, de calculá-la.

Adicionalmente, os resultados obtidos para os determinantes da eficiência técnica podem contribuir para o delineamento de políticas públicas que visem a promoção da cadeia produtiva, bem como podem sinalizar aos agentes do setor privado potenciais investimentos a fim de amenizar os gargalos que afetam o desempenho dos produtores ou, de outro modo, impulsionar os fatores que melhoram a eficiência técnica. Além disso, a presente pesquisa apresenta uma outra perspectiva de análise para os agentes da cadeia produtiva, uma vez que esses, normalmente, avaliam as práticas de produção com base em suas próprias experiências e/ou por meio de estudos relacionados às ciências agrárias.

O trabalho inicia-se com um panorama sobre a pecuária de corte brasileira e a influência das variáveis edafoclimáticas sobre a mesma (seção 2). Além disso, ainda nessa seção discute-se a abordagem metodológica adotada por alguns autores para a aplicação da SFA na análise da produção agropecuária. Posteriormente, na seção Metodologia (seção 3) são apresentados os aspectos teóricos relacionados à SFA, e as minúcias quanto ao modelo utilizado na pesquisa. Na sequência, discute-se os resultados do modelo e as inferências que podem ser realizadas por meio dos mesmos (seção 4). Por fim, são apresentadas as considerações finais do estudo (seção 5).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Panorama sobre a pecuária de corte brasileira

A pecuária figura como uma atividade de extrema relevância para o agronegócio brasileiro e, consequentemente, para a economia nacional. Isso pode ser comprovado ao se analisar a participação deste segmento no PIB brasileiro; segundo dados do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA, 2017), entre 1996 e 2017, a pecuária, englobando todos os elos de sua cadeia, teve participação média de 6,2% na geração de riqueza do Brasil.

A importância econômica desta atividade faz com que a mesma se desenvolva em todas as regiões brasileiras. Destaca-se que, no correr dos anos, houve uma mudança em relação às regiões com maior representatividade na pecuária nacional. Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018a) indicam, entre 1997 e 2017, crescimento de 36% do rebanho bovino do Centro-Oeste, em decorrência da abertura de novas áreas de pastagens e da instalação da indústria frigorífica nos estados que compõem a região (IEA, 2015). Adicionalmente, o rebanho do Norte expandiu-se 151% entre 1997 e 2017, devido ao avanço da fronteira agrícola. Por outro lado, os rebanhos do Sudeste, Sul e Nordeste permaneceram relativamente estagnados nesse mesmo período. Segundo FAMATO; FABOV (2007), ao contrário do que se observa no Norte e Centro-Oeste, o Sul e o Sudeste têm limitações de terra que impossibilitam a expansão das pastagens, a qual só seria possível caso houvesse a substituição das culturas agrícolas. A evolução do rebanho brasileiro, conforme as regiões geográficas, está retratada na Figura 1.

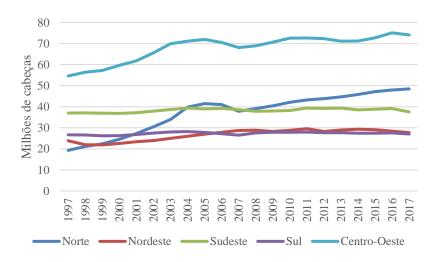


Figura 1. Rebanho bovino conforme as regiões brasileiras, de 1997 a 2017.

Fonte: IBGE, 2018a.

Ao considerar a totalidade do rebanho bovino brasileiro, tem-se que o mesmo aumentou 33% entre 1997 e 2017, com 214,9 milhões de animais nesse último ano. Juntamente com a expansão da quantidade de animais, houve também o aumento do abate dos mesmos, sendo esse em torno de 107% no mesmo comparativo. Já o peso total das carcaças, em quilogramas, elevou-se em aproximadamente 130% no mesmo período (IBGE, 2018b). A relação entre o peso total das carcaças e a quantidade de animais abatidos configura-se em uma *proxy* para a produtividade da pecuária de corte, uma vez que ao dividir a primeira variável pela segunda, obtém-se o peso médio das carcaças. Na Figura 2 pode ser observada a evolução dessa medida de produtividade.

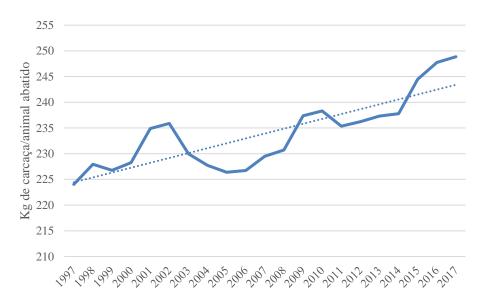


Figura 2. Produtividade da pecuária de corte brasileira (kg de carcaça/animal abatido), de 1997 a 2017.

Fonte: Elaborado pela autora a partir de IBGE, 2018a; IBGE, 2018b.

Por meio da Figura 2 observa-se que a produtividade da pecuária de corte é crescente, i.e., uma maior quantidade de carcaça, em quilogramas, tem sido alcançada por cada animal abatido no período analisado. Em termos percentuais, o aumento da produtividade foi de 11%, aproximadamente. Segundo Macedo (2006), esse aumento está associado aos investimentos para a adoção de práticas modernas de produção como, por exemplo: inseminação artificial, recuperação de pastagens degradadas, rotação de pastagens, suplementação alimentar, intensificação da produção, entre outros fatores. O autor afirmou, ainda, que a adoção de tais práticas está, em partes, associada ao crédito rural e aos programas específicos, estabelecidos pelo governo federal, que delinearam ações visando o melhoramento da pecuária.

No entanto, cabe ressaltar que as condições mercadológicas e de clima podem implicar no abate de animais mais jovens e, consequentemente, resultar em um menor peso médio das carcaças. Essa redução está atrelada à estratégia de comercialização do pecuarista, não significando, portanto, que a cadeia regrediu nos avanços que vinham repercutindo em uma maior produtividade.

A produtividade da pecuária de corte pode, ainda, ser analisada em termos espaciais. Dados do MapBiomas (2018) indicam que entre 1997 e 2017 a área de pastagens brasileiras teve incremento de 8%, atingindo 137,3 milhões de hectares no último ano. Segundo Rodrigues (2004), de 70% a 80% das pastagens no País, sendo essas nativas ou cultivadas, são do gênero *Brachiaria*. A ampla participação dessa espécie forrageira está relacionada, dentre outros fatores, às condições climáticas do Brasil, e à resistência que a mesma apresenta em relação a pragas e doenças.

Segundo dados do IBGE (2009) e IBGE (2018), ao comparar o rebanho brasileiro com a área de pastagens, tem-se que em 1996 os pecuaristas alocavam 0,86 animal por cada hectare; em 2006 essa lotação foi de 1,08 animal/hectare; e em 2016, de 1,15 animal/hectare. O aumento dessas taxas pode ser reflexo da limitação de terras para a formação de pastagens em algumas áreas do País, intensificação da produção e/ou da adoção de técnicas que permitiram que a pastagem passasse a suportar um maior número de animais. A tendência é de que haja aumentos progressivos na lotação das pastagens, o que pode ser depreendido ao comparar as Figuras 3 e 4.

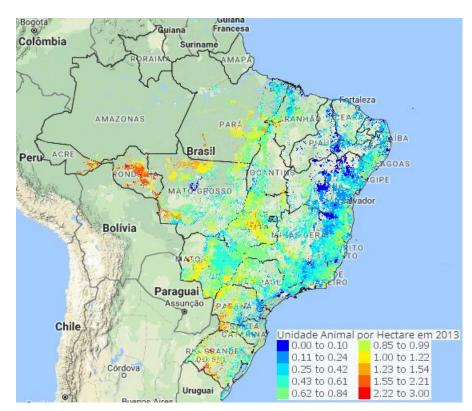


Figura 3. Unidade animal por hectare em 2013 no Brasil. **Fonte:** Barbosa *et al.*, 2015b.

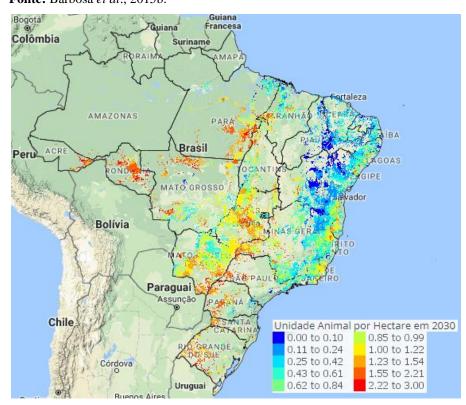


Figura 4. Unidade animal por hectare projetada para 2030 no Brasil. **Fonte:** Barbosa *et al.*, 2015b.

Ao comparar a lotação dos pastos brasileiros em 2013 com aquela projetada para 2030, observa-se o aumento na unidade animal² por hectare (UA/ha) – por conseguinte, aumento da produtividade em termos espaciais –, com destaque para os estados das regiões Centro-Oeste, Sul e parte do Sudeste e do Norte, sendo essas as localidades que se aproximam da maior classe considerada na análise (até 3 UA/ha). Por sua vez, os estados do Nordeste permanecem, majoritariamente, com lotação inferior à 0,61 UA/ha.

Barbosa *et al.* (2015b) também avaliaram quais são as áreas brasileiras que demandam uma maior intensificação da pecuária (Figura 5), considerando níveis de prioridade que variam do mínimo ao máximo. A determinação dos mesmos foi feita com base na área disponível para a formação de pastagens, demografia do rebanho, logística disponível para o escoamento da produção até os frigoríficos, e distância da produção em relação aos ofertantes de grãos.

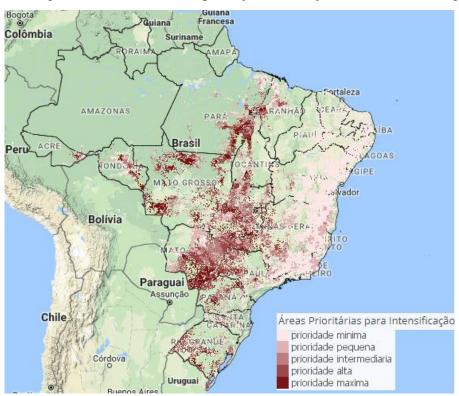


Figura 5. Áreas prioritárias para a intensificação da pecuária no Brasil. **Fonte:** Barbosa *et al.*, 2015b.

Observa-se por meio da Figura 5 que a concentração de áreas com maior prioridade para a intensificação da pecuária se dá no Centro-Oeste e em parte do Norte e Sudeste, regiões com participação significativa na composição do rebanho brasileiro. Ao analisar as Figuras 3, 4 e 5 conjuntamente, tem-se que essas áreas são aquelas com maior UA/ha (verificada em 2013)

-

 $^{^2}$ Unidade animal (UA) corresponde ao animal com 450 kg de peso vivo.

e projetada para 2030), logo, até mesmo regiões especializadas na pecuária demandam melhorias no que tange a produtividade em termos espaciais.

Os avanços da produtividade da pecuária de corte podem, ainda, ser observados ao se analisar o tempo médio de abate dos animais. Segundo Macedo (2006), a adoção de práticas modernas de produção, como a suplementação alimentar e o manejo das pastagens, repercutiram em um tempo médio de abate de 36 meses, enquanto que nas propriedades que utilizam apenas a produção extensiva esse tempo eleva-se para 48/60 meses. Para Barbosa *et al.* (2015a), na pecuária extensiva o boi gordo é abatido com mais de 42 meses e a produtividade (kg/ha/ano) é inferior a 120 kg vivo; já no sistema semi-intensivo ou intensivo, a idade para o abate varia entre 24 e 36 meses e a produtividade (kg/ha/ano) é superior a 180 kg vivo.

A literatura referente à pecuária apresenta outros índices zootécnicos que, quando analisados em determinado horizonte temporal, podem dar indícios sobre a evolução da produtividade do setor em virtude do uso de novas técnicas de produção. Entre esses índices pode-se citar: índice de fertilidade; taxa de natalidade; taxa de mortalidade; tempo de intervalo entre os partos; taxa de reprodução; taxa de desfrute, entre outros. No entanto, a pecuária brasileira é bastante heterogênea, variando significativamente desde o tamanho das propriedades nas quais a atividade é praticada até às variáveis edafoclimáticas sob as quais a mesma está sujeita. Essa heterogeneidade, associada a outros fatores, resulta na dificuldade de obtenção de dados médios nacionais que poderiam ser utilizados para o cômputo dos índices zootécnicos, dificultando que se obtenha um panorama sobre os mesmos para a pecuária brasileira e, consequentemente, que se façam inferências sobre a possível melhoria dessas variáveis no correr do tempo.

Dado que a produção brasileira é majoritariamente extensiva – correspondendo a cerca de 96% da totalidade do rebanho em 2017 (INFORMA ECONOMICS FNP, 2018) – a mesma está sujeita aos efeitos das variações climáticas, uma vez que essas, dentre outros fatores, afetam a qualidade e a oferta de pastagem que é utilizada na alimentação do rebanho. No sistema de produção extensivo, as pastagens nativas, ou cultivadas, são utilizadas como fonte energética e proteica para a alimentação dos animais, o que resulta em uma fonte alimentar de baixo custo. Pelo fato de no Brasil haver degradação de pastagens, a pecuária extensiva demanda grandes extensões de terra para que os aspectos nutritivos demandados pelos animais possam ser supridos pelas pastagens e para que as mesmas continuem produtivas ao longo do tempo. No entanto, a quantidade de animais que uma determinada área de pastagem pode suportar depende de alguns fatores como, por exemplo: solo, clima, tipo de espécie forrageira que compõe o

pasto, manejo adotado, se a pastagem é irrigada, e se há degradação na área de pastagem (BARBOSA *et al.*, 2015).

As alternativas à pecuária extensiva seriam a pecuária intensiva ou a semi-intensiva. Na primeira delas, o gado é confinado e a nutrição do mesmo é baseada em alimentos volumosos e alimentos concentrados. Já no modo semi-intensivo, o gado é criado no pasto (nativo e/ou cultivado) durante o período de chuvas, pois em tal época as pastagens são aptas para a nutrição do rebanho, e os animais recebem suplementação mineral; já na estiagem, os mesmos recebem suplementos proteicos e energéticos para possibilitar a oferta de proteína aos animais durante esse período (CEZAR *et al.*, 2005). Cada um desses sistemas (extensivo, semi-intensivo e intensivo) diferencia-se, principalmente, pelo nível tecnológico empregado, investimento necessário e custos operacionais. Esses diferenciais se refletem no ganho de peso dos bovinos produzidos em cada um dos sistemas e, por conseguinte, no período necessário para a produção e terminação.

Segundo dados do Anuário da Pecuária Brasileira (INFORMA ECONOMICS FNP, 2008; INFORMA ECONOMICS FNP, 2018), a quantidade de animais confinados e semiconfinados tem se expandido no Brasil, conforme retratado pelas Figuras 6 e 7, respectivamente. No caso dos animais confinados, observa-se uma concentração em Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e São Paulo, com destaque para a expressiva expansão (329%) do rebanho confinado em Mato Grosso, entre 2000 e 2017. No caso dos animais semiconfinados, observa-se uma maior pulverização dos mesmos entre os estados brasileiros, mas, novamente, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e São Paulo possuem os maiores rebanhos desses bovinos.

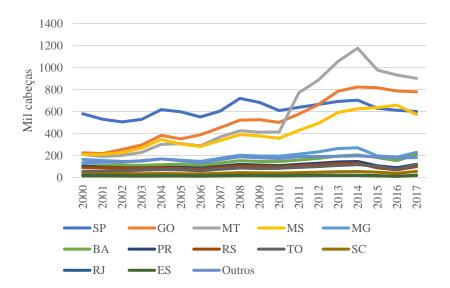


Figura 6. Rebanho confinado conforme os estados brasileiros, de 2000 a 2017. **Fonte:** Informa Economics FNP, 2008; Informa Economics FNP, 2018.

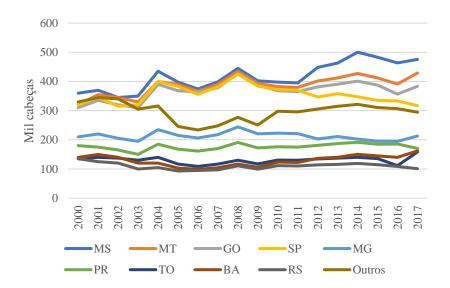


Figura 7. Rebanho semi-confinado conforme os estados brasileiros, de 2000 a 2017. **Fonte:** Informa Economics FNP, 2008; Informa Economics FNP, 2018.

Apesar de o número de animais criados no sistema intensivo e semi-intensivo ter se expandido no decorrer dos anos analisados, tem-se que a participação desses sistemas na totalidade do rebanho brasileiro ainda é baixa. Com base nos dados da Informa Economics FNP (2018), observa-se que em 2017 aproximadamente 3,42% dos animais eram confinados ou semi-confinados.

As decisões sobre o sistema produtivo que será adotado (extensivo, semi-intensivo ou intensivo) são ponderadas por diversos fatores, entre eles: disponibilidade de área; preço da terra; oferta de pastagens durante a seca; custo e disponibilidade dos alimentos volumosos e concentrados; preço do boi magro e do boi gordo; possibilidade de comercializar durante a entressafra; escala de produção; capacidade de investimento, entre outros. Logo, espera-se que a quantidade de produtores que adotam a produção intensiva (ou semi-intensiva) varie conforme as variáveis mencionadas se alterem.

O sistema produtivo adotado relaciona-se, ainda, com as etapas que compõem a produção dos bovinos, quais sejam: cria, recria e engorda. Os pecuaristas podem se especializar em uma dessas etapas; em uma combinação de duas dessas etapas; ou no ciclo completo (quando as três etapas são realizadas na mesma propriedade). A cria compreende o período entre o nascimento do bezerro e a desmama sendo, majoritariamente, desenvolvida de forma extensiva no pasto, nativo ou cultivado. A fase da recria, por sua vez, vai da desmama até o boi estar com aproximadamente 300 quilos e caracteriza-se, também, por haver um maior emprego de tecnologias do que aquele da fase de cria, visando a melhoria na nutrição dos bovinos. Por fim, na engorda, o boi atinge o peso e o acabamento da carcaça necessários para que o abate possa ocorrer. A engorda pode ser realizada de forma extensiva, semi-intensiva ou intensiva e,

assim como a recria, demanda maior uso de tecnologia (FAMATO, FABOV, 2007; FERRAZ, 2011).

Segundo Ferraz (2011), cada uma dessas fases apresenta especificidades diferentes; a fase de cria, por exemplo, demanda maiores cuidados e, consequentemente, a evolução da produtividade nessa etapa é mais lenta do que nas outras duas. Em decorrência do aparato tecnológico utilizado em cada uma das fases, e das características intrínsecas às mesmas, temse que os índices zootécnicos associados a cada uma delas diferem-se. Portanto, ao se analisar o desempenho da pecuária de corte, deve-se considerar as diferenças existentes entre as fases que compõem a produção.

Por meio do que foi exposto nessa seção, percebe-se que a pecuária de corte brasileira é bastante heterogênea e, de modo geral, tem evoluído, como resultado de uma interação entre aspectos quantitativos e qualitativos. No entanto, o fato de a produção ser majoritariamente extensiva, caracterizando-se pelo emprego de tecnologia aquém daquela que seria utilizado caso o sistema produtivo fosse semi-intensivo ou intensivo, tem-se que ainda há espaço para melhorias na pecuária e, por conseguinte, para a obtenção de maiores níveis de produtividade.

A migração dos produtores para sistemas mais modernos fica condicionada ao *tradeoff* entre custo e desempenho: maiores custos, associados ao ganho de peso dos animais em menor tempo; ou custos menores, associados ao ganho de peso dos animais em maior tempo e alta variação do desempenho.

2.2. Variáveis edafoclimáticas e pecuária

A interação entre o meio físico, a produção vegetal (pastagens) e a produção animal é bastante complexa, não sendo o objetivo dessa pesquisa apresentar uma explicação minuciosa de como se dá a relação entre esses fatores. Sendo assim, nessa seção são discutidos alguns aspectos que ilustram a sensibilidade da pecuária em relação às condições edafoclimáticas, as quais, por serem heterogêneas ao longo do território brasileiro, podem implicar em diferenças no desempenho produtivo dos pecuaristas. Além disso, são apresentados também alguns pontos quanto ao impacto das mudanças climáticas sobre a pecuária.

A predominância da pecuária extensiva no Brasil, a qual responde por mais de 96% da totalidade do rebanho (INFORMA ECONOMICS FNP, 2018), implica que a produção e, consequentemente, o desempenho da atividade estejam sujeitos às condições climáticas. As pastagens, utilizadas para a alimentação dos animais, são intrinsicamente dependentes do clima e, consequentemente, vulneráveis ao mesmo (SLOAT *et al.*, 2018). Segundo McManus *et al.*

(2012, p. 75), os principais fatores climáticos que interferem na pecuária são: "temperatura, umidade relativa do ar, variações de temperatura entre o dia e a noite, chuvas, velocidade do vento, radiação solar e terrestre, taxas de evaporação e CO₂ atmosférico".

A produtividade das espécies forrageiras é condicionada, dentre outros fatores, pela incidência de radiação solar e pela temperatura do ambiente. Enquanto a energia solar é convertida em biomassa vegetal, a temperatura exerce influência nos processos metabólicos que originam essa conversão. A relação entre desenvolvimento produtivo e temperatura é decorrente das características fisiológicas das espécies forrageiras, de modo que para cada uma delas há temperaturas limiares que definem o intervalo ótimo que favorece o crescimento das pastagens (MENDONÇA; RASSINI, 2006; VILLA NOVA *et al.*, 2007). Segundo Aguiar; Guiscem (2002), o período de desenvolvimento da planta, condicionado à uma temperatura base abaixo da qual o crescimento da mesma é prejudicado, é denominado de graus-dia de crescimento (GDD).

A umidade do solo, por sua vez, interfere na germinação das forrageiras e atua como um canal para que as mesmas consigam ter acesso a alguns dos nutrientes necessários para o seu processo de desenvolvimento (FERREIRA; TAVARES FILHO; FERREIRA, 2010). Os autores ainda ponderaram que a umidade, associada ao pastejo dos animais sem considerar a taxa de lotação adequada, é um dos fatores que pode alterar as condições físicas do solo (compactação), interferindo no desenvolvimento radicular das espécies forrageiras e contribuindo negativamente para a eficiência das pastagens.

Ainda segundo aqueles autores, diversos fatores interferem na qualidade do solo, o que dificulta que sejam estabelecidos critérios unificados para a avaliação do mesmo. No entanto, a densidade — que é um indicador quanto à compactação do solo — é uma das características mais avaliadas, uma vez que valores críticos da mesma implicam em redução da produtividade vegetal.

Diante da sensibilidade da atividade em relação ao ambiente, muitos autores se dedicam a analisar como se dá essa interação. Sloat *et al.* (2018), por meio de um estudo que avaliaram a importância da precipitação para as pastagens globais, concluíram que a variabilidade da precipitação entre os anos (*Coefficient of Variation of Precipitation* – CVP) apresenta-se como um fator limitador da disponibilidade de pastagens, sendo que áreas com um alto CVP possuem vegetação com baixa produtividade (*Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI). De modo contrário, as localidades com baixo CVP apresentam valores mais heterogêneos para o NDVI, incluindo os valores mais altos dessa última variável.

Ao comparar a variabilidade da precipitação com a densidade dos rebanhos, tem-se que áreas com clima mais estável, ou seja, com baixa variabilidade da precipitação (CVP), possuem capacidade de suportar uma quantidade maior de animais na pastagem e essa relação, segundo os autores, é independente da precipitação média anual. Cabe destacar que a variabilidade da precipitação ao longo de um mesmo ano também é relevante, uma vez que a mesma pode, frequentemente, impactar a quantidade de chuva total em tal ano e, por conseguinte, implicar em uma maior variabilidade da precipitação entre os anos.

Além disso, segundo Dumont *et al.* (2014), as variáveis climáticas alteram as características físicas e químicas das forragens fornecidas aos animais, sendo que a qualidade das mesmas é significativamente afetada pela ocorrência de eventos climáticos extremos. Por conseguinte, essas alterações nas características das forragens afetam a digestão dos bovinos. Os autores destacaram ainda que, além da digestão ser indiretamente afetada por meio das forragens, as mudanças climáticas também interferem diretamente no processo digestivo dos animais.

O gado é predominantemente afetado pelo efeito conjunto da temperatura e da umidade relativa do ar, uma vez que essas variáveis, quando se encontram em condições adversas, podem implicar no aumento/diminuição da temperatura corporal dos animais, resultando na condição de estresse térmico. Os bovinos, por serem homeotérmicos, buscam manter a temperatura corporal interna equilibrada, mas na ocorrência de condições climáticas adversas, a necessidade de adquirir ou dissipar o calor para o ambiente leva os animais a acionarem o seu sistema termorregulador, o que inclui adaptações nos sistemas respiratório, circulatório, excretor, endócrino e nervoso. Neste processo, grande parte da energia que seria convertida em produção e desenvolvimento animal passa a ser utilizada para a manutenção das condições fisiológicas, impactando negativamente a produtividade (SILVA; SOUZA; SILVA, 2015; TOSETTO et al., 2014; MCMANUS et al., 2012).

Segundo Tosetto *et al.* (2014), se os animais se encontram em sua zona de conforto térmico, os mesmos não despendem uma quantidade significativa de energia para que o sistema termorregulador mantenha a temperatura corporal equilibrada. Consequentemente, uma maior parte da energia pode ser alocada para o processo produtivo do que quando se compara à situação em que há adversidades climáticas. Cabe destacar que há diversos fatores que determinam a zona de conforto térmico, como: raça dos animais, idade, sexo, entre outros.

A sensibilidade da produção pecuária em relação ao clima torna-se ainda mais relevante em um contexto no qual se espera que a temperatura média global tenha aumentos progressivos e, concomitantemente, se torne mais frequente a ocorrência de eventos climáticos

extremos. Dentre esses, destacam-se as ondas de calor que, além de passarem a ter maior frequência, deverão também se prolongar (IPCC, 2014).

Segundo o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2014), dependendo do cenário quanto à emissão de gases, a temperatura média da Terra pode se elevar de 1°C a 2°C entre 2046 e 2065, em comparação ao período de 1986 a 2005. Já entre 2081 e 2100, o aumento esperado para a temperatura média global se amplia, passando a ser de 1°C a 3,7°C, considerando a mesma base de comparação.

Por sua vez, as mudanças esperadas para a precipitação são heterogêneas, variando conforme a localidade analisada. Considerando o cenário mais pessimista, no qual há o maior nível de emissões e concentrações de gases poluentes, o IPCC (2014) estimou que, até 2100, haverá aumento na precipitação média anual nas regiões úmidas com média latitude, alta latitude e no Oceano Pacífico Equatorial; enquanto que nas regiões secas com média latitude, é esperado que a precipitação média diminua. Considerando especificamente as regiões tropicais úmidas, espera-se, ainda, que anomalias quanto ao volume de chuva sejam mais frequentes e mais intensas em decorrência do aquecimento da Terra, o que é corroborado por Pendergrass *et al.* (2017) ao afirmarem que, a nível global, a variabilidade das precipitações eleva-se conforme ocorre o aumento da temperatura.

A importância das condições climáticas para a pecuária de corte pode ser exemplificada por meio do estudo desenvolvido pela EMBRAPA e pela UNICAMP (2008). Segundo tais instituições, a elevação da temperatura média da Terra em 3°C prolonga a duração do período de seca nas áreas de pastagens, o que compromete a capacidade de suporte das mesmas (redução de 25%). Consequentemente, os produtores passam a ser mais dependentes da suplementação alimentar para suprir as necessidades dos animais, o que eleva os custos de produção de 20% a 45%.

Cabe ressaltar que os impactos das mudanças do clima sobre a pecuária não se restringem apenas às pastagens e à produção animal. De acordo com McManus *et al.* (2012), os efeitos climáticos ainda podem se dar via: i) mercado de grãos, o que, consequentemente, repercutirá no custo da alimentação dos bovinos; ii) estratégias delineadas pelos pecuaristas (alocação do rebanho em localidades diferentes, utilização de outras raças, adaptação do ambiente em que os animais se encontram, dentre outros); e iii) disseminação de doenças para áreas que antes eram isentas das mesmas.

McManus *et al.* (2012) ponderaram que as raças adaptadas às condições climáticas adversas tendem a apresentar menor potencial produtivo do que as demais, mas esse

desempenho está fortemente condicionado ao manejo adotado pelos pecuaristas, conforme pode ser observado no trecho seguinte:

(...) animais que evoluíram para sobreviver em condições adversas têm, geralmente, alta resistência ao estresse, baixa taxa metabólica, baixa fecundidade, longevidade, maturação tardia, menor tamanho em idade adulta e lenta taxa de desenvolvimento. Isso sugere que a seleção ou o uso de animais (muitas vezes de raças nativas ou localmente adaptadas), que são adaptados para climas adversos, terão produtividade menor do que aquelas selecionadas para climas menos estressantes. Em geral isso é verdade, entretanto, animais de maior potencial produtivo e sob manejo inadequado podem, na pior das hipóteses, morrer, ou na melhor das hipóteses, produzir em nível inferior ou igual às raças nativas da região (MCMANUS *et al.*, 2012, p. 77).

É possível perceber que a produtividade da pecuária está sujeita à uma complexa interrelação de variáveis, sendo essas associadas direta ou indiretamente com a produção de bovinos. Destaca-se que as condições climáticas não são passíveis de controle por parte dos pecuaristas, mas esses podem adotar técnicas de manejo que visem mitigar os impactos negativos esperados em função das mudanças no clima.

Dada a ampla influência das variáveis edafoclimáticas sobre a pecuária, seja no desenvolvimento das pastagens ou na produção dos bovinos (de forma direta ou indireta), a análise sobre a eficiência técnica dos produtores deve ponderar que o desempenho dos mesmos pode ser influenciado, a princípio, pelas condições de clima e solo. A associação entre essas condições com a espécie forrageira e o manejo adotado pelo produtor refletirá na qualidade das pastagens e, assim, na capacidade de suporte que as mesmas apresentam, bem como no desenvolvimento animal.

2.3. Aplicações da Análise de Fronteira Estocástica para a agropecuária

O processo produtivo associado à agricultura e à pecuária está intrinsicamente relacionado às condições edafoclimáticas das localidades em que essas atividades se desenvolvem. Logo, países que ao longo do seu território apresentam heterogeneidade no que tange tais condições, podem apresentar índices de produtividade que variam conforme as regiões. Adicionalmente, o emprego de tecnologias diferentes, o ambiente institucional no qual a produção está inserida e os aspectos qualitativos associados ao gerenciamento das atividades tendem a impactar o desempenho das produções agropecuárias.

A necessidade e o interesse de se entender como determinadas variáveis afetam a produtividade e, consequentemente, resultam em diferenciais no desempenho da agricultura e pecuária tem levado ao desenvolvimento de análises com base na fronteira estocástica de

produção, uma vez que a partir da mesma é possível mensurar a eficiência dos produtores e avaliar quais são os seus determinantes. Nessa seção, portanto, são apresentados brevemente os trabalhos desenvolvidos por Nascimento *et al.* (2012), Brito (2016), Gomes; Souza; Abreu (2017), Nwigwe *et al.* (2016), Hadley (2006) e Barnes (2008).

Nascimento *et al.* (2012) utilizaram a metodologia de fronteira estocástica para analisar a eficiência técnica da pecuária de leite no estado de Minas Gerais. O estudo foi baseado em uma amostra de 875 produtores, sendo esses participantes do Projeto de Assistência Técnica EDUCAMPO³, e os dados referentes aos mesmos foram coletados em 2005. Para a estimação da função de produção, os autores consideraram que a quantidade de leite, em litros, produzida anualmente pelo *i*-ésimo produtor é determinada pelos seguintes fatores: quantidade de hectares destinados à pecuária; despesas com a mão-de-obra, em reais; quantidade de vacas; e despesas com insumos, em reais. Admitiu-se que a fronteira estocástica de produção é uma função do tipo *Cobb-Douglas*.

Os autores analisaram os determinantes da eficiência técnica dos produtores de leite de Minas Gerais por meio da regressão linear quantílica, uma vez que desejava-se averiguar se os determinantes considerados apresentam magnitudes diferentes entre os quantis da distribuição do índice de eficiência técnica. Os autores consideraram que a ineficiência técnica (variável dependente) pode ser explicada pelas seguintes variáveis: quantidade de anos que o produtor está na atividade; anos de estudo do produtor; quantidade de visitas técnicas recebidas; percentual de vacas no período de lactação; quantidade de área ocupada por vaca (hectares por cabeça de animais); percentual de mão-de-obra familiar; e margem bruta obtida a cada litro de leite, em reais.

Em relação à estimação da fronteira estocástica, os resultados não foram significativos para o fator de produção terra. Logo, um aumento na área destinada à pecuária não refletiria na quantidade produzida de leite. Por sua vez, o aumento de 10% nas despesas com insumos implicaria na expansão da produção em 5,69%, *ceteris paribus*. Do mesmo modo, se as despesas com mão-de-obra fossem aumentadas em 10%, o aumento na produção seria de 2,745%. Por fim, se a quantidade total de vacas se expandisse em 10%, o resultado seria uma expansão de 2,263% na quantidade produzida. Adicionalmente, os autores verificaram que 54,44% da variação da produção em relação à fronteira estocástica está associada à ineficiência técnica e o índice médio de eficiência dos produtores é de 82,58%.

³ O Projeto de Assistência Técnica EDUCAMPO é executado pelo SEBRAE de Minas Gerais e visa oferecer assistência técnica e gerencial para grupos de produtores rurais.

Como esperado por Nascimento *et al.* (2012), os determinantes da eficiência técnica apresentaram impactos díspares conforme o quantil analisado. Primeiramente, as variáveis determinantes da eficiência tiveram maior magnitude sobre o desempenho dos produtores menos eficientes, sendo o percentual de vacas no período de lactação a variável com maior impacto no índice de eficiência dos três quantis analisados. A margem bruta obtida a cada litro de leite também foi significativa para todos os quantis; de modo contrário, o número de visitas técnicas não foi significativo em nenhum deles, indicando que tal variável não apresentou influência sobre o desempenho das unidades produtivas.

Para os produtores menos eficientes (quantil 5%), os índices de eficiência também não são influenciados pelo tempo em que os produtores estão na atividade. Nesse caso, os determinantes da eficiência, em ordem de relevância, são: percentual de vacas em lactação; margem bruta unitária; percentual de mão-de-obra familiar; área por vaca (hectare/cabeça); e escolaridade do produtor. Já para os produtores mais eficientes (quantil 90%), a mão-de-obra familiar, a área por vaca e a escolaridade do produtor também são fatores que não impactam o desempenho dos mesmos. Para esses, a eficiência é determinada, em ordem de relevância, pelo percentual de vacas em lactação; margem bruta unitária; e tempo em que o produtor está na atividade.

Brito (2016), assim como Nascimento *et al.* (2012), analisou a eficiência técnica da pecuária leiteira com base nos dados do Censo Agropecuário de 2006. A análise do autor considerou o nível de desagregação municipal, totalizando 1961 municípios que eram distribuídos ao longo de todo o território brasileiro.

Para a estimativa da fronteira estocástica de produção, Brito (2016) adotou o valor da produção de leite (em mil reais) como variável dependente, a qual é explicada pelos seguintes fatores de produção: número de vacas ordenhadas; trabalho (valor dos salários); área destinada à pecuária; gastos com i) medicamentos, ii) sal e rações, iii) PRONAF (Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar), iv) máquinas, implementos, tratores e veículos, v) eletricidade e vi) combustíveis. O autor estimou a fronteira estocástica de produção considerando tanto a forma funcional *Cobb-Douglas* quanto a translog e, além disso, admitiu que a distribuição do termo de ineficiência técnica é *half-normal*.

Os determinantes da ineficiência técnica, por sua vez, foram estimados simultaneamente com os coeficientes da fronteira. Brito (2016) selecionou as seguintes variáveis como explicativas para o desempenho da pecuária leiteira de cada município: percentual de área em que há pousio, queimada ou rotação de culturas (cada uma dessas categorias considerada separadamente); percentual de fazendas que fazem irrigação de

pastagens; percentual dos estabelecimentos com chefes que estudaram até o ensino médio ou até o ensino superior; relação entre os trabalhadores familiares e o total de funcionários das fazendas agregadas; percentual de mulheres que são as administradoras dos estabelecimentos e de proprietários que administram a sua própria fazenda; capacidade de armazenamento dos tanques de leite; capacidade de armazenamento dos silos; margem bruta da produção (em reais por litro); percentual de fazendas em que não é feita a compostagem dos materiais orgânicos; percentual de fazendas que recebem orientação técnica; e maquinário dos estabelecimentos (número de máquinas).

Primeiramente, os resultados obtidos por Brito (2016) indicam que a forma translog da função de produção é a que melhor se ajusta aos dados, uma vez que sua maior flexibilidade permite captar a interrelação existente entre os insumos. Dessa forma, considerando os coeficientes estimados para a fronteira estocástica de produção na forma translog, a quantidade de vacas ordenhadas é o insumo com maior influência positiva sobre o valor da produção leiteira.

Dentre os coeficientes que foram estatisticamente significativos para a explicação da ineficiência técnica, tem-se que o percentual de queimadas, de mulheres que dirigem as fazendas, de chefes que estudaram até o ensino superior e de fazendas que não fazem compostagem são fatores que levam ao aumento da ineficiência. Por outro lado, o recebimento de orientação técnica, a capacidade de armazenamento de leite e de grãos e a margem bruta da produção são fatores que contribuem para o aumento da eficiência técnica, sendo a última variável a que tem maior impacto. Nesse contexto, a eficiência técnica estimada pelo autor foi de, aproximadamente, 88%.

Gomes; Souza; Abreu (2017) utilizaram os dados municipais do Censo Agropecuário de 2006 para analisar a produção de gado de corte brasileira. Os autores consideraram que a renda bruta (assumida como variável dependente) é explicada pelos gastos relacionados à terra, insumos, mão-de-obra e pela taxa de lotação (*proxy* para o capital). Além disso, os autores consideraram que a pecuária é afetada pelo bioma no qual o município está localizado, fator ambiental (pastagens degradadas) e assistência técnica.

Os resultados obtidos por Gomes; Souza; Abreu (2017) indicam uma influência positiva da taxa de lotação sobre a produção, refletindo a importância da intensificação pecuária. Os resultados não foram estatisticamente significativos para o fator ambiental, o que reflete a ausência de efeito do mesmo sobre a produção. A assistência técnica, por sua vez, teve sinal negativo, impactando negativamente a atividade. Por fim, os autores avaliaram que a

eficiência técnica não destoou expressivamente conforme os biomas em que os municípios estão localizados.

Na literatura internacional, mais recentemente, Nwigwe *et al.* (2016) utilizaram a metodologia de fronteira estocástica de produção para analisar os determinantes da eficiência técnica da criação de bovinos de corte na Nigéria. Naquele país, a atividade se divide em pastoral nômade, agro-pastoral e pecuária (criação dos animais em fazendas). No primeiro deles, os produtores se deslocam com as criações de animais sazonalmente em busca de pastagens e água e o gado só é comercializado em ocasiões de extrema necessidade, uma vez que o mesmo é tido, majoritariamente, como capital e ativo cultural. Já o agro-pastoral caracteriza-se por ter a criação dos animais situada em apenas uma localidade, na qual também são cultivadas diferentes culturas. Outra diferença em relação ao pastoral nômade é que a produção no agro-pastoral é comercializada. Por fim, os pecuaristas caracterizam-se por uma atividade mais moderna e puramente comercial. Os produtores desse grupo cultivam algumas culturas agrícolas, que podem ser vendidas ao mercado ou utilizadas como forragem na própria fazenda; fazem o controle das pastagens; e fornecem suplementação alimentar aos animais (FRATKIN, 2001; THORNTON *et al.*, 2007 *apud* OTIENO; HUBBARD; RUTO, 2014).

Os resultados para os determinantes da eficiência técnica obtidos pelos autores são mais heterogêneos entre os grupos de produtores, variando em termos de nível de significância e sinal dos coeficientes. Considerando apenas os coeficientes com significância estatística, o desempenho produtivo dos nômades é negativamente afetado quando os mesmos estão na zona agroecológica florestal e/ou quando participam de cooperativas. Já para os produtores que compõem o sistema agro-pastoral, a eficiência é positivamente afetada pela zona agroecológica Savana da Guiné, pelo acesso ao crédito e pelo tempo de experiência na atividade. Por fim, os pecuaristas têm a sua eficiência diminuída pela zona agroecológica florestal, pelo crédito e pelo tempo de experiência na atividade, apenas a participação em cooperativas propicia um desempenho melhor. Dessa forma, para o pastoral nômade a eficiência técnica média é de 59%; enquanto para o agro-pastoral, 69%; e para os pecuaristas, 83%.

Hadley (2006) usou a metodologia de fronteira estocástica de produção para analisar a eficiência técnica da produção de vários produtos agropecuários na Inglaterra e no País de Gales e, dentre os produtos selecionados, o gado de corte foi analisado. O autor utilizou informações da *Farm Business Survey* (FBS), as quais formavam um painel de dados desbalanceado, englobando o período de 1982 a 2002, de modo que os dados específicos para o gado de corte totalizavam 402 fazendas e 2846 observações.

O autor considerou que a relação tecnológica existente entre a produção e os insumos pode ser representada por meio de uma função translog. Nesse caso, a receita da atividade (incluindo os subsídios) é utilizada como *proxy* para a produção e as variáveis explicativas para essa última são: terra; capital; horas de trabalho familiar e gerencial; horas de trabalho de funcionários contratados; gastos com suplementação alimentar; despesas com medicamentos e assistência veterinária; outros custos; tamanho do rebanho de gado de corte; variável *dummy* que sinaliza a mudança na forma de pagamento de auxílios aos produtores, ocorrida em 1993; variável *dummy* que sinaliza o surto de febre aftosa no Reino Unido em 2001; e variável *dummy* que sinaliza o impacto da Encefalopatia Espongiforme Bovina (BSE, popularmente conhecida como vaca louca), especialmente a partir de 1996, quando foi proibida a venda de carne bovina proveniente de animais com mais de 30 meses de idade.

Hadley (2006) admitiu que o termo de ineficiência técnica tem distribuição *half-normal* e as variáveis exógenas que explicam o mesmo são: tendência linear do tempo; razão dos débitos em relação aos ativos da fazenda; razão dos juros e aluguéis pagos em relação à margem bruta; razão dos subsídios recebidos em relação à margem bruta; idade do produtor; variável *dummy* que representa se a fazenda está situada em uma área com *status* de menos favorecida; área agrícola utilizada; tamanho do rebanho; razão entre a área arrendada e a área total da fazenda (se a área toda é própria do produtor, então a razão será 0; se a área toda é arrendada, então a razão será 1); especialização da fazenda; variável *dummy* que representa se a fazenda foi diretamente afetada pela BSE; e variável *dummy* que representa qual é a localização da fazenda (sudeste, nordeste, noroeste ou sudoeste da Inglaterra; Ânglia Oriental; ou País de Gales).

Os resultados quanto à fronteira foram condizentes com o esperado, de modo que a utilização de uma quantidade maior de insumos implica no aumento da receita obtida pela fazenda. Além disso, os coeficientes estimados indicam que há retornos constantes à escala para a pecuária de corte. Em relação às variáveis *dummy*, tem-se que a febre aftosa e a BSE tiveram um efeito positivo sobre a produção e, de modo contrário, a reforma no pagamento de auxílios teve impacto negativo.

A eficiência técnica média estimada por Hadley (2006) foi de 81,5%, variando de 37,3% a 95%. Entre 1982 e 2002, essa eficiência se alterou, diminuindo cerca de 5 pontos percentuais entre o período inicial e o final. Dentre as variáveis explicativas para o desempenho produtivo, tem-se que os produtores mais eficientes são os mais jovens e os que possuem uma maior razão entre subsídios e margem bruta; menor razão entre débitos e o total de ativos e entre juros/aluguéis pagos e margem bruta; estão situados nas áreas com *status* de mais

favorecidas; possuem maior rebanho; são menos especializados em uma única atividade; e, proporcionalmente, ocupam mais terra própria do que arrendada. Assim como observado na fronteira estocástica, a BSE também apresentou efeito positivo sobre a eficiência técnica dos produtores que tiveram os animais atingidos pela doença, mas, segundo o autor, tal efeito não tem uma grande magnitude.

De modo a complementar e comparar a análise feita por Hadley (2006) para alguns países do Reino Unido (Inglaterra e País de Gales), Barnes (2008) aplicou a metodologia de fronteira estocástica de produção aos pecuaristas de gado de corte da Escócia. A pesquisa feita pelo autor baseou-se em informações da *Scottish Farm Account Survey* (FAS), as quais constituíram um painel balanceado com dados de 1989 a 2004, de modo que a amostra continha 68 fazendas e 1.088 observações.

Na análise feita pelo autor, a receita da fazenda é uma *proxy* para a produção e essa é explicada pelas seguintes variáveis: gastos com suplementação alimentar; horas trabalhadas pela mão-de-obra familiar, contratada e gerencial; capital (custos operacionais, manutenção e depreciação, considerando uma taxa de juros de 3% sobre o estoque de capital); terra; e tendência linear do tempo (1989 = 1, ..., 2004 = 16).

Barnes (2008) não explicitou qual foi a distribuição admitida para o termo de ineficiência técnica, mas definiu que a mesma é explicada pelos seguintes fatores exógenos: área agrícola utilizada; razão das dívidas de curto e longo prazo em relação ao patrimônio líquido; variável *dummy* que representa se a fazenda está em uma área com *status* de menos favorecida; variável *dummy* que representa se a fazenda está em área ambientalmente sensível; variável *dummy* que representa se o produtor é o proprietário da terra; e tendência linear do tempo (1989 = 1, ..., 2004 = 16).

As estimativas dos coeficientes da fronteira estocástica de produção indicaram que na pecuária de corte escocesa há retornos constantes à escala, sendo esse resultado similar àquele encontrado por Hadley (2006) para a atividade na Inglaterra e no País de Gales. Dentre os insumos analisados, a suplementação alimentar é a que apresentou o maior impacto sobre a receita, seguida, respectivamente, pelo capital, trabalho e terra.

