

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EM GESTÃO E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

CAMILA STEFANÍ DE SOUSA SILVA

**EFICIÊNCIA TÉCNICA E AMBIENTAL DA PECUÁRIA LEITEIRA NA  
REGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO E ALTO PARANAÍBA**

Sorocaba - SP  
2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EM GESTÃO E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

CAMILA STEFANÍ DE SOUSA SILVA

**EFICIÊNCIA TÉCNICA E AMBIENTAL DA PECUÁRIA LEITEIRA NA  
REGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO E ALTO PARANAÍBA**

Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-Graduação em Economia, para obtenção  
do título de mestre em Economia.

Orientação: Prof. Dr. Cassiano Bragagnolo.

Sorocaba - SP  
2017

Stefaní de Sousa Silva, Camila

EFICIÊNCIA TÉCNICA E AMBIENTAL DA PECUÁRIA LEITEIRA  
NA REGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO E ALTO PARANAÍBA /  
Camila

Stefaní de Sousa Silva. -- 2017.

64 f. : 30 cm.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de São  
Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba

Orientador: Cassiano Bragagnolo

Ficha catalográfica elaborada pelo Programa de Geração Automática da Secretaria Geral  
de Informática (SIn).

DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

**CAMILA STEFANÍ SOUSA SILVA**

**EFICIÊNCIA TÉCNICA E AMBIENTAL DA PECUÁRIA LEITEIRA NA REGIÃO  
DO TRIÂNGULO MINEIRO E ALTO PARANAÍBA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação, para obtenção do título de mestre em Economia. Área de concentração Economia. Universidade Federal de São Carlos.

Sorocaba, 26 de setembro de 2017

Orientador (a)

---

Dr. Cassiano Bragagnolo  
Universidade Federal de São Carlos

Examinador (a)

---

Dr. Alexandre Lopes Gomes  
Universidade Federal de São Carlos

Examinador (a)

---

Dr. Alexandre Nunes de Almeida  
Universidade de São Paulo

**DEDICATÓRIA**  
*Aos meus familiares.*

## AGRADECIMENTOS

Em especial, ao meu orientador, Cassiano Bragagnolo, que tanto me auxiliou neste período. Sou eternamente grata pelos ensinamentos, pela paciência e dedicação.

Aos professores do PPGEc-So, que tanto contribuíram com a minha formação. E à Manoela, por todo auxílio oferecido.

À toda equipe do Educampo, pela disponibilidade dos dados e também por todo apoio oferecido.

Aos Professores Alexandre Lopes Gomes e Alexandre Nunes de Almeida, por terem aceito o convite para participarem da banca.

À minha mãe Zoraia e meus avós, Lucinda e Aparecido por tanta dedicação, carinho e compreensão.

À minha irmã Maria Eduarda e aos demais familiares, que me deram e dão força todos os dias para que eu possa conquistar meus objetivos.

Aos amigos do mestrado, em especial à Andressa, Augusto, Josiane, Guilherme e Mariana, saibam que vocês deixaram este período mais leve. Obrigada pelos momentos de estudos e diversão. Vocês são a mais bela lembrança deste período.

Aos meus amigos de Patrocínio e da UFOP, em especial Filipe e Nicolas, que me deram tanto apoio e carinho.

À Ana Cecília, Fernanda e Tayane, por me ouvirem e me aconselharem. Sou eternamente grata por cada palavra de amor e pela amizade de vocês.

À CAPES pelo auxílio financeiro concedido.

## RESUMO

SILVA, Camila Stefaní de Sousa. Eficiência técnica e ambiental da pecuária leiteira na região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. 2017. 64 f. Dissertação de Mestrado em Economia Aplicada – Centro de Ciências em Gestão e Tecnologias. Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2017.