A eficiência técnica média estimada para os produtores foi de 77%, variando de 14% a 98%. Os pecuaristas mais eficientes são aqueles que utilizam uma maior área agrícola e não estão situados em localidades com *status* de menos favorecidas ou ambientalmente sensíveis. Por sua vez, os coeficientes representativos da propriedade da terra e dos débitos em relação ao patrimônio líquido tiveram sinal positivo, indicando contribuírem para o aumento da ineficiência, mas os mesmos não foram estatisticamente significativos.

Como pode ser observado a partir dos trabalhos reportados anteriormente, a estimação da fronteira estocástica de produção gera importantes resultados sobre a eficiência técnica dos produtores e os determinantes da mesma, permitindo a visualização de quais fatores figuram como entraves para a obtenção de um melhor desempenho. Apesar dessa importância, ainda são escassas as pesquisas sobre a pecuária brasileira utilizando como metodologia a fronteira estocástica de produção. Os trabalhos existentes nessas especificações, majoritariamente, tratam da produção leiteira (como em Nascimento *et al.*, 2012 e em Brito, 2016), sendo encontrado apenas um trabalho sobre a pecuária de corte (Gomes; Souza; Abreu, 2017), e dois deles se assemelham em relação ao uso do Censo Agropecuário como fonte dos dados. Esta pesquisa, portanto, se difere das demais disponíveis na literatura por abordar sob a ótica de uma SFA os determinantes da eficiência técnica da pecuária de corte brasileira, incorporando-se ao modelo variáveis representativas do meio físico e utilizando-se uma base de dados ainda inexplorada, até onde se sabe, em trabalhos científicos dessa natureza relacionados ao setor.

3. METODOLOGIA

Essa seção inicia-se com o referencial teórico sobre a Análise de Fronteira Estocástica (SFA), por meio do qual apresenta-se as noções sobre SFA, considerando a estimação para dados do tipo *cross-section*. Na sequência, são apresentadas as fontes dos dados utilizados para a estimação e, posteriormente, a descrição das variáveis que irão compor a fronteira estocástica de produção e o termo de ineficiência técnica. Por fim, é apresentada a especificação do modelo que será utilizado para a estimação do modelo empírico.

3.1. Referencial teórico

Segundo Kumbhakar; Lovell (2000), as definições da microeconomia acerca do comportamento do produtor (quais sejam, minimização de custos e maximização do lucro) nem sempre são verificadas empiricamente, uma vez que nem todos os produtores alocam de forma eficiente os insumos e/ou produtos, considerando a tecnologia que os mesmos têm disponível. Diante disso, as tradicionais funções empregadas na Teoria Microeconômica para a análise de questões associadas à produção podem não ser tão apropriadas no contexto empírico.

No caso específico da produção, a análise deve ser feita com base na fronteira de produção, a qual estabelece o máximo produto que pode ser obtido, dados os insumos e uma determinada tecnologia. A eficiência técnica é estabelecida de acordo com a posição do produtor em relação à fronteira, de modo que os produtores situados na mesma são considerados tecnicamente eficientes, enquanto que os situados abaixo dela são tecnicamente ineficientes (KUMBHAKAR; LOVELL, 2000).

Por exemplo, na Figura 8, o produtor situado no ponto A obtém o produto y_1 e, para tanto, utiliza a quantidade x_2 de insumo. Essa relação entre quantidade produzida e insumo é ineficiente, uma vez que o produtor está abaixo da fronteira de produção. No entanto, com esse mesmo insumo (x_2) seria possível produzir y_2 e, portanto, passar a situar-se na fronteira (ponto C). A eficiência técnica também poderia ser obtida ao reduzir a quantidade de insumo para x_1 e continuar produzindo y_1 (ponto B).

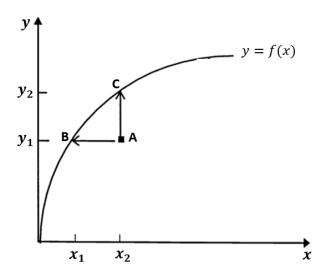


Figura 8. Fronteira de produção para um produto e um insumo. **Fonte:** Adaptado de Kumbhakar; Lovell, 2000.

A utilização da fronteira de função de produção foi proposta primeiramente por Farrell (1957) e, posteriormente, aprimorada por Aigner; Lovell; Schmidt (1977), os quais introduziram o termo de erro composto na especificação da fronteira, definindo-a, portanto, como estocástica. Nessa abordagem, os desvios da produção em relação à fronteira são decorrentes da ineficiência técnica dos produtores, e de choques aleatórios que não são passíveis de controle por parte dos agentes. Segundo Kumbhakar; Lovell (2000), a grande contribuição da forma estocástica é a possibilidade de distinguir o impacto entre choques aleatórios e de ineficiência técnica sobre a quantidade produzida.

O modelo de fronteira estocástica de produção é usualmente definido conforme a expressão (1):

$$y_i = f(\mathbf{x}_i, \boldsymbol{\beta}) e^{v_i - u_i} \tag{1}$$

onde: y_i é a quantidade produzida pelo *i*-ésimo produtor; $f(x_i, \beta)$ é a fronteira, a qual considera a função de produção comum a todos os produtores; x_i é o vetor dos insumos utilizados pelo *i*-ésimo produtor; β é o vetor dos coeficientes a serem estimados; v_i é o choque aleatório que atinge o *i*-ésimo produtor; e u_i é a ineficiência técnica do *i*-ésimo produtor.

A forma funcional de $f(x_i, \beta)$ pode ser tanto *Cobb-Douglas* quanto translog, sendo que a escolha sobre qual delas utilizar baseia-se no Teste de Wald. Em termos operacionais, primeiro estima-se a translog e com base nos resultados obtidos aplica-se o Teste de Wald, que tem a hipótese nula de que os coeficientes dos produtos cruzados dos insumos são iguais a zero. Se a hipótese nula for rejeitada, o melhor ajuste do modelo se dá com a função translog; já em caso de não-rejeição, deve-se adotar a *Cobb-Douglas*. De forma complementar, aplica-se

também o Teste de Razão de Verossimilhança a fim de verificar, também, qual é a forma funcional mais ajustada para a fronteira de produção.

Independentemente da forma funcional adotada, segundo Chambers (1988, p. 9), uma função de produção bem definida segue as seguintes propriedades:

- a) A função de produção (f(x)) é finita, não-negativa, admite apenas valores reais e assume apenas um único valor para todo x finito e não-negativo;
- b) Essencialidade: se não há insumos, não há produção (f(0) = 0);
- c) Monotonicidade: uma quantidade maior de insumo implica em uma produção maior, ou seja, $f(x) \ge f(x')$ se $x \ge x'$;
- d) A função é contínua e duas vezes diferenciável em todos os pontos do seu domínio;
- e) As isoquantas são convexas, o que implica que a função de produção seja quase-côncava e a taxa marginal de substituição técnica seja decrescente;
- f) O conjunto de insumos é fechado e não nulo para qualquer quantidade positiva de produção.

Apenas para simplificar a exposição sobre os aspectos teóricos nessa seção, admite-se que os parâmetros de $f(x_i, \beta)$ são lineares e, portanto, é possível escrever a expressão (1) na forma logarítmica, como representado na expressão (2):

$$\ln y_i = \beta_0 + \beta_1 \ln x_{1i} + \dots + \beta_n \ln x_{ni} + v_i - u_i$$
(2)

$$\epsilon_i = v_i - u_i \tag{3}$$

onde: ϵ_i é o termo de erro composto.

Considerando que o conjunto de dados a ser utilizado para a estimação é do tipo *cross-section*, tem-se que v_i é normalmente distribuído $(v_i \sim \operatorname{iid} N(0; \sigma_v^2))$, enquanto que para u_i são feitas pressuposições acerca de sua distribuição, a qual pode ser (KUMBHAKAR; LOVELL, 2000):

- a) Half-normal: $u_i \sim \text{iid } N^+(0; \sigma_u^2);$
- b) Exponencial: $u_i \sim \text{iid}$ exponencial;
- c) Normal-truncada: $u_i \sim \text{iid } N^+(\mu; \sigma_u^2)$;
- d) Gama: $u_i \sim iid$ gama.

As distribuições *half-normal* e a normal truncada são aquelas normalmente mais utilizadas. Segundo Coelli *et al.* (2005), a distribuição *half-normal* é adotada nos modelos de fronteira estocástica, pois demanda uma menor complexidade computacional para a estimação. O uso da distribuição normal-truncada exige a estimação de um parâmetro a mais (μ), o que

torna o método de máxima verossimilhança (utilizado para a obtenção dos parâmetros de interesse) mais complexo (KUMBHAKAR; WANG; HORNCASTLE, 2015). A estimação da moda (μ) para a normal truncada é o que a difere da *half-normal*, na qual a moda é nula. Desse modo, tem-se que a *half-normal* é um caso especial da normal truncada (KUMBHAKAR; LOVELL, 2000; MEESTERS, 2012).

Independentemente da distribuição estabelecida para u_i , os termos v_i e u_i são distribuídos independentemente um do outro e dos regressores. No entanto, a escolha da distribuição de u_i resulta em diferenças na eficiência média estimada para as observações da amostra, mas ainda não se sabe se tal escolha altera o *ranking* dos produtores conforme a eficiência estimada para cada um deles (KUMBHAKAR; LOVELL, 2000).

Dada a distribuição simétrica de v_i em torno de zero e a distribuição unilateral de u_i $(u_i \ge 0)$, tem-se que:

- a) Se a ineficiência técnica é nula ($u_i = 0$), o termo de erro composto é simétrico ($\epsilon_i = v_i$);
- b) Se há ineficiência técnica $(u_i > 0)$, o termo de erro composto $(\epsilon_i = v_i u_i)$ é assimétrico negativamente, tendo média e moda não nulas.

Dessa forma, a assimetria negativa para o termo de erro composto é um indicativo de que há ineficiência técnica na amostra que está sendo analisada. A ineficiência técnica (u_i) , simplificadamente, pode ser entendida como a diferença entre a quantidade máxima possível de ser produzida e a produção alcançada pelo produtor, ou seja, $u_i = \ln y_i^* - \ln y_i$, onde $\ln y_i^*$ é o logaritmo natural do máximo produto e $\ln y_i$ é o logaritmo natural do produto observado. Essa medida expressa, em termos percentuais, o quanto que a produção poderia aumentar, sem que se alterassem as quantidades de insumos utilizadas. Adicionalmente, ao rearranjar a expressão anterior obtém-se a estimativa da eficiência técnica $(\exp(-u_i) = y_i/y_i^*)$, a qual representa o quanto se está produzindo em relação à quantidade máxima definida pela fronteira de produção.

Portanto, para a aplicação do modelo de fronteira estocástica, primeiramente, verificase se os resíduos da estimação de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) apresentam assimetria negativa e, por conseguinte, se há indícios de ineficiência técnica, conforme proposto por Schmidt; Lin (1984 *apud* KUMBHAKAR; WANG; HORNCASTLE, 2015). Posteriormente, verifica-se a significância estatística do teste conforme D'Agostino; Belanger; D'Agostino Júnior (1990 *apud* KUMBHAKAR; WANG; HORNCASTLE, 2015). O teste baseia-se na hipótese nula de que os resíduos do MQO não têm assimetria e, nesse caso, há indícios de que não há ineficiência. Caso a hipótese nula não seja aceita, há indícios de que a aplicação do modelo de fronteira estocástica de produção é apropriada, dado que os resíduos podem ser desagregados em dois termos: o erro aleatório (v_i) e a ineficiência técnica (u_i) .

Coelli (1995 apud KUMBHAKAR; WANG; HORNCASTLE, 2015) sugeriu uma forma alternativa àquela proposta por Schmidt; Lin (1984), na qual o teste é assintoticamente distribuído como N(0,1). Novamente, a hipótese nula do teste é de que não há assimetria e, caso a mesma não seja rejeitada, o modelo MQO pode ser suficiente para explicar a relação entre produto e insumos, uma vez que não há indícios de ineficiência técnica. Cabe ressaltar que para a construção dos testes, na estimação do MQO utiliza-se apenas as variáveis da função de produção e, além disso, a forma funcional adotada para essa estimação deve ser a mesma que aquela utilizada para a fronteira estocástica.

Uma vez constatada a existência de ineficiência, o modelo pode ser aprimorado para calcular o impacto de variáveis exógenas sobre a mesma. Segundo Kumbhakar; Ghosh; McGuckin (1991), os trabalhos anteriores ao desenvolvido pelos autores estimavam os determinantes da ineficiência técnica utilizando um procedimento com duas etapas. O processo iniciava-se com a estimação da fronteira de produção (especificada na expressão 2); uma vez obtidas as estimativas para u_i , as mesmas eram regredidas em função de um conjunto de variáveis exógenas que poderiam explicar a diferença de desempenho entre os produtores. No entanto, segundo os autores, se os insumos da fronteira de produção e os determinantes da ineficiência são correlacionados, esse procedimento gera estimativas viesadas na primeira etapa. Além disso, uma das pressuposições do modelo é de que a ineficiência (u_i) é independente e identicamente distribuída (iid), então torna-se contraditório estabelecer uma relação entre a mesma e as variáveis exógenas na segunda etapa.

Visando superar esses problemas na estimação dos determinantes da ineficiência técnica, Kumbhakar; Ghosh; McGuckin (1991) sugeriram uma abordagem baseada em uma única etapa, na qual admitiam que u_i tem distribuição normal-truncada (com o truncamento acima de zero) e é uma função linear de variáveis exógenas. Otieno; Hubbard; Ruto (2014) também estimaram os coeficientes da fronteira de produção e os determinantes da ineficiência técnica em uma única etapa, mas assumiram que u_i tem distribuição half-normal.

Na abordagem de uma única etapa, u_i é definido conforme a expressão (4):

$$u_i = \mathbf{z}_i' \boldsymbol{\delta} + \varepsilon_i \tag{4}$$

onde: \mathbf{z}_i' é o vetor das variáveis exógenas que afetam o desempenho do *i*-ésimo produtor; $\boldsymbol{\delta}$ é o vetor dos coeficientes a serem estimados; ε_i reúne os fatores não-observáveis que impactam o desempenho.

Ao substituir a expressão (4) na fronteira de função de produção (expressão 2), tem-se a estimação simultânea dos coeficientes da fronteira e dos determinantes da ineficiência, como sugerido por Kumbhakar; Ghosh; McGuckin (1991). Essa abordagem está representada na expressão (5):

$$\ln y_i = \beta_0 + \beta_1 \ln x_1 + \dots + \beta_n \ln x_n + v_i - (\mathbf{z}_i' \boldsymbol{\delta} + \varepsilon_i)$$
(5)

Considerando que v_i tem distribuição normal e que, por parcimônia, u_i tem distribuição *half-normal*, as funções de densidade dessas variáveis serão representadas, respectivamente, pelas expressões (6) e (7):

$$f(v) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_v} exp\left\{-\frac{v^2}{2\sigma_v^2}\right\}, \quad -\infty < v < \infty$$
 (6)

$$f(u) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}\sigma_u} exp\left\{-\frac{u^2}{2\sigma_u^2}\right\}, \quad u \ge 0$$
 (7)

Como v_i e u_i são independentes, a função de densidade conjunta dessas variáveis é dada pela expressão (8):

$$f(u,v) = f(u).f(v) = \frac{2}{2\pi\sigma_u\sigma_v}.\exp\left\{-\frac{u^2}{2\sigma_u^2} - \frac{v^2}{2\sigma_v^2}\right\}$$
 (8)

Dado que $\epsilon = v - u$, a função de densidade conjunta de u e ϵ é definida pela expressão (9):

$$f(u,\epsilon) = \frac{2}{2\pi\sigma_u\sigma_v} \cdot \exp\left\{-\frac{u^2}{2\sigma_v^2} - \frac{(\epsilon+u)^2}{2\sigma_v^2}\right\}$$
(9)

Ao integrar essa última expressão com relação a *u*, tem-se que a função de densidade do termo de erro composto será (KUMBHAKAR; LOVELL, 2000):

$$f(\epsilon) = \frac{2}{\sigma} \cdot \phi\left(\frac{\epsilon}{\sigma}\right) \cdot \Phi\left(-\frac{\epsilon\lambda}{\sigma}\right) \tag{10}$$

onde: $\sigma = (\sigma_u^2 + \sigma_v^2)^{1/2}$; $\lambda = \sigma_u/\sigma_v$; ϕ e Φ são, respectivamente, a função de densidade e a função de distribuição cumulativa da normal-padrão (N(0,1)).

A esperança e a variância do termo de erro composto serão definidas conforme as expressões (11) e (12), respectivamente:

$$E(\epsilon) = -E(u) = -\sigma_u \sqrt{\frac{2}{\pi}}$$
 (11)

$$V(\epsilon) = \frac{\pi - 2}{\pi} \sigma_u^2 + \sigma_v^2 \tag{12}$$

Ao aplicar logaritmos naturais na expressão (10), obtém-se a função de verossimilhança para *I* produtores (expressão 13). Ao maximizá-la com relação aos parâmetros, encontram-se as estimativas de máxima verossimilhança para os coeficientes de interesse:

$$\ln L = constante - I \ln \sigma + \sum_{i} \ln \Phi \left(-\frac{\epsilon_{i} \lambda}{\sigma} \right) - \frac{1}{2\sigma^{2}} \sum_{i} \epsilon_{i}^{2}$$
 (13)

Os resultados obtidos para a fronteira estocástica são dependentes da distribuição adotada para o termo de ineficiência técnica ($u_i \ge 0$). Segundo Kumbhakar; Wang; Horncastle (2015), como o teste de assimetria realizado inicialmente não considera a distribuição de u_i , se faz necessário uma averiguação mais precisa sobre o modelo especificado para constatar realmente a existência de ineficiência técnica. Para tanto, aplica-se o Teste de Razão de Verossimilhança (LR), conforme a expressão (14):

$$-2[L(H_0) - L(H_1)] (14)$$

onde: $L(H_0)$ é o logaritmo do valor de verossimilhança do modelo restrito (MQO) e $L(H_1)$ é o logaritmo do valor de verossimilhança do modelo irrestrito (fronteira estocástica). Considerando que a distribuição de u_i é half-normal, a restrição do teste é $\sigma_u^2 = 0$ e, por conseguinte, o mesmo tem 1 grau de liberdade. Caso o Teste LR indique a rejeição da hipótese nula, isso evidencia a existência de ineficiência técnica e que, portanto, o modelo de fronteira estocástica é preferível ao modelo MQO. Kumbhakar; Wang; Horncastle (2015) mencionaram que nesse caso o Teste LR não segue uma distribuição qui-quadrado padrão, porque o valor da hipótese nula ($\sigma_u^2 = 0$) é o limiar para o valor que o parâmetro pode assumir. Logo, o Teste LR tem uma mistura de distribuições qui-quadrado.

Ainda segundo Kumbhakar; Wang; Horncastle (2015), apenas a maximização da expressão (13) não fornece informações suficientes para a estimativa da ineficiência técnica de cada produtor, sendo possível apenas determinar qual é o formato da distribuição de u_i e, portanto, calcular a eficiência média da amostra. A estimação da ineficiência técnica específica de cada produtor (expressão 15) baseia-se no cálculo proposto por Jondrow *et al.* (1982 *apud* KUMBHAKAR; WANG; HORNCASTLE, 2015), considerando a média ou a moda

condicional da ineficiência técnica dado o termo de erro composto para a *i*-ésima observação, conforme pode ser observado nas expressões (15) e (16), respectivamente:

$$E(u_i|\epsilon_i) = \mu_{*i} + \frac{\sigma_*\phi(\mu_{*i}/\sigma_*)}{\Phi(\mu_{*i}/\sigma_*)}$$
(15)

$$M(u_i|\epsilon_i) = -\epsilon_i \left(\frac{\sigma_u^2}{\sigma^2}\right) se \ \epsilon_i \le 0,$$

$$0 \ caso \ contrário$$
(16)

onde:

$$\mu_{*i} = \frac{\sigma_u^2 \epsilon_i}{\sigma_v^2 + \sigma_u^2} \tag{17}$$

$$\sigma_*^2 = \frac{\sigma_v^2 \sigma_u^2}{\sigma_v^2 + \sigma_u^2} \tag{18}$$

A estimativa da eficiência técnica de cada produtor (expressão 19), por sua vez, foi proposta por Battese; Coelli (1988 *apud* KUMBHAKAR; LOVELL, 2000):

$$ET_i = E(\exp\{-u_i\} | \epsilon_i) = \left[\frac{1 - \Phi(\sigma_* - \mu_{*i} / \sigma_*)}{1 - \Phi(-\mu_{*i} / \sigma_*)} \right] \cdot \exp\left\{ -\mu_{*i} + \frac{1}{2}\sigma_*^2 \right\}$$
(19)

A análise dos determinantes da ineficiência técnica requer, ainda, o cômputo dos efeitos marginais das variáveis exógenas sobre a mesma. Como a relação entre tais variáveis e $E(u_i)$ não é linear, os coeficientes associados à ineficiência, resultantes da maximização da expressão (13), não são os efeitos marginais e, portanto, não fornecem qual é a magnitude do impacto das variáveis exógenas sobre o desempenho estimado, sinalizando apenas qual é a direção do efeito das mesmas (KUMBHAKAR; WANG; HORNCASTLE, 2015).

Dessa forma, o efeito marginal do k-ésimo determinante da ineficiência será definido conforme a expressão (20):

$$\frac{\partial E(u_i)}{\partial z[k]} = w[k] \frac{\sigma_{u,i}}{2} \left[\frac{\phi(0)}{\Phi(0)} \right] = w[k] \sigma_{u,i} \phi(0)$$
(20)

onde: $\phi(0)$ é aproximadamente 0,3989.

Schmidt; Sickles (1984) mostraram que a estimação da fronteira estocástica com base em dados cross-section, apesar de apresentar resultados importantes, tem algumas falhas, sendo elas: i) as estimativas da ineficiência técnica são inconsistentes, pois a variância de $(u_i|\epsilon_i)$ não tende a zero conforme aumenta o tamanho do cross-section; ii) a desagregação do termo de erro composto em ineficiência técnica e erro aleatório depende de fortes pressuposições acerca da distribuição desses dois componentes; iii) a pressuposição de que a eficiência técnica é

independente dos regressores é pouco plausível empiricamente. Além disso, segundo Kumbhakar; Wang; Horncastle (2015), a distribuição *half-normal* para u_i é bastante restritiva, uma vez que, pelo formato da mesma, a maioria das observações terão uma eficiência alta.

3.2. Base de dados

Nessa seção são apresentadas as principais informações sobre as três bases de dados utilizadas no desenvolvimento dessa pesquisa, quais sejam: painéis para a bovinocultura de corte, do Cepea/CNA; GYGA-ED; e índice de aptidão do meio físico, do GeoLab. Cabe ressaltar que foge ao escopo desse trabalho uma explicação minuciosa sobre a formação dessas bases, uma vez que é a interação, muitas vezes complexa, entre diversas variáveis que dá origem às mesmas.

Os dados sobre insumos, produção e manejo utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa são provenientes da Confederação Nacional da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), que em parceria com o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea), da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP), realiza o projeto "Campo Futuro". Por meio de grupos focais (também chamados como painéis pelas instituições), é estabelecida a estrutura típica das fazendas de uma determinada região (CEPEA, s.d.).

Segundo Elliott (1928), a fazenda típica representa a moda das fazendas que compõem um mesmo universo, ou seja, a mesma é considerada como representativa desse grupo de propriedades rurais e, portanto, de suas características de produção. Ainda segundo o autor, para a definição da fazenda típica faz-se necessário, primeiramente, verificar as características da região analisada, tanto em relação às atividades agropecuárias quanto em relação às condições edafoclimáticas, para definir as áreas que se assemelham de acordo com esses fatores. As áreas podem, ainda, ser divididas em unidades menores (subárea) para garantir uma maior acurácia das informações levantadas.

Posteriormente, a amostra de fazendas da área (ou subárea) é classificada de acordo com alguma característica específica, como, por exemplo, o tamanho da propriedade, organização e forma de manejo. Ao classificar as fazendas, tem-se a frequência relativa da característica que foi tomada como base, o que permite a definição de qual é a moda das propriedades daquela área (ELLIOTT, 1928). Desse modo, como reiterado por Deblitz *et al.* (1998), os dados que descrevem a fazenda típica não refletem uma única propriedade nem são

frutos da média aritmética de várias propriedades, mas sim são resultantes do consenso entre os participantes do painel sobre o que caracterizaria aquela região.

Como a fazenda típica representa o que é majoritariamente encontrado entre o grupo de produtores – e, portanto, desconsidera os *outliers* – a mesma tem maior acurácia para retratar o universo das fazendas, quando comparada à média aritmética. Dada a ampla heterogeneidade que existe nas atividades agropecuárias, Elliott (1928) ponderou que o uso da média para simbolizar o agregado das fazendas seria pouco representativo, uma vez que há uma ampla dispersão das mesmas.

No levantamento feito pelo Cepea/CNA, a propriedade típica da pecuária de corte é definida a partir da moda da produção da região, ou seja, a mesma representa propriedades que se assemelham em termos de quantidade produzida.

Os grupos focais conduzidos pelos pesquisadores do Cepea/CNA para a definição das fazendas típicas são compostos por uma amostra intencional de produtores e técnicos locais, com participação de oito a 12 pessoas, segundo Santos *et al.* (2014), que discutem as características produtivas e econômicas associadas ao principal sistema de produção da região (cria, recria, engorda, cria-recria, recria-engorda, ciclo completo ou confinamento). A discussão dos participantes leva à formulação de dados que são representativos das fazendas da localidade analisada, quais sejam: área da fazenda; tamanho e composição do rebanho; índices zootécnicos; quantidade de animais vendidos e comprados no ano, dentre outros. No Apêndice A encontram-se de forma detalhada as informações que compõem um painel e, portanto, descrevem uma fazenda típica.

Ressalta-se que, em decorrência da metodologia adotada para o levantamento dos dados, a caracterização da fazenda típica não inclui variáveis qualitativas relacionadas à administração da propriedade ou ao perfil do produtor (idade, escolaridade, tempo de experiência na atividade e etc.). Segundo Plaxico; Tweeten (1963), é sabido que as variáveis não físicas são importantes para o desempenho da atividade rural, porém, é difícil quantificálas e encontrar as respectivas distribuições dentro de um universo de fazendas e de produtores distintos. Portanto, essa dificuldade faz com que esse tipo de variável não seja especificado no levantamento das propriedades típicas.

As regiões pesquisadas pelo Cepea/CNA, considerando especificamente a pecuária de corte, alteram-se de acordo com o ciclo de produção do boi, o qual dura cerca de três anos. Sendo assim, anualmente as regiões pesquisadas se alteram e, majoritariamente, a cada três anos as mesmas são analisadas novamente. Apesar de existir esse padrão para a realização dos grupos focais, os painéis fornecidos pelo Cepea/CNA apresentaram-se fortemente

desbalanceados e com poucas regiões amostradas nos anos iniciais do levantamento, que iniciou-se em 2002.

Os painéis utilizados no presente estudo são referentes aos anos de 2002 a 2017, sendo que a composição dos mesmos, conforme os sistemas de produção, está sumarizada na Tabela 1.

Tabela 1. Composição da amostra.

Sistema de produção	Quantidade de painéis	Participação na amostra
Cria	116	41,58%
Ciclo completo	38	13,62%
Confinamento	3	1,08%
Cria e recria	10	3,58%
Engorda	7	2,51%
Recria	11	3,94%
Recria e engorda	94	33,69%
Total	279	100%

Fonte: Elaborado pela autora.

Na Figura 9 está representada a distribuição geográfica de onde os painéis foram realizados e, portanto, das regiões que são analisadas na presente pesquisa. No Apêndice B encontra-se o detalhamento acerca dessas localidades.

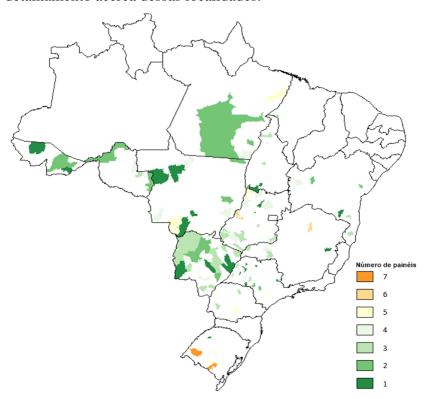


Figura 9. Distribuição geográfica das regiões analisadas na presente pesquisa. **Fonte:** Elaborado pela autora a partir de Cepea/CNA.

Os painéis sumarizados na Tabela 1 são os que integram a amostra final utilizada nessa pesquisa, dado que foram excluídos aqueles que não eram condizentes com a análise a ser realizada como, por exemplo, painéis das fazendas típicas de gado de leite e painéis que não continham o número de funcionários da propriedade. Nas regiões onde não há contratação de funcionários, sendo uma característica a utilização exclusiva da mão-de-obra familiar, só há informação quanto ao pró-labore retirado pelas famílias mensalmente, não havendo a especificação do número de familiares que trabalham na propriedade. Nesse contexto, cabe destacar que nas regiões onde há tanto mão-de-obra familiar quanto contratada, só há a contabilização do número de funcionários contratados.

Para exemplificar, os dados provenientes do levantamento de painel, juntamente com dados históricos secundários, foram utilizados por De Zen (2002) para analisar o gerenciamento de riscos em propriedades de Mato Grosso e Rio Grande do Sul. Para tanto, o autor estimou fronteiras de eficiência econômica, as quais eram determinísticas e relacionavam o risco e o retorno das atividades agropecuárias nas localidades analisadas.

Além das informações sobre produção, insumos e manejo nas propriedades rurais, a presente pesquisa demanda, ainda, dados que representem as condições edafoclimáticas de onde situam-se as fazendas típicas. Para tanto, optou-se por utilizar duas bases de dados de forma alternativa, a GYGA-ED e a de índice de aptidão do meio físico, do GeoLab.

O levantamento intitulado "Atlas Global de *Yield Gap*", do inglês *The Global Yield Gap and Water Productivity* (GYGA), foi desenvolvido por Van Wart *et al.* (2013) com o objetivo de estimar o *yield gap* dos agricultores, sendo esse determinado pela diferença entre a produtividade máxima possível de ser alcançada e a produtividade realmente obtida pelos produtores.

A interação entre as variáveis edafoclimáticas constitui as zonas climáticas homogêneas, as quais são utilizadas no processo de extrapolação das estimativas locais do *yield gap* para áreas maiores, uma vez que a estimação específica dessa variável para cada localidade nem sempre é possível em decorrência do custo e da dificuldade de acesso a todos os dados necessários. Segundo Marin (2014, p. 84), essa extrapolação é baseada na hipótese de que "áreas homogêneas quanto ao clima e ao solo tendam a ter sistemas de produção e meio físico similares" o que, por conseguinte, implica em condições semelhantes de cultivo.

O levantamento realizado em nível global por Van Wart *et al.* (2013) considerou as áreas cobertas por pelo menos uma das principais culturas agrícolas, sendo elas: milho, arroz, trigo, sorgo, milheto, cevada, soja, batata, inhame, batata doce, banana e banana-da-terra, amendoim, feijão comum e outras leguminosas, beterraba-sacarina e cana-de-açúcar. Além

dessa seleção, os autores só computaram os grids em que mais do que 0,5% de sua área era coberta pelas culturas citadas, evitando, portanto, contabilizar localidades em que a produção agrícola não é muito expressiva.

No projeto de Van Wart *et al.* (2013), as zonas climáticas homogêneas são definidas por meio de um zoneamento híbrido, denominado de GYGA Extrapolação de Domínio (GYGA-ED), o qual baseia-se em três variáveis categóricas, quais sejam:

i. Graus-dia de crescimento (GDD), o qual é calculado conforme Licker et al.
 (2010 apud VAN WART et al.; 2013) por meio da expressão (21):

$$GDD = \sum_{i=1}^{365} \max(0, T_i - T_b)$$
 (21)

onde: T_i é a temperatura, em °C, no *i*-ésimo dia do ano; e T_b é a temperatura-base, abaixo da qual o desenvolvimento da planta é prejudicado, sendo definida pelos autores nesse estudo como 0°C.

Para esse cálculo, Licker *et al.* (2010 *apud* VAN WART *et al.*; 2013) utilizaram a temperatura média mensal referente ao período de 1961 a 1990, sendo tal informação proveniente da base de dados CRU CL v. 2.0. Os valores resultantes do GDD, calculados por meio da expressão (21), foram divididos em dez classes, conforme reportado na Tabela 2:

Tabela 2. Classes definidas para o GDD.

GDD	Valor no GYGA-ED
0 -2670	1000
2671 - 3169	2000
3170 - 3791	3000
3792 - 4829	4000
4830 - 5949	5000
5950 - 7111	6000
7112 - 8564	7000
8565 - 9311	8000
9312 - 9850	9000
≥ 9851	10000

Fonte: Van Wart et al., 2013.

 Sazonalidade da temperatura, a qual corresponde ao desvio padrão da temperatura mensal média ao longo de 12 meses multiplicado por 100. Os dados para tal cálculo são disponibilizados pelo WorldClim (período de 1950 a 2000) e pelo Bioclim4.

As informações sobre essa variável foram categorizadas de acordo com a Tabela 3:

Tabela 3. Classes definidas para a sazonalidade da temperatura.

Sazonalidade da temperatura	Valor no GYGA-ED
0 -3832	1
3833 - 8355	2
≥ 8356	3

Fonte: Van Wart *et al.*, 2013.

iii. Índice de aridez anual (IA), o qual é calculado conforme a expressão (22):

$$IA = \frac{MAP}{MAE} \tag{22}$$

onde: *MAP* é a precipitação média anual, em 100 milímetros; e *MAE* é o potencial de evapotranspiração médio anual, em 100 milímetros.

Os dados utilizados pelos autores para o cálculo da expressão (22) são do CGIAR-CSI. Os resultados desse cômputo foram divididos em dez classes, conforme a definição apresentada na Tabela 4:

Tabela 4. Classes definidas para o índice de aridez anual.

Índice de aridez anual	Valor no GYGA-ED
0 - 2695	0
2696 - 3893	100
3894 - 4791	200
4792 - 5689	300
5690 - 6588	400
6589 - 7785	500
7786 - 8685	600
8686 - 10181	700
10182 - 12876	800
≥ 12877	900

Fonte: Van Wart *et al.*, 2013.

Por meio de uma combinação matricial entre essas três variáveis categóricas, os autores definiram 265 zonas climáticas homogêneas, as quais estão representadas na Figura 10.

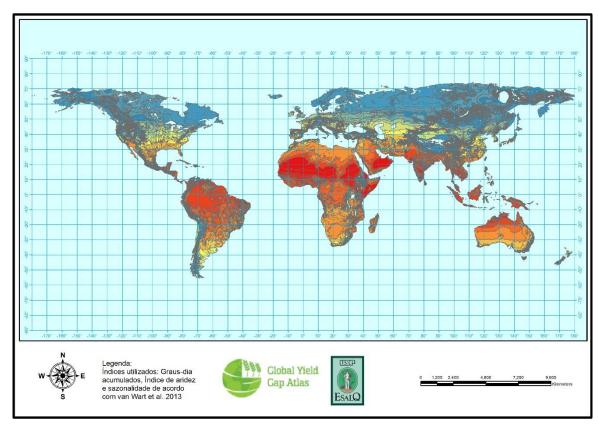


Figura 10. Zonas climáticas homogêneas, definidas com base no GDD, índice de aridez anual e sazonalidade da temperatura.

Fonte: Marin, 2014 adaptado de Van Wart et al., 2013.

Para exemplificar, recentemente os dados do GYGA-ED foram utilizados como base para uma análise relacionada à pecuária, especificamente sobre as pastagens. Araújo (2018) usou as zonas climáticas homogêneas, definidas pelo GYGA-ED, para analisar a eficiência produtiva das pastagens (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) no estado de São Paulo. A autora estimou o *yield gap* da espécie forrageira em localidades que têm grande representatividade na área de pastagem do território paulista, a saber: Presidente Prudente, São Carlos, Votuporanga e Araçatuba. Como espera-se que as áreas que compõem uma mesma zona climática homogênea se assemelhem em termos de cultivo, os resultados obtidos por Araújo (2018) para as localidades citadas foram extrapolados para as suas respectivas zonas, fazendo com que a análise abrangesse 76,8% da área de pastagem de São Paulo.

No GYGA-ED, a denominação das zonas climáticas homogêneas é definida pela soma do valor das variáveis categóricas em cada localidade. Por exemplo, se o GDD calculado é 1000, a classe em que o mesmo se encontra é a de número 1000; se o IA calculado é zero, a classe correspondente será a de número 0; e, por fim, se a sazonalidade da temperatura calculada é 1, a mesma estará na classe 1. Ao somar o valor dessas classes, obtém-se a zona climática

homogênea denominada de 1001, a qual representará todas as localidades que têm as mesmas características edafoclimáticas (VAN WART *et al.*, 2013).

No entanto, os autores não apresentaram uma descrição qualitativa para a caracterização das zonas climáticas. Como é a interação entre as variáveis que determina a característica predominante de cada zona, a ausência dessa descrição qualitativa dificulta que as zonas climáticas homogêneas sejam utilizadas *per se* na estimação da fronteira estocástica a fim de se verificar qual é a influência das mesmas sobre a produção. Em decorrência disso, optou-se por utilizar na presente metodologia as variáveis edafoclimáticas, que definem as zonas climáticas, de forma desagregada em suas respectivas classes.

Assim, para cada uma das regiões que compõem a amostra analisada, considera-se que os graus-dia de crescimento, a sazonalidade da temperatura e o índice de aridez são representados pelo Valor GYGA-ED, reportado nas Tabelas 2, 3 e 4, respectivamente. O Valor GYGA-ED é representativo da classe em que a variável edafoclimática encontra-se, sendo tal separação estabelecida pelos critérios de Van Wart *et al.* (2013).

As condições do meio físico podem, de forma alternativa, ser incorporadas ao modelo proposto nessa pesquisa por meio da utilização da base de dados do GeoLab, da ESALQ/USP. Utilizando-se as informações acerca do solo, relevo e clima, o GeoLab elaborou o Índice de Aptidão do Meio Físico (IAMF), que sinaliza a aptidão das áreas brasileiras para o desenvolvimento de culturas agrícolas de um modo geral.

Cada uma das dimensões (solo, relevo e clima) gera um índice de aptidão com base na inter-relação das variáveis que as compõem, o qual varia de 0 a 1: do meio físico mais restritivo para o desenvolvimento das culturas até àquele que tem o mínimo de restrição, respectivamente. Posteriormente, esses índices são agregados para a formulação do IAMF (GEOLAB, s.d.).

Para determinar a aptidão em relação ao solo, o GeoLab (s.d.) considera as características de profundidade, drenagem (representada pela probabilidade de ocorrer solos mal drenados), textura (teor de argila), saturação por bases (V%)⁴ e Capacidade de Troca de Cátions (CTC)⁵, sendo essas duas últimas representativas da fertilidade. Cada uma dessas variáveis pode assumir os seguintes valores e classes respectivas: 0,2 (muito baixa); 0,4 (baixa); 0,6 (média); 0,8 (alta); e 1 (muito alta). A média aritmética dos valores atribuídos às variáveis

 $^{^4}$ A saturação por bases é um indicativo da fertilidade do solo, de modo que: solos férteis, também denominados eutróficos → $V\% \ge 50\%$; solos pouco férteis, ou distróficos → V% < 50% (RONQUIM, 2010).

⁵ A Capacidade de Troca de Cátions (CTC), como o próprio nome diz, sinaliza a capacidade que o solo tem para reter cátions e, posteriormente, trocá-los. Essa variável é importante no sentido de que condiciona a forma que será feita a adubação, sendo que solos formados em sua maior parte por Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺ são considerados bons para a nutrição das cultivares (RONQUIM, 2010).

gera o Índice de Qualidade dos Solos (IQS). Os dados utilizados pelo GeoLab (s.d.) para esse cálculo são do Projeto SoilGrids.

A aptidão em relação ao relevo é determinada pela declividade e altitude da área analisada, sendo que terrenos com mais de 16% de declividade dificultam, ou até mesmo impossibilitam, o uso de máquinas agrícolas, o que pode ser considerado como um entrave para o desenvolvimento da maior parte das culturas agrícolas. O Índice de Qualidade do Relevo (IQR) é muito baixo quando a altitude também é muito baixa. Nos demais casos, quando a altitude é classificada como muito alta, o IQR segue as classes da declividade. De modo geral, o IQR varia de 0,2 (muito baixa) a 1 (muito alta), assim como o IQS. Os dados que baseiam o cálculo são do programa *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) (GEOLAB, s.d.).

O último quesito analisado para a definição da aptidão do meio físico é o clima (temperatura, precipitação e radiação solar). Com base na interação entre a Capacidade de Água Disponível (CAD) e a relação evapotranspiração real/evapotranspiração potencial, define-se o Índice de Temperaturas e Águas para Culturas Perenes (ITW_P). Novamente, o índice varia de 0 a 1, sendo essa última classe a mais favorável para o desenvolvimento agrícola no quesito clima. Os dados que levam à formulação das variáveis que compõem o índice são do WorldClim e da NASA (GEOLAB, s.d.).

A relação entre as três dimensões (solo, relevo e clima) é que definirá a aptidão agrícola. Para tanto, deve-se multiplicar todos os índices calculados anteriormente (IQS, IQR e ITW_P), e o resultado será o Índice de Aptidão do Meio Físico (IAMF), o qual assume valores de 0 a 1, representando, portanto, desde as condições inaptas do meio físico para o cultivo até àquelas que favorecem o máximo potencial produtivo da cultivar. Ainda segundo GeoLab (s.d.), cabe ressaltar que se um dos índices (IQS, IQR e ITW_P) for zero, o IAMF também será, uma vez que o fator nulo atua como um inibidor do crescimento vegetativo, independentemente da existência das demais condições. A distribuição do IAMF ao longo do território brasileiro pode ser observada na Figura 11.

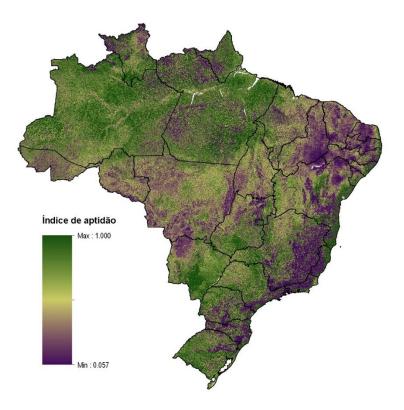


Figura 11. Índice de Aptidão do Meio Físico (IAMF) para culturas perenes. **Fonte:** GeoLab, s.d.

3.3. Variáveis consideradas no modelo empírico

A fim de atingir o objetivo proposto para a presente pesquisa, qual seja, estimar a eficiência técnica dos produtores de gado de corte de regiões brasileiras selecionadas, bem como mensurar os seus potenciais determinantes, faz-se necessário, primeiramente, estabelecer quais serão as variáveis consideradas na estimação da fronteira estocástica de produção e, posteriormente, aquelas que serão explicativas para o desempenho produtivo das regiões analisadas. Sendo assim, nessa seção discorre-se sobre tais variáveis.

3.3.1. Variáveis para a estimativa da fronteira estocástica de produção

O ciclo de produção da pecuária de corte, por natureza, envolve bovinos em diferentes estágios de desenvolvimento e, consequentemente, com diferentes pesos. As etapas do ciclo de produção condicionam, ainda, as atividades a serem desenvolvidas nas fazendas, uma vez que há aquelas que se dedicam a apenas uma das etapas (cria, recria ou engorda), a duas etapas (cria-recria ou recria-engorda) ou ao ciclo completo de produção. Nesse sentido, a escolha da variável que representa a produção (variável dependente da fronteira estocástica de produção)

deve compatibilizar as unidades de medidas, sejam essas monetárias ou quantitativas, para evitar que as características inerentes à pecuária influenciem nas estimativas da eficiência técnica.

A literatura sobre fronteira estocástica de produção aplicada à pecuária, majoritariamente, utiliza o valor monetário como *proxy* para a quantidade produzida, em decorrência da dificuldade de se mensurar essa última.

Nwigwe *et al.* (2016) utilizaram o valor anual da produção de gado de corte como *proxy* para a quantidade produzida, como especificado na expressão (23):

$$Q_{i(k)} = \frac{\sum_{r}^{R} y \times p}{t} \tag{23}$$

onde: $Q_{i(k)}$ é o valor anual da produção de gado de corte do *i*-ésimo produtor no *k*-ésimo sistema de produção; r pode ser o rebanho atual, vendas ou uso dos animais para outros propósitos no decorrer de um ano; y é o número de animais em termos equivalentes; p é o preço atual do rebanho ou o preço médio do gado que foi vendido, ou usado para outros fins, no decorrer de um ano; t é o tempo médio do ciclo de produção do boi.

Como no ciclo de produção da pecuária há diversas categorias de animais, que se caracterizam por terem pesos médios distintos, tem-se a necessidade de padronizar tais pesos para que se possa calcular a quantidade produzida. Dessa forma, no artigo de Nwigwe *et al.* (2016), os autores obtiveram a variável y ao usar fatores de conversão e multiplicá-los pelo número de animais em cada categoria (cria, recria e engorda). A conversão foi feita pela razão entre o peso médio dos animais de cada categoria em relação ao peso médio de abate do gado.

Hadley (2006) e Barnes (2008), por sua vez, utilizaram o valor da receita advinda da pecuária de corte, que incluiu subsídios e subvenções, como uma *proxy* para a produção da atividade. Já Trestini (2006) admitiu que a produção da pecuária de corte é equivalente ao valor bruto da produção, ou seja, à diferença entre o valor do rebanho no início e no final de um período determinado, adicionando o valor dos animais comprados e subtraindo o dos que foram vendidos.