A produção de leite é uma das principais atividades econômicas do Brasil e, em especial, de Minas Gerais. De acordo com dados do Censo Agropecuário de 2006, esta atividade emprega cerca de 3,6 milhões de pessoas. Em 2015, a produção de leite brasileira foi de 35 bilhões de litros. Em relação aos estados, Minas Gerais se destaca por ser o maior produtor de leite do país. No ano de 2015, a produção de leite no estado mineiro foi de 9,14 bilhões de litros. Dentre as mesorregiões mineiras, se destaca o Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, que no mesmo ano produziu 25% do total do estado. Desta forma, dada a importância econômica da produção de leite para o país e para a mesorregião mineira citada, o presente trabalho estimou uma função de produção, por meio de análise econométrica de fronteira estocástica para avaliar a eficiência técnica e ambiental na produção de leite na região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. Para estimar as fronteiras de eficiência técnica e ambiental foi utilizado a metodologia exposta por Reinhard, Lovell e Thijssen (1999), via função de produção translog e ineficiência média. A base de dados utilizada foi disponibilizada pelo Educampo/ SEBRAE com informações de 178 produtores de leite da região analisada, para o ano de 2016. Como resultado, a média da eficiência técnica obtida pelas fazendas analisadas foi de 89%, enquanto a eficiência ambiental foi de 73%. Além disso, através da correlação de Spearman, verificou-se que há uma relação positiva entre eficiência técnica e ambiental.

Palavras-chave: produção de leite, eficiência técnica, eficiência ambiental.

## ABSTRACT

Milk production is one of the main economic activities in Brazil generating jobs and income to many people. According to estimates made with the Agriculture and Livestock Census 2006, this activity employs around 3.6 millions of people. In 2015, the milk production in Brazil was 35 billion liters. Among the Brazilian states, Minas Gerais stands out for being the biggest milk producer of the country, achieving 9.14 billion liters in 2015. Considering only the state of Minas Gerais, the regions “Triângulo Mineiro” and the “Alto Paranaíba” stand out, producing 25% of the amount of the whole state in the same year (2015). Given the economic importance of milk production to the country and to the regions mentioned, this work estimated a stochastic frontier production, using econometric analysis in order to evaluate the technical and environmental efficiency of the market of milk production in the regions “Triângulo Mineiro” and “Alto Paranaíba”. In order to estimate the frontiers of technical and environmental efficiency, the methodology exposed by Reinhard, Lovell and Thjssen (1999) was used, Translog and a mean inefficiency function. The data used was provided by Educampo/SEBRAE with information of 178 milk producers of the analyzed region, in 2016. The average of technical efficiency of the farms is 89% and the environmental efficiency is 73%. In addition, through Spearman's correlation, it was found that there is a positive correlation between technical and environmental technique.

Keywords: milk production, technical efficiency, environmental efficiency.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição da produção de leite nas mesorregiões de Minas Gerais – 2015 .....	19
Figura 2 - Produtividade da produção de leite no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba – 2005 a 2015. ....	23
Figura 3 - Emissões de <i>CH</i> 4 por sub-atividade do setor agropecuário – 2014. ....	34

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Produtividade da atividade leiteira dos principais estados brasileiros produtores - em 2015. ....	18
Tabela 2 - Produção de leite (mil litros) nas mesorregiões de Minas Gerais nos anos 2010 e 2015. ....	21
Tabela 3 - Mesorregiões com maior produção de leite em 2015 (mil litros). ....	23
Tabela 4 - Emissão de <i>CO</i> 2eq por setor, nos anos de 2005, 2010 e 2014. ....	32
Tabela 5 - Estatísticas descritivas das variáveis utilizadas. ....	46
Tabela 6 - AIC e BIC para função Cobb-Douglas e Translog. ....	47
Tabela 7 – Resultados do modelo de fronteira estocástica para a função de produção translog. ....	47
Tabela 8 - Estatística descritiva da eficiência técnica das fazendas analisadas. ....	49
Tabela 9 - Distribuição das fazendas por eficiência técnica. ....	50
Tabela 10 - Estatística descritiva da eficiência ambiental das fazendas analisadas. ....	50
Tabela 11 - Distribuição das fazendas por eficiência ambiental. ....	51
Tabela 12 - Fatores de emissão de metano por fermentação entérica. ....	64
Tabela 13 – Coeficientes dos parâmetros da fronteira de produção estocástica – Cobb Douglas. ....	64

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
1.1 OBJETIVOS .....	15
1.1.1 Objetivo Geral .....	15
1.1.2 Objetivos Específicos .....	15
1.1.3 Hipótese.....	15
1.2 ORGANIZAÇÃO DO ESTUDO.....	15
2. CARACTERIZAÇÃO DO MERCADO .....	17
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	25
3.1 MODELOS DE FRONTEIRA ESTOCÁSTICA APLICADOS PARA A PRODUÇÃO DE LEITE .....	25
3.2 EFICIÊNCIA TÉCNICA E AMBIENTAL NA PECUÁRIA LEITEIRA .....	28
3.3 PECUÁRIA E MEIO AMBIENTE .....	31
4. METODOLOGIA .....	37
4.1 REFERENCIAL TEÓRICO .....	37
4.2 MODELO ANALÍTICO.....	40
4.2.1 Base de Dados .....	40
4.2.2 Descrição das Variáveis .....	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	55
APÊNDICE A .....	64

## 1. INTRODUÇÃO

O agronegócio é uma das principais atividades econômicas do Brasil. Em 2015 o Produto Interno Bruto (PIB) deste setor foi de R\$ 1,3 trilhão, sendo que deste montante o PIB da pecuária foi de R\$ 409 bilhões, contribuindo de forma expressiva com o valor adicionado da economia brasileira (CEPEA, 2016).

O leite é um dos principais produtos da agropecuária brasileira. A atividade econômica em torno da produção de leite, é fonte de renda para diversas regiões, tais como o sul, sudeste e centro-oeste brasileiro, visto que estas regiões possuem o maior volume de leite produzido do país. Estima-se, com base em dados do Censo Agropecuário de 2006, que existam cerca de 1,35 milhões de propriedades que se dedicam a produção de produtos lácteos (IBGE, 2006).

De acordo com Gomes (2001) e Silva, Souza e Martins (2012), durante a década de 1990, a produção de leite brasileira passou por algumas transformações que possibilitaram ampliar sua produção e a participação do setor no Produto Interno Bruto (PIB) do país. Estas modificações, segundo os autores, ocorreram devido ao fim do tabelamento do preço do leite em 1991, a maior abertura comercial da economia brasileira em relação ao mercado internacional e a estabilização da economia. Além desses fatores, citam-se também o processo de mecanização do campo aliado a incentivos governamentais que proporcionaram um maior desenvolvimento do setor.

Dentre as mudanças ocorridas durante a década de 1990, Gomes (1999), menciona a melhoria na qualidade dos produtos, devido, principalmente, a maior concorrência no mercado. Com isso, para estabelecer um padrão de produção e, conseqüentemente a melhora na qualidade dos produtos, foi estabelecida a Instrução Normativa nº 51<sup>1</sup>. As transformações ocorridas, com base na regulamentação, contribuíram com o processo de modernização nas propriedades, como a instalação de tanques para resfriamento do leite. Houve também um crescimento da demanda, incentivada pela estabilidade econômica e aumento da comercialização do leite longa vida (UHT).

As mudanças ocorridas na produção de leite foram essenciais para o favorecimento de diversos seguimentos associados ao setor de produção de leite, tal como o dos laticínios. Com o aumento da produção e da produtividade nos últimos anos, os laticínios buscam reduzir o

---

<sup>5</sup> Publicada em 2002, esta instrução normativa estabelece regulamentos técnicos de produção, identidade e qualidade do leite tipo A, tipo B, tipo C, do leite pasteurizado e do leite cru resfriado, bem como normas para a coleta do leite cru resfriado e seu transporte.

número de fornecedores sem que ocorra perda do volume captado, gerando custos menores com a capitação do produto (SIQUEIRA *et. al.*, 2010).

Como já mencionado, ocorreram diversas mudanças na cadeia produtiva de leite, porém, Zoccal *et al.* (2008) afirmam que, esta atividade ainda possui duas características principais. A primeira, destacada pelos autores, é que ela ocorre em todo território nacional; a segunda é marcada pela heterogeneidade no padrão de produção em termos de tecnologia e escala. Dessa maneira, há propriedades que não possuem técnicas aprimoradas e sua produção de subsistência é menor que dez litros por dia. Por outro lado, existem produtores que utilizam tecnologias avançadas, com alta produtividade em que são produzidos mais de 65 mil litros de leite diários.