As variáveis monetárias citadas anteriormente podem, alternativamente, ser utilizadas como a variável dependente da fronteira estocástica de produção, ou seja, como uma *proxy* para o produto obtido a partir da tecnologia e dos insumos disponíveis. No entanto, uma vez que essas variáveis dependem do valor de comercialização dos animais, as mesmas podem ser influenciadas pelas diferenças de preços dos mesmos entre as regiões, o que pode causar distorções ao se comparar o desempenho produtivo das mesmas.

A alternativa às variáveis monetárias seriam as variáveis quantitativas. Nos painéis desenvolvidos pelo Cepea/CNA há o levantamento da quantidade de arrobas produzidas nas fazendas típicas de cada uma das regiões analisadas. O cálculo dessa variável se dá conforme a expressão (24):

$$Q_{i(k)} = \frac{\sum_{n=1}^{N} \left(\frac{gp_{n,i}}{1000}\right) \times t_{n,i} \times 30,5 \times a_{n,i} \times r_{n,i}}{15}$$
(24)

onde: $Q_{i(k)}$ é a quantidade de arrobas produzidas anualmente pela fazenda típica da i-ésima região no k-ésimo sistema de produção (k = cria; recria; engorda; cria-recria; recria-engorda; ciclo completo; confinamento); $gp_{n,i}$ é o ganho de peso diário dos bovinos, em gramas, em cada uma das n-ésimas categorias de animais; $t_{n,i}$ é o tempo de permanência, em meses, dos animais em cada uma das categorias; $a_{n,i}$ é a quantidade de animais em cada uma categorias; $r_{n,i}$ é o rendimento de carcaça dos animais em cada uma das categorias.

Na expressão (24), a variável $gp_{n,i}$ é dividida por mil para que a unidade da mesma seja transformada para quilogramas; o termo $t_{n,i}$ é multiplicado por 30,5 para que se considere o total de dias que os animais permanecem em cada categoria; e, por fim, a expressão é dividida por 15 para que se transforme a quantidade de quilogramas produzidas em quantidade de arrobas produzidas.

Uma vez que essa variável quantitativa calculada pelo Cepea/CNA não depende dos preços dos animais, a utilização da mesma como representativa da produção na fronteira estocástica pode amenizar as possíveis distorções no comparativo da eficiência técnica entre as regiões. Caso variáveis monetárias sejam empregadas nas estimativas, as comparações acerca do desempenho produtivo podem ser influenciadas pela disparidade dos preços dos animais entre as localidades. Portanto, para a aplicação da presente metodologia optou-se por utilizar a quantidade de arrobas produzidas como variável dependente. No Apêndice G são apresentados os resultados para o modelo estimado com o valor anual da produção como variável dependente, como especificado por Nwigwe *et al.* (2016)⁶.

Em relação às variáveis explicativas da fronteira estocástica de produção, utilizou-se aquelas já convencionais na literatura econômica, quais sejam: terra, trabalho e capital. No caso da atual pesquisa, essas variáveis são representadas, respectivamente, pela área de pastagens,

⁶ Para tanto, considerou-se que o tempo médio do ciclo de produção do boi é de três anos e a quantidade de animais foi convertida para o número de unidades animais (UA), sendo que uma unidade equivale a um animal com 450 kg de peso vivo. Após o cálculo do valor anual da produção para cada um dos painéis, de 2002 a 2017, o mesmo foi deflacionado para valores de 2017, com base no IGP-DI.

quantidade de funcionários e diaristas⁷ e valor residual das construções e benfeitorias, máquinas, implementos, equipamentos e utilitários. Além dos insumos, a fronteira também foi composta por uma variável *dummy* para identificar o sistema de produção (cria; recria; engorda; cria-recria; recria-engorda; ciclo completo; e confinamento); por uma *proxy* para a genética, nesse caso, o ganho de peso diário dos animais; e por variáveis representativas do meio físico.

O melhoramento genético, cujo objetivo é alcançar maiores níveis de produtividade e/ou maior qualidade do produto final, tem sido desenvolvido no Brasil desde o período colonial, mas de forma mais intensa a partir do século XX (MENEZES *et al.*, 2016).

Segundo Rosa *et al.* (2013), para ocorrer o melhoramento genético é necessário atentar-se a algumas características dos bovinos, como, por exemplo, adaptabilidade e taxas de crescimento. Essas características, que constituem o fenótipo dos animais, são resultantes de três fatores: genótipo (características herdadas dos progenitores); ambiente (ações dos pecuaristas quanto ao manejo e alimentação, por exemplo, e condições do meio físico); e, por fim, interação entre os dois últimos fatores (genótipo e ambiente). Dessa forma, um animal com alto potencial genético pode ter seu desempenho cerceado caso o ambiente em que esteja não o favoreça. De modo contrário, um ambiente muito favorável para o desenvolvimento do animal pode ter efeito limitado sobre o mesmo, caso o bovino não tenha potencial genético para responder ao meio que está inserido.

Ainda segundo Rosa *et al.* (2013), um dos usos do melhoramento genético tem sido a busca por animais com maior eficiência alimentar, uma vez os dispêndios com a nutrição dos mesmos têm importante influência no resultado econômico da bovinocultura. Nesse sentido, Fernandes *et al.* (2004) ponderam que o ganho de peso dos animais é um indicativo direto de produtividade, mas a conversão alimentar tem maior relevância economicamente.

De acordo com Fernandes *et al.* (2004, p. 2404), mesmo que um grupo de animais receba a mesma dieta, o desempenho dos mesmos pode ser díspar devido aos seguintes fatores:

a maior ou menor capacidade de ingestão de alimentos; a capacidade de alguns animais de transformar a dieta fornecida por meio da seleção do material ingerido; a capacidade de determinados animais em aproveitar melhor o alimento ingerido; ou o potencial genético para ganho de peso dos animais (que pode atuar como limitante ao desempenho obtido).

_

⁷ Nos painéis do Cepea/CNA há a pressuposição de que os funcionários trabalham 20 dias por mês e oito horas por dia. Dessa forma, não há o registro das horas efetivamente trabalhadas por cada funcionário. Inclusive, no início do levantamento a pressuposição era de que funcionários e diaristas trabalhavam a mesma quantidade de horas.

Dada a relação existente entre genética e ganho de peso dos animais, e a importância de ambos para a pecuária de corte, uma vez que são condicionantes do desempenho do rebanho, justifica-se o uso da segunda variável como uma *proxy* para a genética no modelo econométrico proposto nessa pesquisa.

Adicionalmente, dentre as variáveis que compõem a base de dados do Cepea/CNA, o ganho de peso é reportado para todas as categorias de animais, independentemente do sistema de produção. Na base de dados há, ainda, a especificação de índices zootécnicos, os quais diferenciam-se conforme a fase de vida dos bovinos (por exemplo, para os animais de cria há registro da taxa de natalidade, enquanto para os de engorda esse índice não se aplica). A inclusão de índices específicos no modelo econométrico demandaria a estimação de muitos parâmetros, o que poderia levar à problemas de convergência, dada a sensibilidade que a fronteira estocástica de produção apresenta. Esse fator corrobora a justificativa do uso do ganho de peso diário dos animais como *proxy* para a genética.

Por fim, uma vez que a pecuária de corte é bastante dependente das condições edafoclimáticas, torna-se necessário considerar também o efeito dessas sobre a quantidade produzida. Dessa forma, na fronteira estocástica de produção também são argumentos explicativos os graus-dia de crescimento, a sazonalidade da temperatura e o índice de aridez. A maioria dessas variáveis influencia o desenvolvimento das espécies forrageiras e, por conseguinte, a oferta das mesmas para a alimentação dos animais. A sazonalidade da temperatura, por sua vez, também impacta diretamente os bovinos por meio de alterações em sua temperatura corporal (conforto térmico).

Em um modelo alternativo, as condições edafoclimáticas podem ser representadas pelo Índice de Aptidão do Meio Físico (IAMF), que expressa o quão as condições físicas de uma determinada localidade favorecem o desenvolvimento de culturas agrícolas. Para a presente pesquisa, o índice é empregado devido à ampla dependência que a pecuária de corte tem em relação às pastagens. Dessa forma, no modelo alternativo, o IAMF passa a substituir os grausdia de crescimento, a sazonalidade da temperatura e o índice de aridez.

Diante das dimensões consideradas para o cálculo do IAMF (solo, relevo e clima), tem-se que o índice avalia as condições para o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, em termos de profundidade do solo, de drenagem e de fertilidade do mesmo. Além disso, também são abarcadas pelo IAMF as informações sobre altitude, declividade e condições climáticas das regiões analisadas, por sua ampla interferência no desenvolvimento das culturas.

Cabe ressaltar que o meio físico, por natureza, não é passível de controle por parte dos produtores, o que, a princípio, condiciona o desempenho produtivo dos mesmos. No entanto,

as técnicas de manejo adotadas podem contribuir para amenizar os efeitos de condições edafoclimáticas adversas sobre a produção.

3.3.2. Variáveis determinantes da eficiência técnica

A estimação da fronteira estocástica de produção permite, ainda, que seja mensurada a eficiência técnica média da amostra que está sendo analisada e, posteriormente, o impacto de variáveis selecionadas sobre essa eficiência estimada.

Diferentemente das condições edafoclimáticas, que condicionam a produção e são impostas aos produtores, as variáveis determinantes da eficiência técnica partem das escolhas dos próprios produtores quanto à adoção de práticas que visem melhorias produtivas. Nesse sentido, essas variáveis podem representar, por exemplo, fatores que visem amenizar os efeitos do clima e do solo, uma vez que esses últimos *per se* não podem ser modificados.

A interação entre a produção vegetal, produção animal e o meio físico é bastante complexa, e diferentes práticas produtivas podem ser adotadas visando obter os melhores resultados a partir da combinação desses três fatores. Em decorrência disso e da disponibilidade de dados, foram selecionadas algumas variáveis para serem explicativas do desempenho dos produtores. Portanto, considera-se que a eficiência técnica das fazendas típicas das regiões analisadas é determinada por fatores relacionados às pastagens (adubação, integração lavoura-pecuária e rotação), à nutrição dos animais (suplementação proteica e suplementação mineral) e ao acesso à assistência técnica.

A adubação de pastagens visa a melhoria da fertilidade do solo, uma vez que, como afirmado por Barcelos *et al.* (2011), a maioria das áreas destinadas às pastagens no Brasil apresenta acentuada deficiência mineral de fósforo (P) e, de forma menos acentuada, de outros nutrientes, como, por exemplo, o cálcio (Ca), o potássio (K) e o nitrogênio (N). Segundo Santos; Primavesi; Bernardi (2010), a adubação pode se dar em dois momentos, sendo eles a formação ou a manutenção das pastagens. No primeiro deles, objetiva-se fornecer os nutrientes necessários para o desenvolvimento da espécie forrageira e corrigir as deficiências do solo que limitam a oferta dos mesmos. Após o estabelecimento das pastagens, faz-se necessária a adubação de manutenção visando equilibrar a extração de nutrientes em virtude do pastejo dos animais.

Dada a relação existente entre os nutrientes do solo e o crescimento vegetativo, a melhora da fertilidade via adubação faz-se importante para a formação de pastagens em boas condições para a ingestão por parte dos animais. As recomendações quanto à adubação dependem das características físico-químicas do solo de cada localidade e os resultados dessa

prática estão atrelados à espécie forrageira que é cultivada e ao manejo dos animais, o qual pode ser intensivo ou extensivo (SANTOS; PRIMAVESI; BERNARDI, 2010).

A fertilidade do solo pode, ainda, ser melhorada por meio da rotação de culturas agrícolas com pastagens, método que é denominado integração lavoura-pecuária (ILP). Segundo Santos; Primavesi; Bernardi (2010), além da melhoria da fertilidade do solo, a ILP também objetiva, dentre outros fatores, a recuperação de áreas de pastagens degradadas, a produção de forragem para alimentação dos animais durante o período de entressafra (época da seca) e a produção de grãos. Ainda segundo dos autores, essa prática possibilita o aumento na capacidade de suporte das pastagens e permite que o solo seja utilizado durante quase todo o ano. Do ponto de vista econômico, a ILP reduz os custos para a implantação de pastagens e é uma forma de diversificação de renda para o produtor rural.

Os métodos de pastejo, por sua vez, se subdividem entre lotação contínua e lotação rotativa. A distinção entre ambas se dá pelo fato de nessa última a área de pastagem ser subdividida em áreas menores, denominadas piquetes. Dessa forma, o pastejo dos animais se dá de forma rotativa entre os piquetes, ou seja, há períodos alternados entre ocupação e descanso das pastagens nessas áreas. Já no pastejo contínuo, os animais não têm restrição de acesso às áreas de pastagens. O desempenho desses métodos, além de depender da espécie forrageira, depende também da taxa de lotação dos animais. Segundo Barbosa *et al.* (2015a), quando a taxa de lotação não é elevada, o pastejo contínuo pode favorecer o desempenho animal em comparação ao pastejo rotacionado. Já em áreas onde a intensificação é maior, o pastejo rotacionado possibilita um melhor desempenho animal por área.

Além disso, segundo Vieira (2001), a rotação de pastagens demanda que os piquetes sejam constantemente acompanhados e gerenciados, de modo que o erro observado em uma das áreas pode ser corrigido para as demais. Tal acompanhamento deriva em um maior controle sobre os animais. O autor também pondera que no sistema de pastejo contínuo, a lotação animal inadequada pode decorrer na degradação de pastagens, o que é mais difícil de ocorrer no pastejo rotacionado, uma vez que nesse a taxa de lotação é controlada.

Como a maioria da produção brasileira é a pasto, a nutrição dos animais é dependente da disponibilidade e da qualidade das pastagens. No período de seca, a qualidade nutricional das pastagens diminui, observando-se, inclusive, a redução no teor de proteína bruta das mesmas, fator que, por conseguinte, implica em redução no desempenho animal. A fim de evitar esse descompasso, uma das alternativas é a suplementação proteica, sendo que o resultado específico dessa técnica dependerá da fase de criação dos bovinos. Para os animais de engorda,

por exemplo, o resultado é a manutenção do peso para abate (MELO; DIPIETRO, s.d.; EMBRAPA, s.d.).

Além disso, as necessidades minerais dos animais geralmente não são supridas apenas com a ingestão das forragens, o que torna necessário a realização de suplementação mineral para o auxílio da nutrição dos bovinos e, por conseguinte, para a reparação de desequilíbrios minerais. Essa prática resulta em melhorias nos índices técnicos relacionados à reprodução e no desempenho produtivo dos animais (MELO; DIPIETRO, s.d.). Moraes (2001) analisou que o fornecimento de sal mineral deve considerar as especificidades do meio em que o animal está inserido (região, tipo de pastagem e época), de modo que a suplementação apropriada pode resultar em ganhos de produtividade.

A disseminação do uso de sal mineral, bem como da vacina e de outros insumos, se deu em meados da década de 1970 por meio da EMATER (Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural) e da CATI (Coordenadoria de Assistência Técnica Integral do Estado de São Paulo), o que exemplifica a importância que os serviços de extensão rural, indissociáveis à prestação de assistência técnica, têm para a difusão de novas tecnologias e de conhecimento técnico (POLAQUINI; SOUZA; GEBARA, 2006).

Apesar dessa importância, o papel do Estado na oferta desses serviços reduziu-se no decorrer dos anos. Com os problemas fiscais do governo brasileiro em meados dos anos 1980, os serviços de extensão rural oferecidos pelo mesmo foram sendo restringidos. Nesse processo, as cooperativas e as empresas privadas foram ampliando a sua atuação nesse segmento e, atualmente, as mesmas são responsáveis, majoritariamente, pela prestação de assistência técnica aos produtores (FIRETTI; RIBEIRO, 2001; BACHA, 2012).

As variáveis selecionadas como explicativas para a eficiência técnica podem impactar as pastagens e, por conseguinte os bovinos. O impacto direto ocorre por meio da suplementação alimentar, ou ainda por meio da assistência técnica. Espera-se que essas práticas produtivas contribuam para um melhor desempenho das regiões analisadas, ou seja, para um maior nível de eficiência técnica.

3.4. Especificação do modelo

Como destacado na seção 3.2, as informações acerca dos insumos e técnicas de manejo utilizadas na pecuária de corte são provenientes do Cepea e da CNA. Esses dados caracterizam as fazendas típicas de regiões brasileiras analisadas pelas instituições, as quais podem se dedicar a uma das etapas do ciclo de produção dos animais (cria, recria ou engorda), a duas dessas

etapas (cria-recria ou recria-engorda), ou, ainda, ao ciclo completo. As informações disponibilizadas pelo Cepea/CNA compreendem o período de 2002 a 2017, totalizando 279 observações (a descrição sobre a composição da amostra encontra-se no Apêndice B). Os dados das variáveis edafoclimáticas são provenientes da base de dados GYGA-ED, sendo essa elaborada por Van Wart *et al.* (2013) para o mapeamento das zonas climáticas homogêneas. Por fim, são do GeoLab as informações sobre a aptidão do meio físico, usadas em substituição às variáveis edafoclimáticas em um modelo alternativo.

Apesar de o Cepea/CNA realizarem o acompanhamento periódico das principais regiões produtoras, baseando-se no ciclo de produção dos animais e na dinâmica de mercado da atividade, a amostra anual obtida pelas instituições alterou-se de forma acentuada no correr dos anos (há regiões que só foram acompanhadas em um ano do período entre 2002 e 2017, por exemplo). Sendo assim, as informações disponibilizadas são fortemente desbalanceadas e a quantidade das mesmas é limitada.

Segundo Hadley (2006) quando os dados em painéis (repetidas observações de cada produtor) são desbalanceados, as estimativas são feitas com base em um conjunto diferente de produtores a cada ano. Esse fato impõe ressalvas no caso de amostras pequenas, uma vez que os valores estimados para a eficiência técnica podem ser influenciados por *outliers*. A fim de amenizar este problema, opta-se por utilizar as informações do Cepea/CNA de forma empilhada, não distinguindo, portanto, as regiões amostradas de acordo com os anos. Logo, a metodologia adotada é aquela aplicada aos dados do tipo *cross-section*, sendo essa uma limitação do trabalho, uma vez que a metodologia de dados em painel proporciona resultados mais robustos (KUMBHAKAR; LOVELL, 2000).

Ao utilizar dados em painel, torna-se possível captar o efeito de variáveis não mensuradas sobre as unidades de observação, sendo essa uma das principais vantagens frente aos dados *cross-section*. Para as atividades rurais, o gerenciamento feito pelo produtor, bem como as condições de clima e de solo, são variáveis muitas vezes não mensuradas, que tendem a contribuir para a heterogeneidade entre as fazendas. Nesta pesquisa, apesar de os dados serem do tipo *cross-section*, os efeitos das condições edafoclimáticas são controlados no modelo ao se empregar variáveis específicas para representar as mesmas.

Conforme apresentado na seção 3.1, a fronteira estocástica de produção pode ser representada conforme a expressão (25):

$$y_i = f(\mathbf{x}_i, \boldsymbol{\beta}) e^{v_i - u_i} \tag{25}$$

onde: y_i é a quantidade produzida pelo *i*-ésimo produtor; $f(x_i, \beta)$ é a fronteira, a qual considera a função de produção comum a todos os produtores; x_i é o vetor dos insumos utilizados pelo *i*-ésimo produtor; β é o vetor dos coeficientes a serem estimados; v_i é o choque aleatório que atinge o *i*-ésimo produtor e tem distribuição normal $(v_i \sim \text{iid } N(0; \sigma_v^2))$; e u_i é a ineficiência técnica do *i*-ésimo produtor.

Para a análise das regiões brasileiras produtoras de gado de corte, considerou-se que a produção, representada pela quantidade de arrobas produzidas (Q_i) , é influenciada pelos seguintes elementos: insumos de produção $(T_i$ – terra, L_i – trabalho e K_i – capital); GP_i – ganho de peso diário dos animais; variáveis edafoclimáticas $(GDD_i$ – graus-dia de crescimento, IA_i – índice de aridez e ST_i – sazonalidade da temperatura) ou condições do meio físico $(Ap_i$ – índice de aptidão do meio físico); e sistema de produção dos animais $(DSIS_k, k = \text{cria}; \text{recria}; \text{engorda}; \text{cria-recria}; \text{recria-engorda}; \text{ciclo completo}; \text{confinamento}).$

As variáveis edafoclimáticas e a aptidão do meio físico não são empregadas de forma simultânea na estimação. Por isso, foram estimados dois modelos semelhantes, os quais diferenciam-se apenas em relação ao modo que as condições do meio físico são representadas: em um deles utiliza-se os graus-dia de crescimento, sazonalidade da temperatura e índice de aridez como argumentos explicativos; enquanto no outro, utiliza-se a aptidão do meio físico.

A descrição completa das variáveis encontra-se na Tabela 5:

Tabela 5. Variáveis que compõem a fronteira estocástica de produção.

Sigla	Variável	Descrição	Fonte
Q_i	Quantidade produzida	Refere-se à quantidade de arrobas produzidas na fazenda típica de gado de corte da <i>i</i> -ésima região.	Cepea/CNA
L_i	Trabalho	Refere-se ao número de trabalhadores (funcionários ou diaristas) alocados na fazenda típica da <i>i</i> -ésima região. Exclui-se desse cômputo a mão-de-obra familiar empregada nos estabelecimentos.	Cepea/CNA
T_i	Terra	Refere-se à área de pastagens, em hectares, na fazenda típica da <i>i</i> -ésima região.	Cepea/CNA
K_i	Capital	Refere-se ao valor residual, em reais, das construções e benfeitorias, máquinas, implementos, equipamentos e utilitários na fazenda típica da <i>i</i> -ésima região. Os montantes foram deflacionados para os valores reais de 2017, com base no IGP-DI.	Cepea/CNA; FGV
GP_i	Ganho de peso diário dos animais	Variável <i>proxy</i> para a genética dos bovinos. Refere-se ao ganho de peso médio que os animais da fazenda típica da <i>i</i> -ésima região têm diariamente, em gramas.	Cepea/CNA
GDD_i	Graus-dia de crescimento	Variável categórica que relaciona o crescimento vegetativo com a temperatura. Específica para a <i>i</i> -ésima região.	Van Wart <i>et al.</i> (2013)
IA_i	Índice de aridez anual	Variável categórica que relaciona a precipitação e o potencial de evapotranspiração. Específica para a <i>i</i> -ésima região.	Van Wart <i>et al.</i> (2013)
ST_i	Sazonalidade da temperatura	Variável categórica que expressa o desvio- padrão da temperatura observada em relação à temperatura média. Específica para a <i>i</i> -ésima região.	Van Wart <i>et al.</i> (2013)
Ap_i	Índice de aptidão do meio físico	Índice que varia de 0 a 1, das condições menos favoráveis às mais favoráveis para o cultivo, conforme o IAMF. Específico para a <i>i</i> -ésima região.	GeoLab
$DSIS_{k,i}$	Sistema de produção	Variável <i>dummy</i> que indica qual é o k -ésimo sistema de produção predominante na i -ésima região (1 = cria; 2 = ciclo completo; 3 = confinamento; 4 = cria-recria; 5 = engorda; 6 = recria; 7 = recria-engorda).	Cepea/CNA

Fonte: Elaborada pela autora.

A forma funcional da fronteira estocástica de produção pode ser *Cobb-Douglas* ou translog, as quais são descritas, respectivamente, pelas expressões (26) e (27), quando as variáveis explicativas que representam as condições do meio físico são os graus-dia de crescimento, índice de aridez e sazonalidade da temperatura (Modelo I):

$$\ln Q_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^3 \beta_j \ln X_j + \sum_{n=1}^3 \lambda_n W_n + \sum_{k=1}^7 \alpha_k S_k + \rho_i G P_i + v_i - u_i$$
 (26)

$$\ln Q_{i} = \beta_{0} + \sum_{j=1}^{3} \beta_{j} \ln X_{j} + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{3} \sum_{l=1}^{3} \beta_{jl} \ln X_{j} \ln X_{l} + \sum_{n=1}^{3} \lambda_{n} W_{n}$$

$$+ \sum_{k=1}^{7} \alpha_{k} S_{k} + \rho_{i} G P_{i} + v_{i} - u_{i}$$
(27)

onde: X_j corresponde aos insumos, quais sejam: L_i , T_i e K_i ; W_n corresponde às variáveis edafoclimáticas, quais sejam: GDD_i , IA_i e ST_i ; S_k corresponde à variável dummy que identifica o k-ésimo sistema de produção $(DSIS_{k,i})$; GP_i é o ganho de peso diário dos animais; v_i captura o choque aleatório que afeta a fazenda típica da i-ésima região; e u_i captura a ineficiência técnica da fazenda típica da i-ésima região.

Quando as condições de solo e clima passam a ser representadas pelo índice de aptidão do meio físico (Ap_i) (Modelo II), a função Cobb-Douglas e a translog se tornam as expressões (28) e (29), respectivamente:

$$\ln Q_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^3 \beta_j \ln X_j + \gamma_i A p_i + \sum_{k=1}^7 \alpha_k S_k + \rho_i G P_i + \nu_i - u_i$$
 (28)

$$\ln Q_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^3 \beta_j \ln X_j + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^3 \sum_{l=1}^3 \beta_{jl} \ln X_j \ln X_l + \gamma_i A p_i + \sum_{k=1}^7 \alpha_k S_k + \rho_i G P_i + \nu_i - u_i$$
(29)

Com base nos testes de Wald e de Razão de Verossimilhança foi escolhida a forma funcional (*Cobb-Douglas* ou translog) que apresentou o melhor ajuste para o modelo e que, portanto, foi utilizada para o cômputo da eficiência técnica.

Como mencionado na seção 3.1, v_i tem distribuição normal $(v_i \sim \text{iid } N(0; \sigma_v^2))$ e admitiu-se, por parcimônia, que u_i tem distribuição *half-normal* $(u_i \sim \text{iid } N^+(0; \sigma_u^2))$. Além disso, v_i e u_i são distribuídos independentemente um do outro e dos regressores.

Cabe ressaltar que na função Cobb-Douglas, expressões (26) e (28), as variáveis L_i , T_i e K_i estão no formato de logaritmo natural para que os coeficientes das mesmas possam ser

interpretados como elasticidades. Na translog, expressões (27) e (29), os valores de L_i , T_i e K_i correspondem ao valor da observação dividido pela média geométrica da série correspondente. Segundo Coelli *et al.* (2003), ao fazer esse ajuste e tirar o logaritmo dos valores resultantes, os coeficientes associados às variáveis que foram transformadas podem ser interpretados diretamente como elasticidades⁸.

Nas expressões de (26) a (29), o termo que representa a ineficiência técnica (u_i) pode ser reescrito como uma combinação linear de variáveis exógenas, as quais são consideradas, portanto, como determinantes do desempenho produtivo. Para a presente pesquisa, considerase que tais variáveis são: $Adub_i$ – adubação de pastagens; ILP_i – integração lavoura-pecuária; $Rota_i$ – número de piquetes, usado como proxy para a rotação de pastagens; $SupMin_i$ – suplementação mineral; $SupProtei_i$ – suplementação proteica; e $ATec_i$ – assistência técnica. A descrição dessas variáveis encontra-se na Tabela 6:

⁸ Maiores detalhes dessa transformação podem ser encontrados em Coelli *et al.* (2003, p. 33).

Tabela 6. Variáveis determinantes da eficiência técnica.

Sigla	Variável	Descrição	Fonte
Adub _i	Adubação de pastagens	Variável <i>dummy</i> que sinaliza se a fazenda típica da <i>i</i> -ésima região faz adubação de pastagens, seja essa para formação ou para manutenção da espécie forrageira (1 = faz adubação; 0 = não faz adubação).	Cepea/CNA
ILP_i	Integração lavoura-pecuária	Variável <i>dummy</i> que sinaliza se a fazenda típica da <i>i</i> -ésima região faz integração lavoura-pecuária (ILP) (1 = faz ILP; 0 = não faz ILP).	Cepea/CNA
$Rota_i$	Número de piquetes	Refere-se ao número de piquetes da fazenda típica da <i>i</i> -ésima região, o qual é uma <i>proxy</i> para a rotação de pastagens.	Cepea/CNA
$SupMin_i$	Suplementação mineral	Refere-se à quantidade média de sal mineral fornecida diariamente aos animais, em quilogramas/UA, na fazenda típica da <i>i</i> -ésima região.	Cepea/CNA
$SupProtei_i$	Suplementação proteica	Refere-se à quantidade média de sal proteinado fornecido diariamente aos animais, em quilogramas/UA, na fazenda típica da <i>i</i> -ésima região.	Cepea/CNA
ATec _i	Assistência técnica	Variável <i>dummy</i> que sinaliza se a fazenda típica da <i>i</i> -ésima região recebeu assistência técnica no ano-base do levantamento dos dados.	Cepea/CNA

Fonte: Elaborada pela autora.

Considerando as variáveis apresentadas na Tabela 6, o termo de ineficiência técnica (u_i) pode ser representado conforme a expressão (30):

$$u_{i} = \delta_{1}Adub_{i} + \delta_{2}ILP_{i} + \delta_{3}Rota_{i} + \delta_{4}SupMin_{i} + \delta_{5}SupProtei_{i} + \delta_{6}ATec_{i} + \varepsilon_{i}$$

$$(30)$$

onde: ε_i reúne os fatores não considerados e/ou não-observáveis que impactam o desempenho.

Ao substituir a expressão (30) no conjunto de expressões de (26) a (29) e maximizar as expressões resultantes, obtém-se de forma simultânea as estimativas dos coeficientes de máxima verossimilhança para a fronteira de produção e para os determinantes da eficiência técnica, como proposto por Kumbhakar; Ghosh; McGuckin (1991). Cabe ressaltar que os coeficientes das variáveis explicativas da ineficiência técnica não são interpretáveis diretamente, requerendo o cálculo dos efeitos marginais das mesmas, como reportado na seção 3.1.

Por fim, é válido destacar que para estimar o modelo de MQO, cujos resultados são usados nos testes iniciais para a averiguação da existência de ineficiência técnica na amostra, foi aplicado o método de *bootstrap* (Apêndice C), o qual objetiva garantir a robustez dos desvios-padrão dos parâmetros estimados (CAMERON; TRIVEDI, 2009).

3.4.1. Modelos com a inclusão do fator tempo

Nos modelos especificados na seção anterior, as informações coletadas em diferentes períodos foram empilhadas, demandando que fosse aplicada a metodologia para dados *cross-section*. De acordo com Kumbhakar; Wang; Horncastle (2015), diferentemente da metodologia para dados em painel, nesse tipo de estimação não é possível mensurar qual é a magnitude da ineficiência técnica persistente, e daquela que varia conforme o passar dos anos. No entanto, na estimação com dados *pooled* pode-se incluir uma variável de tendência temporal ou, de modo alternativo, adicionar *dummies* que representem os períodos de observação e, assim, avaliar como a eficiência técnica alterou-se ao longo do tempo.

Dessa forma, considerando os Modelos I e II reportados na seção anterior, optou-se por adicionar uma variável de tendência temporal (2002 = 1; 2003 = 2; ...; 2017 = 15) para captar o efeito do tempo sobre o desempenho dos produtores. Caso *dummies* para cada ano fossem adicionadas, um número maior de coeficientes precisaria ser estimado, o que poderia implicar em falhas na convergência durante a estimativa dos modelos.

Com a inclusão do termo representativo da tendência $(e^{\theta t})$, a fronteira estocástica de produção, expressão (1), passa a ser: $y_i = f(x_i, \beta)e^{v_i - u_i + \theta t}$. Na forma *Cobb-Douglas*, essa alteração corresponde à adição do termo θt junto àqueles que já compunham a função. Já para a translog, seguindo a especificação de Coelli *et al.* (2003), é necessário adicionar o seguinte conjunto de termos: $\sum_{j=1}^{3} \beta_{jt} \ln X_j t + \theta_t t + \frac{1}{2} \theta_{tt} t^2$.

Desse modo, o Modelo I, que anteriormente era definido pelas expressões (26) e (27), passa a ser especificado como nas expressões (31) e (32):

$$\ln Q_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^3 \beta_j \ln X_j + \sum_{n=1}^3 \lambda_n W_n + \sum_{k=1}^7 \alpha_k S_k + \rho_i G P_i + \theta t + \nu_i$$

$$- u_i$$
(31)

$$\ln Q_{i} = \beta_{0} + \sum_{j=1}^{3} \beta_{j} \ln X_{j} + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{3} \sum_{l=1}^{3} \beta_{jl} \ln X_{j} \ln X_{l} + \sum_{n=1}^{3} \lambda_{n} W_{n}$$

$$+ \sum_{k=1}^{7} \alpha_{k} S_{k} + \sum_{j=1}^{3} \beta_{jt} \ln X_{j} t + \theta_{t} t + \frac{1}{2} \theta_{tt} t^{2} + \rho_{i} G P_{i} + v_{i}$$

$$- u_{i}$$
(32)

Já o Modelo II, que era representado pelas expressões (28) e (29), passa a basear-se nas expressões (33) e (34):

$$\ln Q_{i} = \beta_{0} + \sum_{j=1}^{3} \beta_{j} \ln X_{j} + \gamma_{i} A p_{i} + \sum_{k=1}^{7} \alpha_{k} S_{k} + \rho_{i} G P_{i} + \theta t + v_{i} - u_{i}$$

$$\ln Q_{i} = \beta_{0} + \sum_{j=1}^{3} \beta_{j} \ln X_{j} + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{3} \sum_{l=1}^{3} \beta_{jl} \ln X_{j} \ln X_{l} + \gamma_{i} A p_{i} + \sum_{k=1}^{7} \alpha_{k} S_{k}$$

$$+ \sum_{j=1}^{3} \beta_{jt} \ln X_{j} t + \theta_{t} t + \frac{1}{2} \theta_{tt} t^{2} + \rho_{i} G P_{i} + v_{i} - u_{i}$$

$$(34)$$

A fim de avaliar se a inclusão da tendência nos modelos produz resultados mais robustos do que aqueles especificados na seção 3.4 realizou-se o Teste de Razão de Verossimilhança, que se baseia na comparação da estatística de verossimilhança do modelo restrito, que tem menos parâmetros, com aquela do modelo irrestrito, que tem mais parâmetros. O teste tem distribuição *qui-quadrado*, com os graus de liberdade equivalentes à diferença entre a quantidade de parâmetros do modelo irrestrito e do restrito.

Nesta dissertação, o modelo restrito é o que não tem tendência temporal, enquanto o irrestrito é o que considera tal variável. Dessa forma, o primeiro deles na forma *Cobb-Douglas* tem um parâmetro a menos do que o segundo e, portanto, a distribuição *qui-quadrado* tem um grau de liberdade. Para a translog, são cinco parâmetros que o modelo restrito tem a menos do que o irrestrito, fazendo com que a distribuição *qui-quadrado* tenha cinco graus de liberdade.

A hipótese nula do Teste de Razão de Verossimilhança é de que os parâmetros que diferem os dois modelos são estatisticamente nulos. Sendo assim, se o teste indica a não-rejeição da hipótese nula, tem-se que a inclusão de tais parâmetros não torna o ajuste do modelo irrestrito significativamente melhor do que o do restrito.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção inicia-se com a apresentação da estatística descritiva das variáveis utilizadas na estimação do modelo empírico. Posteriormente, são apresentados os testes estatísticos realizados para verificar se há ineficiência técnica na amostra. Na sequência, é apresentada a estimação do modelo empírico para a obtenção, de forma simultânea, dos coeficientes da fronteira estocástica de produção e dos determinantes da ineficiência técnica. Essa estimação é feita tanto para forma funcional *Cobb-Douglas* quanto para a translog, sendo que a escolha entre ambas se dá com base no Teste de Wald e no Teste de Razão de Verossimilhança. Após estimado o modelo e definida a forma funcional, aplicou-se o Teste de Razão de Verossimilhança para verificar, novamente, a existência de ineficiência técnica. Na sequência, tem-se a exposição e discussão dos resultados do modelo com base nos coeficientes da forma funcional indicada pelos testes, iniciando com as estimativas do modelo que foi composto pelas variáveis edafoclimáticas (Modelo I), e posteriormente, daquele que foi estimado com a aptidão do meio físico (Modelo II). Por fim, são reportados novamente os Modelos I e II, com o diferencial de que, nestes novos resultados, há a inclusão de uma variável de tendência temporal.

Cabe ressaltar que, conforme definido na seção 3.4, os sistemas de produção da pecuária de corte (cria, recria, engorda, cria-recria, recria-engorda, ciclo completo e confinamento) são identificados por variáveis *dummy* na estimação do modelo. Dessa forma, para evitar a multicolinearidade entre essas variáveis, optou-se por excluir a *dummy* representativa da recria.

As estimativas reportadas a seguir foram realizadas no software estatístico Stata (versão 14), utilizando, para tanto, os comandos disponíveis no Capítulo 3 de Kumbhakar; Wang; Horncastle (2015).

4.1. Análise dos dados

A estatística descritiva das variáveis consideradas no modelo reflete a heterogeneidade existente na pecuária de corte brasileira, a qual decorre, principalmente, do sistema de produção dos animais e do acesso a recursos por parte dos pecuaristas. As Tabelas 7 e 9, reportadas na sequência, apresentam a descrição para todas as observações da amostra, enquanto que no

Apêndice D as mesmas são apresentadas de forma desagregada, conforme os sistemas de produção.

Tabela 7. Estatística descritiva das variáveis que compõem a fronteira estocástica de produção.

	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão
Terra (hectares de pastagem)	987,07	9,70	15.993,00	1.824,36
Capital (R\$)	235.146,50	28.784,24	1.709.438,00	186.064,80
Trabalho (número de funcionários e diaristas)	3,34	1,00	30,00	2,64
Ganho de peso diário (gramas)	355,71	159,40	1.016,39	113,48
Graus-dia de crescimento (categórica)	7,65	6,00	9,00	0,99
Índice de aridez anual (categórica)	6,13	2,00	9,00	1,33
Sazonalidade da temperatura (categórica)	1,03	1,00	2,00	0,16
Aptidão do meio físico (índice)	0,49	0,32	0,70	0,07
N = 279				

Fonte: Elaborada pela autora.

Nota: N indica o número de observações.

Os valores mínimo e máximo, associados aos insumos, sinalizam que a utilização dos mesmos pelos produtores é bastante variada, o que é corroborado ao se observar a distribuição de frequência dos fatores de produção (Figura 12).

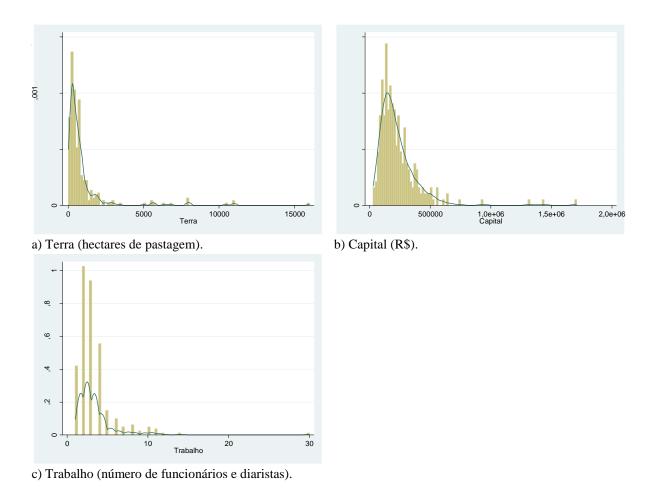


Figura 12. Distribuição de frequências dos insumos considerados na fronteira estocástica de produção. **Fonte:** Elaborada pela autora.

Dentre os insumos incluídos na estimação, a terra é o que apresenta a maior diferença entre o valor mínimo e o máximo. Com base na amostra analisada, a fazenda típica com maior área de pastagens tem cerca de 16 mil hectares, quantidade que supera em 1.649 vezes a propriedade que tem a menor extensão de pastagens. Nesse mesmo comparativo, a diferença para o capital é de 59 vezes, e para o trabalho, de 30 vezes.

A heterogeneidade quanto às extensões das terras é também verificada ao se fazer uma comparação regional da área total das fazendas, e não apenas daquela de pastagens. De acordo com a amostra dessa pesquisa, no Sudeste (São Paulo e Minas Gerais) as fazendas típicas têm área média de 458,69 hectares; no Sul (Paraná e Rio Grande do Sul), de 452,29; no Norte (Rondônia, Pará, Tocantins e Acre), de 2.010,29; no Nordeste (Bahia e Maranhão), de 704,29; e, por fim, no Centro-Oeste (Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul), de 2.000,38. Dessa forma, pode-se inferir que uma fazenda extensa no Sudeste, Sul ou Nordeste, não seria considerada como tal caso estivesse localizada no Norte ou no Centro-Oeste, uma vez que a área média das propriedades nessas duas regiões é significativamente maior.

É válido ponderar que, no caso da pecuária de corte, nem sempre a extensão das pastagens tem relação direta com a quantidade produzida, dado que existem formas de produção alternativas à extensiva. Os sistemas intensivos/semi-intensivos, que se dão via confinamentos/semi-confinamentos, resultam em uma maior produção animal por área, possibilitando, portanto, a redução no uso da mesma.

A Figura 13 relaciona a quantidade de arrobas produzidas com a área de pastagens das fazendas típicas analisadas nessa pesquisa, evidenciando que o desempenho obtido por área não é uniforme entre os produtores, e também não é linear. Nesse contexto, destaca-se a fazenda típica de confinamento em Goiânia (GO), que tem apenas 9,7 hectares de pastagens — a menor área da amostra —, mas tem a terceira maior produção de bovinos, em termos de quantidade de arrobas produzidas.

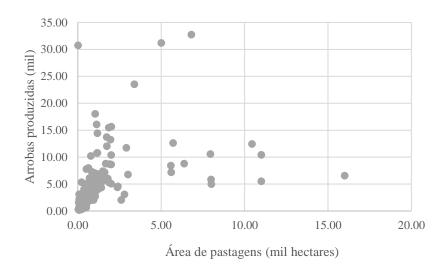


Figura 13. Relação entre a produção (quantidade de arrobas produzidas) e a área de pastagens. **Fonte:** Elaborada pela autora a partir de Cepea/CNA.

A heterogeneidade de desempenho em relação ao uso dos fatores de produção não se restringe às pastagens. Por meio das Figuras 14 e 15, evidencia-se que mesmo quando os produtores são dotados da mesma quantidade de trabalho e capital, respectivamente, a produção pode ser bastante díspar, sinalizando que há diferenças de eficiência ao utilizar os recursos disponíveis.

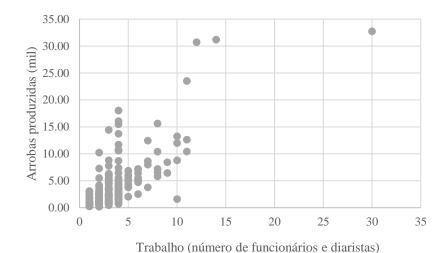


Figura 14. Relação entre a produção (quantidade de arrobas produzidas) e o trabalho (número de funcionários e diaristas).

Fonte: Elaborada pela autora a partir de Cepea/CNA.

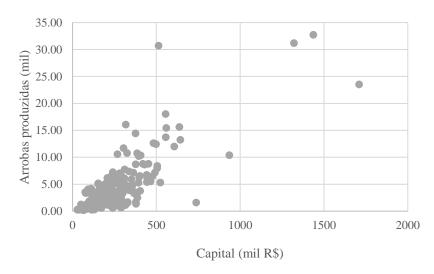


Figura 15. Relação entre a produção (quantidade de arrobas produzidas) e o capital (mil R\$). **Fonte:** Elaborada pela autora a partir de Cepea/CNA.

É válido ponderar que a quantidade produzida é resultante da combinação dos três fatores de produção (terra, trabalho e capital), das formas de manejo, genética dos bovinos, condições do meio físico e de outros fatores. A exposição das Figuras 13 a 15, apesar de considerar os insumos de forma isolada, apresentam uma perspectiva quanto a relação existente entre a produção animal e o uso dos mesmos.

Ainda considerando as variáveis que compõem a fronteira estocástica, a genética dos animais, representada pelo ganho de peso diário dos mesmos, também apresenta uma grande amplitude na amostra em análise. De acordo com a Tabela 7, o valor máximo do ganho de peso diário é 6 vezes superior ao mínimo (a distribuição de frequências dessa variável está retratada

na Figura 16). Dada a relação existente entre o ganho de peso e o desenvolvimento dos bovinos, as diferenças existentes quanto à primeira variável podem contribuir para níveis de eficiência diferentes entre os pecuaristas.

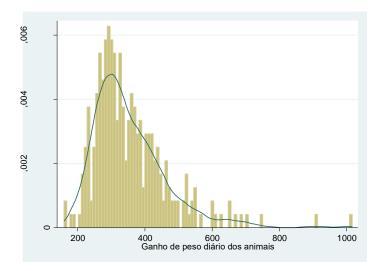


Figura 16. Distribuição de frequências do ganho de peso diário dos animais. **Fonte:** Elaborada pela autora.

Em relação às variáveis edafoclimáticas, a distribuição de frequência das mesmas (Tabela 8) permite inferir que as fazendas típicas estão em localidades que se diferenciam quanto ao meio físico e, portanto, o impacto desse sobre a produção vegetal e animal também se diferencia conforme a fazenda. Com base nas classes do GYGA-ED (Tabelas de 2 a 4) e na amostra em análise, tem-se que os graus-dia de crescimento estão distribuídos em quatro classes; o índice de aridez em oito; e a sazonalidade da temperatura em duas, com grande concentração em apenas uma delas (Tabela 8).

Tabela 8. Distribuição de frequências das variáveis edafoclimáticas.

Variável	Valor no GYGA-ED	Classe	Número de fazendas típicas	% da amostra
	5950 - 7111	6000	38	13,6%
Graus-dia de	7112 - 8564	7000	90	32,3%
crescimento	8565 - 9311	8000	84	30,1%
	9312 - 9850	9000	67	24,0%
	3894 - 4791	200	3	1,1%
	4792 - 5689	300	13	4,7%
	5690 - 6588	400	10	3,6%
Índice de aridez	6589 - 7785	500	46	16,5%
anual	7786 - 8685	600	99	35,5%
	8686 - 10181	700	63	22,6%
	10182 - 12876	800	44	15,8%
	≥ 12877	900	1	0,4%
Sazonalidade	0 - 3832	1	272	97,5%
da temperatura	3833 - 8355	2	7	2,5%

Fonte: Elaborada pela autora a partir de Van Wart et al., 2013.

Por fim, o índice de aptidão do meio físico – utilizado em substituição às variáveis edafoclimáticas – indica que as condições de solo e clima se diferem entre as fazendas típicas que compõem a amostra. Das 279 fazendas típicas, cerca de metade delas tem aptidão agrícola superior a 50%. O valor mínimo do índice, 32,04%, diz respeito à localidade de Governador Valadares (MG); enquanto o máximo, 70,2%, refere-se à cidade de Dourados (MS).

Além das condições do meio físico, a produção vegetal (pastagens) e o desenvolvimento animal estão atrelados às práticas de manejo que, majoritariamente, são adotadas pelos pecuaristas com vistas à obtenção de melhorias no resultado produtivo e econômico da atividade.

A Tabela 9 apresenta a estatística descritiva das práticas de manejo que são consideradas como variáveis explicativas para a ineficiência técnica nessa pesquisa. A partir desse panorama, tem-se subsídios para posterior análise dos efeitos dessas variáveis sobre o desempenho da pecuária de corte brasileira.

Tabela 9. Estatística descritiva das variáveis que explicam a ineficiência técnica.

	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão
Suplementação mineral (kg/UA/dia)	0,12	0,00	0,72	0,09
Suplementação proteica (kg/UA/dia)	0,22	0,00	1,71	0,32
Número de piquetes	16,13	1,00	150,00	16,78
Adubação (dummy)	0,45	0,00	1,00	0,50
Integração lavoura-pecuária (dummy)	0,05	0,00	1,00	0,21
Assistência técnica (dummy)	0,22	0,00	1,00	0,42
N = 279				

Nota: N indica o número de observações.

Dentre as 279 fazendas típicas analisadas, 15 delas não fornecem suplementação mineral aos animais, correspondendo a 5,38% da amostra. Quando se considera a suplementação proteica, tem-se que em 140 fazendas não há essa prática, o que equivale a 50,18% da amostra. A rotação de pastagens, por sua vez, parece ser mais disseminada entre os produtores; somente em três fazendas típicas (1,08% da amostra) há apenas um piquete, indicando não haver alternância entre pastejo e descanso na área de pastagens. Já a adubação de pastagens não é prática predominante, dado que em 154 fazendas (55,20%) a mesma não é realizada. Do mesmo modo, a integração lavoura-pecuária também não é amplamente difundida entre as fazendas típicas, uma vez que 263 delas (94,3%) não desenvolvem a pecuária e a agricultura concomitantemente.

Na Figura 17 está retratada a distribuição de frequências para cada uma das variáveis incluídas no modelo empírico como determinantes da ineficiência técnica.

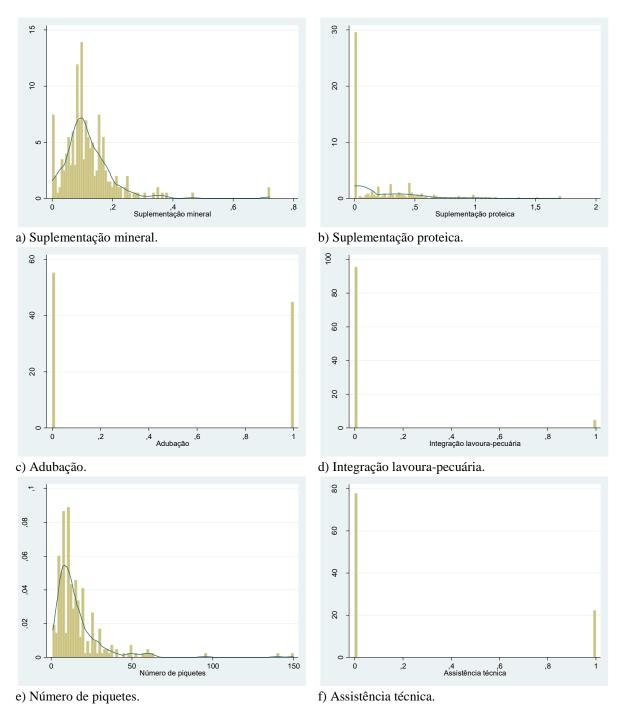


Figura 17. Distribuição de frequências das variáveis exógenas que determinam a ineficiência técnica. **Fonte:** Elaborada pela autora.

4.2. Modelo I

Nessa seção são apresentados os resultados para a fronteira estocástica de produção que considerou as variáveis edafoclimáticas (graus-dia de crescimento, sazonalidade da temperatura e índice de aridez) como representativas para as condições do meio físico das fazendas típicas analisadas. Cabe ressaltar que os resultados que compõem essa seção não

incluem a variável de tendência temporal, uma vez que, conforme está apresentado na seção 4.4, os modelos que incluem a mesma não apresentaram ajuste superior ao daqueles que não o fazem.

4.2.1. Testes para verificar a presença de ineficiência técnica

Conforme especificado em 3.1, deve-se, primeiramente, verificar se há ineficiência técnica na amostra que está sendo analisada, de modo que a distribuição assimétrica negativa dos resíduos é um indicativo para tal existência. Dessa forma, inicialmente utilizou-se o método de bootstrap⁹ para estimar o modelo de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), na forma Cobb-Douglas e na translog, considerando apenas as variáveis explicativas para a função de produção (apresentadas na Tabela 5) e a quantidade de arrobas produzidas como variável dependente. Os resultados dessa estimação estão reportados na Tabela 10.

⁹ Para a aplicação do método de *bootstrap* utilizou-se a especificação de Cameron; Trivedi (2009) de 999 replicações, o que garante o nível de significância de 5% para o intervalo de confiança e para os testes de hipóteses. No entanto, apenas em 947 replicações obteve-se estimativas para todos os parâmetros do modelo.

Tabela 10. Resultados do modelo de MQO.

(continua) Variável Cobb-Douglas **Translog** 0,447*** ln terra (T_i) 0,552*** (0,076)(0,039)ln capital (K_i) 0,369*** 0,340*** (0,069)(0,062)ln trabalho (L_i) 0,268*** 0,203*** (0,094)(0,071)0,044*** 0,019*** Índice de aridez anual (IA_i) (0,016)(0,007)Sazonalidade da temperatura (ST_i) -0,075 -0,084** (0,101)(0.039)0,121*** $GDD(GDD_i)$ 0,040*** (0,033)(0,011)0,002*** 0,0008*** Ganho de peso diário dos animais (GP_i) (0,0004)(0,0002)Cria ($DSIS_{1,i}$) -0,457*** -0,2098*** (0,048)(0,129)Ciclo completo ($DSIS_{2,i}$) -0,295** -0,140*** (0,052)(0,136)Confinamento (DSIS_{3,i}) 1,171 0,226 (0,981)(0,584)Cria-recria (DSIS_{4,i}) -0,333** -0,179*** (0,162)(0,066)Engorda ($DSIS_{5,i}$) -0,410* -0,163* (0,234)(0,090)Recria-engorda (DSIS_{7.i}) -0,131-0,068 (0,115)(0,042)ln terra x ln terra ($T_i \times T_i$) 0,051 (0,211)In capital x In capital $(K_i \times K_i)$ 0,071 (0,417)ln trabalho x ln trabalho ($L_i \times L_i$) 1,013 (0,758)In terra x In capital ($T_i \times K_i$) -0,069 (0,209)ln terra x ln trabalho ($T_i \times L_i$) -0,579 (0,360)ln trabalho x ln capital ($L_i \times K_i$) 0,035 (0,502)-0,487*** Constante (0,143)279 Total de observações 279 947 947

Replicações

Tabela 10. Resultados do modelo de MQO.

(conclusão)

		(conclusão)
Variável	Cobb-Douglas	Translog
Wald chi2	2283,22	2914,28
Prob > chi2	0,000	0,0000
R ²	0,8750	0,8978
R ² ajustado	0,8689	0,8903
Root MSE	0,3534	0,1404

Fonte: Elaborada pela autora.

Notas: Desvio-padrão bootstrap dos coeficientes entre parênteses;

Nas duas formas funcionais, o teste de Schmidt; Lin (1984 *apud* KUMBHAKAR; WANG; HORNCASTLE, 2015) indicou que os resíduos da regressão de MQO têm assimetria negativa (-0,02 para a *Cobb-Douglas* e -0,52 para a translog), o que contradiz a pressuposição de erro normalmente distribuído no método de MQO, e sinaliza a existência de ineficiência técnica. A significância estatística desses resultados foi verificada por meio do teste proposto por D'Agostino; Belanger; D'Agostino Júnior (1990 *apud* KUMBHAKAR; WANG; HORNCASTLE, 2015) e os resultados estão reportados na Tabela 11.

Tabela 11. Resultado do teste para verificar a normalidade dos resíduos do MQO.

Forma funcional	Valor-p (assimetria)	Valor-p (curtose)	Valor-p (normalidade)
Cobb-Douglas	0,9079	0,0001	0,0004
Translog	0,0006	0,0004	0,0000

Fonte: Elaborada pela autora.

Nota: Para a assimetria, a hipótese nula é de que não há assimetria nos resíduos; e para a normalidade, a hipótese nula é de que os resíduos são normalmente distribuídos.

Conforme a Tabela 11, para a função *Cobb-Douglas*, não se rejeita a hipótese nula de que não há assimetria negativa na distribuição dos resíduos. Porém, rejeita-se a hipótese nula de que os mesmos têm distribuição normal. Já para a forma translog, rejeita-se tanto a hipótese nula de que os resíduos são simétricos, quanto que os mesmos tenham distribuição normal.

O teste proposto por Coelli (1995 *apud* KUMBHAKAR; WANG; HORNCASTLE, 2015) teve resultado de -0,113 para a função *Cobb-Douglas* e de -3,560 para a translog. Como esse teste tem distribuição normal, seu valor crítico ao nível de 5% de significância é 1,96. Portanto, não se rejeita a hipótese nula de que os resíduos não têm assimetria negativa para a função *Cobb-Douglas*, mas rejeita-se para a translog.

^{***} valor-p < 0.01; ** valor-p < 0.05; * valor-p < 0.1.

Como ponderado por Kumbhakar; Wang; Horncastle (2015), esses testes iniciais não levam em consideração a distribuição admitida para o termo de ineficiência. Portanto, o Teste de Razão de Verossimilhança é mais preciso para identificar a distribuição unilateral dos resíduos e, consequentemente, a existência de ineficiência técnica. O resultado desse teste é apresentado após a estimação da fronteira estocástica de produção na seção seguinte.

4.2.2. Fronteira estocástica de produção e determinantes da ineficiência técnica

A estimação da fronteira estocástica de produção e dos determinantes da ineficiência técnica seguiu as especificações apresentadas nas seções 3.1 e 3.4.

Os resultados da estimação do modelo empírico, tanto na forma funcional *Cobb-Douglas* (expressão 26) quanto na translog (expressão 27) estão reportados na Tabela 12. Ressalta-se que os coeficientes da fronteira estocástica de produção e dos determinantes da ineficiência técnica foram obtidos simultaneamente.

Tabela 12. Resultados do modelo empírico.

(continua)

		(continua)
Variável	Cobb-Douglas	Translog
Fronteira		
$ln terra (T_i)$	0,422***	0,556***
	(0,039)	(0,034)
In capital (K_i)	0,332***	0,270***
	(0,061)	(0,054)
ln trabalho (L_i)	0,301***	0,258***
	(0,059)	(0,055)
Índice de aridez anual (IA_i)	0,039**	0,017**
	(0,017)	(0,007)
Sazonalidade da temperatura (ST_i)	-0,071	-0,105*
	(0,143)	(0,055)
$\mathrm{GDD}\left(GDD_{i}\right)$	0,101***	0,025***
	(0,025)	(0,010)
Ganho de peso diário dos animais (GP_i)	0,002***	0,001***
	(0,0003)	(0,0001)
Cria ($DSIS_{1,i}$)	-0,417***	-0,178***
	(0,118)	(0,043)
Ciclo completo $(DSIS_{2,i})$	-0,292**	-0,123**
	(0,129)	(0,048)
Confinamento $(DSIS_{3,i})$	1,168***	0,195**
	(0,236)	(0,094)
Cria-recria ($DSIS_{4,i}$)	-0,318**	-0,157***
	(0,154)	(0,058)
Engorda ($DSIS_{5,i}$)	-0,324*	-0,078
	(0,195)	(0,070)
Recria-engorda ($DSIS_{7,i}$)	-0,110	-0,043
	(0,113)	(0,041)
ln terra x ln terra $(T_i \times T_i)$	-	0,126**
		(0,063)
$ln capital x ln capital (K_i x K_i)$	-	0,111
		(0,320)
ln trabalho x ln trabalho $(L_i \times L_i)$	-	1,272***
		(0,446)
$ln terra x ln capital (T_i x K_i)$	-	-0,041
		(0,160)
ln terra x ln trabalho ($T_i \times L_i$)	-	-0,642***
		(0,122)
ln trabalho x ln capital $(L_i \times K_i)$	-	-0,182
		(0,333)
Constante	-0,434	-0,284**
	(0,717)	(0,129)

Tabela 12. Resultados do modelo empírico.

		(conclusão)
Variável	Cobb-Douglas	Translog
usigmas		
Adubação ($Adub_i$)	-0,582	-0,664
	(0,661)	(0,408)
Piquetes $(Rota_i)$	-0,140	-0,046
	(0,097)	(0,039)
Suplementação proteica (SupProtei _i)	1,017	0,375
	(1,189)	(0,535)
Suplementação mineral ($SupMin_i$)	-11,842*	-6,267
	(6,727)	(4,125)
$ILP(ILP_i)$	1,087	0,367
	(1,110)	(0,841)
Assistência técnica (ATec _i)	1,193	1,053**
	(0,744)	(0,503)
Constante	-1,172	-3,014***
	(0,750)	(0,447)
vsigmas		
Constante	-2,321***	-4,526***
	(0,110)	(0,232)
Total de observações	279	279
Log likelihood	-88,97	177,51
Wald chi2	1111,16	1634,61
Prob > chi2	0,0000	0,0000

Notas: Desvio-padrão dos coeficientes entre parênteses;

Cabe ressaltar que os coeficientes estimados para os fatores de produção podem ser interpretados diretamente como elasticidades, uma vez que as variáveis associadas aos mesmos estão no formato de logaritmo natural, no caso da função *Cobb-Douglas*, e no formato especificado por Coelli *et al.* (2003), no caso da função translog.

A escolha entre as formas funcionais reportadas na Tabela 12 foi feita com base no Teste de Wald e, de modo complementar, no Teste de Razão de Verossimilhança. O primeiro deles confronta os valores estimados para os coeficientes contra a hipótese nula de que os mesmos são iguais a zero. Desse modo, para comparar a *Cobb-Douglas* e a translog, o Teste de Wald é aplicado aos coeficientes associados aos produtos cruzados dos fatores de produção. O Teste de Razão de Verossimilhança, por sua vez, compara a qualidade do ajuste de dois

^{***} valor-p < 0.01; ** valor-p < 0.05; * valor-p < 0.1.

modelos, o restrito e o irrestrito. Nesse caso, assume-se que a forma *Cobb-Douglas* é restrita, enquanto a translog, irrestrita.

A Tabela 13 sumariza os resultados do Teste de Wald:

Tabela 13. Teste de Wald comparando a *Cobb-Douglas* e a translog.

Hipótese nula (H_0)	Valor-p	Decisão
$\frac{1}{2} \sum_{j=1}^{3} \sum_{l=1}^{3} \beta_{jl} \ln X_j \ln X_l = 0$	0,000	Rejeita-se H_0

Fonte: Elaborada pela autora.

Por sua vez, o Teste de Razão de Verossimilhança retornou o valor de 532,96 e o valor crítico para o mesmo, conforme a distribuição *qui-quadrado* com seis graus de liberdade¹⁰ e nível de significância de 5%, é de 12,59.

A rejeição da hipótese nula, indicada por ambos os testes, sinaliza que a forma funcional translog ajusta-se melhor ao modelo empírico que está sendo analisado. A maior flexibilidade dessa função, quando comparada à *Cobb-Douglas*, permite captar a inter-relação existente entre os insumos. Portanto, a exposição dos resultados reportados na Tabela 12 será feita com base nos coeficientes estimados para a função translog.

Conforme abordado na seção 3.1, após a estimação do modelo empírico, cabe ser realizado o Teste de Razão de Verossimilhança para verificar de forma mais precisa a existência de ineficiência técnica na amostra. Para tanto, a comparação é feita entre os resultados do MQO (modelo restrito) e os da fronteira estocástica de produção (modelo irrestrito). O teste com base nos resíduos da regressão de MQO, realizado de modo antecedente à estimação da fronteira e reportado na seção 4.2.1, não é tão preciso pois desconsidera a distribuição admitida para u_i (termo de ineficiência técnica), que neste caso é *half-normal*. O resultado do Teste de Razão de Verossimilhança para a forma funcional translog foi de 30,55, enquanto que o valor crítico, ao nível de 1% de significância, é 5,412. Portanto, rejeita-se a hipótese nula de que não há ineficiência técnica, evidenciando que a aplicação do modelo de fronteira estocástica é apropriada.

Dentre os resultados obtidos, primeiramente é válido observar que a soma dos coeficientes dos insumos da função de produção (no formato translog) é de, aproximadamente,

¹⁰ A distribuição *qui-quadrado* tem seis graus de liberdade, pois essa é a quantidade de parâmetros que têm na função translog, mas não na *Cobb-Douglas*.

1,73. Ao testar essa soma dos coeficientes, rejeita-se a hipótese nula de que a função de produção estimada para a pecuária de corte exiba retornos constantes à escala (valor-p: 0,0247)¹¹.

A análise dos coeficientes dos fatores de produção permite inferir que a terra é o insumo que exerce maior influência sobre a pecuária de corte. As estimativas indicam que a expansão em 1% na área de pastagens reflete em aumento de 0,556% na quantidade de arrobas produzidas, *ceteris paribus*. Por sua vez, o aumento de mesma ordem (1%) no capital, ou no trabalho, elevaria a produção em, respectivamente, 0,270% ou 0,258%, *ceteris paribus*.

O fato de a produção da pecuária de corte ser mais impactada pelo fator de produção terra está atrelado às características da atividade, a qual tradicionalmente ocupa grandes áreas (produção extensiva). Nos moldes atuais de produção, cada hectare de terra é ocupado, majoritariamente, por um baixo volume de animais, o que é explicado por alguns fatores, dentre eles: baixa capacidade de suporte, em decorrência das formas de manejo; animais considerados pelos pecuaristas apenas como reserva de capital; e uso dos animais para demarcar a posse da terra. Segundo levantamento do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG, 2017), e considerando apenas as regiões que estão sendo analisadas nessa pesquisa, a taxa de lotação média das fazendas é de 1,29 UA/hectare, enquanto que a capacidade potencial de suporte é de 3,61 UA/hectare. Essa diferença sinaliza que seria possível uma maior intensificação da pecuária, de modo a elevar a produção sem necessariamente ampliar as áreas de pastagens.

Ao comparar as elasticidades obtidas nesse estudo com aquelas dos trabalhos citados em 2.3, tem-se que a relação entre a produção brasileira e o fator terra é inferior àquela que se tem na Nigéria, mas superior à de países do Reino Unido. Para a pecuária de corte nigeriana, Nwigwe *et al.* (2016) constataram que a elasticidade da produção em relação à terra era de 0,6307% para o grupo de produtores nômades; de 0,8441% para aqueles que compõem o agropastoral; e de 0,9638% para os pecuaristas. Na Inglaterra e no País de Gales, os resultados obtidos por Hadley (2006) indicaram que a elasticidade em relação a esse insumo era de 0,078%; enquanto Barnes (2008) obteve a elasticidade de 0,193% para a produção da Escócia. Cabe relembrar que os autores citados utilizaram variáveis monetárias como *proxy* para a quantidade produzida.

De acordo com a pesquisa de Nwigwe *et al.* (2016), na Nigéria a produção de gado de corte pelos nômades é mais sensível ao uso de medicamentos ministrados aos animais; a dos

¹¹ No formato *Cobb-Douglas*, a soma dos coeficientes dos fatores de produção é de aproximadamente 1,06. Nesse caso, não se rejeita a hipótese nula de retornos constantes à escala (valor-p: 0,2668).

agro-pastores à terra; e a dos pecuaristas ao trabalho. Por sua vez, os trabalhos de Hadley (2006) e Barnes (2008) se assemelham ao mostrarem que nos países analisados pelos mesmos a produção é mais sensível aos gastos com a alimentação dos animais.

Conforme os resultados da Tabela 12, a produção intensiva, representada pelos confinamentos, contribui positivamente para a elevação da quantidade produzida, resultado que já era esperado em virtude dos maiores investimentos e nível tecnológico associados a essa forma de produção. Cabe ressaltar que o coeficiente associado aos confinamentos foi estatisticamente significativo e o único positivo dentre todos os sistemas de produção, indicando que a criação de gado de forma extensiva reflete negativamente no resultado técnico obtido pelos pecuaristas, mesmo que a mesma possibilite maior competitividade em termos de custos de produção.

Os demais coeficientes significativos indicaram que os sistemas de cria, ciclo completo e cria-recria *per se* têm influência negativa sobre a quantidade de arrobas produzidas. Esses sistemas têm como traço comum a etapa de cria, na qual, por suas características intrínsecas, os bezerros demandam maiores cuidados na sua fase inicial de vida e são mais leves do que os bovinos das demais etapas; por conseguinte, a quantidade de arrobas produzidas pelos bezerros também é inferior àquela das outras categorias de animais.

Como já era esperado, as fazendas típicas nas quais os animais possuem uma melhor genética – representada pelo ganho de peso diário dos bovinos – estão mais próximas à fronteira de produção, ou seja, ao máximo que pode ser produzido dados os insumos e a tecnologia disponíveis. Apesar de o coeficiente do ganho de peso diário dos animais não ter magnitude muito expressiva, o mesmo indica que em condições de produção semelhantes, incluindo o meio físico, os insumos e o manejo, aqueles produtores que têm rebanho com melhor potencial genético terão seus resultados produtivos e, possivelmente, financeiros incrementados. Segundo Sarmento *et al.* (2003), quanto maior é o ganho de peso diário dos animais, menor será o tempo necessário para que os mesmos estejam prontos para o abate. Desse modo, a produtividade da pecuária de corte é favorecida quando os bovinos têm condições genéticas que favorecem o crescimento dos mesmos.

O desenvolvimento dos animais é influenciado tanto pelo genótipo dos mesmos quanto pelo ambiente no qual estão inseridos, considerando desde o meio físico até às ações dos pecuaristas. O modelo empírico apresentado abarca esses dois últimos fatores por meio das variáveis edafoclimáticas e das práticas de manejo como variáveis explicativas para a ineficiência, respectivamente.

As variáveis representativas das condições edafoclimáticas das regiões analisadas apresentaram os sinais esperados *a priori*. A construção do índice de aridez (expressão 22) indica que quanto maior o valor do mesmo, maior é o volume da precipitação em relação ao potencial de evapotranspiração. Dessa forma, o sinal do coeficiente do índice de aridez indica que a disponibilidade hídrica tem efeito positivo sobre a produção. Essa variável capta indiretamente a influência que o suprimento de água para as pastagens (precipitação) e a perda de água pelas mesmas (evapotranspiração) têm sobre a produção de gado de corte, uma vez que a influência direta das mesmas é sobre a produção vegetal.

Segundo Gondim *et al.* (2011), o desenvolvimento de pastagens ao longo do ano concentra-se, em muitas regiões, na época chuvosa, período em que se observa de 70% a 80% da produção de pastagens, indicando a alta influência que a disponibilidade hídrica tem sobre a produtividade das forragens e, consequentemente, sobre o desempenho animal. Além disso, segundo Teixeira *et al.* (2011), a adubação nitrogenada, realizada com o objetivo de impulsionar a produção de forragem, pode ter seu efeito reduzido caso seja realizada na época seca do ano, quando o solo apresenta menor umidade. Dada a significativa influência da disponibilidade hídrica sobre as pastagens, a irrigação apresenta-se como uma alternativa para amenizar a redução da produtividade no período de seca.

A época chuvosa também se caracteriza por temperaturas mais altas e fotoperíodo com maior duração (TEIXEIRA *et al.*, 2011). Logo, é coerente que o coeficiente do índice de aridez e o dos graus-dia de crescimento apresentem o mesmo sinal (positivo), uma vez que o primeiro assume valores mais altos quanto maiores os níveis de precipitação (quando comparados à evapotranspiração) e o segundo, quanto mais altas as temperaturas.

Segundo Rodrigues (2004), a temperatura do ambiente tem relação direta com a eficiência dos processos de fotossíntese. O autor observou que para todas as plantas há um intervalo ótimo de temperatura que estimula o desenvolvimento das mesmas. Para as espécies vegetais localizadas em áreas tropicais, as temperaturas ótimas vão de 25°C a 35°C, sendo que na faixa de 10°C a 15°C o crescimento das plantas é prejudicado ou até mesmo cessado (COOPER; TAINTON, 1968 *apud* RODRIGUES, 2004).

Como os graus-dia de crescimento são a soma das temperaturas observadas que estão acima da temperatura mínima necessária para o desenvolvimento das plantas, tem-se que tal variável sinaliza a quantidade de energia disponível para o crescimento das mesmas (RODRIGUES, 2004). Dessa forma, o resultado para o coeficiente dos graus-dia de crescimento (GDD), reportado na Tabela 12, indica que a maior disponibilidade dessa energia

influencia positivamente a pecuária, uma vez que o GDD impacta diretamente a produção de pastagens.

As diferenças climáticas do verão e do inverno que representam, respectivamente, a época das "águas" e a época da seca, implicam na estacionalidade ¹² da produção de forragens. No verão, as condições climáticas resultam em uma produção muito superior àquela do inverno, sendo essa variação um dos fatores que prejudicam a produtividade da pecuária (TONATO, 2003).

O coeficiente que representa a sazonalidade da temperatura sinalizou que tal variável tem efeito negativo sobre a produção da pecuária de corte. Conforme apontado por Cooper; Tainton (1968 *apud* RODRIGUES, 2004), há uma faixa de temperatura ótima que estimula o desenvolvimento das pastagens, de modo que variações abruptas dessa variável climática podem prejudicar a produtividade das espécies forrageiras e, de modo indireto, o desenvolvimento dos animais.

A sazonalidade da temperatura também impacta diretamente os bovinos. Como os mesmos são homeotérmicos, condições climáticas adversas (temperatura e umidade) podem implicar em estresse térmico. Nesse cenário, a produtividade dos animais é prejudicada, pois uma maior parcela de energia, que em condições ótimas é convertida em produção, passa a ser destinada também para a manutenção das condições fisiológicas (SILVA; SOUZA; SILVA, 2015; TOSETTO *et al.*, 2014; MCMANUS *et al.*, 2012).

Em relação às variáveis exógenas que potencialmente determinam a ineficiência técnica, a suplementação proteica, integração lavoura-pecuária (ILP) e assistência técnica não apresentaram o sinal esperado *a priori*, qual seja, negativo (ou redutor de ineficiência). Por outro lado, os sinais associados à adubação, rotação de pastagens e suplementação mineral indicam que essas práticas contribuem positivamente para o desempenho das fazendas típicas das regiões analisadas. No entanto, apenas o coeficiente da assistência técnica foi significativo estatisticamente na forma funcional translog; enquanto na *Cobb-Douglas* isso foi observado para o coeficiente da suplementação mineral.

Conforme discutido em 3.1, os resultados reportados na Tabela 12, sobre os determinantes da ineficiência técnica, apenas indicam se as variáveis contribuem para o aumento ou para a diminuição da mesma, de modo que a magnitude de tal contribuição deve

¹² Variação da produção de uma cultivar de acordo com as estações do ano, em virtude das condições climáticas que caracterizam as mesmas (TONATO, 2003).

ser verificada por meio do cálculo dos efeitos marginais. Os resultados estão reportados na Tabela 14.

Tabela 14. Efeitos marginais das variáveis exógenas sobre E(u) e V(u).

Variável exógena	$\mathbf{E}(\boldsymbol{u})$	V(u)
Adubação ($Adub_i$)	-0,032	-0,004
Piquetes $(Rota_i)$	-0,002	-0,0003
Suplementação proteica (SupProtei _i)	0,018	0,002
Suplementação mineral (SupMin _i)	-0,302	-0,040
ILP (ILP_i)	0,018	0,002
Assistência técnica (ATec _i)	0,051	0,007

Fonte: Elaborada pela autora.

Conforme a Tabela 12, apenas o coeficiente associado à assistência técnica foi significativo estatisticamente. De acordo com os efeitos marginais, o recebimento de assistência aumenta a ineficiência técnica (E(u)) em 5,1% e a incerteza da mesma (variância, V(u)) em 0,7%. A princípio, esperava-se que o acesso à assistência técnica contribuiria para melhorar o desempenho da pecuária, no sentido de que os profissionais auxiliassem os produtores a encontrar as formas mais adequadas de produção, considerando o meio em que estão inseridos e seus acessos a recursos. No entanto, alguns dos pesquisadores envolvidos nos painéis reportam que os produtores rurais relatam ao longo do levantamento de dados que, majoritariamente, a contratação de técnicos (veterinários e zootecnistas, por exemplo) se dá em situações emergenciais. Desse modo, o trabalho dos profissionais é pontual para remediar algo que está afetando negativamente a produção, o que pode ajudar a explicar a não obtenção do sinal esperado para o coeficiente de assistência técnica no modelo estimado.

O resultado quanto à assistência técnica assemelha-se àquele obtido por Gomes; Souza; Abreu (2017), que constataram que a mesma tem efeito negativo sobre a produção da pecuária de corte no Brasil. Cabe ressaltar que a presente pesquisa e o trabalho dos autores diferenciam-se, dentre outros fatores, pelo modo em que a assistência técnica é considerada no modelo. Nessa pesquisa, a mesma é uma variável explicativa para a ineficiência técnica, enquanto que em Gomes; Souza; Abreu (2017) a assistência compõe a fronteira de produção.

A partir do confronto entre a fronteira estocástica de produção estimada e a produção realmente obtida pelas fazendas típicas, tem-se que a eficiência técnica média da amostra analisada é de 91,22%, variando de 58,72% a 99,69%. A Figura 18 exibe a distribuição da

eficiência técnica estimada. Há 202 observações cujo nível de eficiência é superior a 90%, o que equivale a 72,4% do total da amostra.

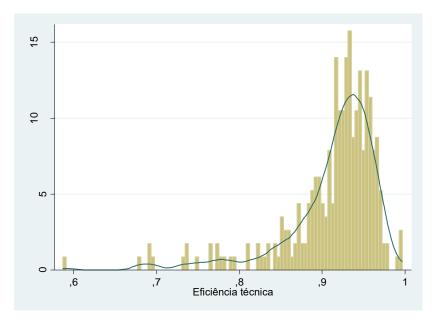


Figura 18. Distribuição de frequências da eficiência técnica.

Fonte: Elaborada pela autora.

O nível elevado de eficiência técnica para a maioria das fazendas típicas pode estar associado à forma com que os dados que foram empregados na estimação são coletados. As fazendas típicas, frutos dos painéis realizados pelo Cepea/CNA, refletem o modal da produção de uma determinada região. Dada essa especificação, as mesmas excluem os produtores *outliers* para o perfil regional, tanto aqueles que apresentam condições produtivas muito precárias, quanto os que produzem com extrema excelência. Apesar de as fazendas típicas assemelharemse na sua forma de construção, as mesmas têm características díspares, como demonstrado na seção 4.1, refletindo a heterogeneidade existente na pecuária de corte brasileira.

A fazenda típica com menor nível de eficiência técnica (58,72%) foi amostrada no ano de 2015. A mesma está localizada em Porto Velho (RO), caracteriza-se pela recria e a engorda dos bovinos; recebimento de assistência técnica; fornecimento de suplementação mineral aos animais; e pastejo rotacionado do gado. No extremo oposto, a fazenda típica com maior eficiência (99,69%) foi amostrada em 2016, também recria e engorda animais e localiza-se em São Félix do Xingu (PA). Dentre as variáveis consideradas no modelo empírico, a fazenda típica caracteriza-se por fazer adubação das pastagens; suplementação mineral; e pastejo rotacionado

dos animais. Um diferencial que pode contribuir para o desempenho dessa fazenda é o uso da ração para a alimentação dos bovinos, o que melhora o desenvolvimento dos mesmos.

A Tabela 15 apresenta a eficiência técnica estimada conforme os sistemas de produção. Como as observações pertencentes a cada um deles foram identificadas por *dummy*, calculouse a eficiência técnica média dos mesmos com base no desempenho específico das fazendas que compõem cada um dos sistemas.

Tabela 15. Eficiência técnica conforme os sistemas de produção.

Sistemas de produção	Observações	Média	Mínimo	Máximo	Desvio-padrão
Cria	116	90,19%	68,97%	96,94%	0,0604
Ciclo-completo	38	92,07%	74,80%	97,78%	0,0461
Confinamento	3	92,60%	89,29%	94,87%	0,0294
Cria-recria	10	91,07%	79,61%	99,25%	0,0633
Engorda	7	87,05%	67,88%	96,55%	0,1088
Recria	11	93,46%	88,41%	96,98%	0,0255
Recria-engorda	94	92,18%	58,72%	99,69%	0,0556
Todos os sistemas	279	91,22%	58,72%	99,69%	0,0582

Fonte: Elaborada pela autora.

A partir dos resultados expostos na Tabela 15, foi realizado o Teste t de *Student* a fim de verificar se a média da eficiência técnica de cada um dos sistemas de produção difere entre os mesmos e entre a eficiência estimada para todos os sistemas, quando esses são considerados conjuntamente. Na Tabela 16 encontram-se os resultados para o teste. Como o Teste t de *Student* depende da variância das variáveis, primeiramente foi realizado o teste de igualdade de variâncias, cujo resultado está reportado no Apêndice E.

Tabela 16. Teste *t* de *Student* entre a eficiência técnica média conforme os sistemas de produção.

	Cria	Recria	Engorda	Cria- recria	Recria- engorda	Ciclo completo	Confinamento
Todos os	1,5877	-2,6555**	1,0104	0,0794	-1,3870	-1,0251	-0,4092
sistemas	g.l. 393	g.l. 14,5	g.l. 6,1	g.l. 287	g.l. 371	g.l. 54,5	g.l. 280
Cria		-3,4414***	0,7559	-0,4423	-2,4538**	-2,0095**	-0,6876
		g.l. 22,9	g.l. 6,2	g.l. 124	g.l. 208	g.l. 81,9	g.l. 117
Recria			1,5323	1,1140	1,3430	1,2999	0,5049
1100114			g.l. 6,4	g.l. 11,6	g.l. 23,5	g.l. 30,5	g.l. 12
Engorda				-0,9654	-1,2337	-1,2001	-0,8433
8				g.l. 15	g.l. 6,2	g.l. 6,4	g.l. 8
Cria-					-0,5881	-0,5606	-0,3961
recria					g.l. 102	g.l. 46	g.l. 11
Recria-						0,1043	-0,1319
engorda						g.l. 130	g.l. 95
Ciclo							-0,1959
Completo							g.1. 39

Nota: H_0 : as médias são iguais; g.l. indica os graus de liberdade; *** valor-p < 0,01; ** valor-p < 0,05.

De acordo com os resultados da Tabela 16, ao nível de significância de 5%, rejeita-se a hipótese nula de que a eficiência técnica média estimada para todos os sistemas de produção conjuntamente seja igual àquela da recria. Do mesmo modo, a hipótese nula de que não há diferença entre as eficiências estimadas também é rejeitada ao comparar a cria com a recria, recria-engorda e ciclo completo. Por fim, ao nível de 1% de significância, rejeita-se a hipótese nula de que a eficiência da cria seja igual àquela da recria.

Dessa forma, pode-se afirmar que a eficiência técnica das fazendas típicas que se dedicam somente à cria de animais é estatisticamente inferior àquela das fazendas que são especializadas em recria, recria-engorda e ciclo-completo.

Esperava-se que a eficiência técnica das fazendas que realizam confinamento tivesse o maior nível dentre todos os sistemas de produção, uma vez que a pecuária intensiva se caracteriza pelo emprego de um maior nível tecnológico, o qual tende a proporcionar melhores resultados produtivos (ganho de peso dos animais em menor tempo e de forma mais homogênea). Os confinamentos apresentaram eficiência técnica média de 92,60%, acima daquela obtida por todos os sistemas de produção considerados conjuntamente, mas inferior àquela das fazendas típicas de recria (93,46%). Apesar dessas magnitudes diferenciarem-se, o

Teste *t* de *Student* (Tabela 16) não rejeita a hipótese nula de que o nível de eficiência dos confinamentos seja igual àquele dos demais sistemas e da pecuária de corte como um todo.

Os resultados apontam, ainda, que, apesar de os confinamentos não terem o maior nível de eficiência média nem o valor máximo estimado para a mesma, o desempenho mínimo das fazendas típicas dessa categoria é o maior dentre as demais, indicando que a tecnologia empregada ameniza patamares de eficiência muito baixos.

Na literatura sobre a produtividade da agropecuária há um debate quanto a relação existente entre o tamanho da propriedade rural e a produtividade da terra, sendo que tal relação pode ser positiva ou negativa. Segundo Freitas (2014), as pesquisas relacionadas a este assunto diferem-se quanto à inclusão de variáveis controle (condições edafoclimáticas, principalmente quanto ao solo e perfil do produtor, por exemplo) e à variável representativa do desempenho dos produtores (produtividade parcial ou produtividade total dos fatores, sendo a eficiência técnica um indicativo da mesma). De acordo com o autor, a maioria das pesquisas indica uma relação inversa entre o tamanho da fazenda e a produtividade da terra, mas isso pode enfraquecer-se, ou até mesmo inverter, conforme as diferenças citadas.

Dentre os trabalhos que verificaram a existência de uma relação inversa, argumentase que: o uso intensivo de mão-de-obra familiar nas propriedades menores eleva a razão entre o trabalho e a terra e, do mesmo modo, a razão entre a produção e a terra; esse tipo de mão-deobra deriva em maior supervisão quanto ao trabalho realizado; os produtores menores têm maior aversão ao risco e são menos assistidos, o que faz com que os mesmos busquem tornar a terra mais produtiva e, assim, garantam a receita da atividade (OLIVEIRA, 2013; FREITAS, 2014).

Por outro lado, os autores que concluíram existir uma relação positiva entre tamanho e produtividade argumentam que as propriedades maiores têm mais facilidade de acesso à crédito; usam de forma mais intensiva máquinas agrícolas; são menos avessas ao risco, derivando em estratégias de cultivo/comercialização mais lucrativas; e, por fim, a produção nas mesmas é quase que estritamente comercial – nas propriedades menores parte da produção é alocada para a subsistência da família (OLIVEIRA, 2013; FREITAS, 2014).

Nessa pesquisa, ao dividir as fazendas típicas em classes de acordo com o tamanho total das mesmas (Tabela 17), tem-se que a eficiência das propriedades menores (até 350 hectares) é estatisticamente superior àquela das que têm de 350 a 700 hectares. A análise até esse ponto corroboraria a ideia de que existe uma relação inversa entre tamanho e eficiência. No entanto, essas fazendas que compõem a classe I têm desempenho estatisticamente inferior

quando comparadas às fazendas maiores (acima de 700 hectares), contradizendo a relação inversa verificada anteriormente.

Por sua vez, quando a eficiência das fazendas da segunda classe é comparada com àquelas das terceira e quarta classes, tem-se que a mesma é estatisticamente inferior ao desempenho obtido por esses dois últimos grupos. Por fim, não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre a eficiência média das fazendas das classes III e IV, as quais reúnem as maiores propriedades.

Cabe mencionar que a comparação entre as eficiências médias expressa os resultados do Teste *t* de *Student* (Tabela 18) e esse, por sua vez, foi realizado com base no teste de igualdade de variâncias (Apêndice E).

Tabela 17. Eficiência técnica conforme as classes de área total da propriedade (hectares).

Classes de área	Observações	Média	Mínimo	Máximo	Desvio-padrão
I Até 350	71	90,64%	69,10%	96,70%	0,0493
II De 350 a 700	74	88,77%	58,72%	96,56%	0,0717
III De 700 a 1.200,50	64	92,68%	82,42%	96,98%	0,0339
IV De 1.200,50 a 20.000	70	93,08%	67,88%	99,69%	0,0590

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 18. Teste *t* de *Student* entre a eficiência técnica média conforme as classes de área total da propriedade.

	II	III	IV
	1,8428*	-2,8136***	-2,6683***
1	g.l. 129,8	g.l. 124,7	g.l. 139
II		-4,1799***	-3,9337***
		g.l. 107,4	g.l. 142
III			-0,4960
			g.l. 111,9

Fonte: Elaborada pela autora.

Nota: H_0 : as médias são iguais; g.l. indica os graus de liberdade; *** valor-p < 0,01; * valor-p < 0,1.

As diferentes magnitudes para a eficiência técnica conforme as classes de tamanho da propriedade rural, corroboradas, na maior parte das vezes, pelo Teste *t* de *Student*, permitem rejeitar a hipótese de que a produtividade decresce conforme aumenta o tamanho da fazenda. Apesar de os resultados indicarem uma relação positiva entre tamanho e produtividade, tem-se

que a mesma não é linear, dado que a eficiência da primeira classe (fazendas menores) supera a das fazendas que estão na segunda classe.

Freitas (2014) encontrou resultado semelhante em seu trabalho que avaliou a agropecuária brasileira no que tange a relação entre tamanho e eficiência técnica. Com base nos dados do Censo Agropecuário de 2006 e no método de fronteira estocástica de produção, o autor concluiu que existe uma relação positiva entre as duas variáveis, mas a mesma não é linear, uma vez que a eficiência decresce para o último grupo de fazendas analisadas, as quais caracterizam-se por ter mais de mil hectares.

O desempenho das fazendas típicas pode, ainda, ser analisado com base nas variáveis que foram consideradas como potenciais determinantes da ineficiência técnica. Para as variáveis que estão no formato de *dummy*, a análise figura como um comparativo entre os grupos que têm determinada característica e aqueles que não a têm. Já para as variáveis contínuas e discretas, a análise é feita com base nas classes em que as mesmas estão distribuídas.

Na Tabela 19 estão reunidos os resultados que comparam a eficiência técnica considerando a realização de adubação de pastagens, de integração lavoura-pecuária (ILP) e recebimento de assistência técnica.

Tabela 19. Eficiência técnica estimada conforme a realização de adubação ou ILP e recebimento de assistência técnica.

	Observações	Média	Mínimo	Máximo	Desvio-padrão
Faz adubação	125	92,34%	69,10%	99,69%	0,0492
Não faz adubação	154	90,31%	58,72%	99,42%	0,0633
Faz ILP	13	90,18%	73,63%	96,32%	0,0569
Não faz ILP	266	91,27%	58,72%	99,69%	0,0584
Recebe assistência técnica	62	88,24%	58,72%	97,78%	0,0803
Não recebe assistência técnica	217	92,08%	68,97%	99,69%	0,0471

Fonte: Elaborada pela autora.

Novamente, realizou-se o Teste *t* de *Student* a fim de verificar se, estatisticamente, a eficiência técnica difere conforme a adoção das práticas supracitadas. Os resultados desse teste estão reportados na Tabela 20, enquanto que os resultados para o teste de igualdade de variâncias, realizado de forma preliminar, estão no Apêndice E.

Tabela 20. Teste *t* de *Student* entre a eficiência técnica média das fazendas típicas que realizam ou não adubação de pastagens e ILP e recebem ou não assistência técnica.

	Não faz adubação	Não faz ILP	Não recebe assistência técnica
Faz adubação	3,0095***		
	g.l. 276,5	-	-
Faz ILP		-0,6597	
	-	g.l. 277	-
Recebe assistência			-3,5922***
técnica	-	-	g.l. 73,4

Nota: H_0 : as médias são iguais; g.l. indica os graus de liberdade; *** valor-p < 0,01.

Com base nos resultados do Teste *t* de *Student*, rejeita-se, ao nível de significância de 1%, a hipótese nula de que a eficiência técnica média das fazendas típicas que fazem adubação de pastagens seja igual àquela das que não a fazem. Do mesmo modo, a hipótese nula é rejeitada quando se compara a eficiência média das propriedades que recebem assistência técnica com aquela das que não têm esse suporte. No comparativo entre o grupo de propriedades que fazem ILP com aquele das que não a fazem, o teste indicou que não há diferença estatística entre a eficiência técnica estimada para ambos. Portanto, pode-se afirmar por meio desses resultados que o grupo de fazendas que se caracteriza pela realização de adubação de pastagens, ou pelo não recebimento de assistência técnica, apresenta desempenho superior àquele dos seus grupos complementares.

As Tabelas 21 e 22 apresentam a eficiência técnica média de acordo com as classes de suplementação alimentar fornecida aos bovinos. Cabe ressaltar que a suplementação mineral e a proteica indicam, respectivamente, a quantidade de sal mineral e de sal proteinado, em quilos, fornecida a cada unidade animal (UA) diariamente. Como há um número significativo de fazendas típicas que não fazem suplementação, em especial a proteica, optou-se por apresentar a eficiência técnica das mesmas separadamente.

Tabela 21. Eficiência técnica conforme as quantidades de suplementação mineral fornecida aos animais (kg/UA/dia).

Cla	sses de suplementação	Observações	Média	Mínimo	Máximo	Desvio-padrão
I	Não fornece	15	87,98%	67,88%	96,18%	0,0893
II	Até 0,08	72	88,75%	69,10%	99,42%	0,0608
III	De 0,08 a 0,1047	60	91,88%	78,37%	99,69%	0,0433
IV	De 0,1047 a 0,1560	66	91,93%	68,97%	97,78%	0,0465
V	De 0,1560 a 0,7219	66	93,36%	58,72%	99,62%	0,0558

Tabela 22. Eficiência técnica conforme as quantidades de suplementação proteica fornecida aos animais (kg/UA/dia).