Além disso, nos últimos anos, uma quantidade considerável de fazendas deixou de praticar a atividade leiteira. A queda no número de produtores que deixaram a atividade pode ser explicada por diversos fatores. Segundo Vilela *et al.* (2017), os principais motivos que levaram o produtor a deixar a atividade se deve ao fato da produção leiteira ter passado por períodos de baixa rentabilidade, principalmente após a abertura comercial da economia brasileira. Além disso, cerca de 52% dos produtores eram analfabetos e 78% nunca tinha recebido assistência técnica o que dificultou a fixação do homem no campo. No entanto, apesar da queda no número de produtores, a produção de leite apresentou taxas de crescimento positiva. Os autores ponderam que, o crescimento da produção ocorreu em fazendas com mais acesso a tecnologias. Entre 2000 a 2010 a produção de leite brasileira aumentou em média 4,4% ano. (EMBRAPA, 2015).

Como ponderado por Martins (2004) e Maia *et al.* (2013), o desempenho favorável da produtividade do leite brasileiro pode ser explicado, em parte, pela análise de algumas especificidades da estrutura produtiva nacional, tais como investimento em tecnologias. Da mesma forma, verifica-se que os estabelecimentos com baixa escala de produção são responsáveis por grande parte do leite produzido. Além disso, investimentos em tecnologia como mecanização da ordenha e inseminação artificial são mais comuns em propriedades com maior efetivo de vacas de ordenha, que representa uma parcela pequena dos produtores.

De acordo com dados da Pesquisa da Pecuária Municipal (IBGE) apresentados por Maia *et al.* (2013), a produção de leite vem crescendo a taxas constantes desde 1974. Verifica-se que no referido ano, a média da produção nacional era de 655 litros/vaca/ano e em 2011 passou para 1.381 litros/vaca/ano. Já em 2015, a produtividade deste setor foi de 1.609 litros/vaca/ano, o que demonstra um ganho de produtividade da atividade ao longo do tempo.

A produção de leite de vaca no Brasil em 2015 foi de 35 bilhões de litros. Em relação aos estados, Minas Gerais é o maior produtor do país e sua produção foi de 9 bilhões de litros, 26% do total nacional. No estado, a mesorregião com maior produção é o Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, com uma participação de 25% de todo o volume do estado, com produção equivalente a 2,40 bilhões de litros de leite. Já em relação aos municípios mineiros, destacam-se as cidades de Patos de Minas (com produção de 149 milhões de litros), Coromandel (com produção de 129 milhões de litros) e Patrocínio (com produção de 121 milhões de litros), todas localizadas no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (IBGE, 2016).

De acordo com dados do IBGE (2016), no ano de 2015, o efetivo de bovinos brasileiro foi de 215 milhões de cabeças, e é o maior rebanho comercial do mundo. Deste total, 21 milhões de cabeças correspondem a vacas de ordenha. Em Minas Gerais, o efetivo de bovinos em 2015 foi de 23 milhões de cabeças, deste montante, 5,4 milhões são vacas de ordenha. Além disso, a região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba possui o maior efetivo de bovinos do estado, cerca de 6 milhões de cabeças em que 1,2 milhões correspondem a vacas de ordenha. A região Sul e Sudoeste de Minas possuía o segundo maior rebanho do estado, com 2,6 milhões de cabeças e deste total, 821 mil correspondem a vacas de ordenha.

Apesar da importância econômica e social para o Brasil, a produção agropecuária e o desenvolvimento do setor, têm recebido críticas em relação aos efeitos ambientais adversos causadas pela produção pecuária (CAMPOS, 2011). Dentre os efeitos ambientais, pode-se citar a emissão de gases poluentes do efeito estufa, como o metano ( $CH_4$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ) e óxido nitroso ( $S_2O$ ). Segundo Primavesi *et al.* (2004), a concentração desses gases na atmosfera gera o aquecimento da superfície terrestre e, por conseguinte, a destruição da camada de ozônio. Além disso, eles provocam externalidades negativas na produção, gerando problemas ambientais como eutrofização<sup>2</sup> das águas superficiais, lixiviação de nitratos<sup>3</sup> nos lençóis freáticos e a formação de chuvas ácidas (REINHARD, LOVELL e THIJSSSEN, 1999). Pode-se citar também, como agravantes ambientais o desmatamento, a erosão, as queimadas e a desertificação provenientes do manejo inadequado das pastagens utilizadas na atividade.

A agropecuária brasileira em 2014, foi responsável por emitir 33% do total de gases de efeito estufa<sup>4</sup>. Na atividade pecuária, à emissão de metano, por meio da fermentação entérica

---

<sup>2</sup> Eutrofização ocorre em corpos de água e se dá pelo excesso de nutrientes em ambientes aquáticos. Para maiores informações ver Macedo e Sipauba-Tavares (2010).

<sup>3</sup> Lixiviação do solo é um processo erosivo gerado pela lavagem da camada superficial do solo, quando há uma aplicação muito grande de agroquímicos. Desta forma, de acordo com Neiverth *et al.* (2016), a lixiviação de nitrato pode reduzir a qualidade da água e, assim, ocasionar risco a saúde humana e dos animais.

<sup>4</sup> Esta estimativa se refere a emissão líquida para o setor (MCTI, 2016).

produzido pelo gado bovino e óxido nitroso gerado pela aplicação de adubos e fertilizantes sintéticos foram os principais meios de emissão desses gases (MCTI, 2016).

De acordo com Primavesi *et al.* (2004), países em desenvolvimento localizados em regiões tropicais, apresentam altos índices de emissão de gases de efeito estufa, visto que as condições climáticas dessas regiões aumentam o potencial de emissão de gases, como o ( $CH_4$ ). No Brasil, em 2014, a emissão de metano do setor agropecuário foi em maior proporção pela fermentação entérica do gado de corte e leite, que representaram 87% do total da emissão de ( $CH_4$ ). Os 13% do restante das emissões é proveniente do manejo de dejetos do rebanho bovino, suínos, aves e outros, além da produção de cana e cultivo do arroz.

Em Minas Gerais, a agropecuária é a atividade com maior estimativa de emissão de gases de efeito estufa. Em 2014, este setor foi responsável por 41% do total das emissões do estado. Entre 2005 a 2014, as emissões do setor aumentaram em 15%. Justifica-se este aumento devido ao crescimento do rebanho bovino no estado. Além disso, a pecuária é uma das principais responsáveis pela emissão de ( $CH_4$ ), que através da fermentação entérica em 2014, emitiu 26,5  $MtCO_2eq/ano$ <sup>5</sup>, já o manejo de dejetos emitiu 2,53  $MtCO_2eq/ano$ <sup>6</sup> (FEAM, 2016).

Segundo Coelli, Lauwers e Huylendroeck (2006), nas últimas décadas, os impactos ambientais das atividades econômicas passaram a ser debatidos pelo núcleo público e político. Assim, com o intuito de se obter avaliações sobre o processo produtivo de alguns setores da economia, os pesquisadores começaram a incluir as preocupações ambientais nas medidas tradicionais de eficiência técnica e econômica.

A eficiência ambiental é obtida quando se utiliza a menor proporção de insumos ambientalmente nocivos para se obter a maior quantidade de produto possível. É importante mencionar que os efeitos das emissões de gases causados no meio ambiente são difíceis de quantificar. No entanto, os insumos que geram esses efeitos podem ser quantificados e analisados de acordo com o desempenho econômico e ambiental (REINHARD, LOVELL e THINJSSSEN, 1999). Assim, neste estudo, a eficiência ambiental será mensurada como em Reinhard, Lovell e Thinjssen (1999), em que o excedente de nitrogênio apesar de ser tratado como um insumo prejudicial ao meio ambiente é inserido na função de produção transcendental logarítmico (translog) e analisado como um insumo comum. Além disso, é necessário

---

<sup>5</sup>  $CO_2eq$  é uma unidade de medida utilizada para expressar a quantidade de gases de efeito estufa emitidos de forma equivalente da quantidade de dióxido de carbono (MCTI, 2014). Neste caso,  $MtCO_2eq/ano$ , significa, milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente.