Cla	sses de suplementação	Observações	Média	Mínimo	Máximo	Desvio-padrão
I	Não fornece	140	90,54%	58,72%	99,69%	0,0637
II	Até 0,2119	35	91,03%	73,63%	96,99%	0,0537
III	De 0,2119 a 0,3830	35	92,01%	78,37%	99,42%	0,0462
IV	De 0,3830 a 0,5338	35	95,54%	73,43%	96,94%	0,0437
V	De 0,5338 a 1,71	34	92,08%	68,97%	97,01%	0,0582

Fonte: Elaborada pela autora.

Para verificar se a eficiência técnica de cada uma das classes de suplementação diferese entre as mesmas, realizou-se o Teste *t* de *Student*, cujos resultados para a suplementação mineral e para a proteica estão reportados nas Tabelas 23 e 24, respectivamente. O teste, para cada uma das variáveis, baseou-se nos resultados do teste de igualdade de variâncias, os quais estão no Apêndice E.

Tabela 23. Teste *t* de *Student* entre a eficiência técnica média conforme as classes de suplementação mineral.

	II	III	IV	V
ī	-0,3097	-1,5924	-1,6073	-2,1642**
1	g.l. 16,6	g.l. 15,6	g.l. 15,7	g.l. 16,4
II		-3,4211***	-3,4352***	-4,5883***
		g.l. 127,1	g.l. 131,9	g.l. 136
Ш			-0,0513	-1,6499
			g.l. 124	g.l. 121,1
IV				-1,5882
1 4				g.l. 130

Nota: H_0 : as médias são iguais; g.l. indica os graus de liberdade; *** valor-p < 0,01; ** valor-p < 0,05.

Considerando os resultados da Tabela 23, não se rejeita a hipótese nula de que a eficiência técnica média das fazendas que não fornecem sal mineral aos animais (classe I) seja igual àquela das que fornecem a quantidade de até 0,1560 kg/UA/dia do insumo. De modo contrário, a hipótese nula é rejeitada quando se confronta a eficiência do grupo que não faz suplementação mineral com aquela do grupo que fornece as maiores quantidades desse tipo de sal (classe V), podendo-se afirmar que o desempenho das fazendas típicas que compõem o mesmo é estatisticamente superior àquele das que não fazem a suplementação.

Por meio da Tabela 23 tem-se ainda que o escore das fazendas que fornecem até 0,08 kg/UA/dia de sal mineral (classe II) é estatisticamente inferior àquele das propriedades em que a dieta dos bovinos é composta por uma quantidade maior desse insumo. No entanto, no comparativo entre as fazendas típicas que se caracterizam por fornecer de 0,08 a 0,7219 kg/UA/dia (classes de III a V), o Teste *t* de *Student* não rejeita a hipótese nula de que a eficiência técnica média das mesmas seja estatisticamente igual entre elas.

Desse modo, pode-se inferir que o desempenho médio das propriedades que fornecem as menores quantidades de sal mineral (até 0,08 kg/UA/dia) é inferior ao daquelas que o fazem utilizando volumes mais elevados desse insumo. Porém, à medida em que o uso do sal mineral aumenta, *ceteris paribus*, torna-se mais difícil verificar diferenças estatisticamente significativas no nível de eficiência técnica média das fazendas que se caracterizam por usar mais do que 0,08 kg/UA/dia do insumo.

O Teste *t* de *Student* para a suplementação proteica (Tabela 24) indica que a eficiência técnica média das propriedades típicas que não fornecem sal proteinado para os animais (classe

I) não difere daquela das fazendas que fornecem até 0,3830 kg/UA/dia do insumo (classes II e III) ou quantidade superior a 0,5338 kg/UA/dia (classe V). Por sua vez, as fazendas típicas nas quais o gado é suplementado com volume entre 0,3830 e 0,5338 kg/UA/dia de sal proteinado (classe IV) obtiveram escore estatisticamente superior àquele das propriedades em que não é feita a suplementação, sendo os desempenhos respectivos de 95,54% e 90,54%.

Tabela 24. Teste *t* de *Student* entre a eficiência técnica média conforme as classes de suplementação proteica.

	II	III	IV	V
I	-0,4162	-1,5282	-2,1569**	-1,2755
1	g.l. 173	g.l. 69,3	g.l. 73,6	g.l. 172
II		-0,8034	-1,2665	-0,7662
		g.l. 68	g.l. 68	g.l. 68
III			-0,4845	-0,0556
			g.l. 68	g.l. 67
IV				0,3644
	FI.1 1 1			g.l. 67

Fonte: Elaborada pela autora.

Nota: H_0 : as médias são iguais; g.l. indica os graus de liberdade; ** valor-p < 0,05.

Por fim, a Tabela 25 apresenta a eficiência técnica conforme as classes de número de piquetes no qual a área de pastejo é dividida. Novamente, executou-se o Teste *t* de *Student*, cujos resultados constam na Tabela 26, a fim de verificar se o nível de eficiência difere entre as classes. No Apêndice E encontra-se o teste de igualdade de variâncias, o qual embasou o Teste *t* de *Student* reportado na sequência.

Tabela 25. Eficiência técnica média conforme as classes de número de piquetes.

Cla	sses de piquetes	Observações	Média	Mínimo	Máximo	Desvio-padrão
I	Até 7,65	70	87,88%	58,72%	95,58%	0,0714
II	De 7,65 a 11,6	70	90,81%	68,97%	96,55%	0,0493
III	De 11,6 a 19,45	69	91,86%	73,63%	96,98%	0,0455
IV	De 19,45 a 150	70	94,34%	67,88%	99,69%	0,0419

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 26. Teste *t* de *Student* entre a eficiência técnica média conforme as classes de número de piquetes.

	II	III	IV
ī	-2,8055***	-3,8965***	-6,4825***
1	g.l. 122,6	g.l. 117,3	g.l. 111,5
II		-1,2926	-4,5303***
		g.l. 137	g.l. 138
III			-3,3233***
			g.l. 137

Nota: H_0 : as médias são iguais; g.l. indica os graus de liberdade; *** valor-p < 0,01.

De acordo com a Tabela 26, o desempenho das fazendas típicas que têm até 7,65 piquetes, com eficiência média de 87,88%, é estatisticamente inferior àquele das propriedades que se caracterizam por terem um número maior de piquetes. Do mesmo modo, o Teste t de *Student* rejeita a hipótese nula de que a eficiência técnica média das fazendas que se enquadram na classe II (de 7,65 a 11,6 piquetes) seja igual àquela das que estão na classe IV (de 19,45 a 150 piquetes). Essa mesma relação é obtida ao confrontar o escore médio das fazendas da terceira classe com aquele das da quarta (de 19,45 a 150 piquetes).

A partir das Tabelas 25 e 26, pode-se inferir que, no geral, o número de piquetes, representativo da rotação de pastagens, é correlacionado positivamente com o desempenho das fazendas típicas, de modo que, na média, os maiores níveis de eficiência técnica estão associados às fazendas típicas que têm mais piquetes. Esse resultado não exprime apenas uma relação entre desempenho e quantidade de subáreas em que o pasto é dividido, mas corrobora os efeitos positivos que a rotação de pastagens tem sobre a pecuária de corte. É válido ponderar, no entanto, que o estabelecimento dos piquetes é condicionado à área disponível para a alocação dos animais; quantidade de dias em que cada piquete acomodará o gado (período de ocupação); e oferta de forragem na área.

4.3. Modelo II

O procedimento adotado para a estimação do segundo modelo empírico, considerando a aptidão do meio físico como variável representativa das condições de clima e solo, seguiu os mesmos passos que foram apresentados em 4.2, e ambos seguiram as especificações abordadas na seção 3. Dessa forma, como os procedimentos referentes à metodologia foram explanados

anteriormente, a discussão dos itens na presente seção foca nas estimativas que foram obtidas para esse segundo modelo. A exposição dos resultados segue a mesma estrutura utilizada em 4.2 e, quando cabível, são feitas comparações com o modelo estimado anteriormente (Modelo I). Além disso, os resultados não incluem a variável de tendência temporal, uma vez que a especificação que considerava o fator tempo não teve ajuste significativamente melhor (ver a seção 4.4).

Como a análise feita nessa seção assemelha-se àquela feita em 4.2, a fim de que a leitura não fique repetitiva, optou-se por não fazer novamente a interpretação minuciosa dos coeficientes que já foram abordados no Modelo I, nem a exposição de fontes secundárias para elucidar os resultados apresentados, mas reitera-se que essas também são válidas para esse segundo modelo.

4.3.1. Testes para verificar a presença de ineficiência técnica

Os testes iniciais para a verificação da existência de ineficiência técnica na amostra em análise foram realizados com base no modelo de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), sendo o mesmo estimado pelo método de *bootstrap*¹³. A estimação contemplou as variáveis explicativas para a função de produção (Tabela 5), representada tanto na forma *Cobb-Douglas* quanto na translog. Os resultados para o modelo de MQO estão reportados na Tabela 27.

1

¹³ Como em Cameron; Trivedi (2009), foram aplicadas 999 replicações, a fim de garantir o nível de significância de 5% para o intervalo de confiança e para os testes de hipóteses. No entanto, apenas em 947 replicações obtevese estimativas para todos os parâmetros do modelo.

Tabela 27. Resultados do modelo de MQO.

(continua) Variável Cobb-Douglas **Translog** 0,499*** 0,598*** $ln terra (T_i)$ (0.068)(0,035)ln capital (K_i) 0,365*** 0,344*** (0,069)(0,067)ln trabalho (L_i) 0,253*** 0,184*** (0,092)(0,066)Índice de aptidão do meio físico (Ap_i) -0,006 -0,237(0,348)(0,143)0,0009*** Ganho de peso diário dos animais (GP_i) 0,002*** (0,0005)(0,0002)Cria ($DSIS_{1,i}$) -0,197*** -0,438** (0,123)(0,043)Ciclo completo $(DSIS_{2,i})$ -0,121** -0,249* (0,131)(0,048)Confinamento ($DSIS_{3,i}$) 1,173 0,203 (0,617)(1,047)Cria-recria (DSIS_{4,i}) -0,357** -0,182*** (0,166)(0,068)Engorda (DSIS_{5,i}) -0,402-0,157* (0,244)(0,089)Recria-engorda (DSIS_{7,i}) -0,100-0,055 (0,102)(0,035)ln terra x ln terra ($T_i \times T_i$) 0,045 (0,234)In capital x In capital $(K_i \times K_i)$ 0,346 (0,442)ln trabalho x ln trabalho ($L_i \times L_i$) 1,407** (0,710)ln terra x ln capital ($T_i \times K_i$) -0,042(0,216)ln terra x ln trabalho ($T_i \times L_i$) -0,643* (0,376)ln trabalho x ln capital ($L_i \times K_i$) -0,201(0,506)-0,392 Constante -0,178(0,693)(0,118)Total de observações 279 279 Replicações 947 947 Wald chi2 2047,20 2691,81 Prob > chi2 0,0000 0,0000 \mathbb{R}^2 0,8610 0,8878 R² ajustado 0,8553 0,8805

Tabela 27. Resultados do modelo de MQO.

 Variável
 Cobb-Douglas
 Translog

 Root MSE
 0,3712
 0,1466

Fonte: Elaborada pela autora.

Notas: Desvio-padrão bootstrap dos coeficientes entre parênteses;

*** valor-p < 0.01; ** valor-p < 0.05; * valor-p < 0.1.

O teste de Schmidt; Lin (1984 *apud* KUMBHAKAR; WANG; HORNCASTLE, 2015) teve resultado de 0,002 para a *Cobb-Douglas* e de -0,458 para a translog, indicando, portanto, que apenas essa última tem assimetria negativa e, por conseguinte, sinalizando a existência de ineficiência técnica para a mesma. Pelo teste de D'Agostino; Belanger; D'Agostino Júnior (1990 *apud* KUMBHAKAR; WANG; HORNCASTLE, 2015) verificou-se a significância estatística dos resíduos estimados anteriormente, conforme pode ser observado na Tabela 28:

Tabela 28. Resultado do teste para verificar a normalidade dos resíduos do MQO.

Forma funcional	Valor-p (assimetria)	Valor-p (curtose)	Valor-p (normalidade)
Cobb-Douglas	0,9887	0,000	0,0000
Translog	0,0022	0,0025	0,0001

Fonte: Elaborada pela autora.

Nota: Para a assimetria, a hipótese nula é de que não há assimetria nos resíduos; e para a normalidade, a hipótese nula é de que os resíduos são normalmente distribuídos.

De acordo com os resultados reportados na Tabela anterior, não se rejeita a hipótese nula de que não há assimetria nos resíduos da *Cobb-Douglas*, mas rejeita-se a hipótese nula de que os mesmos sejam normalmente distribuídos. Para a translog, tanto a hipótese nula de que os resíduos são simétricos quanto a de que os mesmos têm distribuição normal são rejeitadas, o que corrobora a existência de ineficiência técnica nesse formato.

Por fim, o teste de Coelli (1995 *apud* KUMBHAKAR; WANG; HORNCASTLE, 2015) teve resultado de 0,014 para a *Cobb-Douglas* e de -3,124 para a translog. O valor crítico para esse teste, ao nível de significância de 5%, é de 1,96, uma vez que a sua distribuição é normal. Desse modo, apenas para a função translog rejeita-se a hipótese nula de que os resíduos não são assimétricos à esquerda.

Novamente, é válido ponderar que esses testes iniciais não consideram a pressuposição quanto à distribuição do termo de ineficiência técnica, a qual é feita durante a estimação da fronteira estocástica de produção. Após tal etapa, o Teste de Razão de Verossimilhança verifica

de forma mais precisa a distribuição unilateral dos resíduos e, portanto, a existência de ineficiência técnica (KUMBHAKAR; WANG; HORNCASTLE, 2015).

4.3.2. Fronteira estocástica de produção e determinantes da ineficiência técnica

Os resultados reportados nessa seção seguiram as especificações que foram feitas nas seções 3.1 e 3.4. É válido relembrar que o modelo empírico aqui apresentado diferencia-se daquele da seção 4.2.2 pelo uso da aptidão do meio físico, ao invés das variáveis edafoclimáticas.

Na Tabela 29 estão reportados os coeficientes estimados para a fronteira estocástica de produção juntamente com os determinantes da ineficiência técnica, tanto no formato *Cobb-Douglas* (expressão 28) quanto no translog (expressão 29).

Tabela 29. Resultados do modelo empírico.

		(continua)
Variável	Cobb-Douglas	Translog
Fronteira		
$ln terra (T_i)$	0,465***	0,587***
	(0,037)	(0,034)
In capital (K_i)	0,327***	0,265***
	(0,062)	(0,055)
ln trabalho (L_i)	0,288***	0,239***
	(0,060)	(0,057)
Índice de aptidão do meio físico (Ap_i)	-0,188	0,055
	(0,312)	(0,118)
Ganho de peso diário dos animais (GP_i)	0,002***	0,0008***
	(0,0003)	(0,0001)
Cria ($DSIS_{1,i}$)	-0,388***	-0,158***
	(0,118)	(0,043)
Ciclo completo $(DSIS_{2,i})$	-0,246*	-0,101**
	(0,128)	(0,047)
Confinamento ($DSIS_{3,i}$)	1,208***	0,193**
	(0,245)	(0,097)
Cria-recria (DSIS _{4,i})	-0,327**	-0,144**
	(0,159)	(0,060)
Engorda ($DSIS_{5,i}$)	-0,231	-0,048
	(0,200)	(0,072)
Recria-engorda (DSIS _{7,i})	-0,072	-0,025
	(0,687)	(0,041)

Tabela 29. Resultados do modelo empírico.

(conclusão) Variável Cobb-Douglas **Translog** ln terra x ln terra $(T_i \times T_i)$ 0,128** (0,063)In capital x In capital $(K_i \times K_i)$ 0,386 (0,335)ln trabalho x ln trabalho ($L_i \times L_i$) 1,494*** (0,455)In terra x ln capital ($T_i \times K_i$) -0,051 (0,172)-0,671*** ln terra x ln trabalho ($T_i \times L_i$) (0,130)ln trabalho x ln capital ($L_i \times K_i$) -0,345(0,341)Constante 0,403 -0,128(0,687)(0.088)usigmas Adubação (Adub_i) -0,410 -0,515(0,541)(0,349)Piquetes ($Rota_i$) -0,106* -0,061* (0,058)(0,036)Suplementação proteica (SupProtei_i) 0,884 0,265 (0,925)(0,544)-8,697*** Suplementação mineral (SupMin_i) -13,964** (5,669)(3,310)ILP (ILP_i) 0,815 0,166 (0,979)(0,879)Assistência técnica (ATec_i) 1,050* 1,023** (0,608)(0,406)-2,537*** Constante -0,812(0,645)(0,441)vsigmas -4,68*** -2,287*** Constante (0,115)(0,175)Total de observações 279 279 Log likelihood -99,709 168,543 Wald chi2 1049,64 1649,53 Prob > chi2 0,0000 0,0000

Fonte: Elaborada pela autora.

Notas: Desvio-padrão dos coeficientes entre parênteses; *** valor-p < 0,01; ** valor-p < 0,05; * valor-p < 0,1.

Como mencionado anteriormente, a escolha entre as formas funcionais apresentadas na Tabela 29 se dá com base no Teste de Wald e, de modo complementar, no Teste de Razão de Verossimilhança. No primeiro deles, conforme a Tabela 30, rejeita-se a hipótese nula de que os valores estimados para os coeficientes dos produtos dos fatores de produção sejam estatisticamente nulos. O Teste de Razão de Verossimilhança, por sua vez, teve resultado de 528,98, enquanto seu valor crítico é de 12,59, considerando a distribuição *qui-quadrado* com seis graus de liberdade¹⁴ e 5% de significância.

Tabela 30. Teste de Wald comparando a *Cobb-Douglas* e a translog.

Hipótese nula (H ₀)	Valor-p	Decisão
$\frac{1}{2} \sum_{j=1}^{3} \sum_{l=1}^{3} \beta_{jl} \ln X_{j} \ln X_{l} = 0$	0,000	Rejeita-se H_0

Fonte: Elaborada pela autora.

Uma vez que o Teste de Wald e o de Razão de Verossimilhança rejeitaram a hipótese nula, tem-se que a forma funcional translog apresenta melhor ajuste para o modelo empírico estimado. Desse modo, assim como na seção 4.2, a exposição dos resultados desse segundo modelo será feita considerando a função translog.

Os testes iniciais para a detecção da ineficiência técnica, reportados em 4.3.1, não consideraram a distribuição admitida para a mesma (*half-normal*). Desse modo, após estimada a fronteira estocástica de produção (modelo irrestrito), confronta-se a mesma com os resultados do MQO (modelo restrito) por meio do Teste de Razão de Verossimilhança. Com base na forma funcional translog, o resultado desse teste foi de 38,67, enquanto seu valor crítico, ao nível de 1% de significância, é de 5,412. Portanto, rejeita-se a hipótese nula de que não há ineficiência técnica na amostra, o que, por conseguinte, valida a aplicação do modelo de fronteira estocástica.

Com base nas estimativas apresentadas na Tabela 29, e considerando o formato translog, a soma dos coeficientes dos fatores de produção é de cerca de 2,03. Ao testar essa soma, rejeita-se a hipótese nula de que a função de produção tenha retornos constantes à escala (valor-p: 0,0015)¹⁵. Esse resultado condiz com aquele obtido no Modelo I (seção 4.2): em

¹⁴ A distribuição *qui-quadrado* tem seis graus de liberdade, pois essa é a quantidade de parâmetros que têm na função translog, mas não na *Cobb-Douglas*.

¹⁵ Para a *Cobb-Douglas*, a soma dos coeficientes dos fatores de produção é de 1,08. Para essa função, não se rejeita a hipótese de que a mesma tenha retornos constantes à escala (valor-p: 0,1117).

ambas as especificações da função de produção, a mesma não apresenta retornos constantes à escala.

Os coeficientes estimados indicam que a pecuária de corte é mais responsiva ao insumo terra: a expansão de 1% na área de pastagens, *ceteris paribus*, implica no aumento de 0,587% na quantidade de arrobas produzidas. Por sua vez, o aumento de 1% no capital resulta na variação de 0,265% na produção, mantidas as demais variáveis constantes; para o trabalho, a elasticidade é de 0,239%. Essa relação ordinal dos insumos quanto à influência na produção é verificada também ao se considerar a função *Cobb-Douglas* e o primeiro modelo estimado, também nas duas formas funcionais (seção 4.2).

Assim como no Modelo I, o confinamento, que se caracteriza pela produção intensiva e, por conseguinte, pela maior produção animal por área, foi o único dentre os sistemas que teve sinal positivo, indicando favorecer a produção de gado de corte. É válido ponderar que dentre os coeficientes dos sistemas produtivos, apenas aqueles associados à cria, ciclo completo, confinamento e cria-recria foram estatisticamente significativos.

De acordo com os resultados obtidos, quanto maior é o ganho de peso diário dos bovinos – *proxy* para a genética –, mais próximo o pecuarista está da fronteira de produção, sinalizando que o investimento em rebanho com melhor potencial genético pode impulsionar a produtividade da pecuária de corte.

Quanto ao ambiente no qual a atividade se desenvolve, o coeficiente associado à aptidão agrícola foi positivo, indicando que as fazendas localizadas em áreas com condições mais favoráveis ao crescimento vegetativo estariam mais próximas à fronteira de produção da pecuária de corte. No entanto, o coeficiente estimado não foi estatisticamente significativo, sinalizando que, nesse modelo, o fator ambiental foi neutro.

Esse modelo difere-se daquele apresentado em 4.2 justamente pela variável utilizada para representar o meio físico. Enquanto naquele empregavam-se variáveis edafoclimáticas (graus-dia de crescimento, sazonalidade da temperatura e aridez) na função de produção, no modelo dessa seção utilizou-se o índice de aptidão do meio físico. Além dessa diferença, apenas no Modelo I foi possível corroborar a ideia de que há uma relação muito estreita entre as condições de clima e de solo e a produção animal, dado que no mesmo os coeficientes das variáveis edafoclimáticas foram estatisticamente significativos.

Em relação às variáveis selecionadas como explicativas para a ineficiência técnica, apenas a adubação, a rotação de pastagens e a suplementação mineral tiveram sinal negativo (redutor da ineficiência), enquanto as demais variáveis (integração lavoura-pecuária, suplementação proteica e assistência técnica) tiveram sinal positivo, assim como no primeiro

modelo estimado. Por sua vez, os coeficientes estatisticamente significativos foram: rotação de pastagens, suplementação mineral e assistência técnica.

Os resultados da Tabela 29 sinalizam apenas qual é o efeito que as variáveis explicativas da ineficiência técnica têm sobre a mesma (aumento ou decréscimo), não sendo possível associar o valor dos coeficientes com a magnitude dos efeitos que as variáveis causam. Desse modo, faz-se necessário o cômputo dos efeitos marginais das mesmas, os quais estão expostos na Tabela 31.

Tabela 31. Efeitos marginais das variáveis exógenas sobre E(u) e V(u).

Variável exógena	E(u)	V(u)
Adubação ($Adub_i$)	-0,026	-0,004
Piquetes $(Rota_i)$	-0,003	-0,0004
Suplementação proteica (SupProtei _i)	0,013	0,002
Suplementação mineral (SupMin _i)	-0,437	-0,063
$ILP(ILP_i)$	0,008	0,001
Assistência técnica (ATec _i)	0,051	0,007

Fonte: Elaborada pela autora.

Considerando apenas os coeficientes que foram estatisticamente significativos, tem-se que: a expansão de 1% na quantidade de piquetes diminui em 0,3% a ineficiência técnica (E(u)) e a incerteza da mesma em 0,04% (V(u), variância); o aumento de 1% na quantidade de sal mineral oferecido aos bovinos, em kg/UA/dia, diminui em 43,7% a ineficiência e em 6,3% a sua incerteza; por fim, o recebimento de assistência técnica aumenta em 5,1% a ineficiência e em 0,7% a sua incerteza.

Conforme já discorrido em 4.2, esperava-se que a assistência técnica diminuísse a ineficiência, mas o contexto em que esse suporte é recebido pelos produtores (ou seja, para a resolução de problemas já existentes) pode estar associado à não obtenção de um coeficiente negativo para essa variável.

Os resultados obtidos quanto à rotação de pastagens (representada pelo número de piquetes) corroboram os efeitos benéficos derivados da mesma que são discutidos na literatura. Como apontado por Vieira (2001), além de o pastejo rotacionado possibilitar uma maior produção animal por área, o constante acompanhamento dos piquetes permite a identificação de erros e evita que os mesmos sejam replicados. Além disso, esse acompanhamento também resulta em um maior controle sobre os animais e sobre a taxa de lotação. O efeito marginal do

número de piquetes (Tabela 31) demonstra que esses efeitos decorrentes da rotação de pastagens contribuem para a obtenção de um melhor desempenho técnico.

No que se refere à nutrição dos bovinos, apenas o uso de forragens para a dieta dos mesmos não garante ao produtor ganhos de eficiência. Segundo Moraes (2001), a deficiência mineral é uma característica comum nos bovinos criados a pasto, sendo que a mesma reflete na perda de produtividade dos mesmos (em termos de produção de carne ou leite) e, nos casos mais severos, causa a morte. De acordo com a Tabela 31, o uso de sal mineral na alimentação dos animais reduz de modo expressivo a ineficiência técnica das fazendas típicas que fazem esse tipo de suplementação.

Ao confrontar a fronteira estocástica de produção estimada com a quantidade efetivamente produzida pelos pecuaristas, tem-se que a pecuária de corte brasileira tem 90,87% de eficiência técnica, variando de 62,73% a 99,87%, conforme pode ser observado na Figura 19.

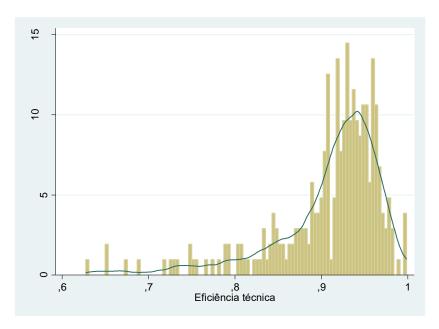


Figura 19. Distribuição de frequências da eficiência técnica.

Fonte: Elaborada pela autora.

Cerca de 70,6% das fazendas típicas analisadas (197 observações) apresentaram eficiência técnica superior à 90%. Essa concentração em níveis elevados de desempenho técnico também foi observada no primeiro modelo estimado (seção 4.2).

Os Modelo I e II assemelham-se quanto às fazendas típicas que apresentam o pior e o melhor desempenho, sendo as mesmas localizadas em Porto Velho (RO) e em São Félix do

Xingu (PA), amostradas em 2015 e 2016, respectivamente. Nesse segundo modelo, a eficiência técnica obtida pelas mesmas foi de 62,73% e 99,87%, nesta ordem.

Ao considerar a eficiência técnica média conforme os sistemas de produção (Tabela 32) e realizar o Teste t de Student (Tabela 33) 16 , tem-se que o desempenho médio das fazendas típicas que fazem apenas a cria dos animais, de 89,61%, é estatisticamente inferior àquele da pecuária no geral (quando todos os sistemas são considerados de forma conjunta), da recria, da recria-engorda e do ciclo-completo. Por sua vez, o Teste t de Student indicou que o escore das fazendas de recria é maior do que aquele da pecuária como um todo.

Tabela 32. Eficiência técnica conforme os sistemas de produção.

Sistemas de produção	Observações	Média	Mínimo	Máximo	Desvio-padrão
Cria	116	89,61%	65,12%	97,49%	0,0653
Ciclo-completo	38	92,03%	72,40%	98,81%	0,0548
Confinamento	3	92,33%	88,60%	94,74%	0,0321
Cria-recria	10	89,99%	75,06%	99,65%	0,0792
Engorda	7	85,87%	65,14%	96,18%	0,1197
Recria	11	93,75%	87,68%	98,19%	0,0284
Recria-engorda	94	92,04%	62,73%	99,87%	0,0590
Todos os sistemas	279	90,87%	62,73%	99,87%	0,0641

Fonte: Elaborada pela autora.

16

¹⁶ Os resultados do Teste *t* de *Student* basearam-se no teste de igualdade de variâncias (Apêndice F).

Tabela 33. Teste *t* de *Student* entre a eficiência técnica média conforme os sistemas de produção.

	Cria	Recria	Engorda	Cria- recria	Recria- engorda	Ciclo- completo	Confinamento
Todos os	1,7674*	-3,0692***	1,1002	0,4209	-1,5593	-1,0626	-0,3649
sistemas	g.l. 393	g.l. 14,4	g.l. 6,1	g.l. 287	g.l. 371	g.l. 315	g.l. 280
Cria		-3,9434***	0,8185	-0,1750	-2,7956***	-2,0554**	-0,6885
		g.l. 22,1	g.l. 6,2	g.l. 124	g.l. 208	g.l. 152	g.l. 117
Recria			1,7114	1,4206	1,6311	1,3964	0,8073
1100114			g.l. 6,4	g.l. 11,1	g.l. 22	g.1. 32,8	g.l. 12
Engorda				-0,8579	-1,3504	-1,3348	-0,8772
8				g.l. 15	g.l. 6,2	g.l. 6,5	g.l. 8
Cria-					-1,0070	-0,9484	-0,4645
recria					g.l. 102	g.l. 46	g.l. 11
Recria-						0,0089	-0,0540
engorda						g.l. 130	g.l. 95
Ciclo							-0,0604
Completo							g.1. 39

Nota: H_0 : as médias são iguais; g.l. indica os graus de liberdade; *** valor-p < 0,01; ** valor-p < 0,05; * valor-p < 0,1.

Esperava-se que, na média, os confinamentos apresentassem desempenho superior ao dos sistemas de produção extensivos, porém as fazendas de recria foram as que tiveram a maior eficiência. Apesar de o escore obtido pelos confinamentos ter sido o segundo maior dentre todos os sistemas, o mesmo não apresentou diferenças estatisticamente significativas em relação aos demais. Desse modo, não se pode afirmar que a eficiência técnica dos confinamentos (92,33%) é de fato superior àquela da pecuária no geral ou à dos outros sistemas, excluindo a recria.

Conforme exposto na discussão do Modelo I, apesar de os confinamentos não apresentarem o maior escore médio, a tecnologia associada aos mesmos ameniza patamares de eficiência muito baixos, uma vez que o desempenho mínimo das fazendas típicas de confinamento é o maior dentre os valores mínimos associados aos demais sistemas.

Ainda considerando as variáveis que compõem a fronteira estocástica de produção, as fazendas típicas podem ser divididas conforme as classes do índice de aptidão do meio físico. De acordo com a Tabela 34, que reúne a eficiência técnica conforme tais classes, e o Teste t de Student (Tabela 35) 17 , não há diferenças estatisticamente significativas entre o desempenho das

_

¹⁷ Os resultados do Teste *t* de *Student* basearam-se no teste de igualdade de variâncias (Apêndice F).

fazendas que têm índice de aptidão com escore de até 0,4382 e aquele das que estão em localidades com condições mais favoráveis para o crescimento vegetal.

Por outro lado, quando se compara o escore das fazendas que estão na segunda classe do índice de aptidão com aquele das que estão nas classes III ou IV, o teste rejeita a hipótese nula de que não haja diferenças estatisticamente significativas entre os mesmos, podendo afirmar, portanto, que o nível de eficiência das fazendas que têm índice de aptidão com escore entre 0,4382 e 0,5015 é superior ao das que têm patamares maiores dessa variável.

Tabela 34. Eficiência técnica média conforme as classes do índice de aptidão do meio físico.

Classes de aptidão	Observações	Média	Mínimo	Máximo	Desvio-padrão
I Até 0,4382	75	91,14%	67,52%	99,85%	0,0691
II De 0,4382 a 0,5015	69	92,34%	75,06%	98,19%	0,0445
III De 0,5015 a 0,5426	67	89,79%	62,73%	99,87%	0,0627
IV De 0,5426 a 0,7019	68	90,14%	65,12%	98,81%	0,0741

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 35. Teste *t* de *Student* entre a eficiência técnica média conforme as classes do índice de aptidão do meio físico.

	II	III	IV
T	-1,2448	1,2153	0,8366
1	g.l. 127,5	g.l. 140	g.l. 141
II		2,7265***	2,1014**
		g.l. 118,7	g.l. 109,4
III			-0,2962
			g.l. 130,1

Fonte: Elaborada pela autora.

Nota: H_0 : as médias são iguais; g.l. indica os graus de liberdade; *** valor-p < 0,01; ** valor-p < 0,05.

Como discutido anteriormente, não há na literatura um consenso quanto a relação entre o tamanho da propriedade rural e a produtividade da terra, com a maior parte das pesquisas indicando que há uma relação inversa entre essas duas variáveis.

A fim de verificar tal relação, os escores de eficiência desse segundo modelo foram divididos de acordo com o tamanho das fazendas. Os resultados obtidos assemelham-se àqueles do Modelo I.

Com base na eficiência técnica média e no Teste *t* de *Student*, Tabelas 36 e 37, respectivamente, tem-se que o desempenho das fazendas menores (até 350 hectares) é superior ao daquelas que estão na classe II, de 350 a 700 hectares. Quando a comparação é feita com as fazendas maiores (classes III e IV), a eficiência das que têm até 350 hectares é estatisticamente inferior à das demais.

Por sua vez, as propriedades que compõem a segunda classe têm desempenho estatisticamente inferior àquele das que estão nas classes posteriores e, portanto, têm maior extensão. Ao comparar a eficiência das fazendas que compõem a terceira e a quarta classes, tem-se que não há diferenças estatisticamente significativas quanto ao desempenho médio das mesmas.

Tabela 36. Eficiência técnica conforme as classes de área total da propriedade (hectares).

Classes de área	a (Observações	Média	Mínimo	Máximo	Desvio-padrão
I Até 350		71	89,98%	65,12%	96,65%	0,0557
II De 350 a 7	00'	74	87,94%	62,73%	96,91%	0,0752
III De 700 a 1	.200,50	64	92,50%	79,31%	98,19%	0,0398
IV De 1.200,5	50 a 20.000	70	93,36%	65,14%	99,87%	0,0641

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 37. Teste *t* de *Student* entre a eficiência técnica média conforme as classes de área total da propriedade.

	II	III	IV
	1,8676*	-3,0479***	-3,3435***
Ι	g.l. 134,5	g.l. 126,7	g.l. 139
II		-4,5412***	-4,6474***
		g.l. 114,1	g.l. 142
III			-0,9387
			g.l. 116,8

Fonte: Elaborada pela autora.

Nota: H_0 : as médias são iguais; g.l. indica os graus de liberdade; *** valor-p < 0,01; * valor-p < 0,1.

Desse modo, com base na amostra analisada, pode-se afirmar que há uma relação positiva entre tamanho e produtividade, mas a mesma não é linear, uma vez que a eficiência decresce entre as classes I e II. Assim como verificado na seção 4.2, esse resultado assemelhase com o obtido por Freitas (2014) ao analisar a agropecuária brasileira com base no Censo Agropecuário de 2006. O autor constatou que a eficiência crescia conforme a área, mas

decrescia para as fazendas com mais de mil hectares, sendo essa a classe que reunia as maiores propriedades em sua pesquisa.

A investigação quanto aos diferenciais nos níveis de eficiência técnica pode também ser realizada com base nas variáveis que foram selecionadas como explicativas para o desempenho das fazendas típicas. Assim como feito na seção 4.2, para as variáveis que são dummy, divide-se as fazendas típicas entre aquelas que fazem determinado manejo e as que não o fazem. Para as variáveis contínuas e discretas, a análise baseia-se nas classes em que as mesmas estão distribuídas.

Na Tabela 38, estão os resultados da eficiência técnica de acordo com a adubação de pastagens, realização de integração lavoura-pecuária (ILP) e recebimento de assistência técnica. Para verificar se há diferença estatisticamente significativa entre os níveis de eficiência de cada um dos grupos, realizou-se o Teste *t* de *Student*, o qual está reportado na sequência (Tabela 39). Cabe ressaltar que esse último se baseou no teste de igualdade de variâncias (Apêndice F).

Tabela 38. Eficiência técnica estimada conforme a realização de adubação ou ILP e recebimento de assistência técnica.

	Observações	Média	Mínimo	Máximo	Desvio-padrão
Faz adubação	125	91,75%	65,12%	99,87%	0,0575
Não faz adubação	154	90,15%	62,73%	99,76%	0,0683
Faz ILP	13	90,37%	75,38%	96,31%	0,0546
Não faz ILP	266	90,89%	62,73%	99,87%	0,0646
Recebe assistência técnica	62	87,85%	62,73%	98,81%	0,0845
Não recebe assistência técnica	217	91,73%	67,52%	99,87%	0,0542

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 39. Teste *t* de *Student* entre a eficiência técnica média das fazendas típicas que realizam ou não adubação de pastagens e ILP e recebem ou não assistência técnica.

	Não faz adubação	Não faz ILP	Não recebe assistência técnica
Faz adubação	2,1140** g.l. 276,6	-	-
Faz ILP	-	-0,2834 g.1. 277	-
Recebe assistência técnica	-	-	-3,4229*** g.l. 75,9

Fonte: Elaborada pela autora.

Nota: H_0 : as médias são iguais; g.l. indica os graus de liberdade; *** valor-p < 0,01; ** valor-p < 0,05.

De acordo com a Tabela 39, os resultados do Teste *t* de *Student* permitem afirmar que a eficiência técnica das fazendas que fazem adubação de pastagens é superior àquela das que não a fazem. Do mesmo modo, o Teste indica que aquelas que receberam assistência técnica têm desempenho inferior ao das propriedades que não tiveram esse tipo de suporte. Quanto à realização de integração lavoura-pecuária (ILP), não foi encontrada diferença estatisticamente significativa entre a eficiência das fazendas que têm essa prática e aquela das que não fazem o consórcio entre agricultura e pecuária. Cabe destacar que essas mesmas relações foram observadas no primeiro modelo empírico (seção 4.2), o que corrobora a robustez dos resultados apresentados.

Como verificado anteriormente, o fornecimento de sal mineral aos bovinos contribui de modo significativo para o aumento do desempenho das fazendas típicas analisadas. Na Tabela 40, encontra-se a eficiência técnica média das propriedades conforme a quantidade de suplemento dada aos animais, em kg/UA/dia. De acordo com o Teste *t* de *Student* (Tabela 41), o escore obtido pelas fazendas que não fornecem sal mineral aos bovinos não é estatisticamente diferente daquele das que o fazem com quantidade de até 0,1047 kg/UA/dia do insumo.

No entanto, rejeitou-se a hipótese nula de que não haja diferença estatística entre a eficiência média quando se compara as fazendas que se enquadram em cada uma das classes de suplementação mineral, sinalizando que essa prática resulta em diferenciais no desempenho. Com base nesses resultados, pode-se perceber que, de modo geral, o escore se eleva conforme a quantidade de sal fornecida aos animais torna-se maior.

Tabela 40. Eficiência técnica conforme as quantidades de suplementação mineral fornecida aos animais (kg/UA/dia).

Cla	sses de suplementação	Observações	Média	Mínimo	Máximo	Desvio-padrão
I	Não fornece	15	87,36%	65,14%	96,55%	0,1003
II	Até 0,08	72	87,24%	65,12%	99,76%	0,0697
III	De 0,08 a 0,1047	60	91,45%	78,74%	99,87%	0,0485
IV	De 0,1047 a 0,1560	66	92,07%	68,77%	98,81%	0,0484
V	De 0,1560 a 0,7219	66	93,89%	62,73%	99,85%	0,0527

Fonte: Elaborada pela autora.

_

¹⁸ O teste de igualdade de variâncias, que baseou o Teste t de Student, está reportado no Apêndice F.

Tabela 41. Teste *t* de *Student* entre a eficiência técnica média conforme as classes de suplementação mineral.

	II	III	IV	V
I	0,0301	-1,5462	-1,7863*	-2,4584**
1	g.l. 16,9	g.l. 15,7	g.l. 15,5	g.l. 15,8
II		-4,0689***	-4,7606***	-6,3517***
		g.l. 126,2	g.l. 126,9	g.l. 131,3
III			-0,7261	-2,7009***
			g.l. 124	g.l. 124
IV				-2,0637**
				g.l. 130

Nota: H_0 : as médias são iguais; g.l. indica os graus de liberdade; *** valor-p < 0,01; ** valor-p < 0,05; * valor-p < 0,1.

Quanto à suplementação proteica (Tabela 42), cerca de 50% das fazendas típicas analisadas não a fazem. Apesar disso, segundo o resultado do Teste *t* de *Student*¹⁹ (Tabela 43), o desempenho obtido por essas fazendas não difere estatisticamente daquele alcançado pelas propriedades que usam até 0,2119 kg/UA/dia do insumo. Por outro lado, a eficiência das fazendas que não fazem suplementação é inferior àquela das que estão nas classes de III a V, com os animais consumindo de 0,3830 a 1,71 kg/UA/dia do sal proteinado. Ainda com base na Tabela 43, as fazendas que estão na segunda classe, com eficiência média de 90,09%, têm desempenho inferior àquele das que fornecem quantidades maiores do insumo (classes IV e V).

Tabela 42. Eficiência técnica conforme as quantidades de suplementação proteica fornecida aos animais (kg/UA/dia).

Clas	sses de suplementação	Observações	Média	Mínimo	Máximo	Desvio-padrão
I	Não fornece	140	89,92%	62,73%	99,87%	0,0700
II	Até 0,2119	35	90,09%	74,70%	97,81%	0,0625
III	De 0,2119 a 0,3830	35	91,99%	78,74%	99,76%	0,0482
IV	De 0,3830 a 0,5338	34	92,47%	73,16%	97,49%	0,0485
V	De 0,5338 a 1,71	35	92,77%	68,77%	98,19%	0,0582

Fonte: Elaborada pela autora.

-

¹⁹ O teste de igualdade de variâncias, que baseou o Teste t de Student, está reportado no Apêndice F.

Tabela 43. Teste *t* de *Student* entre a eficiência técnica média conforme as classes de suplementação proteica.

	II	III	IV	V
ī	-0,1301	-2,0371**	-2,4779**	-2,2116**
•	g.l. 173	g.l. 73,3	g.l. 69,7	g.l. 173
II		-1,4065	-1,7438*	-1,8297*
		g.l. 68	g.l. 67	g.l. 68
***			0.4000	0.5002
III			-0,4098 ~1.67	-0,5993
			g.l. 67	g.l. 68
IV				-0,2234
				g.l. 67

Nota: H_0 : as médias são iguais; g.l. indica os graus de liberdade; ** valor-p < 0,05; * valor-p < 0,1.

Por fim, na Tabela 44 está reportada a eficiência técnica média conforme o número de piquetes existentes nas propriedades típicas. Primeiramente, pode-se observar que o escore aumenta gradualmente conforme eleva-se a quantidade de piquetes. Novamente, é válido ponderar que o estabelecimento dos mesmos depende, dentre outros fatores, da área disponível, do período de ocupação dos animais e da disponibilidade de forragem.

Tabela 44. Eficiência técnica média conforme as classes de número de piquetes.

Classes de piquetes	Observações	Média	Mínimo	Máximo	Desvio-padrão
I Até 7,65	70	86,72%	62,73%	95,30%	0,0761
II De 7,65 a 11,6	70	90,24%	68,77%	96,45%	0,0541
III De 11,6 a 19,45	69	91,72%	75,38%	98,19%	0,0464
IV De 19,45 a 150	70	94,81%	65,14%	99,87%	0,0456

Fonte: Elaborada pela autora.

De acordo o Teste t de Student (Tabela 45) 20 , a eficiência média das fazendas com até 7,65 piquetes (classe I) difere-se estatisticamente daquela das propriedades que se enquadram nas demais classes, ou seja, que possuem mais piquetes. Essa mesma relação é observada ao confrontar a eficiência das fazendas que estão na classe II com as das classes III e IV, e, por fim, da terceira com a quarta classe. Desse modo tem-se que, no geral, existe uma associação entre o número de piquetes da propriedade e o desempenho técnico da mesma.

²⁰ O teste de igualdade de variâncias, que baseou o Teste t de Student, está reportado no Apêndice F.

Tabela 45. Teste *t* de *Student* entre a eficiência técnica média conforme as classes de número de piquetes.

	II	III	IV
T	-3,1313***	-4,6517***	-7,5797***
1	g.l. 124,6	g.l. 114,5	g.l. 113
II		-1,7187*	-5,3684***
		g.l. 137	g.l. 138
III			-3,9318***
			g.l. 137

Nota: H_0 : as médias são iguais; g.l. indica os graus de liberdade; *** valor-p < 0,01; * valor-p < 0,1.

A relação encontrada entre o número de piquetes (*proxy* para a rotação de pastagens) e a eficiência técnica não deve ser interpretada apenas como: fazendas com maior quantidade de piquetes, no geral, têm melhor desempenho. Os resultados não se restringem à quantidade de subdivisões que a área de pastagem tem *per se*, mas corroboram os benefícios que são derivados do pastejo rotacionado, os quais foram citados anteriormente.

4.4. Modelos I e II com a variável de tendência temporal

Nas Tabelas 46 e 47 estão reportadas as estimativas dos coeficientes da fronteira de produção e dos determinantes da eficiência técnica para o Modelo I (variáveis edafoclimáticas) e para o Modelo II (aptidão do meio físico), respectivamente, quando a tendência temporal é adicionada como variável explicativa. Cabe ressaltar que este é o único fator que diferencia os modelos reportados nesta seção daqueles que estão em 4.2 e em 4.3.

Tabela 46. Modelo I com a variável de tendência temporal.

		(continua)
Variável	Cobb-Douglas	Translog
Fronteira		
ln terra (T_i)	0,430***	0,564***
	(0,040)	(0,035)
ln capital (K_i)	0,320***	0,243***
	(0,062)	(0,056)
ln trabalho (L_i)	0,306***	0,263***
	(0,059)	(0,056)
Índice de aridez anual (IA_i)	0,038**	0,014**
	(0,017)	(0,007)
Sazonalidade da temperatura (ST_i)	-0,070	-0,093*
	(0,143)	(0,055)
$GDD(GDD_i)$	0,099***	0,027***
	(0,025)	(0,010)
Ganho de peso diário dos animais (GP_i)	0,002***	0,001***
	(0,0003)	(0,0001)
Cria ($DSIS_{1,i}$)	-0,413***	-0,172***
	(0,116)	(0,043)
Ciclo completo ($DSIS_{2,i}$)	-0,274**	-0,106**
	(0,130)	(0,048)
Confinamento ($DSIS_{3,i}$)	1,192***	0,203**
	(0,236)	(0,093)
Cria-recria ($DSIS_{4,i}$)	-0,296*	-0,132**
	(0,156)	(0,060)
Engorda ($DSIS_{5,i}$)	-0,295	-0,060
	(0,199)	(0,072)
Recria-engorda (DSIS _{7,i})	-0,102	-0,033
	(0,112)	(0,041)
Tempo (t)	0,004	0,005*
	(0,005)	(0,002)
Tempo x Tempo $(t \times t)$	-	0,001
		(0,001)
Tempo x ln terra $(t \times T_i)$	-	-0,006
		(0,007)
Tempo x ln trabalho ($t \times L_i$)	-	-0,014
		(0,013)
Tempo x ln capital $(t \times K_i)$	-	0,022
		(0,013)
$ \ln \operatorname{terra} \times \ln \operatorname{terra} (T_i \times T_i) $	-	0,109
		(0,067)
In capital x In capital $(K_i \times K_i)$	-	-0,113
		(0,335)
ln trabalho x ln trabalho $(L_i \times L_i)$	-	1,116**
		(0,467)

Tabela 46. Modelo I com a variável de tendência temporal.

(conclusão) Variável Cobb-Douglas Translog ln terra x ln capital $(T_i \times K_i)$ -0,002 (0,163)ln terra x ln trabalho ($T_i \times L_i$) -0,670*** (0,122)In trabalho x In capital ($L_i \times K_i$) 0,025 (0,356)-0,356 -0,276** Constante (0,724)(0,129)usigmas -0,746* Adubação (Adub_i) -0,663 (0,662)(0,429)Piquetes ($Rota_i$) -0,123-0,051 (0,087)(0,041)Suplementação proteica (SupProtei_i) 0,381 0,937 (0,570)(1,142)Suplementação mineral (SupMin_i) -7,097* -12,808* (7,139)(3,831)ILP (ILP_i) 0,994 0,263 (0,954)(1,136)Assistência técnica (ATec_i) 1,230* 1,061** (0,734)(0,486)-2,966*** Constante -1,120 (0,743)(0,473)vsigmas -2,327*** -4,512*** Constante (0,110)(0,200)Total de observações 279 279 Log likelihood -88,6315 181,1112 Wald chi2 1100,46 1731,78 Prob > chi20,0000 0,0000

Fonte: Elaborada pela autora.

Notas: Desvio-padrão dos coeficientes entre parênteses; *** valor-p < 0,01; ** valor-p < 0,05; * valor-p < 0,1.

Tabela 47. Modelo II com a variável de tendência temporal.

		(continua)
Variável	Cobb-Douglas	Translog
Fronteira		
$\ln \operatorname{terra}(T_i)$	0,475***	0,596***
	(0,037)	(0,035)
In capital (K_i)	0,310***	0,226***
	(0,063)	(0,058)
ln trabalho (L_i)	0,296***	0,251***
	(0,060)	(0,058)
Índice de aptidão do meio físico (Ap_i)	-0,159	0,076
	(0,315)	(0,117)
Ganho de peso diário dos animais (GP_i)	0,002***	0,001***
	(0,0003)	(0,0001)
Cria ($DSIS_{1,i}$)	-0,386***	-0,158***
	(0,118)	(0,043)
Ciclo completo $(DSIS_{2,i})$	-0,224*	-0,091*
	(0,129)	(0,047)
Confinamento ($DSIS_{3,i}$)	1,237***	0,193**
	(0,244)	(0,096)
Cria-recria ($DSIS_{4,i}$)	-0,296*	-0,118*
	(0,161)	(0,061)
Engorda ($DSIS_{5,i}$)	-0,197	-0,034
	(0,201)	(0,073)
Recria-engorda (DSIS _{7,i})	-0,063	-0,021
	(0,113)	(0,041)
Tempo (t)	0,006	0,005*
	(0,005)	(0,002)
Tempo x Tempo $(t \times t)$	-	-0,0004
		(0,001)
Tempo x ln terra $(t \times T_i)$	-	-0,007
		(0,007)
Tempo x ln trabalho ($t \times L_i$)	-	-0,195
		(0,013)
Tempo x ln capital ($t \times K_i$)	-	0,029**
		(0,014)
$ \ln \operatorname{terra} \times \ln \operatorname{terra} \left(T_i \times T_i \right) $	-	0,112*
		(0,067)
In capital x ln capital $(K_i \times K_i)$	-	0,050
		(0,349)
ln trabalho x ln trabalho $(L_i \times L_i)$	-	1,249***
		(0,473)
In terra x In capital $(T_i \times K_i)$	-	0,006
		(0,173)
ln terra x ln trabalho $(T_i \times L_i)$	-	-0,712***
		(0,129)

Tabela 47. Modelo II com a variável de tendência temporal.

		(conclusão)
Variável	Cobb-Douglas	Translog
ln trabalho x ln capital ($L_i \times K_i$)	-	-0,047
		(0,365)
Constante	0,475	-0,121
	(0,690)	(0,088)
usigmas		
Adubação ($Adub_i$)	-0,504	-0,587
	(0,551)	(0,373)
Piquetes $(Rota_i)$	-0,102*	-0,065
	(0,055)	(0,039)
Suplementação proteica (SupProtei _i)	0,854	0,221
	(0,930)	(0,583)
Suplementação mineral (SupMin _i)	-15,075**	-9,248***
	(6,052)	(3,481)
$ILP(ILP_i)$	0,692	0,033
	(1,041)	(1,024)
Assistência técnica (ATec _i)	1,101*	1,012**
	(0,610)	(0,416)
Constante	-0,745	-2,493***
	(0,657)	(0,463)
vsigmas		
Constante	-2,290***	-4,479***
	(0,113)	(0,174)
Total de observações	279	279
Log likelihood	-98,9877	173,3225
Wald chi2	1058,50	1716,86
Prob > chi2	0,0000	0,0000

Notas: Desvio-padrão dos coeficientes entre parênteses; *** valor-p < 0,01; ** valor-p < 0,05; * valor-p < 0,1.

Tanto no Modelo I quanto no II, a tendência temporal foi significativa somente na forma translog, ao nível de 10% de significância, indicando que a eficiência técnica das fazendas típicas analisadas foi crescente no decorrer dos anos. No Modelo II, ainda, o coeficiente da variável tendência e do capital ($t \times K_i$) foi positivo e significativo ao nível de 5%, o que sinaliza que o uso do capital ao longo do tempo contribuiu para melhorias na produção da pecuária de corte brasileira.

No entanto, comparando os resultados reportados nesta seção com aqueles das seções 4.2 e 4.3, os quais não consideraram a variável de tendência na função de produção, tem-se que

a inclusão do fator tempo nos modelos não melhorou de forma significativa o ajuste dos mesmos. Conforme indicado pelo Teste de Razão de Verossimilhança (Tabela 48), ao nível de 5% de significância, não se rejeita a hipótese nula de que os parâmetros a mais no modelo irrestrito (que inclui a variável de tendência temporal) sejam estatisticamente nulos.²¹

Tabela 48. Resultados do Teste de Razão de Verossimilhança.

Modelo	Forma Funcional	Hipótese nula	g. l.	Valor do teste	Valor crítico a 5%	valor-p
	Cobb-Douglas	$\theta = 0$	1	0,685	3,8415	0,4079
I		$\beta_{jt} = 0$				
1	Translog	$\theta_t = 0$	5	7,207	11,0705	0,2057
		$\theta_{tt} = 0$				
	Cobb-Douglas	$\theta = 0$	1	1,443	3,8415	0,2297
II		$\beta_{jt} = 0$				
	Translog	$\theta_t = 0$	5	9,559	11,0705	0,0887
		$\theta_{tt} = 0$				

Fonte: Elaborada pela autora.

Nota: g. l. indica os graus de liberdade.

Ao confrontar as estimativas apresentadas nas Tabelas 46 e 47 com aquelas que estão nas Tabelas 12 e 29, observa-se que em termos de magnitude, sinal e significância estatística, majoritariamente os coeficientes estimados não se alteraram de forma expressiva quando a variável de tendência foi incluída nos modelos.

Quanto ao Modelo I na forma translog, cabe destacar que na especificação sem tendência temporal, o coeficiente do produto cruzado do capital ($K_i \times K_i$) foi positivo, porém, quando se considerou o tempo, o sinal passou a ser negativo. Para o coeficiente do trabalho e do capital ($L_i \times K_i$) a alteração foi inversa: enquanto na primeira especificação o sinal foi negativo, na segunda passou a ser positivo. Já o coeficiente da terra e do capital ($T_i \times K_i$), por exemplo, tinha magnitude de -0,041 na primeira especificação e alterou-se para -0,002 na segunda. Cabe ressaltar que nenhum desses coeficientes, considerando ambas as especificações, foi estatisticamente significativo.

Já no Modelo II, também na forma translog, destaca-se a inversão de sinal para o coeficiente da terra e do capital ($T_i \times K_i$), que na versão sem tendência temporal era negativo e passou a ser positivo depois da inclusão de tal variável. O produto cruzado do capital ($K_i \times K_i$),

²¹ Com base nos resultados do Teste de Razão de Verossimilhança, optou-se por analisar o Modelo I e o II (seções 4.2 e 4.3, respectivamente) sem considerar a variável de tendência temporal, uma vez que a maior complexidade decorrente da inclusão da mesma não resultou em um ajuste significativamente melhor.

por sua vez, teve uma alteração expressiva, passando de 0,386 na primeira especificação para 0,050 na segunda. Por fim, o coeficiente da rotação de pastagens, que foi significativo a 10 % quando o fator tempo não foi considerado, deixou de ser estatisticamente significante a partir da inclusão dessa variável. Os coeficientes $T_i \times K_i$ e $K_i \times K_i$ não foram estatisticamente significativos em nenhuma das duas especificações (com e sem a tendência temporal).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pecuária de corte brasileira é uma das mais competitivas frente aos demais *players* do mercado de carne bovina, sendo responsável por atender uma parcela significativa da demanda mundial pela proteína. Consequentemente, essa representatividade no mercado externo é internalizada para a economia doméstica, contribuindo para a geração de riquezas do País.

Deste modo, avanços na produtividade da pecuária de corte brasileira trariam benefícios tanto para a cadeia em si quanto, de forma mais geral, para a economia. A obtenção de melhores resultados, considerando a relação entre quantidade produzida e insumos, pode refletir-se nos custos da atividade e, portanto, ajudar o Brasil a sustentar sua competitividade no contexto internacional e seu papel estratégico na consecução da segurança alimentar.

Neste sentido, o objetivo desta pesquisa foi mensurar a eficiência técnica dos pecuaristas brasileiros por meio da fronteira estocástica de produção e analisar possíveis determinantes desse nível de desempenho. Para tanto, utilizou-se a base de dados primários do Cepea/CNA, o levantamento GYGA-ED e o índice de aptidão do meio físico elaborado pelo GeoLab. Até onde se tem conhecimento, essas bases nunca haviam sido empregadas em análises com esta abordagem metodológica.

Foram estimados dois modelos empíricos, os quais diferenciaram-se quanto à forma em que as condições do meio físico foram representadas na função de produção. No Modelo I, utilizou-se variáveis edafoclimáticas; enquanto no Modelo II, utilizou-se o índice de aptidão do meio físico. Apesar dessa diferença, ambos se assemelharam no sentido de que a pecuária de corte no Brasil tem eficiência técnica elevada, o que se apresenta como basilar para a competitividade da cadeia. No Modelo I, a produção obtida pelos pecuaristas representa, em média, 91,22% do potencial, de modo que o aumento em 8,78 p.p. elevaria a produção ao seu máximo; já no Modelo II, os produtores atingem 90,87% da quantidade potencial, restando, portanto, uma lacuna de 9,13 p.p. para que os mesmos elevem seu desempenho ao maior nível.

Ao incluir a variável de tendência temporal na análise, tem-se que o desempenho dos pecuaristas foi crescente ao longo dos anos, fazendo com que os mesmos estivessem mais próximos à fronteira de produção. No entanto, considerando os aspectos metodológicos, a maior complexidade decorrente desta inclusão não refletiu em um ajuste melhor do modelo quando comparado àquele no qual o fator tempo não foi considerado.

Os resultados quanto à fronteira de produção indicam que os sistemas extensivos *per se* impactam negativamente a atividade; por sua vez, os confinamentos exercem efeito

contrário, sinalizando que a intensificação pecuária pode se refletir em melhorias para o setor, como era esperado. O sistema intensivo, ao elevar a produção por hectare e, portanto, resultar no uso mais eficiente do insumo terra, pode, ainda, liberar áreas para o desenvolvimento de outras atividades.

O escore de eficiência técnica obtido pelas fazendas típicas, no geral, aumenta gradualmente conforme o tamanho das mesmas torna-se maior, mas esta relação não é linear. Os produtores maiores tendem a ter acesso a mais recursos, o que facilita aos mesmos o emprego de técnicas de produção mais modernas visando impulsionar os resultados da fazenda.

Ao comparar a eficiência técnica dos sistemas, os pecuaristas que fazem a recria dos animais são os que estão mais próximos da fronteira de produção, com escore superior à média geral da pecuária. Esperava-se que a eficiência dos confinamentos fosse a maior dentre aquelas de todos os sistemas, devido ao seu maior nível tecnológico, mas isso não foi verificado.

A produção obtida pelos pecuaristas é resultante da combinação entre o desenvolvimento animal (que inclui as características genotípicas dos bovinos), produção vegetal e, por conseguinte, condições do meio físico. No Brasil, estes dois últimos fatores têm acentuada importância pelo fato de a criação dos animais ser predominantemente extensiva e, portanto, estes terem sua alimentação baseada nas pastagens.

De fato, os resultados do Modelo I sinalizam a estreita relação entre as variáveis edafoclimáticas (graus-dia de crescimento, sazonalidade da temperatura e índice de aridez) e a produção da pecuária, mesmo que os efeitos das mesmas se deem, majoritariamente, de forma indireta sobre os bovinos, por meio das pastagens. A sazonalidade da temperatura, porém, pode ter relação direta com os animais, pelo fato de que variações na temperatura podem resultar na condição de estresse térmico. Nesse contexto, agentes do setor devem manter-se atentos quanto ao cenário de mudanças climáticas que é projetado para o longo prazo e, quando cabível, buscar soluções para mitigar os efeitos negativos que tais mudanças possam causar na produção. No Modelo II, no entanto, o fator ambiental foi neutro, uma vez que o coeficiente do índice de aptidão não foi estatisticamente significativo, apesar de apresentar o sinal esperado.

É válido ponderar que tanto a base de dados GYGA-ED quanto a do GeoLab, utilizadas no Modelo I e II, respectivamente, relacionam o ambiente com o crescimento vegetativo de um modo geral. A existência de uma base de dados específica para as espécies forrageiras, com o teor de conteúdo das duas bases citadas, permitiria uma investigação mais acurada da relação entre ambiente e pecuária.

No que tange às características genotípicas dos bovinos, os resultados de ambos os modelos empíricos demostraram que quanto melhor é a genética dos animais, representada pelo

ganho de peso diário dos mesmos, mais próxima a fazenda está da fronteira de produção. A genética atua como um condicionante para o resultado do emprego de técnicas produtivas mais modernas, dado que os animais podem não responder a estas caso não tenham potencial genético compatível.

O resultado quanto a genética mostra que a tecnologia, de modo geral, pode contribuir para que a pecuária de corte tenha avanços em produtividade, o que foi corroborado pela análise dos determinantes da ineficiência técnica. De acordo com o Modelo II, a suplementação mineral e a rotação de pastagens contribuem para que os produtores diminuam a ineficiência e, portanto, fiquem mais próximos da fronteira de produção. Dentre as fazendas típicas analisadas nesta pesquisa, a expressiva maioria delas fornecia sal mineral aos animais, bem como tinha a pastagem dividida em piquetes.

Estes resultados, ao mostrarem a importância de práticas mais modernas, sinalizam que a criação dos animais de modo puramente extensivo deixará o desempenho do pecuarista aquém do seu potencial. Em outras palavras, impulsos na produtividade da cadeia estão atrelados à adoção de práticas de manejo mais avançadas.

Ainda quanto aos determinantes da ineficiência técnica, é interessante observar que, atualmente, o recebimento de assistência técnica não contribui para que o produtor aumente a sua produtividade. A busca por profissionais capacitados para a solução de problemas pontuais não reflete na disseminação de novas tecnologias, o que permitiria melhores resultados no médio/longo prazo. Dessa forma, evidencia-se a necessidade de que agentes dos setores público e privado, em seus respectivos trabalhos de assistência técnica, busquem fazer uma orientação direcionada para impulsionar o desenvolvimento da atividade no correr do tempo.

Como já citado, a produção de gado de corte é resultante da complexa interação entre diversos elementos. Parte destes não é passível de controle pelos pecuaristas, mas outra parte decorre das escolhas dos mesmos sobre como conduzir a atividade. Dentre os fatores controláveis, há muitas formas de manejo que podem ser adotadas, de forma individual ou combinada, com objetivos específicos e adequados à cada localidade. Dessa forma, o desempenho produtivo reflete o efeito conjunto de muitas variáveis sendo, primeiramente, difícil abarcar todas as que estão envolvidas e, dentre aquelas incorporadas no modelo empírico, captar o efeito isolado que as mesmas têm sobre a produção. Esse segundo ponto pode estar relacionado à não obtenção de coeficientes estatisticamente significativos para parte das variáveis analisadas nesta pesquisa como potenciais determinantes do desempenho dos produtores.

Os efeitos que as variáveis explicativas da ineficiência técnica têm sobre a mesma podem ser vistos de modo focalizado, ao nível das fazendas típicas, assim como o desempenho atingido por cada uma delas. Assim sendo, pode-se comparar se a eficiência de uma região é mais sensível a determinado fator do que o observado em outra localidade. Esse tipo de análise dá subsídios para o delineamento de políticas públicas e, ao mesmo tempo, sinaliza potenciais produtos e/ou serviços que podem ser formulados e/ou ofertados por parte do setor privado.

As análises quanto à pecuária de corte brasileira, utilizando a fronteira estocástica de produção, são escassas na literatura, demonstrando que ainda há espaço para que fatores relevantes sejam estudados por meio desse método. Incentiva-se que os próximos trabalhos possam estimar a fronteira estocástica para dados em painel, o que tende a permitir a geração de mais resultados. Além disso, considerando as especificidades associadas a cada uma das fases de produção dos bovinos, a aplicação da metafronteira – sendo os sistemas de produção os grupos de análise – permitiria um entendimento mais acurado sobre cada um destes e, posteriormente, da eficiência da pecuária como um todo.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, L. M.; GUISCEM, J M. **Graus-dia com diferentes valores de temperatura base na cultura do milho (Zea mays l.).** 2002. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/34890/1/Graus-dia.pdf. Acesso em: 22 jun. 2018.
- AIGNER, D.; LOVELL, C. A. K.; SCHMIDT, P. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. **Journal of Econometrics**, v. 6, p. 21-37, 1977. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/0304-4076(77)90052-5 Acesso em: 05 abr. 2018.
- ARAÚJO, M. A. Eficiência da produção da pastagem e potencial de intensificação da pecuária bovina no estado de São Paulo: instrumentos para avaliação e proposição de políticas públicas. 2018. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018. Disponível em: http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-11102018-103029/pt-br.php>. Acesso em: 19 out. 2018.
- BACHA, C. J. C. Economia e política agrícola no Brasil. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2012.
- BARBOSA, F.A. *et al.* **Cenários para a pecuária de corte amazônica.** 2015a. 1.ed. Belo Horizonte, Brasil: IGC/UFMG. 146 p. Disponível em: . Acesso em: 05 jan. 2018.
- _____. **Geografia da Intensificação.** 2015b. Disponível em: < http://csr.ufmg.br/pecuaria/>. Acesso em: 05 jan. 2018.
- BARCELOS, A. F. *et al.* **Adubação de capins do gênero** *Brachiaria*. Belo Horizonte: EPAMIG, 2011. 84 p. Disponível em: < http://www.agrisus.org.br/arquivos/Epamig_braquiaria.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2018.
- BARNES, A. Technical Efficiency Estimates of Scottish Agriculture: A Note. **Journal of Agricultural Economics.** v. 59, n. 2, p. 370-376, Jun. 2008. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1477-9552.2008.00156.x. Acesso em: 20 maio 2018.
- BATTESE, G. E.; RAO, D. S. P.; O'DONNELL, C. J. A metafrontier production function for estimation of technical efficiencies and technology gaps for firms operating under different technologies. **Journal of Productivity Analysis.** v. 21, p. 91-103, Jan. 2004. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1023/B:PROD.0000012454.06094.29. Acesso em: 20 maio 2018.
- BRITO, R. A. Há espaços para melhora no setor leiteiro? Uma análise de fronteira estocástica de produção e regressão quantílica utilizando dados do Censo Agropecuário 2006 (IBGE). 2016. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016. Disponível em: http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11132/tde-03102016-171950/pt-br.php. Acesso em: 06 jul. 2018.

CAMERON, A. C.; TRIVEDI, P. K. **Microeconometrics Using Stata.** Texas, College Station: Stata Press, 2009. 732 p.

CENÁRIOS PARA A PECUÁRIA DE CORTE AMAZÔNICA. **Manejo de pastagem.** Disponível em: http://csr.ufmg.br/pecuaria/portfolio-item/manejo-de-pestagem/>. Acesso em: 09 out. 2017.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA – CEPEA. **PIB do Agronegócio – BR.** 2017. Disponível em: http://cepea.esalq.usp.br/pib/. Acesso em: 30 jun. 2018.

_____. **Metodologia boi & leite.** S.d. Disponível em: https://www.cepea.esalq.usp.br/br/metodologia-boi-leite.aspx. Acesso em: 23 abr. 2018.

CEZAR, I. V. *et. al.* Sistemas de produção de gado de corte no Brasil: Uma descrição com ênfase no regime alimentar e no abate. Campo Grande, MS: **Embrapa Gado de Corte**, 2005. 40 p. ISSN 1517-3747. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/publicacao/326307/sistemas-de-producao-de-gado-de-corte-no-brasil-uma-descricao-com-enfase-no-regime-alimentar-e-no-abate. Acesso em: 10 out. 2017.

CHAMBERS, R. G. **Applied Production Analysis: A Dual Approach.** 1988. Nova York, Cambridge University Press.

COELLI, T. *et al.* **A Primer on Efficiency Measurement for Utilities and Transport Regulators.** WBI Development Studies. Washington, DC: World Bank. 2003. Disponível em: https://www.openknowledge.worldbank.org/handle/10986/15149. Acesso em: 30 mar. 2018.

_____. An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis. 2005. 2ª ed. Springer, 331 p.

DEBLITZ, C. *et al.* **Report on the 1st International Farm Comparison Network (IFCN) – Meeting April 14-19, 1998 at FAL Braunschweig, Germany.** 1998. Disponível em: https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/zi010052.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2019.

DE ZEN, S. **Diversificação como forma de gerenciamento de risco na agricultura**. 2002. Tese (Doutorado) — Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

DUMONT, B. *et al.* **Effects of climate change on forage quality of grasslands and their use by grazing animals.** 2014. Disponível em: https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01611403/document. Acesso em: 01 maio 2018.

ELLIOTT, F. F. The "Representative Firm" Idea Applied to Research and Extension in Agricultural Economics. **Journal of Farm Economics**, 1928, v. 10, n. 4, p. 483-98. Disponível em: http://www.jstor.org/stable/1229927>. Acesso em 26 dez. 2018.

EMBRAPA. **Suplementação na seca.** s.d. Disponível em: < http://old.cnpgc.embrapa.br/publicacoes/doc/doc108/03seca.html>. Acesso em: 30 jun. 2018.

- EMBRAPA; UNICAMP. **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil.** 2008. Disponível em: https://www.agritempo.gov.br/climaeagricultura/CLIMA_E_AGRICULTURA_BRASIL_30 0908_FINAL.pdf>. Acesso em: 03 maio 2018.
- FAMATO; FABOV. **Diagnóstico da cadeia produtiva agroindustrial da bovinocultura de corte do estado de Mato Grosso.** Cuiabá, 2007. Disponível em: http://www.dep.ufscar.br/docentes/hildo/Cadeias/fot_1370diagnostico_da_pecuria_de_corte_de_mt_-famato_pdf.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2017.
- FARRELL, M. J. The Measurement of Productive Efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society**. v. 120, n. 3, p. 253–290, 1957. Disponível em: <www.jstor.org/stable/2343100>. Acesso em: 05 abr. 2018.
- FERNANDES, H. J. *et al.* Ganho de peso, conversão alimentar, ingestão diária de nutrientes e digestibilidade de garrotes não-castrados de três grupos genéticos em recria e terminação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 6, supl. 3, p. 2403-2411, dez. 2004. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982004000900029&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 29 dez. 2018.
- FERRAZ, J. V. **Produção de bovinos tem de se adaptar a uma nova realidade.** 2011. Disponível em: http://www1.folha.uol.com.br/fsp/mercado/me1905201126.htm. Acesso em: 09 out. 2017.
- FERREIRA, R. R. M.; TAVARES FILHO, J.; FERREIRA, V. M. Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 4, p. 913-932, out./dez. 2010. Disponível em: http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/viewFile/7597/6687>. Acesso em: 23 jun. 2018.
- FIRETTI, R; RIBEIRO; M. M. L. O. Cooperativismo e Assistência Técnica: novos parâmetros para ação. **Acta Scientiarum**, v. 23, n. 4, p. 1045-1054, 2001. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Ricardo_Firetti2/publication/268354476_Cooperativismo_e_assistencia_tecnica_novos_parametros_para_acao/links/55e8906508ae21d099c17cd9.pdf>. Acesso em: 31 jan. 2019.
- FRATKIN, E. East African Pastoralism in Transition: Maasai, Boran, and Rendille Cases. **African Studies Review**, v. 44, n. 3, p. 1–25, 2001. Disponível em: www.jstor.org/stable/525591>. Acesso em: 20 ago. 2018.
- FREITAS, C. O. **Tamanho dos estabelecimentos e eficiência técnica na agropecuária brasileira.** 2014. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014. Disponível em: http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/90/texto%20completo.pdf?sequence=1 >. Acesso em: 03 fev. 2019.
- GEOLAB. Meio físico Modelo de Aptidão Agrícola. S.d. 19 p. Não publicado.

GODFRAY, H. C. J. *et al.* Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. **Science**, v. 327, p. 812-818, 2010. Disponível em: < http://science.sciencemag.org/content/327/5967/812/tab-pdf>. Acesso em: 08 jul. 2018.

GOMES, E. G.; SOUZA, G. S.; ABREU, U. G. P. Estimativa de um modelo de produção para a pecuária de corte brasileira com base em dados censitários: abordagens determinística e estocástica. In: XLIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 2017. Blumenau. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/publicacao/1081930/estimativa-de-um-modelo-de-producao-para-a-pecuaria-de-corte-brasileira-com-base-em-dados-censitarios-abordagens-deterministica-e-estocastica. Acesso em: 10 jun. 2018.

GONDIM, P. S. S. *et al.* Evapotranspiração de *Brachiaria decumbens* In: XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2011. Guarapari. Disponível em: http://www.sbagro.org.br/bibliotecavirtual/arquivos/3835.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2018.

GROSSI, G. *et al.* Livestock and climate change: impact of livestock on climate and mitigation strategies. **Animal Frontiers**, v. 9, n. 1, p. 69–76, Jan. 2019. Disponível em: https://academic.oup.com/af/article/9/1/69/5173494>. Acesso em: 14 jul. 2019.

HADLEY, D. Patterns in Technical Efficiency and Technical Change at the Farm-level in England and Wales, 1982–2002. **Journal of Agricultural Economics**, v. 57, n. 1, p. 81-100, Abr. 2006. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1477-9552.2006.00033.x. Acesso em: 20 maio 2018.

HUANG, C. J.; HUANG, T.; LIU, N. A new approach to estimating the metafrontier production function based on a stochastic frontier framework. **Journal of Productivity Analysis**, v. 42, p. 241-254, Dez. 2014. Disponível em: < https://link.springer.com/article/10.1007/s11123-014-0402-2>. Acesso em: 20 maio 2018.

INFORMA ECO	NOMICS FNP. Anual j	pec. 2008.			
	Anualpec. 2018.				
	Anuário da pecu	ária brasileira	a. 2015.		
municipal	ASILEIRO DE GEOGI - 2016. gov.br/pesquisa/ppm/q	2017.	Disponível	em:	ária <
https://sidra.ibge.	Pesquisa pecuá gov.br/pesquisa/ppm/q	-		-	n: <

______. **Censo Agro 2017 – Resultados preliminares.** 2018. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017#pecuaria. Acesso em: 15 dez. 2018.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA – IEA. Produção animal: Estado de São Paulo e Brasil, 2005 a 2014. **Análises e indicadores do agronegócio**, v. 11, n.3, Mar. 2016. ISSN 1980-0711. Disponível em: http://www.iea.sp.gov.br/ftpiea/AIA/AIA-98-2015.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2017.

IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. 2014, Genebra, Suíça, 151 p. Disponível em:http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf>. Acesso em: 03 maio 2018.

KUMBHAKAR, S. C.; GHOSH, S.; MCGUCKIN, J. A Generalized Production Frontier Approach for Estimating Determinants of Inefficiency in U.S. Dairy Farms. **Journal of Business & Economic Statistics**, v. 9, n. 3, p. 279–286, 1991. Disponível em: <www.jstor.org/stable/1391292>. Acesso em: 05 abr. 2018.

KUMBHAKAR, S. C.; LOVELL, C. A. K. **Stochastic Frontier Analysis.** 2000. Cambridge University Press, Cambridge, 344 p.

KUMBHAKAR, S. C.; WANG, H.; HORNCASTLE, A. P. A practitioner's guide to stochastic frontier analysis using Stata. 2015. Cambridge University Press, Cambridge, 476 p.

LABORATÓRIO DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS E GEOPROCESSAMENTO - LAPIG. **Dados Geográficos.** 2017. Disponível em: https://www.lapig.iesa.ufg.br/lapig/index.php/produtos/dados-geograficos>. Acesso em: 20 maio 2018.

MACEDO, L. O. B. **Modernização da pecuária de corte no Brasil e a importância do crédito rural.** 2006. Disponível em: <ftp://ftp.sp.gov.br/ftpiea/publicacoes/seto2-0706.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2017.

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomas – Coleção 3.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. 2018. Disponível em: http://mapbiomas.org/stats. Acesso em: 15 dez. 2018.

MARIN, F. R. Eficiência de produção da cana-de-açúcar brasileira: estado atual e cenários futuros baseados em simulações multimodelos. 2014. Tese (Livre Docência em Agrometeorologia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014. Disponível em: http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/11/tde-22082014-112751/. Acesso em: 09 jun. 2018.

MCMANUS, C. *et al.* Pecuária e mudanças climáticas. **Revista UFG**, v. 13, n. 13, p. 73-82. 2012. Disponível em: https://www.revistas.ufg.br/revistaufg/article/view/48455/23783. Acesso em: 03 maio 2018.

- MEESTERS, A. A note on the assumed distributions in Stochastic Frontier Models. 2012. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2043125. Acesso em: 10 fev. 2019.
- MELO, L. Q.; DIPIETRO, A. **Suplementação mineral proteica para bovinos.** S.d. Disponível em: https://cienciadoleite.com.br/noticia/3241/suplementacao-mineral-proteica-para-bovinos>. Acesso em: 25 jun. 2018.
- MENDONÇA, F. C.; RASSINI, J. B. **Temperatura-base inferior e estacionalidade de produção de gramíneas forrageiras tropicais.** 2006. Disponível em: http://www.cppse.embrapa.br/sites/default/files/principal/publicacao/Circular45.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2018.
- MENEZES, G. R. O. *et al.* Demandas tecnológicas dos sistemas de produção de bovinos de corte no Brasil Melhoramento Genético Animal. Campo Grande: **Embrapa Gado de Corte**, 2016. 20 p. Disponível em: . Acesso em: 29 dez. 2018.
- MIRANDA, S. H. G. de. **Quantificação dos Efeitos das Barreiras Não-tarifárias sobre as Exportações Brasileiras de Carne Bovina.** 2001. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001. Disponível em: http://www.cepea.esalq.usp.br/pdf/silvia.pdf>. Acesso em: 08 jul. 2018.
- MORAES, S. S. Importância da Suplementação Mineral para Bovinos de Corte. Campo Grande: **Embrapa Gado de Corte**, 2001. 26. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/105064/1/DOC114.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2019.
- NASCIMENTO, A. C. C. *et al.* Eficiência técnica da atividade leiteira em Minas Gerais: uma aplicação de regressão quantílica. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 41, n. 3, p. 783-789, Mar. 2012. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982012000300043&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 08 nov. 2017.
- NWIGWE, C. *et al.* Technical efficiency of beef cattle production technologies in Nigeria: A stochastic frontier analysis. **African Journal of Agricultural Research.** v. 11, p. 5152-5161, Dez. 2016. Disponível em: http://www.academicjournals.org/journal/AJAR/article-full-text-pdf/D5E75C562162>. Acesso em: 10 dez. 2017.
- O'DONNELL, C. J.; RAO, D. S.P.; BATTESE, G. E. Metafrontier frameworks for the study of firm-level efficiencies and technology ratios. **Empirical Economics.** v. 34, p. 231-255, Mar. 2008. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s00181-007-0119-4. Acesso em: 20 maio 2018.
- OLIVEIRA, H. N. C. **Eficiência produtiva dos estabelecimentos agropecuários brasileiros: uma análise para os grupos de área total.** Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. Dissertação (Mestrado). 2013. 46 p. Disponível em: http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/73/texto%20completo.pdf?sequence=1 &isAllowed=y>. Acesso em: 03 fev. 2019.

- OTIENO, D. J.; HUBBARD, L.; RUTO, E. Assessment of technical efficiency and its determinants in beef cattle production in Kenya. **Journal of Development and Agricultural Economics.** v. 6, p. 267-278, Jun. 2014. Disponível em: http://academicjournals.org/article/article1401284369_Otieno%20et%20al.pdf>. Acesso em: 03 jan. 2018.
- PENDERGRASS, A. G. *et al.* Precipitation variability increases in a warmer climate. **Scientific Reports.** 2017. Disponível em: https://www.nature.com/articles/s41598-017-17966-y. Acesso em: 03 maio 2018.
- PLAXICO, J. S.; TWEETEN, L. G. Representative Farms for Policy and Projection Research. **Journal of Farm Economics**, v. 45, n. 5, 1963, p. 1458–1465. Disponível em: www.jstor.org/stable/1236844. Acesso em: 26 dez. 2018.
- POLAQUINI, L. E. M.; SOUZA, J. G.; GEBARA, J. J. Transformações técnico-produtivas e comerciais na pecuária de corte brasileira a partir da década de 90. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 1, p. 321-327, 2006. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/%0D/rbz/v35n1/28375.pdf>. Acesso em: 31 jan. 2019.
- RODRIGUES, D. C. Produção de forragem de cultivares de Brachiaria brizantha (Hochst. ex A. Rich.) Stapf e modelagem de respostas produtivas em função de variáveis climáticas. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004. Disponível em: http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11139/tde-11112004-161221/pt-br.php. Acesso em: 17 ago. 2018.
- RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. Campinas: **Embrapa Monitoramento por Satélite**, 2010. 26 p. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/31004/1/BPD-8.pdf>. Acesso em 27 dez. 2018.
- ROSA, A. N. *et al.* Melhoramento genético aplicado em gado de corte: Programa Geneplus-Embrapa. Brasília: **Embrapa**, 2013. 256 p. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/127707/1/Melhoramento-Genetico-livro-completo.pdf>. Acesso em: 29 dez. 2018.
- SANTOS, M. C. *et al.* A rentabilidade da pecuária de corte no Brasil. **Segurança alimentar e nutricional**, Campinas, v. 21, n. 2, 2014, p. 505-517. Disponível em: < https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/san/article/view/8634589/2510>. Acesso em: 26 dez. 2018.
- SANTOS, P. M.; PRIMAVESI, O.; BERNARDI, A. C. C. Adubação de pastagens. **Embrapa Pecuária Sudeste**, 2010. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/publicacao/862844/adubacao-de-pastagens. Acesso em: 01 jul. 2018.
- SARMENTO, J. L. R. *et al.* Efeitos Ambientais e Genéticos sobre o Ganho em Peso Diário de Bovinos Nelore no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Zootecnia.**, v. 32, n. 2, p. 325-330, 2003. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/%0D/rbz/v32n2/16593.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2019.

- SCHERER, C. E. M.; PORSSE, A. A. Eficiência Produtiva Regional da Agricultura Brasileira: uma análise de fronteira estocástica. **Rev. Econ. Sociol. Rural**, Brasília, v. 55, n. 2, p. 389-410, Jun. 2017. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-20032017000200389&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 08 nov. 2017.
- SCHMIDT, P.; SICKLES, R. C. Production Frontiers and Panel Data. **Journal of Business & Economic Statistics.** v. 2, n. 4, p. 367-374, out. 1984. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/292897432_Production_Frontiers_and_Panel_Data >. Acesso em: 20 maio 2018.
- SILVA, G.A; SOUZA, B. B.; SILVA, E. M. N. Influência do aquecimento global sobre as variáveis climatológicas e índice de conforto térmico no estado da Paraíba, Brasil. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology,** v. 3, n. 4, p. 116-119, 2015. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/282891478_Influencia_do_Aquecimento_Global_S obre_as_Variaveis_Climatologicas_e_Indice_de_Conforto_Termico_no_Estado_da_Paraiba_Brasil>. Acesso em: 30 abr. 2018.
- SLOAT, L. L. *et al.* Increasing importance of precipitation variability on global livestock grazing lands. **Nature Climate Change.** 2018. Disponível em: < https://www.nature.com/articles/s41558-018-0081-5>. Acesso em: 01 maio 2018.
- TEIXEIRA, F. A. *et al.* Produção anual e qualidade de pastagem de Brachiaria decumbens diferida e estratégias de adubação nitrogenada. **Acta Sci., Anim. Sci.,** Maringá, v. 33, n. 3, p. 241-248, set. 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1807-86722011000300003&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 17 ago.
- TONATO, F. **Determinação de parâmetros produtivos e qualitativos de Cynodon spp. em função de variáveis climáticas.** 2003. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003. Disponível em: < http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11139/tde-01102007-102119/pt-br.php>. Acesso em: 17 ago. 2018.
- TOSETTO, M. R. *et al.* Influência do macroclima e do microclima sobre o conforto térmico de vacas leiteiras. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 2, n.1, p. 6-10, 2014. Disponível em: ">https://www.researchgate.net/publication/260203129_Influencia_do_macroclima_e_do_microclima_sobre_conforto_termico_de_vacas_leiteiras>">https://www.researchgate.net/publication/260203129_Influencia_do_macroclima_e_do_microclima_sobre_conforto_termico_de_vacas_leiteiras>">https://www.researchgate.net/publication/260203129_Influencia_do_macroclima_e_do_microclima_sobre_conforto_termico_de_vacas_leiteiras>">https://www.researchgate.net/publication/260203129_Influencia_do_macroclima_e_do_microclima_sobre_conforto_termico_de_vacas_leiteiras>">https://www.researchgate.net/publication/260203129_Influencia_do_macroclima_e_do_microclima_sobre_conforto_termico_de_vacas_leiteiras>">https://www.researchgate.net/publication/260203129_Influencia_do_macroclima_e_do_microclima_sobre_conforto_termico_de_vacas_leiteiras>">https://www.researchgate.net/publication/260203129_Influencia_do_macroclima_e_do_microclima_sobre_conforto_termico_de_vacas_leiteiras>">https://www.researchgate.net/publication/260203129_Influencia_do_macroclima_e_do_microclima_sobre_conforto_termico_de_vacas_leiteiras>">https://www.researchgate.net/publication/260203129_Influencia_do_macroclima_e_do_microclima_e_do_microclima_e_do_microclima_e_do_microclima_e_do_microclima_e_do_microclima_e_do_microclima_e_do_microclima_e_do_microclima_e_do_microclima_e_do_microclima_e_do_microclima_e_do_microclima_e_do_microclima_e_do_microclima_e_do_microclima_e_do_microclima_e_do_microclima_e_do_microclima_e_do_microclima_e_do_microclima_e_do_microclima_e_do_microclima_e_do_microclima_e_do_microclima_e_do_microclima_e_do_microclima_e_do_microclima_e_do_microclima_e_do_microclima_e_do_microclima_e_do_microclima_e_do_microclima_e_do_mic
- TRESTINI, S. Technical Efficiency of Italian Beef Cattle Production Under a Heteroscedastic Non-Neutral Production Frontier Approach. Conference Papers 6683, University of Minnesota, Center for International Food and Agricultural Policy. 2006. Disponível em: https://ideas.repec.org/p/ags/umcicp/6683.html>. Acesso em: 20 maio 2018.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE USDA. Disponível em: < http://apps.fas.usda.gov/psdonline/psdquery.aspx>. Acesso em: 08 jul. 2018.

VAN WART, J. *et al.* 2013. Use of agro-climatic zones to upscale simulated crop yield potential. **Field Crop Research.** v. 143, p. 44-55, mar. 2013. Disponível em: < https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429012004121>. Acesso em: 09 jun. 2018.

VIEIRA, J. M. **Uso intensivo de pastagens.** 1997. EMBRAPA. Disponível em: http://old.cnpgc.embrapa.br/publicacoes/cot/COT54.html>. Acesso em: 17 ago. 2018.

VILLA NOVA, N. A. *et al.* Método alternativo para cálculo da temperatura base de gramíneas forrageiras. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 545-549, abr. 2007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782007000200039&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 23 jun. 2018.

APÊNDICES

APÊNDICE A. Levantamento das fazendas típicas

Conforme em Santos *et al.* (2014), a planilha que comporta os dados das fazendas típicas analisadas pelo Cepea/CNA é dividida conforme os seguintes blocos:

- a) Descrição da propriedade: Inicia-se com a especificação da região, estado, data de realização do grupo focal e sistema de produção da região. Posteriormente, a área total da propriedade típica é dividida entre benfeitorias, reserva ambiental, pastagem (perene e anual) e agricultura. Também são especificadas as informações sobre o arrendamento (cultura, período e valor por hectare);
- b) Inventário: Há o detalhamento das construções da fazenda típica, com informações sobre quantidade, valor para a construção de instalações novas, vida útil, taxa residual e de manutenção. Essas informações são levantadas, ainda, para as máquinas, implementos, equipamentos e utilitários, sendo que a valoração dos mesmos é feita com base no valor de aquisição de bens novos;
- c) Rebanho de corte: Contém a especificação da raça do rebanho da propriedade típica, bem como os índices zootécnicos associados ao sistema de produção predominante. São especificados, também, o período de permanência dos animais, de acordo com a categoria correspondente (bezerro em aleitamento, bezerro desmamado, garrote e etc.), o ganho de peso médio diário dos mesmos, o peso médio da categoria, o valor de venda, o rendimento de carcaça e outras variáveis;
- **d**) Suplementação: Para as propriedades que fazem suplementação alimentar (mineral e proteica) são registradas as quantidades fornecidas aos animais de acordo com os produtos e as categorias dos bovinos. Para cada um desses, é especificada a quantidade consumida (em kg/cabeça/dia e kg/UA/dia, mensal e anual) e o gasto associado à suplementação;
- e) Alimentação: Assim como no item anterior, nesse bloco são registradas informações apenas para as fazendas típicas que fornecem alimentação aos animais. Os registros são feitos para cada uma das categorias animais, de modo a especificar o produto, a quantidade consumida e o valor gasto;
- **f**) Sanidade: São registrados o tipo de operação (vacina, controle parasitários, inseminação artificial etc.), produto, preço por dose, quantidade por dose, categorias animais que receberam cada um dos produtos e o custo com a mão-de-obra alocada para fazer as aplicações;
- g) Pastagem: Nesse bloco são especificados os tipos de espécies forrageiras que compõem a pastagem da fazenda típica. As demais informações são divididas entre área de formação/reforma e de manutenção dos pastos. Para ambas as categorias são levantados os

dados de operação, mão-de-obra e insumos, o que permite, posteriormente, o cálculo do custo com as pastagens;

- h) Agricultura: Para as fazendas típicas que além da pecuária fazem cultivo agrícola, esse bloco registra informações sobre a cultura plantada (tipo, produtividade, área de formação e se é anual ou perene), operação, insumos e mão-de-obra. Além do cálculo do custo operacional, é computada também a receita com a venda da produção;
- i) Mão-de-obra: Contém o número de funcionários/diaristas, com seus respectivos salários/diárias e os encargos trabalhistas. É especificado também o pró-labore e o salário mínimo à época;
- j) Geral: Nesse bloco são registradas as informações que até então não haviam sido feitas nos blocos anteriores, como, gastos com energia, impostos, fontes de financiamentos, dentre outros;
- **k**) Análise administrativa: Apresenta todos os custos associados com a fazenda típica, bem como as receitas geradas pelas mesmas. A partir do confronto entre essas variáveis é feita a análise econômica da propriedade, com a exposição de alguns indicadores;
- l) Análise técnica: São apresentados os índices zootécnicos dos animais e de produção da propriedade, de modo a se ter um panorama quanto ao desempenho da mesma.