<sup>6</sup> Apesar das emissões de manejo de dejetos serem menores do que a fermentação entérica, ela representa uma fonte importante de emissão quando somadas às emissões desses dejetos no solo (FEAM, 2016).

evidenciar que, embora a metodologia adotada nesta pesquisa se baseia no modelo teórico dos autores acima citados, o insumo prejudicial adotado é a emissão de metano.

Segundo Common e Perrings (1992), a eficiência econômica não é necessariamente uma condição para a ocorrência da eficiência ambiental. No entanto, alguns autores como Steinfeld e Gerber (2010) e Piot-Lepetit et al. (1997) afirmam que, a eficiência técnica é uma condição necessária para a eficiência ambiental. Reinhard Lovell e Thinjssen (1999), Tamini e Larue (2009) e Dayananda (2016) estimaram a eficiência técnica e ambiental da pecuária leiteira na Holanda e no Canadá, respectivamente. Os resultados obtidos apontam para uma correlação positiva entre eficiência técnica e ambiental.

No Brasil, há poucos estudos sobre eficiência técnica e ambiental. Dentre eles, cita-se Campos (2011) que se baseou nos modelos teóricos de Barua *et al.* (2004) e Coelli, Lauwers e Huylendroeck (2006)<sup>7</sup> para estimar a eficiência técnica, econômica e ambiental no curto e longo prazo de fazendas leiteiras de Minas Gerais, no ano de 2005. Para estimar a eficiência ambiental, o autor analisou a emissão de nitrogênio da produção bovina leiteira. Os resultados obtidos demonstram que uma redução da emissão de nitrogênio irá implicar em um aumento dos custos de produção, visto que para obter tal objetivo os insumos baratos utilizados deverão ser substituídos por outros, sendo estes mais caros.

Observa-se que, embora haja uma escassez de pesquisas a respeito do tema, as preocupações com o meio ambiente e a emissão de gases poluentes são tão relevantes quanto as análises do desempenho técnico da pecuária leiteira. Emissões de gases de efeito estufa impactam a dinâmica produtiva do setor. Assim, considera-se a importância em se estabelecer uma relação harmônica entre o processo de uma atividade produtiva tão relevante economicamente, como a produção de leite, principalmente em Minas Gerais, especificamente no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, com o cumprimento de medidas que visam garantir responsabilidades ambientais.

Essa pesquisa contribui com a literatura ao considerar as emissões de metano, provenientes da fermentação entérica, do rebanho bovino da produção de leite do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, visto que esta região além de ser a maior produtora de leite de Minas Gerais também possui o maior rebanho leiteiro. Além disso, diferente dos demais trabalhos citados acima, o insumo indesejável deste estudo será a emissão de metano, visto que, a emissão desse gás pelo

---

<sup>7</sup> Coelli, Lauwers e Huylendroeck (2006) propuseram um método de eficiência ambiental que incorpora o conceito de equilíbrio de materiais em modelos de eficiência produtiva. A eficiência ambiental proposta pelos autores, pode ser decomposta em eficiência técnica e alocativa, de maneira equivalente à decomposição convencional de eficiência de custos.

rebanho bovino é expressiva. Por fim, buscou-se avaliar o desempenho técnico e ambiental das fazendas analisadas em 2016 e a correlação entre eles.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Este trabalho tem por objetivo analisar a eficiência técnica e ambiental da bovinocultura leiteira na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, em Minas Gerais. Com isto, pretende-se, averiguar a possibilidade de uma produção eficiente alinhada a uma atividade com menores danos ao meio ambiente.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- i) Estimar uma medida de eficiência técnica para o setor em análise;
- ii) Estimar uma medida de eficiência ambiental para o setor de produção de leite com base nos dados obtidos;
- iii) Analisar a relação entre a eficiência técnica e ambiental na produção de leite com foco na região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba;

### **1.1.3 Hipótese**

A hipótese que permeia esta pesquisa é a de que é possível compatibilizar a eficiência técnica e ambiental na pecuária leiteira. Assim, com base na produção existente na região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, a hipótese considera que ao minimizar os efeitos negativos da bovinocultura de leite ao meio ambiente, a produção não terá sua produtividade afetada.