APÊNDICE B. Composição da amostra de painéis

(continua)

	1		(continua)
Ano	Estado	Região	Sistema de produção
2002	MS	Amambai	Cria
2002	MS	Bonito	Cria
2002	MS	Brasilândia	Cria
2002	MS	Camapuã	Cria
2002	MS	Ribas do Rio Pardo	Cria
2002	MS	São Gabriel do Oeste	Cria
2002	SP	Tupã	Cria
2003	GO	Niquelândia	Cria
2003	GO	Rio Verde	Cria
2003	GO	Uruaçu	Cria
2003	MG	Uberaba	Cria
2003	PR	Guarapuava	Cria
2003	RS	Lavras do Sul	Cria
2005	GO	Porangatu	Cria
2005	MG	Governador Valadares	Cria
2005	MG	Montes Claros	Cria
2005	MG	Uberlândia	Cria
2006	ТО	Alvorada	Cria
2007	SP	Assis	Cria
2008	BA	Itamarajú	Cria
2008	GO	Catalão	Cria
2008	GO	Niquelândia	Cria
2008	GO	Porangatu	Cria
2008	GO	Rio Verde	Cria
2008	MG	Carlos Chagas	Cria
2008	MG	Montes Claros	Cria
2008	MG	Uberaba	Cria
2008	MG	Uberlândia	Cria
2008	PA	Santana do Araguaia	Cria
2008	SP	Candido Mota	Cria
2009	MS	Aquidauana	Cria
2009	MS	Corumbá	Cria
2010	PR	Guarapuava	Cria
2010	RS	Alegrete	Cria
2011	MS	Amambai	Cria
2011	MS	Aquidauana	Cria
2011	MS	Camapuã	Cria
2011	MS	Chapadão do Sul	Cria
2011	MS	Corumbá	Cria
2011	MS	Coxim	Cria
2011	MS	Ribas do Rio Pardo	Cria
2011	IVIO	Kivas uv Kiv Paluv	CHa

(continuação)

2011 MS Rio Verde de Mato Groso Cria 2011 MS São Gabriel do Oeste Cria 2011 MT Cáceres Cria 2011 MT Poconé Cria 2011 MT Poconé Cria 2011 MT Poconé Cria 2012 MA Barreiras Cria 2012 MG Carlos Chagas Cria 2012 MG Montes Claros Cria 2012 MG Montes Claros Cria 2012 MG Uberlândia Cria 2012 MT Vila Rica Cria 2012 MT Vila Rica Cria 2013 GO Jussara Cria 2013 GO Jussara Cria 2013 GO Mineiros Cria 2013 GO Niquelândia Cria 2013 GO Porangatu Cria 2013 <		1		(continuação)
2011 MT Cáceres Cria 2011 MT Cuiabá Cria 2011 TO Paraíso do Tocantins Cria 2012 BA Barreiras Cria 2012 MG Carlos Chagas Cria 2012 MG Montes Claros Cria 2012 MG Uberlândia Cria 2012 MT Água Boa Cria 2012 MT Vila Rica Cria 2012 PA Paragominas Cria 2013 GO Jussara Cria 2013 GO Jussara Cria 2013 GO Mineiros Cria 2013 GO Mineiros Cria 2013 GO Porangatu Cria 2013 GO Porangatu Cria 2013 SP Itapetininga Cria 2013 SP Marília Cria 2013 SP	2011	MS	Rio Verde de Mato Groso	Cria
2011 MT Cuiabá Cria 2011 MT Poconé Cria 2011 TO Paraíso do Tocantins Cria 2012 BA Barreiras Cria 2012 MG Carlos Chagas Cria 2012 MG Montes Claros Cria 2012 MG Montes Claros Cria 2012 MG Montes Claros Cria 2012 MT Água Boa Cria 2012 MT Vila Rica Cria 2012 PA Paragominas Cria 2013 GO Jussara Cria 2013 GO Jussara Cria 2013 GO Mineiros Cria 2013 GO Porangatu Cria 2013 GO Porangatu Cria 2013 PR Guarapuava Cria 2013 SP Itapetininga Cria 2013	2011	MS	São Gabriel do Oeste	Cria
2011 MT Poconé Cria 2011 TO Paraíso do Tocantins Cria 2012 BA Barreiras Cria 2012 MG Carlos Chagas Cria 2012 MG Montes Claros Cria 2012 MG Uberlândia Cria 2012 MT Água Boa Cria 2012 MT Água Boa Cria 2012 MT Vila Rica Cria 2012 PA Paragominas Cria 2013 GO Jussara Cria 2013 GO Mineiros Cria 2013 GO Porangatu Cria 2013 GO Porangatu Cria 2013 PR Guarapuava Cria 2013 SP Itapetininga Cria 2013 SP Presidente Venceslau Cria 2013 SP Presidente Venceslau Cria 201	2011	MT	Cáceres	Cria
2011 TO Paraíso do Tocantins Cria 2012 BA Barreiras Cria 2012 MG Carlos Chagas Cria 2012 MG Montes Claros Cria 2012 MT Montes Claros Cria 2012 MT Agua Boa Cria 2012 MT Vila Rica Cria 2012 MT Vila Rica Cria 2012 PA Paragominas Cria 2013 GO Jussara Cria 2013 GO Mineiros Cria 2013 GO Porangatu Cria 2013 GO Porangatu Cria 2013 PR Guarapuava Cria 2013 SP Itapetininga Cria 2013 SP Marilia Cria 2013 SP Presidente Venceslau Cria 2013 SP Presidente Venceslau Cria <t< td=""><td>2011</td><td>MT</td><td>Cuiabá</td><td>Cria</td></t<>	2011	MT	Cuiabá	Cria
2012 BA Barreiras Cria 2012 MG Carlos Chagas Cria 2012 MG Montes Claros Cria 2012 MT Água Boa Cria 2012 MT Vila Rica Cria 2012 PA Paragominas Cria 2013 GO Jussara Cria 2013 GO Mineiros Cria 2013 GO Mineiros Cria 2013 GO Porangatu Cria 2013 GO Porangatu Cria 2013 PR Guarapuava Cria 2013 SP Itapetininga Cria 2013 SP Marília Cria 2013 SP Presidente Venceslau Cria 2014 MS Amambai Cria 2014 MS Amambai Cria 2014 MS Corumbá Cria 2014 MS	2011	MT	Poconé	Cria
2012 MG Carlos Chagas Cria 2012 MG Montes Claros Cria 2012 MG Uberlândia Cria 2012 MT Água Boa Cria 2012 PA Paragominas Cria 2013 GO Jussara Cria 2013 GO Mineiros Cria 2013 GO Mineiros Cria 2013 GO Niquelândia Cria 2013 GO Porangatu Cria 2013 SP Guarapuava Cria 2013 SP Marília Cria 2013 SP Marília Cria 2013 SP Presidente Venceslau Cria 2013 SP Presidente Venceslau Cria 2014 MS Amambai Cria 2014 MS Amambai Cria 2014 MS Camapuã Cria 2014	2011	TO	Paraíso do Tocantins	Cria
2012 MG Montes Claros Cria 2012 MG Uberlândia Cria 2012 MT Água Boa Cria 2012 MT Vila Rica Cria 2012 PA Paragominas Cria 2013 GO Jussara Cria 2013 GO Mineiros Cria 2013 GO Porangatu Cria 2013 GO Porangatu Cria 2013 SP Guarapuava Cria 2013 SP Itapetininga Cria 2013 SP Itapetininga Cria 2013 SP Presidente Venceslau Cria 2013 SP Presidente Venceslau Cria 2014 MS Amambai Cria 2014 MS Camapuã Cria 2014 MS Camapuã Cria 2014 MS Ribas do Rio Pardo Cria 2014 <td>2012</td> <td>BA</td> <td>Barreiras</td> <td>Cria</td>	2012	BA	Barreiras	Cria
2012 MG Uberlândia Cria 2012 MT Água Boa Cria 2012 MT Vila Rica Cria 2012 PA Paragominas Cria 2013 GO Jussara Cria 2013 GO Mineiros Cria 2013 GO Niquelândia Cria 2013 GO Porangatu Cria 2013 PR Guarapuava Cria 2013 SP Itapetininga Cria 2013 SP Marília Cria 2013 SP Presidente Venceslau Cria 2013 SP Presidente Venceslau Cria 2014 MS Amambai Cria 2014 MS Amambai Cria 2014 MS Camapuā Cria 2014 MS Ribas do Rio Pardo Cria 2014 MS Rio Verde do Mato Groso Cria 2	2012	MG	Carlos Chagas	Cria
2012 MT Água Boa Cria 2012 MT Vila Rica Cria 2012 PA Paragominas Cria 2013 GO Jussara Cria 2013 GO Mineiros Cria 2013 GO Niquelândia Cria 2013 GO Porangatu Cria 2013 PR Guarapuava Cria 2013 SP Itapetininga Cria 2013 SP Marília Cria 2013 SP Presidente Venceslau Cria 2013 SP Presidente Venceslau Cria 2014 MS Amambai Cria 2014 MS Amambai Cria 2014 MS Camapuã Cria 2014 MS Alorapuã Cria 2014 MS Ribas do Rio Pardo Cria 2014 MS Rio Verde do Mato Groso Cria 201	2012	MG	Montes Claros	Cria
2012 MT Vila Rica Cria 2012 PA Paragominas Cria 2013 GO Jussara Cria 2013 GO Mineiros Cria 2013 GO Niquelândia Cria 2013 GO Porangatu Cria 2013 PR Guarapuava Cria 2013 SP Itapetininga Cria 2013 SP Marília Cria 2013 SP Presidente Venceslau Cria 2013 SP Presidente Venceslau Cria 2014 MS Amambai Cria 2014 MS Amambai Cria 2014 MS Camapuã Cria 2014 MS Corumbá Cria 2014 MS Ribas do Rio Pardo Cria 2014 MS Rio Verde do Mato Groso Cria 2014 RS Alegrete Cria 2014	2012	MG	Uberlândia	Cria
2012 PA Paragominas Cria 2013 GO Jussara Cria 2013 GO Mineiros Cria 2013 GO Niquelândia Cria 2013 GO Porangatu Cria 2013 PR Guarapuava Cria 2013 SP Itapetininga Cria 2013 SP Marília Cria 2013 SP Presidente Venceslau Cria 2013 SP Presidente Venceslau Cria 2014 MS Amambai Cria 2014 MS Amambai Cria 2014 MS Camapuã Cria 2014 MS Corumbá Cria 2014 MS Ribas do Rio Pardo Cria 2014 MS Rio Verde do Mato Groso Cria 2014 RS Alegrete Cria 2014 RS Lavras do Sul Cria	2012	MT	Água Boa	Cria
2013 GO Jussara Cria 2013 GO Mineiros Cria 2013 GO Niquelândia Cria 2013 GO Porangatu Cria 2013 PR Guarapuava Cria 2013 SP Itapetininga Cria 2013 SP Marília Cria 2013 SP Presidente Venceslau Cria 2013 SP Presidente Venceslau Cria 2014 MS Amambai Cria 2014 MS Camapuã Cria 2014 MS Camapuã Cria 2014 MS Corumbá Cria 2014 MS Ribas do Rio Pardo Cria 2014 MS Rio Verde do Mato Groso Cria 2014 RS Alegrete Cria 2014 RS Bagé Cria 2014 RS Lavras do Sul Cria 2015 <td>2012</td> <td>MT</td> <td>Vila Rica</td> <td>Cria</td>	2012	MT	Vila Rica	Cria
2013 GO Mineiros Cria 2013 GO Niquelândia Cria 2013 GO Porangatu Cria 2013 PR Guarapuava Cria 2013 SP Itapetininga Cria 2013 SP Presidente Venceslau Cria 2013 SP Presidente Venceslau Cria 2013 SP Presidente Venceslau Cria 2014 MS Amambai Cria 2014 MS Camapuã Cria 2014 MS Corumbá Cria 2014 MS Ribas do Rio Pardo Cria 2014 MS Rio Verde do Mato Groso Cria 2014 RS Alegrete Cria 2014 RS Alegrete Cria 2014 RS Lavras do Sul Cria 2015 AC Sena Madureira Cria 2015 MA Imperatriz Cria	2012	PA	Paragominas	Cria
2013 GO Niquelândia Cria 2013 GO Porangatu Cria 2013 PR Guarapuava Cria 2013 SP Itapetininga Cria 2013 SP Marília Cria 2013 SP Presidente Venceslau Cria 2014 MS Amambai Cria 2014 MS Amambai Cria 2014 MS Camapuã Cria 2014 MS Corumbá Cria 2014 MS Ribas do Rio Pardo Cria 2014 MS Rio Verde do Mato Groso Cria 2014 RS Alegrete Cria 2014 RS Alegrete Cria 2014 RS Bagé Cria 2014 RS Lavras do Sul Cria 2015 AC Sena Madureira Cria 2015 MT Água Boa Cria 2015	2013	GO	Jussara	Cria
2013 GO Porangatu Cria 2013 PR Guarapuava Cria 2013 SP Itapetininga Cria 2013 SP Marília Cria 2013 SP Presidente Venceslau Cria 2014 MS Amambai Cria 2014 MS Camapuã Cria 2014 MS Corumbá Cria 2014 MS Miranda Cria 2014 MS Ribas do Rio Pardo Cria 2014 MS Rio Verde do Mato Groso Cria 2014 RS Alegrete Cria 2014 RS Alegrete Cria 2014 RS Bagé Cria 2014 RS Lavras do Sul Cria 2015 AC Sena Madureira Cria 2015 MA Imperatriz Cria 2015 MT Água Boa Cria 2015	2013	GO	Mineiros	Cria
2013 PR Guarapuava Cria 2013 SP Itapetininga Cria 2013 SP Marília Cria 2013 SP Presidente Venceslau Cria 2014 MS Amambai Cria 2014 MS Camapuã Cria 2014 MS Corumbá Cria 2014 MS Miranda Cria 2014 MS Ribas do Rio Pardo Cria 2014 MS Rio Verde do Mato Groso Cria 2014 RS Alegrete Cria 2014 RS Alegrete Cria 2014 RS Bagé Cria 2014 RS Lavras do Sul Cria 2014 RS Lavras do Sul Cria 2015 AC Sena Madureira Cria 2015 MA Imperatriz Cria 2015 MT Alta Floresta Cria 2015	2013	GO	Niquelândia	Cria
2013 SP Itapetininga Cria 2013 SP Presidente Venceslau Cria 2014 MS Amambai Cria 2014 MS Camapuã Cria 2014 MS Corumbá Cria 2014 MS Miranda Cria 2014 MS Ribas do Rio Pardo Cria 2014 MS Rio Verde do Mato Groso Cria 2014 RS Alegrete Cria 2014 RS Alegrete Cria 2014 RS Bagé Cria 2014 RS Lavras do Sul Cria 2014 RS Lavras do Sul Cria 2015 AC Sena Madureira Cria 2015 MA Imperatriz Cria 2015 MT Água Boa Cria 2015 MT Alta Floresta Cria 2015 MT Juara Cria 2015 <td>2013</td> <td>GO</td> <td>Porangatu</td> <td>Cria</td>	2013	GO	Porangatu	Cria
2013 SP Marília Cria 2014 MS Amambai Cria 2014 MS Camapuã Cria 2014 MS Corumbá Cria 2014 MS Miranda Cria 2014 MS Ribas do Rio Pardo Cria 2014 MS Rio Verde do Mato Groso Cria 2014 RS Alegrete Cria 2014 RS Alegrete Cria 2014 RS Bagé Cria 2014 RS Lavras do Sul Cria 2015 AC Sena Madureira Cria 2015 MA Imperatriz Cria 2015 MA Imperatriz Cria 2015 MT Água Boa Cria 2015 MT Alta Floresta Cria 2015 MT Barra do Garças Cria 2015 MT Juara Cria 2015 <td< td=""><td>2013</td><td>PR</td><td>Guarapuava</td><td>Cria</td></td<>	2013	PR	Guarapuava	Cria
2013 SP Presidente Venceslau Cria 2014 MS Amambai Cria 2014 MS Camapuã Cria 2014 MS Corumbá Cria 2014 MS Miranda Cria 2014 MS Ribas do Rio Pardo Cria 2014 MS Rio Verde do Mato Groso Cria 2014 RS Alegrete Cria 2014 RS Alegrete Cria 2014 RS Bagé Cria 2014 RS Bagé Cria 2014 RS Lavras do Sul Cria 2015 AC Sena Madureira Cria 2015 MA Imperatriz Cria 2015 MT Água Boa Cria 2015 MT Alta Floresta Cria 2015 MT Barra do Garças Cria 2015 MT Juína Cria 2015	2013	SP	Itapetininga	Cria
2014 MS Amambai Cria 2014 MS Camapuã Cria 2014 MS Corumbá Cria 2014 MS Ribas do Rio Pardo Cria 2014 MS Rio Verde do Mato Groso Cria 2014 RS Alegrete Cria 2014 RS Alegrete Cria 2014 RS Bagé Cria 2014 RS Lavras do Sul Cria 2015 AC Sena Madureira Cria 2015 MA Imperatriz Cria 2015 MT Água Boa Cria 2015 MT Alta Floresta Cria 2015 MT Barra do Garças Cria 2015 MT Barra do Garças Cria 2015 MT Juara Cria 2015 MT Juína Cria 2015 MT Juína Cria 2015 <t< td=""><td>2013</td><td>SP</td><td>Marília</td><td>Cria</td></t<>	2013	SP	Marília	Cria
2014 MS Camapuã Cria 2014 MS Corumbá Cria 2014 MS Miranda Cria 2014 MS Ribas do Rio Pardo Cria 2014 MS Rio Verde do Mato Groso Cria 2014 RS Alegrete Cria 2014 RS Bagé Cria 2014 RS Lavras do Sul Cria 2015 AC Sena Madureira Cria 2015 MA Imperatriz Cria 2015 MT Água Boa Cria 2015 MT Alta Floresta Cria 2015 MT Barra do Garças Cria 2015 MT Barra do Garças Cria 2015 MT Juara Cria 2015 MT Juína Cria 2015 MT Pontes e Lacerda Cria 2015 MT Vila Rica Cria 2015 <td>2013</td> <td>SP</td> <td>Presidente Venceslau</td> <td>Cria</td>	2013	SP	Presidente Venceslau	Cria
2014 MS Corumbá Cria 2014 MS Miranda Cria 2014 MS Ribas do Rio Pardo Cria 2014 MS Rio Verde do Mato Groso Cria 2014 RS Alegrete Cria 2014 RS Bagé Cria 2014 RS Lavras do Sul Cria 2015 AC Sena Madureira Cria 2015 MA Imperatriz Cria 2015 MT Água Boa Cria 2015 MT Alta Floresta Cria 2015 MT Barra do Garças Cria 2015 MT Barra do Garças Cria 2015 MT Juara Cria 2015 MT Juína Cria 2015 MT Juína Cria 2015 MT Pontes e Lacerda Cria 2015 RO Cacoal Cria 2015	2014	MS	Amambai	Cria
2014 MS Miranda Cria 2014 MS Ribas do Rio Pardo Cria 2014 MS Rio Verde do Mato Groso Cria 2014 RS Alegrete Cria 2014 RS Bagé Cria 2014 RS Lavras do Sul Cria 2015 AC Sena Madureira Cria 2015 MA Imperatriz Cria 2015 MT Água Boa Cria 2015 MT Alta Floresta Cria 2015 MT Barra do Garças Cria 2015 MT Barra do Garças Cria 2015 MT Juara Cria 2015 MT Juína Cria 2015 MT Juína Cria 2015 MT Vila Rica Cria 2015 RO Cacoal Cria 2015 RO Cacoal Cria 2015 <td< td=""><td>2014</td><td>MS</td><td>Camapuã</td><td>Cria</td></td<>	2014	MS	Camapuã	Cria
2014 MS Ribas do Rio Pardo Cria 2014 MS Rio Verde do Mato Groso Cria 2014 RS Alegrete Cria 2014 RS Bagé Cria 2014 RS Lavras do Sul Cria 2015 AC Sena Madureira Cria 2015 MA Imperatriz Cria 2015 MT Alta Floresta Cria 2015 MT Alta Floresta Cria 2015 MT Barra do Garças Cria 2015 MT Gáceres Cria 2015 MT Juara Cria 2015 MT Juína Cria 2015 MT Pontes e Lacerda Cria 2015 MT Vila Rica Cria 2015 RO Cacoal Cria 2015 RO Cacoal Cria 2015 TO Araguaçu Cria	2014	MS	Corumbá	Cria
2014 MS Rio Verde do Mato Groso Cria 2014 RS Alegrete Cria 2014 RS Bagé Cria 2014 RS Lavras do Sul Cria 2015 AC Sena Madureira Cria 2015 MA Imperatriz Cria 2015 MT Água Boa Cria 2015 MT Alta Floresta Cria 2015 MT Barra do Garças Cria 2015 MT Barra do Garças Cria 2015 MT Juara Cria 2015 MT Juína Cria 2015 MT Juína Cria 2015 MT Pontes e Lacerda Cria 2015 MT Vila Rica Cria 2015 RO Cacoal Cria 2015 RO Ji-Paraná Cria 2015 TO Araguaçu Cria	2014	MS	Miranda	Cria
2014 RS Alegrete Cria 2014 RS Bagé Cria 2014 RS Lavras do Sul Cria 2015 AC Sena Madureira Cria 2015 MA Imperatriz Cria 2015 MT Água Boa Cria 2015 MT Alta Floresta Cria 2015 MT Barra do Garças Cria 2015 MT Cáceres Cria 2015 MT Juara Cria 2015 MT Juína Cria 2015 MT Pontes e Lacerda Cria 2015 MT Vila Rica Cria 2015 RO Cacoal Cria 2015 RO Ji-Paraná Cria 2015 TO Araguaçu Cria	2014	MS	Ribas do Rio Pardo	Cria
2014 RS Bagé Cria 2014 RS Lavras do Sul Cria 2015 AC Sena Madureira Cria 2015 MA Imperatriz Cria 2015 MT Água Boa Cria 2015 MT Alta Floresta Cria 2015 MT Barra do Garças Cria 2015 MT Gáceres Cria 2015 MT Juara Cria 2015 MT Juína Cria 2015 MT Pontes e Lacerda Cria 2015 MT Vila Rica Cria 2015 RO Cacoal Cria 2015 RO Ji-Paraná Cria 2015 TO Araguaçu Cria	2014	MS	Rio Verde do Mato Groso	Cria
2014 RS Lavras do Sul Cria 2015 AC Sena Madureira Cria 2015 MA Imperatriz Cria 2015 MT Água Boa Cria 2015 MT Alta Floresta Cria 2015 MT Barra do Garças Cria 2015 MT Cáceres Cria 2015 MT Juara Cria 2015 MT Juína Cria 2015 MT Pontes e Lacerda Cria 2015 MT Vila Rica Cria 2015 RO Cacoal Cria 2015 RO Ji-Paraná Cria 2015 TO Araguaçu Cria	2014	RS	Alegrete	
2015 AC Sena Madureira Cria 2015 MA Imperatriz Cria 2015 MT Água Boa Cria 2015 MT Alta Floresta Cria 2015 MT Barra do Garças Cria 2015 MT Cáceres Cria 2015 MT Juara Cria 2015 MT Juína Cria 2015 MT Pontes e Lacerda Cria 2015 MT Vila Rica Cria 2015 RO Cacoal Cria 2015 RO Ji-Paraná Cria 2015 TO Araguaçu Cria	2014	RS	Bagé	Cria
2015 MA Imperatriz Cria 2015 MT Água Boa Cria 2015 MT Alta Floresta Cria 2015 MT Barra do Garças Cria 2015 MT Cáceres Cria 2015 MT Juara Cria 2015 MT Juína Cria 2015 MT Pontes e Lacerda Cria 2015 MT Vila Rica Cria 2015 RO Cacoal Cria 2015 RO Ji-Paraná Cria 2015 TO Araguaçu Cria	2014	RS	Lavras do Sul	Cria
2015 MT Água Boa Cria 2015 MT Alta Floresta Cria 2015 MT Barra do Garças Cria 2015 MT Cáceres Cria 2015 MT Juara Cria 2015 MT Juína Cria 2015 MT Pontes e Lacerda Cria 2015 MT Vila Rica Cria 2015 RO Cacoal Cria 2015 RO Ji-Paraná Cria 2015 TO Araguaçu Cria	2015	AC	Sena Madureira	Cria
2015 MT Alta Floresta Cria 2015 MT Barra do Garças Cria 2015 MT Cáceres Cria 2015 MT Juara Cria 2015 MT Juína Cria 2015 MT Pontes e Lacerda Cria 2015 MT Vila Rica Cria 2015 RO Cacoal Cria 2015 RO Ji-Paraná Cria 2015 TO Araguaçu Cria	2015	MA	Imperatriz	Cria
2015 MT Barra do Garças Cria 2015 MT Cáceres Cria 2015 MT Juara Cria 2015 MT Juína Cria 2015 MT Pontes e Lacerda Cria 2015 MT Vila Rica Cria 2015 RO Cacoal Cria 2015 RO Ji-Paraná Cria 2015 TO Araguaçu Cria	2015	MT	Água Boa	Cria
2015 MT Cáceres Cria 2015 MT Juara Cria 2015 MT Juína Cria 2015 MT Pontes e Lacerda Cria 2015 MT Vila Rica Cria 2015 RO Cacoal Cria 2015 RO Ji-Paraná Cria 2015 TO Araguaçu Cria				
2015 MT Juara Cria 2015 MT Juína Cria 2015 MT Pontes e Lacerda Cria 2015 MT Vila Rica Cria 2015 RO Cacoal Cria 2015 RO Ji-Paraná Cria 2015 TO Araguaçu Cria	2015	MT		Cria
2015MTJuínaCria2015MTPontes e LacerdaCria2015MTVila RicaCria2015ROCacoalCria2015ROJi-ParanáCria2015TOAraguaçuCria	2015	MT	Cáceres	Cria
2015MTPontes e LacerdaCria2015MTVila RicaCria2015ROCacoalCria2015ROJi-ParanáCria2015TOAraguaçuCria	2015	MT	Juara	Cria
2015MTVila RicaCria2015ROCacoalCria2015ROJi-ParanáCria2015TOAraguaçuCria	2015	MT	Juína	Cria
2015ROCacoalCria2015ROJi-ParanáCria2015TOAraguaçuCria			Pontes e Lacerda	Cria
2015 RO Ji-Paraná Cria 2015 TO Araguaçu Cria				
2015 TO Araguaçu Cria				
<i>C</i> 3		RO	Ji-Paraná	Cria
2015 TO Colinas do Tocantins Cria			• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	
	2015	ТО	Colinas do Tocantins	Cria

(continuação)

			(continuação)
2015	TO	Paraíso do Tocantins	Cria
2016	BA	Barreiras	Cria
2016	BA	Itamarajú	Cria
2016	BA	Wanderley	Cria
2016	GO	Catalão	Cria
2016	GO	Itarumã	Cria
2016	GO	Jataí	Cria
2016	GO	Jussara	Cria
2016	GO	Mineiros	Cria
2016	GO	Niquelândia	Cria
2016	GO	Porangatu	Cria
2016	GO	São Miguel do Araguaia	Cria
2016	MG	Montes Claros	Cria
2016	MG	Uberlândia	Cria
2016	PA	Altamira	Cria
2016	PA	Redenção	Cria
2016	PA	São Félix do Xingu	Cria
2017	PR	Cascavel	Cria
2017	PR	Guarapuava	Cria
2017	PR	Londrina	Cria
2017	PR	Santo Antônio da Platina	Cria
2017	PR	Umuarama	Cria
2017	RS	Alegrete	Cria
2017	RS	Bagé	Cria
2017	RS	Lavras do Sul	Cria
2017	RS	Santa Maria	Cria
2017	SP	Adamantina	Cria
2017	SP	Avaré	Cria
2017	SP	Itapetininga	Cria
2017	SP	Marília	Cria
2017	SP	Tupã	Cria
2002	MS	Chapadão do Sul	Ciclo Completo
2002	MS	Dourados	Ciclo Completo
2002	MS	Miranda	Ciclo Completo
2002	PA	Paragominas	Ciclo Completo
2003	GO	Jataí	Ciclo Completo
2003	MT	Alta Floresta	Ciclo Completo
2003	MT	Barra do Garças	Ciclo Completo
2003	MT	Cáceres	Ciclo Completo
2003	RO	Ji-Paraná	Ciclo Completo
2003	RS	Alegrete	Ciclo Completo
2003	RS	Bagé	Ciclo Completo
2003	RS	Santa Maria	Ciclo Completo
2006	ТО	Paraíso do Tocantins	Ciclo Completo
		·	·

(continuação)

		,	(continuação)
2007	SP	Holambra	Ciclo Completo
2008	AC	Tarauaca	Ciclo Completo
2008	AC	Xapuri	Ciclo Completo
2008	PA	Paragominas	Ciclo Completo
2010	PR	Umuarama	Ciclo Completo
2010	RO	Cacoal	Ciclo Completo
2010	RO	Porto Velho	Ciclo Completo
2010	RS	Bagé	Ciclo Completo
2010	RS	Santa Maria	Ciclo Completo
2010	SP	Itapetininga	Ciclo Completo
2010	SP	Presidente Venceslau	Ciclo Completo
2011	AC	Rio Branco	Ciclo Completo
2011	MS	Miranda	Ciclo Completo
2011	MS	Dourados	Ciclo Completo
2011	MS	Paranaíba	Ciclo Completo
2011	MS	Porto Murtinho	Ciclo Completo
2011	MT	Alta Floresta	Ciclo Completo
2011	MT	Barra do Garças	Ciclo Completo
2013	GO	Itarumã	Ciclo Completo
2013	PR	Londrina	Ciclo Completo
2014	MS	Três Lagoas	Ciclo Completo
2014	RS	Santa Maria	Ciclo Completo
2015	AC	Rio Branco	Ciclo Completo
2016	PA	Paragominas	Ciclo Completo
2016	PA	Santana do Araguaia	Ciclo Completo
2013	GO	Goiânia	Confinamento
2016	GO	Goiânia	Confinamento
2016	GO	Goiânia	Confinamento
2002	MS	Chapadão do Sul	Cria e Recria
2002	MS	Nova Andradina	Cria e Recria
2002	MS	Paranaíba	Cria e Recria
2003	MT	Pontes e Lacerda	Cria e Recria
2003	PR	Paranavaí	Cria e Recria
2008	BA	Barreiras	Cria e Recria
2010	RS	Lavras do Sul	Cria e Recria
2011	MS	Coxim	Cria e Recria
2012	BA	Vitória da Conquista	Cria e Recria
2013	GO	São Miguel do Araguaia	Cria e Recria
2008	BA	Feira de Santana	Engorda
2010	SP	Santa Cruz do Rio Pardo	Engorda
2011	MS	Campo Grande	Engorda
2013	GO	Jussara	Engorda
2016	GO	Jussara	Engorda
2016	MG	Santa Vitória	Engorda

(continuação)

	•		(continuação)
2017	SP	Itapetininga	Engorda
2003	GO	Catalão	Recria
2013	GO	Jussara	Recria
2013	SP	Andradina	Recria
2016	BA	Barreiras	Recria
2016	BA	Wanderley	Recria
2016	GO	Jussara	Recria
2016	MG	Montes Claros	Recria
2016	MG	Santa Vitória	Recria
2016	MG	Uberaba	Recria
2017	SP	Avaré	Recria
2017	SP	Itapetininga	Recria
2002	MS	Naviraí	Recria e Engorda
2002	PA	Santana do Araguaia	Recria e Engorda
2002	SP	Tupã	Recria e Engorda
2003	GO	Ceres	Recria e Engorda
2003	GO	Nova Crixás	Recria e Engorda
2003	GO	São Miguel do Araguaia	Recria e Engorda
2003	PR	Umuarama	Recria e Engorda
2003	RS	Alegrete	Recria e Engorda
2003	RS	Bagé	Recria e Engorda
2005	PR	Santo Antônio da Platina	Recria e Engorda
2006	TO	Araguaína	Recria e Engorda
2006	TO	Colinas do Tocantins	Recria e Engorda
2007	SP	Andradina	Recria e Engorda
2008	BA	Itapetinga	Recria e Engorda
2008	GO	Nova Crixás	Recria e Engorda
2008	PA	Redenção	Recria e Engorda
2008	SP	Mogi Guaçu	Recria e Engorda
2010	PR	Paranavaí	Recria e Engorda
2010	PR	Santo Antônio da Platina	Recria e Engorda
2010	RO	Ji-Paraná	Recria e Engorda
2010	RO	Vilhena	Recria e Engorda
2010	SP	Andradina	Recria e Engorda
2010	SP	General Salgado	Recria e Engorda
2010	SP	São José do Rio Preto	Recria e Engorda
2011	MS	Bonito	Recria e Engorda
2011	MS	Dourados	Recria e Engorda
2011	MS	Naviraí	Recria e Engorda
2011	MS	Nova Andradina	Recria e Engorda
2011	MT	Cáceres	Recria e Engorda
2011	MT	Pontes e Lacerda	Recria e Engorda
2011	TO	Araguaína	Recria e Engorda
2011	ТО	Colinas do Tocantins	Recria e Engorda

(continuação)

	1		(continuação)
2011	MT	Cáceres	Recria e Engorda
2011	MT	Pontes e Lacerda	Recria e Engorda
2011	TO	Araguaína	Recria e Engorda
2011	TO	Colinas do Tocantins	Recria e Engorda
2012	BA	Itapetinga	Recria e Engorda
2012	MA	Imperatriz	Recria e Engorda
2012	MG	Carlos Chagas	Recria e Engorda
2012	MG	Montes Claros	Recria e Engorda
2012	MG	Santa Vitória	Recria e Engorda
2012	PA	Marabá	Recria e Engorda
2012	PA	Paragominas	Recria e Engorda
2012	PA	Santana do Araguaia	Recria e Engorda
2013	GO	Jataí	Recria e Engorda
2013	GO	Mineiros	Recria e Engorda
2013	GO	Nova Crixás	Recria e Engorda
2013	GO	São Miguel do Araguaia	Recria e Engorda
2013	PR	Cascavel	Recria e Engorda
2013	PR	Paranavaí	Recria e Engorda
2013	PR	Umuarama	Recria e Engorda
2013	SP	Araçatuba	Recria e Engorda
2013	SP	Presidente Venceslau	Recria e Engorda
2013	SP	Santa Cruz do Rio Pardo	Recria e Engorda
2013	SP	Tupã	Recria e Engorda
2014	MS	Bonito	Recria e Engorda
2014	MS	Dourados	Recria e Engorda
2014	MS	Miranda	Recria e Engorda
2014	MS	Naviraí	Recria e Engorda
2014	MS	Paranaíba	Recria e Engorda
2014	RS	Alegrete	Recria e Engorda
2014	RS	Bagé	Recria e Engorda
2015	RO	Porto Velho	Recria e Engorda
2015	AC	Sena Madureira	Recria e Engorda
2015	MA	Imperatriz	Recria e Engorda
2015	MT	Alta Floresta	Recria e Engorda
2015	MT	Barra do Garças	Recria e Engorda
2015	MT	Cáceres	Recria e Engorda
2015	MT	Pontes e Lacerda	Recria e Engorda
2015	RO	Cacoal	Recria e Engorda
2015	RO	Ji-Paraná	Recria e Engorda
2015	RO	Vilhena	Recria e Engorda
2015	ТО	Araguaína	Recria e Engorda
2015	ТО	Colinas do Tocantins	Recria e Engorda
2016	BA	Feira de Santana	Recria e Engorda
2016	BA	Itamarajú	Recria e Engorda

(conclusão)

			(concrusao)
2016	BA	Itapetinga	Recria e Engorda
2016	GO	Itarumã	Recria e Engorda
2016	GO	Jataí	Recria e Engorda
2016	GO	Nova Crixás	Recria e Engorda
2016	GO	Rio Verde	Recria e Engorda
2016	GO	São Miguel do Araguaia	Recria e Engorda
2016	GO	Carlos Chagas	Recria e Engorda
2016	PA	Altamira	Recria e Engorda
2016	PA	Marabá	Recria e Engorda
2016	PA	São Félix do Xingu	Recria e Engorda
2017	PR	Guarapuava	Recria e Engorda
2017	PR	Cascavel	Recria e Engorda
2017	PR	Londrina	Recria e Engorda
2017	PR	Paranavaí	Recria e Engorda
2017	PR	Santo Antônio da Platina	Recria e Engorda
2017	PR	Umuarama	Recria e Engorda
2017	RS	Alegrete	Recria e Engorda
2017	RS	Bagé	Recria e Engorda
2017	RS	Lavras do Sul	Recria e Engorda
2017	RS	Santa Maria	Recria e Engorda
2017	RS	Santo Ângelo	Recria e Engorda
2017	SP	Marília	Recria e Engorda

APÊNDICE C. Bootstrap

O método de *bootstrap* tem como objetivo obter estimativas robustas do desvio-padrão dos parâmetros de determinado modelo e, por conseguinte, do intervalo de confiança e testes estatísticos. Para tanto, o *bootstrap* consiste em criar novas amostras a partir daquela original e estimar o modelo empírico para cada uma das mesmas, o que levará ao cômputo do desvio-padrão dos parâmetros. Em outras palavras, a amostra de dados disponível é tida como a população e, por meio de um processo de amostragem com reposição, são geradas novas amostras a partir daquela verdadeira. Com base na estimativa dos parâmetros para cada uma dessas amostras, obtém-se a variância dos mesmos ($\hat{V}_{Boot}(\hat{\theta})$) conforme a expressão seguinte (CAMERON; TRIVEDI, 2009)²²:

$$\hat{V}_{Boot}(\hat{\theta}) = \frac{1}{B-1} \sum_{b=1}^{B} (\hat{\theta}_b^* - \overline{\hat{\theta}}^*) (\hat{\theta}_b^* - \overline{\hat{\theta}}^*)'$$
$$\overline{\hat{\theta}}^* = B^{-1} \sum_{b=1}^{B} \hat{\theta}_b^*$$

onde: B – número de replicações da amostra; e $\hat{\theta}_b^*$ – parâmetro estimado para cada uma das replicações.

Uma vez obtida a variância, calcula-se o desvio-padrão (CAMERON; TRIVEDI, 2009):

$$se_{Boot}(\hat{\theta}_j) = \{\hat{V}_{Boot,jj}(\hat{\theta})\}^{1/2}$$

O processo de replicação é feito considerando o conjunto formado pela variável dependente e pelas explicativas. Por exemplo, para a i-ésima fazenda típica – unidade de observação utilizada nessa pesquisa – tem-se a quantidade produzida (y_i) e o vetor de insumos (x_i), que formam $w_i = (y_i, x_i)$. Desse modo, as replicações feitas para a geração de novas amostras serão feitas com w_i (CAMERON; TRIVEDI, 2009).

Na literatura não há um consenso sobre qual é o número ideal de replicações a serem realizadas. Cameron; Trivedi (2009) utilizaram em suas análises 999 replicações, quando o nível de significância é de 5% para o intervalo de confiança e para os testes de hipóteses.

_

²² A explicação detalhada sobre o *bootstrap* pode ser encontrada em Cameron; Trivedi (2009, capítulo 13).

APÊNDICE D. Estatística descritiva por sistema de produção

a) Variáveis da fronteira estocástica de produção.

	Média	Mínimo	Máximo	(continua Desvio
Cria (N = 116)				padrão
Terra (hectares)	1.020,65	67,00	15.993,00	2.248,31
Capital (R\$)	176.400,60	28.784,24	505.298,20	99.407,62
Trabalho (número de pessoas)	2,78	1,00	10,00	1,70
Ganho de peso diário dos animais (gramas)	291,10	159,40	604,48	60,53
Graus-dia de crescimento (categórica)	7,59	6,00	9,00	0,96
Índice de aridez anual (categórica)	6,10	2,00	8,00	1,36
Sazonalidade da temperatura (categórica)	1,03	1,00	2,00	0,16
Aptidão do meio físico (índice)	0,48	0,32	0,63	0,07
Recria (N = 11)	,	,	,	,
Terra (hectares)	324,15	57,10	739,20	232,08
Capital (R\$)	150.274,80	75.412,72	264.202,00	59.805,90
Trabalho (número de pessoas)	1,82	1,00	3,00	0,75
Ganho de peso diário dos animais (gramas)	453,47	225,41	538,64	91,27
Graus-dia de crescimento (categórica)	7,64	6,00	9,00	0,92
Índice de aridez anual (categórica)	5,00	2,00	7,00	1,61
Sazonalidade da temperatura (categórica)	1,00	1,00	1,00	0,00
Aptidão do meio físico (índice)	0,50	0,44	0,58	0,04
Engorda (N = 7)	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	·	·	·
Terra (hectares)	1.996,63	80,00	11.000,00	3.982,45
Capital (R\$)	237.667,40	120.299,30	464.872,80	122.836,60
Trabalho (número de pessoas)	2,86	1,00	6,00	1,95
Ganho de peso diário dos animais (gramas)	594,96	275,50	1.016,39	229,56
Graus-dia de crescimento (categórica)	7,71	6,00	9,00	1,11
Índice de aridez anual (categórica)	5,86	4,00	7,00	0,90
Sazonalidade da temperatura (categórica)	1,00	1,00	1,00	0,00
Aptidão do meio físico (índice)	0,52	0,45	0,60	0,05
Cria-Recria (N = 10)				
Terra (hectares)	766,60	186,00	2.398,00	702,80
Capital (R\$)	196.180,10	50.718,09	357.132,10	99.841,45
Trabalho (número de pessoas)	3,10	1,00	6,00	1,29
Ganho de peso diário dos animais (gramas)	294,72	159,84	368,17	63,84
Graus-dia de crescimento (categórica)	7,50	6,00	9,00	0,85
Índice de aridez anual (categórica)	5,40	2,00	7,00	1,65
Sazonalidade da temperatura (categórica)	1,00	1,00	1,00	0,00
Aptidão do meio físico (índice)	0,51	0,38	0,61	0,06
Recria-Engorda (N = 94)				
Terra (hectares)	877,76	33,00	6.800,00	990,73
Capital (R\$)	296.854,80	93.092,38	1.709.438,00	256.335,70
Trabalho (número de pessoas)	3,70	1,00	30,00	3,47
Ganho de peso diário dos animais (gramas)	417,99	268,67	745,57	93,00

/ 1	· ~ \
(conc)	11630)
(COHC)	lusaui

	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão
Graus-dia de crescimento (categórica)	7,72	6,00	9,00	1,03
Índice de aridez anual (categórica)	6,19	3,00	9,00	1,29
Sazonalidade da temperatura (categórica)	1,03	1,00	2,00	0,18
Aptidão do meio físico (índice)	0,50	0,35	0,70	0,07
Ciclo completo (N = 38)				
Terra (hectares)	1.252,38	100,00	11.000,00	1.909,58
Capital (R\$)	283.199,50	50.131,61	935.063,50	173.835,20
Trabalho (número de pessoas)	4,53	1,00	11,00	2,49
Ganho de peso diário dos animais (gramas)	319,30	237,70	425,53	43,98
Graus-dia de crescimento (categórica)	7,71	6,00	9,00	1,09
Índice de aridez anual (categórica)	6,66	5,00	8,00	1,05
Sazonalidade da temperatura (categórica)	1,03	1,00	2,00	0,16
Aptidão do meio físico (índice)	0,51	0,39	0,70	0,07
Confinamento (N = 3)				
Terra (hectares)	563,30	9,70	1.172,00	583,11
Capital (R\$)	399.663,50	310.565,80	512.931,10	103.325,10
Trabalho (número de pessoas)	6,00	3,00	12,00	5,20
Ganho de peso diário dos animais (gramas)	650,14	371,71	907,10	268,34
Graus-dia de crescimento (categórica)	7,00	7,00	7,00	0,00
Índice de aridez anual (categórica)	6,00	6,00	6,00	0,00
Sazonalidade da temperatura (categórica)	1,00	1,00	1,00	0,00
Aptidão do meio físico (índice)	0,53	0,53	0,53	0,00

Nota: N indica o número de observações na categoria.

b) Variáveis explicativas para a ineficiência técnica.

(continua)

			(continua)
Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão
0,11	0,00	0,35	0,07
0,15	0,00	1,71	0,27
10,28	1,00	50,00	6,45
0,38	0,00	1,00	0,49
0,03	0,00	1,00	0,16
0,25	0,00	1,00	0,43
0,20	0,00	0,46	0,13
0,66	0,00	1,36	0,47
10,88	4,00	20,00	4,85
0,55	0,00	1,00	0,52
0,00	0,00	0,00	0,00
0,09	0,00	1,00	0,30
0,06	0,00	0,17	0,06
	0,11 0,15 10,28 0,38 0,03 0,25 0,20 0,66 10,88 0,55 0,00 0,09	0,11 0,00 0,15 0,00 10,28 1,00 0,38 0,00 0,03 0,00 0,25 0,00 0,66 0,00 10,88 4,00 0,55 0,00 0,00 0,00 0,09 0,00	0,11 0,00 0,35 0,15 0,00 1,71 10,28 1,00 50,00 0,38 0,00 1,00 0,03 0,00 1,00 0,25 0,00 1,00 0,66 0,00 1,36 10,88 4,00 20,00 0,55 0,00 1,00 0,00 0,00 0,00 0,09 0,00 1,00

(conclusão)

Suplementação proteica (kg/UA/dia) 0,37 0,00 0,86 0,32 Número de piquetes 15,79 8,00 22,50 6,14 Adubação (dummy) 0,71 0,00 1,00 0,49 Integração lavoura-pecuária (dummy) 0,00 0,00 0,00 0,00 Assistência técnica (dummy) 0,14 0,00 1,00 0,38 Cria-Recria (N = 10) Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,18 0,00 0,72 0,20 Suplementação proteica (kg/UA/dia) 0,10 0,00 0,47 0,17 Número de piquetes 11,12 4,00 25,00 6,32 Adubação (dummy) 0,70 0,00 1,00 0,48 Integração lavoura-pecuária (dummy) 0,00 0,00 0,00 0,00 Assistência técnica (dummy) 0,30 0,00 1,00 0,48 Recria-Engorda (N = 94) Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,12 0,00 0,72 0,09 Suplementação proteica (kg/UA/dia) 0,12 0,00					(conclusão)
Número de piquetes 15,79 8,00 22,50 6,14 Adubação (dummy) 0,71 0,00 1,00 0,49 Integração lavoura-pecuária (dummy) 0,00 0,00 0,00 0,00 Assistência técnica (dummy) 0,14 0,00 1,00 0,38 Cria-Recria (N = 10) Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,18 0,00 0,72 0,20 Suplementação proteica (kg/UA/dia) 0,10 0,00 0,47 0,17 Número de piquetes 11,12 4,00 25,00 6,32 Adubação (dummy) 0,70 0,00 1,00 0,48 Integração lavoura-pecuária (dummy) 0,00 0,00 0,00 0,00 Assistência técnica (kg/UA/dia) 0,12 0,00 0,72 0,09 Suplementação proteica (kg/UA/dia) 0,28 0,00 1,71 0,33 Número de piquetes 21,76 1,00 150,00 22,98 Adubação (dummy) 0,46 0,00 1,00 0,31		Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão
Adubação (dummy) 0,71 0,00 1,00 0,49 Integração lavoura-pecuária (dummy) 0,00 0,00 0,00 0,00 Assistência técnica (dummy) 0,14 0,00 1,00 0,38 Cria-Recria (N = 10) Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,18 0,00 0,72 0,20 Suplementação proteica (kg/UA/dia) 0,10 0,00 0,47 0,17 Número de piquetes 11,12 4,00 25,00 6,32 Adubação (dummy) 0,70 0,00 1,00 0,48 Integração lavoura-pecuária (dummy) 0,00 0,00 0,00 0,00 Assistência técnica (dummy) 0,28 0,00 1,71 0,33 Número de piquetes 21,76 1,00 150,00 22,98 Adubação (dummy) 0,46 0,00 1,00 0,31 Assistência técnica (dummy) 0,11 0,00 1,00 0,31 Assistência técnica (dummy) 0,11 0,00 0,27 0,06	Suplementação proteica (kg/UA/dia)	0,37	0,00	0,86	0,32
Integração lavoura-pecuária (dummy) 0,00 0,00 0,00 0,00 Assistência técnica (dummy) 0,14 0,00 1,00 0,38 Cria-Recria (N = 10) Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,18 0,00 0,72 0,20 Suplementação proteica (kg/UA/dia) 0,10 0,00 0,47 0,17 Número de piquetes 11,12 4,00 25,00 6,32 Adubação (dummy) 0,70 0,00 1,00 0,48 Integração lavoura-pecuária (dummy) 0,00 0,00 0,00 0,00 Assistência técnica (dummy) 0,30 0,00 1,00 0,48 Recria-Engorda (N = 94) Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,12 0,00 0,72 0,09 Suplementação proteica (kg/UA/dia) 0,28 0,00 1,71 0,33 Número de piquetes 21,76 1,00 150,00 22,98 Adubação (dummy) 0,46 0,00 1,00 0,50 Integração lavoura-pecuária (kg/UA/dia) 0,11 0,00 1,00	Número de piquetes	15,79	8,00	22,50	6,14
Assistência técnica (dummy) 0,14 0,00 1,00 0,38 Cria-Recria (N = 10) Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,18 0,00 0,72 0,20 Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,10 0,00 0,47 0,17 Número de piquetes 11,12 4,00 25,00 6,32 Adubação (dummy) 0,70 0,00 1,00 0,48 Integração lavoura-pecuária (dummy) 0,00 0,00 0,00 0,00 Assistência técnica (dummy) 0,30 0,00 1,00 0,48 Recria-Engorda (N = 94) Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,12 0,00 0,72 0,09 Suplementação proteica (kg/UA/dia) 0,28 0,00 1,71 0,33 Número de piquetes 21,76 1,00 150,00 22,98 Adubação (dummy) 0,46 0,00 1,00 0,50 Integração lavoura-pecuária (dummy) 0,11 0,00 1,00 0,31 Assistência técnica (kg/UA/dia) 0,16 0,00 0,91 <	Adubação (dummy)	0,71	0,00	1,00	0,49
Cria-Recria (N = 10) Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,18 0,00 0,72 0,20 Suplementação proteica (kg/UA/dia) 0,10 0,00 0,47 0,17 Número de piquetes 11,12 4,00 25,00 6,32 Adubação (dummy) 0,70 0,00 1,00 0,48 Integração lavoura-pecuária (dummy) 0,00 0,00 0,00 0,00 Assistência técnica (dummy) 0,30 0,00 1,00 0,48 Recria-Engorda (N = 94) 8 8 8 8 8 9,00 1,71 0,33 Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,12 0,00 0,72 0,09 9 Suplementação proteica (kg/UA/dia) 0,28 0,00 1,71 0,33 0,33 0,50 1,00 0,50 1,00 0,50 22,98 Adubação (dummy) 0,46 0,00 1,00 0,50 1,00 0,50 1,00 0,31 Assistência técnica (dummy) 0,11 0,00 1,00 0,31 Ass	Integração lavoura-pecuária (dummy)	0,00	0,00	0,00	0,00
Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,18 0,00 0,72 0,20 Suplementação proteica (kg/UA/dia) 0,10 0,00 0,47 0,17 Número de piquetes 11,12 4,00 25,00 6,32 Adubação (dummy) 0,70 0,00 1,00 0,48 Integração lavoura-pecuária (dummy) 0,00 0,00 0,00 0,00 Assistência técnica (dummy) 0,30 0,00 1,00 0,48 Recria-Engorda (N = 94) 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 </td <td>Assistência técnica (dummy)</td> <td>0,14</td> <td>0,00</td> <td>1,00</td> <td>0,38</td>	Assistência técnica (dummy)	0,14	0,00	1,00	0,38
Suplementação proteica (kg/UA/dia) 0,10 0,00 0,47 0,17 Número de piquetes 11,12 4,00 25,00 6,32 Adubação (dummy) 0,70 0,00 1,00 0,48 Integração lavoura-pecuária (dummy) 0,00 0,00 0,00 0,00 Assistência técnica (dummy) 0,30 0,00 1,00 0,48 Recria-Engorda (N = 94) Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,12 0,00 0,72 0,09 Suplementação proteica (kg/UA/dia) 0,28 0,00 1,71 0,33 Número de piquetes 21,76 1,00 150,00 22,98 Adubação (dummy) 0,46 0,00 1,00 0,50 Integração lavoura-pecuária (dummy) 0,11 0,00 1,00 0,31 Assistência técnica (kg/UA/dia) 0,11 0,00 0,27 0,06 Suplementação proteica (kg/UA/dia) 0,11 0,00 0,27 0,06 Suplementação lavoura-pecuária (dummy) 0,50 0,00 1,00	Cria-Recria (N = 10)				
Número de piquetes 11,12 4,00 25,00 6,32 Adubação (dummy) 0,70 0,00 1,00 0,48 Integração lavoura-pecuária (dummy) 0,00 0,00 0,00 0,00 Assistência técnica (dummy) 0,30 0,00 1,00 0,48 Recria-Engorda (N = 94) 8 8 8 8 8 8 9 0,00 1,71 0,33 9 0,00 1,71 0,33 0,00 1,71 0,33 0,00 1,71 0,33 0,00 1,71 0,33 0,00 1,71 0,33 0,00 1,00 0,50 0,50 1,00 0,50 0,50 0,00 1,00 0,50 0,50 0,00 1,00 0,50 0,00 0,31 0,00 0,31 0,00 0,31 0,00 0,31 0,30 0,00 0,30 0,00 0,30 0,00 0,30 0,00 0,30 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00 0,00	Suplementação mineral (kg/UA/dia)	0,18	0,00	0,72	0,20
Adubação (dummy) 0,70 0,00 1,00 0,48 Integração lavoura-pecuária (dummy) 0,00 0,00 0,00 0,00 Assistência técnica (dummy) 0,30 0,00 1,00 0,48 Recria-Engorda (N = 94) Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,12 0,00 0,72 0,09 Suplementação proteica (kg/UA/dia) 0,28 0,00 1,71 0,33 Número de piquetes 21,76 1,00 150,00 22,98 Adubação (dummy) 0,46 0,00 1,00 0,50 Integração lavoura-pecuária (dummy) 0,11 0,00 1,00 0,31 Assistência técnica (dummy) 0,10 0,00 1,00 0,30 Ciclo completo (N = 38) Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,11 0,00 0,27 0,06 Suplementação proteica (kg/UA/dia) 0,16 0,00 0,91 0,24 Número de piquetes 23,34 1,00 95,20 19,35 Adubação (dummy) 0,50 0,00 1,00 0,51 <td>Suplementação proteica (kg/UA/dia)</td> <td>0,10</td> <td>0,00</td> <td>0,47</td> <td>0,17</td>	Suplementação proteica (kg/UA/dia)	0,10	0,00	0,47	0,17
Integração lavoura-pecuária (dummy) 0,00 0,00 0,00 0,00 Assistência técnica (dummy) 0,30 0,00 1,00 0,48 Recria-Engorda (N = 94) Suplementação mineral (kg/UA/dia) Suplementação proteica (kg/UA/dia) 0,12 0,00 0,72 0,09 Suplementação proteica (kg/UA/dia) 0,28 0,00 1,71 0,33 Número de piquetes 21,76 1,00 150,00 22,98 Adubação (dummy) 0,46 0,00 1,00 0,50 Integração lavoura-pecuária (dummy) 0,11 0,00 1,00 0,31 Assistência técnica (dummy) 0,10 0,00 1,00 0,30 Ciclo completo (N = 38) Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,11 0,00 0,27 0,06 Suplementação proteica (kg/UA/dia) 0,16 0,00 0,91 0,24 Número de piquetes 23,34 1,00 95,20 19,35 Adubação (dummy) 0,50 0,00 1,00 0,51 Integração lavoura-pecuár	Número de piquetes	11,12	4,00	25,00	6,32
Assistência técnica (dummy) 0,30 0,00 1,00 0,48 Recria-Engorda (N = 94) Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,12 0,00 0,72 0,09 Suplementação proteica (kg/UA/dia) 0,28 0,00 1,71 0,33 Número de piquetes 21,76 1,00 150,00 22,98 Adubação (dummy) 0,46 0,00 1,00 0,50 Integração lavoura-pecuária (dummy) 0,11 0,00 1,00 0,31 Assistência técnica (dummy) 0,10 0,00 1,00 0,30 Ciclo completo (N = 38) Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,11 0,00 0,27 0,06 Suplementação proteica (kg/UA/dia) 0,16 0,00 0,91 0,24 Número de piquetes 23,34 1,00 95,20 19,35 Adubação (dummy) 0,50 0,00 1,00 0,51 Integração lavoura-pecuária (dummy) 0,50 0,00 0,00 0,00 Assistência técnica (dummy) 0,50 0,00 0,00 <	Adubação (dummy)	0,70	0,00	1,00	0,48
Recria-Engorda (N = 94) Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,12 0,00 0,72 0,09 Suplementação proteica (kg/UA/dia) 0,28 0,00 1,71 0,33 Número de piquetes 21,76 1,00 150,00 22,98 Adubação (dummy) 0,46 0,00 1,00 0,50 Integração lavoura-pecuária (dummy) 0,11 0,00 1,00 0,31 Assistência técnica (dummy) 0,10 0,00 1,00 0,30 Ciclo completo (N = 38) Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,11 0,00 0,27 0,06 Suplementação proteica (kg/UA/dia) 0,16 0,00 0,91 0,24 Número de piquetes 23,34 1,00 95,20 19,35 Adubação (dummy) 0,50 0,00 1,00 0,51 Integração lavoura-pecuária (dummy) 0,50 0,00 0,00 0,00 Assistência técnica (dummy) 0,50 0,00 1,00 0,51 Confinamento (N = 3) Suplemen	Integração lavoura-pecuária (dummy)	0,00	0,00	0,00	0,00
Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,12 0,00 0,72 0,09 Suplementação proteica (kg/UA/dia) 0,28 0,00 1,71 0,33 Número de piquetes 21,76 1,00 150,00 22,98 Adubação (dummy) 0,46 0,00 1,00 0,50 Integração lavoura-pecuária (dummy) 0,11 0,00 1,00 0,31 Assistência técnica (dummy) 0,10 0,00 1,00 0,30 Ciclo completo (N = 38) Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,11 0,00 0,27 0,06 Suplementação proteica (kg/UA/dia) 0,16 0,00 0,91 0,24 Número de piquetes 23,34 1,00 95,20 19,35 Adubação (dummy) 0,50 0,00 1,00 0,51 Integração lavoura-pecuária (dummy) 0,50 0,00 0,00 0,00 Assistência técnica (dummy) 0,50 0,00 1,00 0,51 Confinamento (N = 3) Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,07 0,00 <td>Assistência técnica (dummy)</td> <td>0,30</td> <td>0,00</td> <td>1,00</td> <td>0,48</td>	Assistência técnica (dummy)	0,30	0,00	1,00	0,48
Suplementação proteica (kg/UA/dia) 0,28 0,00 1,71 0,33 Número de piquetes 21,76 1,00 150,00 22,98 Adubação (dummy) 0,46 0,00 1,00 0,50 Integração lavoura-pecuária (dummy) 0,11 0,00 1,00 0,31 Assistência técnica (dummy) 0,10 0,00 1,00 0,30 Ciclo completo (N = 38) Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,11 0,00 0,27 0,06 Suplementação proteica (kg/UA/dia) 0,16 0,00 0,91 0,24 Número de piquetes 23,34 1,00 95,20 19,35 Adubação (dummy) 0,50 0,00 1,00 0,51 Integração lavoura-pecuária (dummy) 0,00 0,00 0,00 0,00 Assistência técnica (dummy) 0,50 0,00 1,00 0,51 Confinamento (N = 3) Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,07 0,00 0,10 0,06	Recria-Engorda (N = 94)				
Número de piquetes 21,76 1,00 150,00 22,98 Adubação (dummy) 0,46 0,00 1,00 0,50 Integração lavoura-pecuária (dummy) 0,11 0,00 1,00 0,31 Assistência técnica (dummy) 0,10 0,00 1,00 0,30 Ciclo completo (N = 38) Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,11 0,00 0,27 0,06 Suplementação proteica (kg/UA/dia) 0,16 0,00 0,91 0,24 Número de piquetes 23,34 1,00 95,20 19,35 Adubação (dummy) 0,50 0,00 1,00 0,51 Integração lavoura-pecuária (dummy) 0,00 0,00 0,00 0,00 Assistência técnica (dummy) 0,50 0,00 1,00 0,51 Confinamento (N = 3) Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,07 0,00 0,10 0,06	Suplementação mineral (kg/UA/dia)	0,12	0,00	0,72	0,09
Adubação (dummy) 0,46 0,00 1,00 0,50 Integração lavoura-pecuária (dummy) 0,11 0,00 1,00 0,31 Assistência técnica (dummy) 0,10 0,00 1,00 0,30 Ciclo completo (N = 38) Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,11 0,00 0,27 0,06 Suplementação proteica (kg/UA/dia) 0,16 0,00 0,91 0,24 Número de piquetes 23,34 1,00 95,20 19,35 Adubação (dummy) 0,50 0,00 1,00 0,51 Integração lavoura-pecuária (dummy) 0,00 0,00 0,00 0,00 Assistência técnica (dummy) 0,50 0,00 1,00 0,51 Confinamento (N = 3) Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,07 0,00 0,10 0,06	Suplementação proteica (kg/UA/dia)	0,28	0,00	1,71	0,33
Integração lavoura-pecuária (dummy) 0,11 0,00 1,00 0,31 Assistência técnica (dummy) 0,10 0,00 1,00 0,30 Ciclo completo (N = 38) Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,11 0,00 0,27 0,06 Suplementação proteica (kg/UA/dia) 0,16 0,00 0,91 0,24 Número de piquetes 23,34 1,00 95,20 19,35 Adubação (dummy) 0,50 0,00 1,00 0,51 Integração lavoura-pecuária (dummy) 0,00 0,00 0,00 0,51 Confinamento (N = 3) Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,07 0,00 0,10 0,06	Número de piquetes	21,76	1,00	150,00	22,98
Assistência técnica (dummy) 0,10 0,00 1,00 0,30 Ciclo completo (N = 38) Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,11 0,00 0,27 0,06 Suplementação proteica (kg/UA/dia) 0,16 0,00 0,91 0,24 Número de piquetes 23,34 1,00 95,20 19,35 Adubação (dummy) 0,50 0,00 1,00 0,51 Integração lavoura-pecuária (dummy) 0,00 0,00 0,00 0,00 Assistência técnica (dummy) 0,50 0,00 1,00 0,51 Confinamento (N = 3) Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,07 0,00 0,10 0,06	Adubação (dummy)	0,46	0,00	1,00	0,50
Ciclo completo (N = 38) Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,11 0,00 0,27 0,06 Suplementação proteica (kg/UA/dia) 0,16 0,00 0,91 0,24 Número de piquetes 23,34 1,00 95,20 19,35 Adubação (dummy) 0,50 0,00 1,00 0,51 Integração lavoura-pecuária (dummy) 0,00 0,00 0,00 0,00 Assistência técnica (dummy) 0,50 0,00 1,00 0,51 Confinamento (N = 3) Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,07 0,00 0,10 0,06	Integração lavoura-pecuária (dummy)	0,11	0,00	1,00	0,31
Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,11 0,00 0,27 0,06 Suplementação proteica (kg/UA/dia) 0,16 0,00 0,91 0,24 Número de piquetes 23,34 1,00 95,20 19,35 Adubação (dummy) 0,50 0,00 1,00 0,51 Integração lavoura-pecuária (dummy) 0,00 0,00 0,00 0,00 Assistência técnica (dummy) 0,50 0,00 1,00 0,51 Confinamento (N = 3) Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,07 0,00 0,10 0,06	Assistência técnica (dummy)	0,10	0,00	1,00	0,30
Suplementação proteica (kg/UA/dia) 0,16 0,00 0,91 0,24 Número de piquetes 23,34 1,00 95,20 19,35 Adubação (dummy) 0,50 0,00 1,00 0,51 Integração lavoura-pecuária (dummy) 0,00 0,00 0,00 0,00 Assistência técnica (dummy) 0,50 0,00 1,00 0,51 Confinamento (N = 3) Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,07 0,00 0,10 0,06	Ciclo completo $(N = 38)$				
Número de piquetes 23,34 1,00 95,20 19,35 Adubação (dummy) 0,50 0,00 1,00 0,51 Integração lavoura-pecuária (dummy) 0,00 0,00 0,00 0,00 Assistência técnica (dummy) 0,50 0,00 1,00 0,51 Confinamento (N = 3) Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,07 0,00 0,10 0,06	Suplementação mineral (kg/UA/dia)	0,11	0,00	0,27	0,06
Adubação (dummy) 0,50 0,00 1,00 0,51 Integração lavoura-pecuária (dummy) 0,00 0,00 0,00 0,00 Assistência técnica (dummy) 0,50 0,00 1,00 0,51 Confinamento (N = 3) Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,07 0,00 0,10 0,06	Suplementação proteica (kg/UA/dia)	0,16	0,00	0,91	0,24
Integração lavoura-pecuária (dummy) 0,00 0,00 0,00 0,00 Assistência técnica (dummy) 0,50 0,00 1,00 0,51 Confinamento (N = 3) Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,07 0,00 0,10 0,06	Número de piquetes	23,34	1,00	95,20	19,35
Assistência técnica (dummy) 0,50 0,00 1,00 0,51 Confinamento (N = 3) Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,07 0,00 0,10 0,06	Adubação (<i>dummy</i>)	0,50	0,00	1,00	0,51
Confinamento (N = 3) Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,07 0,00 0,10 0,06	Integração lavoura-pecuária (dummy)	0,00	0,00	0,00	0,00
Suplementação mineral (kg/UA/dia) 0,07 0,00 0,10 0,06	Assistência técnica (dummy)	0,50	0,00	1,00	0,51
	Confinamento (N = 3)				
Suplementação proteica (kg/UA/dia) 0,18 0,00 0,54 0,31	Suplementação mineral (kg/UA/dia)	0,07	0,00	0,10	0,06
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	Suplementação proteica (kg/UA/dia)	0,18	0,00	0,54	0,31
Número de piquetes 11,33 2,00 20,00 9,02	Número de piquetes	11,33	2,00	20,00	9,02
Adubação (<i>dummy</i>) 0,33 0,00 1,00 0,58	Adubação (dummy)	0,33	0,00	1,00	0,58
Integração lavoura-pecuária (<i>dummy</i>) 0,00 0,00 0,00 0,00	Integração lavoura-pecuária (dummy)	0,00	0,00	0,00	0,00
Assistência técnica (<i>dummy</i>) 0,00 0,00 0,00 0,00	Assistência técnica (dummy)	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Elaborada pela autora. Nota: N indica o número de observações na categoria.

APÊNDICE E. Teste de igualdade de variâncias para o Modelo I

a) Teste de igualdade de variâncias entre a eficiência técnica média de cada um dos sistemas de produção.

	Cria	Recria	Engorda	Cria- recria	Recria- engorda	Ciclo- completo	Confinamento
Todos os	0,9301	5,2256***	0,2865***	0,8457	1,0968	1,5943*	3,9327
sistemas	g.l. 278,1	g.l. 278,1	g.l. 278,6	g.l. 278,9	g.l. 278,9	g.l. 278,4	g.l. 278,2
Cria		5,6184***	0,3081**	0,9092	1,1793	1,7142**	4,2283
		g.l. 115,1	g.l. 115,6	g.l. 115,9	g.l. 115,9	g.l. 115,4	g.l. 115,2
Recria			0,0548***	0,1618***	0,2099**	0,3051**	0,7526
			g.l. 10,6	g.l. 10,9	g.l. 10,9	g.l. 10,4	g.l. 10,2
Engorda				2,9516	3,8281***	5,5645***	13,7256
Ö				g.l. 6,9	g.l. 6,9	g.l. 6,4	g.l. 6,2
Cria-					1,2970	1,8853	4,6503
recria					g.l. 9,9	g.l. 9,4	g.1. 9,2
Recria-						1,4536	3,5855
engorda						g.l. 93,4	g.1. 93,2
Ciclo							2,4666
Completo							g.1. 37,2

Fonte: Elaborada pela autora.

Nota: H_0 : as variâncias são iguais; g.l. indica os graus de liberdade; *** valor-p < 0,01; ** valor-p < 0,05; * valor-p < 0,1.

b) Teste de igualdade de variâncias entre a eficiência técnica média conforme as classes de área total da propriedade.

	II	III	IV
ī	0,4724***	2,1095***	0,6984
1	g.1. 70,7	g.l. 70,6	g.1. 70,7
II		4,4658***	1,4784
		g.l. 73,6	g.l. 73,7
III			0,3311***
			g.l. 63,7

Fonte: Elaborada pela autora.

Nota: H_0 : as variâncias são iguais; g.l. indica os graus de liberdade; *** valor-p < 0,01.

Os algarismos denominam as classes de área total da propriedade, em hectares, onde: I – até 350; II – de 350 a 700; III – de 700 a 1.200,50; IV – de 1.200,50 a 20.000.

c) Teste de igualdade de variâncias entre a eficiência técnica média conforme a realização de adubação e integração lavoura-pecuária (ILP) e recebimento de assistência técnica.

	Não faz adubação	Não faz ILP	Não recebe assistência técnica
Faz adubação	0,6040***	-	-
Faz ILP	g.l. 124,1 -	0,9515	
		g.l. 12,3	-
Recebe assistência técnica	-	-	2,9077*** g.l. 61,2

Fonte: Elaborada pela autora.

Nota: H_0 : as variâncias são iguais; g.l. indica os graus de liberdade; *** valor-p < 0,01.

d) Teste de igualdade de variâncias entre a eficiência técnica média conforme as classes de suplementação mineral.

	II	III	IV	V
T	2,2782**	4,4824***	3,8875***	2,7012***
1	g.l. 14,71	g.l. 14,59	g.l. 14,65	g.l. 14,65
II		1,9676*** g.l. 71,59	1,7064** g.l. 71,65	1,1857 g.l. 71,65
III			0,8673	0,6026**
			g.l. 59,65	g.l. 59,65
IV				0,6948
				g.l. 59,65

Fonte: Elaborada pela autora.

Nota: H_0 : as variâncias são iguais; g.l. indica os graus de liberdade; *** valor-p < 0,01; ** valor-p < 0,05.

Os algarismos denominam as classes da quantidade de suplementação mineral fornecida aos animais, em kg/UA/dia, onde: I - não fornece; II - até 0,08; III - de 0,08 a 0,1047; IV - de 0,1047 a 0,1560; e V - de 0,1560 a 0,7219.

e) Teste de igualdade de variâncias entre a eficiência técnica média conforme as classes de suplementação proteica.

	II	III	IV	V
I	1,3751	1,8604**	2,0747**	1,1728
1	g.l. 139,34	g.l. 139,34	g.l. 139,34	g.l. 139,33
П		1,3529	1,5087	0,8529
		g.l. 34,34	g.l. 34,34	g.l. 34,33
Ш			1,1152	0,6304
			g.l. 34,34	g.l. 34,33
IV				0,5653
				g.l. 34,33

Fonte: Elaborada pela autora.

Nota: H_0 : as variâncias são iguais; g.l. indica os graus de liberdade; ** valor-p < 0,05.

Os algarismos denominam as classes da quantidade de suplementação proteica fornecida aos animais, em kg/UA/dia, onde: I – não fornece; II – até 0,2119; III – de 0,2119 a 0,3830; IV – de 0,3830 a 0,5338; e V – de 0,5338 a 1,71.

f) Teste de igualdade de variâncias entre a eficiência técnica média conforme as classes de número de piquetes.

	II	III	IV
T	2,0953***	2,4662***	2,9029***
1	g.l. 69,69	g.l. 69,68	g.l. 69,69
II		1,1770	1,3855
		g.l. 69,68	g.l. 69,69
III			1,1771
			g.l. 68,69

Fonte: Elaborada pela autora.

Nota: H_0 : as variâncias são iguais; g.l. indica os graus de liberdade; *** valor-p < 0.01.

Os algarismos indicam as classes do número de piquetes, onde: I – até 7,65; II – de 7,65 a 11,6; III – de 11,6 a 19,45; e IV – de 19,45 a 150.

APÊNDICE F. Teste de igualdade de variâncias para o Modelo II

a) Teste de igualdade de variâncias entre a eficiência técnica média de cada um dos sistemas de produção.

	Cria	Recria	Engorda	Cria- recria	Recria- engorda	Ciclo- completo	Confinamento
Todos os	0,9629	5,0761***	0,2870***	0,6554	1,1808	1,3675	3,9767
sistemas	g.l. 278,11	g.l. 278,10	g.l. 278,6	g.l. 278,9	g.l. 278,93	g.l. 278,37	g.l. 278,2
Cria		5,2719*** g.l. 115,10	0,2980*** g.l. 115,6	0,6807 g.l. 115,9	1,2264 g.l. 115,93	1,4203 g.l. 115,37	4,1301 g.l. 115,2
Recria			0,0565*** g.l. 10,6	0,1291*** g.l. 10,9	0,2326** g.l. 10,93	0,2694** g.l. 10,37	0,7834 g.l. 10,2
Engorda				2,2841 g.l. 6,9	4,1150*** g.l. 6,93	4,7656*** g.l. 6,37	13,8583 g.l. 6,2
Cria- recria					1,8016 g.l. 9,93	2,0864 g.l. 9,37	6,0672 g.l. 9,2
Recria- engorda						1,1581 g.l. 93,37	3,3677 g.l. 93,2
Ciclo Complete							2,9080
Completo							g.l. 37,2

Fonte: Elaborada pela autora.

Nota: H_0 : as variâncias são iguais; g.l. indica os graus de liberdade; *** valor-p < 0,01; ** valor-p < 0,05.

b) Teste de igualdade de variâncias entre a eficiência técnica média conforme as classes do índice de aptidão do meio físico.

	II	III	IV
I	2,4148***	1,2153	0,8698
1	g.l. 74,7	g.l. 74,6	g.l. 74,7
II		0,5033***	0,3602***
		g.l. 68,7	g.l. 68,7
III			0,7157
			g.l. 66,7

Fonte: Elaborada pela autora.

Nota: H_0 : as variâncias são iguais; g.l. indica os graus de liberdade; *** valor-p < 0,01.

Os algarismos indicam as classes do índice de aptidão do meio físico, onde: I – até 0,4382; II – de 0,4382 a 0,5015; III – de 0,5015 a 0,5426; e IV – de 0,5426 a 0,7019.

c) Teste de igualdade de variâncias entre a eficiência técnica média conforme as classes de área total da propriedade.

	II	III	IV
I	0,5483**	1,9551***	0,7548
1	g.l. 70,7	g.l. 70,6	g.l. 70,7
II		3,5659***	1,3766
		g.l. 73,6	g.l. 73,7
III			0,3860***
			g.l. 63,7

Fonte: Elaborada pela autora.

Nota: H_0 : as variâncias são iguais; g.l. indica os graus de liberdade; *** valor-p < 0,01; ** valor-p < 0,05.

Os algarismos denominam as classes de área total da propriedade, em hectares, onde: I – até 350; II – de 350 a 700; III – de 700 a 1.200,50; IV – de 1.200,50 a 20.000.

d) Teste de igualdade de variâncias entre a eficiência técnica média conforme a realização de adubação e integração lavoura-pecuária (ILP) e recebimento de assistência técnica.

	Não faz adubação	Não faz ILP	Não recebe assistência técnica
Faz adubação	0,7081**	_	
	g.l. 124,15	-	_
Faz ILP	-	0,7133	
		g.l. 12,26	-
Recebe assistência			2,4349***
técnica	-	-	g.l. 61,22

Fonte: Elaborada pela autora.

Nota: H_0 : as variâncias são iguais; g.l. indica os graus de liberdade; *** valor-p < 0,01; ** valor-p < 0,05.

e) Teste de igualdade de variâncias entre a eficiência técnica média conforme as classes de suplementação mineral.

	II	III	IV	V
I	2,0721**	4,2786***	4,3003***	3,6280***
1	g.l. 14,7	g.l. 14,6	g.l. 14,6	g.l. 14,6
II		2,0649**	2,0753**	1,7509**
		g.l. 71,6	g.l. 71,6	g.l. 71,6
Ш			1,0051	0,8479
			g.l. 59,6	g.l. 59,6
IV				0,8437
				g.l. 65,6

Fonte: Elaborada pela autora.

Nota: H_0 : as variâncias são iguais; g.l. indica os graus de liberdade; *** valor-p < 0,01; ** valor-p < 0,05.

Os algarismos denominam as classes da quantidade de suplementação mineral fornecida aos animais, em kg/UA/dia, onde: I – não fornece; II – até 0,08; III – de 0,08 a 0,1047; IV – de 0,1047 a 0,1560; e V – de 0,1560 a 0,7219.

f) Teste de igualdade de variâncias entre a eficiência técnica média conforme as classes de suplementação proteica.

	II	III	IV	V
I	1,2273	2,0629**	2,0363**	1,4127
1	g.l. 139,3	g.l. 139,3	g.l. 139,3	g.l. 139,3
II		1,6808	1,6592	1,1510
		g.l. 34,3	g.l. 34,3	g.l. 34,3
Ш			0,9871	0,6848
			g.l. 34,3	g.l. 34,3
IV				0,6937
				g.l. 33,3

Fonte: Elaborada pela autora.

Nota: H_0 : as variâncias são iguais; g.l. indica os graus de liberdade; ** valor-p < 0,05.

Os algarismos denominam as classes da quantidade de suplementação proteica fornecida aos animais, em kg/UA/dia, onde: I – não fornece; II – até 0,2119; III – de 0,2119 a 0,3830; IV – de 0,3830 a 0,5338; e V – de 0,5338 a 1,71.

g) Teste de igualdade de variâncias entre a eficiência técnica média conforme as classes de número de piquetes.

	II	III	IV
T	1,9755***	2,6815***	2,7796***
1	g.l. 69,7	g.l. 69,7	g.l. 69,7
II		1,3574	1,4071
		g.l. 69,7	g.l. 69,7
III			1,0366
			g.l. 68,7

Fonte: Elaborada pela autora.

Nota: H_0 : as variâncias são iguais; g.l. indica os graus de liberdade; *** valor-p < 0.01.

Os algarismos indicam as classes do número de piquetes, onde: I – até 7,65; II – de 7,65 a 11,6; III – de 11,6 a 19,45; e IV – de 19,45 a 150.

APÊNDICE G. Valor anual da produção como variável dependente

Como citado na seção 3.3.1, os trabalhos que analisaram a eficiência técnica da pecuária de corte utilizaram, majoritariamente, uma variável monetária como *proxy* para a produção. Dessa forma, nesse apêndice são apresentados os resultados do modelo que considerou o valor anual da produção como variável dependente da fronteira estocástica. Nos resultados apresentados na seção 4 tal variável era a quantidade de arrobas produzidas, sendo essa a única diferença em relação aos modelos reportados neste apêndice.

A exposição das estimativas segue a mesma estrutura daquela apresentada na seção 4, iniciando com os resultados do modelo que utilizou as variáveis edafoclimáticas para representar o meio físico e na sequência, do modelo estimado com a aptidão do meio físico. Cabe ressaltar que, a fim de aferir a robustez dos resultados, foi aplicado o método de *bootstrap* para as estimativas de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) – por meio das mesmas verificase a existência de ineficiência técnica na amostra em análise.

I) RESULTADOS PARA O MODELO COM VARIÁVEIS EDAFOCLIMÁTICAS

a) Estimativas de MQO pelo método de bootstrap

Para a estimação dos modelos de MQO reportados em sequência aplicou-se o método de *bootstrap* com 999 replicações, como em Cameron; Trivedi (2009), mas em apenas 930 delas foram obtidas estimativas para todos os parâmetros.

		(continua)
Variável	Cobb-Douglas	Translog
In terra (T_i)	0,454***	0,552***
	(0,084)	(0,043)
ln capital (K_i)	0,392***	0,341***
	(0,075)	(0,069)
ln trabalho (L_i)	0,221**	0,148**
	(0,102)	(0,068)
Índice de aridez anual (IA_i)	0,025	0,010
	(0,018)	(0,008)
Sazonalidade da temperatura (ST_i)	-0,094	-0,071
	(0,130)	(0,053)
$\mathrm{GDD}\left(GDD_{i}\right)$	0,070**	0,019
	(0,036)	(0,013)
Ganho de peso diário dos animais (GP_i)	0,002***	0,001***
	(0,0005)	(0,0002)
Cria ($DSIS_{1,i}$)	-0,522***	-0,225***
	(0,137)	(0,058)
Ciclo completo ($DSIS_{2,i}$)	-0,434***	-0,179***
	(0,153)	(0,064)

		(conclusão)
Variável	Cobb-Douglas	Translog
Confinamento ($DSIS_{3,i}$)	1,065	0,196
	(1,002)	(0,634)
Cria-recria (DSIS _{4,i})	-0,477***	-0,215***
	(0,169)	(0,074)
Engorda ($DSIS_{5,i}$)	-0,276	-0,119
	(0,242)	(0,100)
Recria-engorda (DSIS _{7,i})	-0,165	-0,065
	(0,110)	(0,047)
ln terra x ln terra $(T_i \times T_i)$		0,156*
		(0,263)
ln capital x ln capital $(K_i \times K_i)$		0,168
		(0,458)
ln trabalho x ln trabalho $(L_i \times L_i)$		1,177
		(0,753)
ln terra x ln capital $(T_i \times K_i)$		-0,096
		(0,218)
ln terra x ln trabalho $(T_i \times L_i)$		-0,461***
		(0,418)
ln trabalho x ln capital ($L_i \times K_i$)		-0,192
		(0,570)
Constante	4,330***	-0,349**
	(0,732)	(0,164)
Total de observações	268	268
Replicações	930	930
Wald chi2	1938,69	2004,12
Prob > chi2	0,00	0,00
R ²	0,8555	0,8725
R ² ajustado	0,8481	0,8627
Root MSE	0,3769	0,1557

Notas: Desvio-padrão bootstrap dos coeficientes entre parênteses;

b) Assimetria dos resíduos

- Teste de Schmidt; Lin (1984 *apud* KUMBHAKAR; WANG; HORNCASTLE, 2015): -0,33 para a *Cobb-Douglas* e -0,76 para a translog;
- Teste de D'Agostino; Belanger; D'Agostino Júnior (1990 *apud* KUMBHAKAR; WANG; HORNCASTLE, 2015) para verificar a significância estatística do teste anterior:

^{***} valor-p < 0,01; ** valor-p < 0,05; * valor-p < 0,1.

Forma funcional	Valor-p (assimetria)	Valor-p (curtose)	Valor-p (normalidade)
Cobb-Douglas	0,0285	0,0000	0,0000
Translog	0,0000	0,0001	0,0000

Nota: Para a assimetria, a hipótese nula é de que não há assimetria nos resíduos; e para a normalidade, a hipótese nula é de que os resíduos são normalmente distribuídos.

- Teste de Coelli (1995 *apud* KUMBHAKAR; WANG; HORNCASTLE, 2015): -2,18 para a *Cobb-Douglas* e -5,11 para a translog.

c) Fronteira estocástica de produção

		(continua)
Variável	Cobb-Douglas	Translog
Fronteira		
$\ln \operatorname{terra}(T_i)$	0,455***	0,575***
	(0,039)	(0,036)
In capital (K_i)	0,437***	0,339***
	(0,064)	(0,061)
ln trabalho (L_i)	0,202***	0,134**
	(0,069)	(0,059)
Índice de aridez anual (IA_i)	0,022	0,006
	(0,017)	(0,008)
Sazonalidade da temperatura (ST_i)	-0,217	-0,088
	(0,186)	(0,075)
$\mathrm{GDD}\left(GDD_{i}\right)$	0,044	0,015
	(0,030)	(0,011)
Ganho de peso diário dos animais (GP_i)	0,002***	0,001***
	(0,0003)	(0,0001)
Cria ($DSIS_{1,i}$)	-0,502***	-0,229***
	(0,121)	(0,049)
Ciclo completo $(DSIS_{2,i})$	-0,333**	-0,167***
	(0,139)	(0,055)
Confinamento ($DSIS_{3,i}$)	1,708***	0,197*
	(0,402)	(0,107)
Cria-recria (DSIS _{4,i})	-0,479***	-0,228***
	(0,158)	(0,067)
Engorda ($DSIS_{5,i}$)	-0,190	-0,049
	(0,188)	(0,079)
Recria-engorda (DSIS _{7,i})	-0,148	-0,063
	(0,117)	(0,047)
ln terra x ln terra $(T_i \times T_i)$		0,219***
		(0,069)
ln capital x ln capital $(K_i \times K_i)$		0,089
		(0,333)

		(conclusão)
	Cobb-Douglas	Translog
ln trabalho x ln trabalho $(L_i \times L_i)$		0,964**
		(0,470)
ln terra x ln capital $(T_i \times K_i)$		-0,089
		(0,143)
ln terra x ln trabalho $(T_i \times L_i)$		-0,483***
		(0,121)
ln trabalho x ln capital $(L_i \times K_i)$		-0,025
		(0,357)
Constante	4,394***	-0,242
	(0,741)	(0,149)
usigmas		
Adubação ($Adub_i$)	-0,116	-59,105
	(0,264)	(1193204)
Piquetes $(Rota_i)$	0,007	0,023
	(0,007)	(0,020)
Suplementação proteica ($SupProtei_i$)	0,487	6,068**
	(0,384)	(2,712)
Suplementação mineral $(SupMin_i)$	-2,221	-41,132*
	(1,512)	(24,569)
$ILP(ILP_i)$	0,462	-48,624
	(0,537)	(2020593)
Assistência técnica (ATec _i)	0,183	2,080
	(0,299)	(1,278)
Constante	-1,459***	-5,053***
	(0,382)	(1,109)
vsigmas		
Constante	-3,004***	-3,966***
	(0,352)	(0,091)
Total de observações	268	268
Log likelihood	-102,49865	143,34813
Wald chi2	1371,16	2054,39
Prob > chi2	0,00	0,00

Notas: Desvio-padrão dos coeficientes entre parênteses;

II)RESULTADOS PARA O MODELO COM APTIDÃO DO MEIO FÍSICO

a) Estimativas de MQO pelo método de bootstrap

Novamente o número de replicações aplicado no processo foi de 999, assim como em Cameron; Trivedi (2009), mas somente em 943 delas foram obtidas estimativas para todos os parâmetros. Os resultados para o modelo de MQO estão reportados na sequência.

^{***} valor-p < 0.01; ** valor-p < 0.05; * valor-p < 0.1.

Variável	Cobb-Douglas	Translog
$\frac{1}{\ln \operatorname{terra}\left(T_{i}\right)}$	0,487***	0,582***
	(0,072)	(0,036)
In capital (K_i)	0,387***	0,342***
	(0,071)	(0,068)
ln trabalho (L_i)	0,212**	0,135**
	(0,100)	(0,066)
Índice de aptidão do meio físico (Ap_i)	0,131	0,158
	(0,346)	(0,151)
Ganho de peso diário dos animais (GP_i)	0,002***	0,001***
	(0,0005)	(0,0002)
Cria ($DSIS_{1,i}$)	-0,492***	-0,208***
	(0,141)	(0,057)
Ciclo completo ($DSIS_{2,i}$)	-0,408***	-0,169***
	(0,151)	(0,061)
Confinamento $(DSIS_{3,i})$	1,050	0,169
	(1,020)	(0,614)
Cria-recria ($DSIS_{4,i}$)	-0,481***	-0,213***
	(0,178)	(0,076)
Engorda ($DSIS_{5,i}$)	-0,286	-0,123
	(0,250)	(0,010)
Recria-engorda (DSIS _{7,i})	-0,150	-0,060
	(0,110)	(0,046)
$\ln \operatorname{terra} x \ln \operatorname{terra} (T_i \times T_i)$		0,156
		(0,261)
$ln capital x ln capital (K_i x K_i)$		0,338
		(0,479)
ln trabalho x ln trabalho $(L_i \times L_i)$		1,433*
		(0,753)
$ln terra x ln capital (T_i x K_i)$		-0,083
		(0,227)
ln terra x ln trabalho ($T_i \times L_i$)		-0,506
		(0,419)
In trabalho x In capital $(L_i \times K_i)$		-0,335
		(0,574)
Constante	4,678***	-0,319**
	(0,662)	(0,137)
Total de observações	268	268
Replicações	943	943
Wald chi2	1802,51	1873,22
Prob > chi2	0,00	0,00
R ²	0,8507	0,8705
R ² ajustado	0,8443	0,8617
Root MSE Forte: Flaborada pala autora Notac: Dasvio	0,3817	0,1563

Fonte: Elaborada pela autora. Notas: Desvio-padrão *bootstrap* dos coeficientes entre parênteses; *** valor-p < 0,01; ** valor-p < 0,05; * valor-p < 0,1.

b) Assimetria dos resíduos

- Teste de Schmidt; Lin (1984 *apud* KUMBHAKAR; WANG; HORNCASTLE, 2015): -0,33 para a *Cobb-Douglas* e -0,78 para a translog;
- Teste de D'Agostino; Belanger; D'Agostino Júnior (1990 *apud* KUMBHAKAR; WANG; HORNCASTLE, 2015) para verificar a significância estatística do teste anterior:

Forma funcional	Valor-p (assimetria)	Valor-p (curtose)	Valor-p (normalidade)
Cobb-Douglas	0,0287	0,000	0,0000
Translog	0,0000	0,0002	0,0000

Fonte: Elaborada pela autora.

Nota: Para a assimetria, a hipótese nula é de que não há assimetria nos resíduos; e para a normalidade, a hipótese nula é de que os resíduos são normalmente distribuídos.

- Teste de Coelli (1995 *apud* KUMBHAKAR; WANG; HORNCASTLE, 2015): -2,18 para a *Cobb-Douglas* e -5,20 para a translog.

c) Fronteira estocástica de produção

		(continua)
Variável	Cobb-Douglas	Translog
Fronteira		
ln terra (T_i)	0,479***	0,595***
	(0,036)	(0,033)
In capital (K_i)	0,445***	0,344***
	(0,064)	(0,061)
ln trabalho (L_i)	0,172**	0,125**
	(0,069)	(0,059)
Índice de aptidão do meio físico (Ap_i)	0,234	0,106
	(0,327)	(0,132)
Ganho de peso diário dos animais (GP_i)	0,002***	0,0009***
	(0,0003)	(0,0001)
Cria ($DSIS_{1,i}$)	-0,474***	-0,217***
	(0,117)	(0,049)
Ciclo completo ($DSIS_{2,i}$)	-0,273**	-0,161***
	(0,134)	(0,053)
Confinamento ($DSIS_{3,i}$)	1,897***	0,175
	(0,369)	(0,108)
Cria-recria ($DSIS_{4,i}$)	-0,474***	-0,225***
	(0,154)	(0,068)
Engorda ($DSIS_{5,i}$)	-0,171	-0,045
	(0,188)	(0,079)
Recria-engorda (DSIS _{7,i})	-0,139	-0,060
	(0,114)	(0,047)
ln terra x ln terra $(T_i \times T_i)$		0,220***
		(0,069)

		(conclusão)
Variável	Cobb-Douglas	Translog
In capital x ln capital $(K_i \times K_i)$		0,225
		(0,329)
ln trabalho x ln trabalho $(L_i \times L_i)$		1,177**
		(0,462)
ln terra x ln capital ($T_i \times K_i$)		-0,073
		(0,143)
ln terra x ln trabalho ($T_i \times L_i$)		-0,519***
		(0,121)
ln trabalho x ln capital ($L_i \times K_i$)		-0,156
		(0,354)
Constante	4,306***	-0,254**
	(0,694)	(0,104)
usigmas		
Adubação ($Adub_i$)	0,004	-66,177
	(0,235)	(6677279)
Piquetes $(Rota_i)$	0,005	0,026
	(0,007)	(0,023)
Suplementação proteica ($SupProtei_i$)	0,492	6,737**
	(0,376)	(3,498)
Suplementação mineral $(SupMin_i)$	-3,068**	-47,520
	(1,461)	(31,183)
$ILP(ILP_i)$	0,269	-49,441
	(0,532)	(6144687)
Assistência técnica (ATec _i)	0,200	2,409
	(0,281)	(1,488)
Constante	-1,244***	-5,231***
	(0,321)	(1,317)
vsigmas		
Constante	-3,159***	-3,950***
	(0,335)	(0,0899)
Total de observações	268	268
Log likelihood	-105,11697	141,40172
Wald chi2	1431,71	2033,65
Prob > chi2	0,0000	0,000

Notas: Desvio-padrão dos coeficientes entre parênteses; *** valor-p < 0,01; ** valor-p < 0,05; * valor-p < 0,1.