## **1.2 ORGANIZAÇÃO DO ESTUDO**

Este trabalho está dividido em seis partes. A começar com uma breve introdução ao tema, em que se apresenta a justificativa, os objetivos e a hipótese do trabalho. Pretende-se, através da primeira parte, apresentar de modo geral as características da produção de leite no mundo,



no Brasil, em Minas Gerais e na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. Na segunda parte do trabalho, será apresentada as características da produção de leite na região analisada. O terceiro capítulo, refere-se a revisão bibliográfica, com conceitos e estudos referentes à eficiência técnica e produtividade, bem como, a eficiência ambiental e a relação entre ambas. Na seção seguinte, apresenta-se o método empregado no estudo, com suas características e construção do modelo utilizado. A quinta parte, é destinada a demonstrar os resultados obtidos. Por fim, a sexta seção é referente às considerações finais do trabalho, em que são feitas reflexões gerais sobre a pesquisa, além das contribuições e limitações da mesma.

## 2. CARACTERIZAÇÃO DO MERCADO

Silva, Sousa e Martins (2012) e Barros *et al.* (2016) destacam a agropecuária como uma das principais atividades econômicas presentes no estado de Minas Gerais, caracterizando-se por uma atividade ampla e diversificada. No estado, destacam-se as produções de café, laranja, mandioca, batata e leite, que estão entre as 22 maiores do país. Em 2015, o PIB do agronegócio no estado foi de R\$ 184,5 bilhões, deste total, a pecuária contribuiu com R\$ 93,3 bilhões. (CEPEA, 2016).

A produção agropecuária existente em Minas Gerais, assim como no restante do país, é caracterizada pela heterogeneidade da base produtiva. Em algumas regiões do estado, a produção é realizada com o uso de alta tecnologia e, por conseguinte, apresentam bons índices de produtividade, tendo, em contrapartida, regiões mineiras, em que a agropecuária é realizada de modo rudimentar e a produção é destinada a subsistência (SILVA, *et al.*, 2005). Além disso, a atividade leiteira no estado de Minas Gerais é caracterizada por apresentar diferentes finalidades. Em alguns estabelecimentos a bovinocultura leiteira é a principal atividade econômica, em outras ela é um complemento à atividade principal e há aquelas propriedades em que a produção de leite é destinada a subsistência das famílias (LEMOS *et al.*, 2003).

A atividade leiteira é considerada uma tradição do estado de Minas Gerais, que por ter uma quantidade numerosa de produtores de leite, há também diversos laticínios que geram postos de trabalho a diversos indivíduos. A partir de dados do Censo Agropecuário de 2006, pode-se verificar que a produção de leite é realizada por 223 mil propriedades rurais e há 163 mil produtores comerciais de leite no estado. Em relação ao total de propriedades que produzem leite, cerca de 74,9% são caracterizadas como produção de base familiar (SILVA, SOUSA e MARTINS, 2012 e EMATER, 2016). De acordo com Barros *et al.* (2016), em 2015, a indústria de lácteos se manteve como o setor mais representativo no PIB pecuário do estado, com participação de 58,2%. A indústria de abate de carnes bovinas, sendo outra atividade de relevância econômica, desde 2004 vem aumentando sua participação no PIB, com uma participação de 22,1%. Da mesma forma, a indústria de carne de aves participou com 12,2% e a indústria de carne suína representa 9,3% do total.

Em 2015, os estados que mais produziram leite foram Minas Gerais, Paraná, Rio Grande do Sul, Goiás e Santa Catarina, com base na Tabela 1, é possível comparar a produtividade existente na atividade para os diferentes estados em 2015. É possível observar através da tabela que, apesar de Minas Gerais ser o estado que apresenta a maior produção láctea nacional, sua

produtividade em 2015 foi de 1,68 (mil litros/vaca/ano). Já o Rio Grande do Sul, apresentou o melhor desempenho produtivo no referido ano, com 3,07 (mil litros/vaca/ano), seguido por Paraná e Santa Catarina com respectivos 2,84 e 2,69 (mil litros/vaca/ano), tendo Goiás apresentado a menor produtividade entre os estados analisados com 1,38 (mil litros/vaca/ano).

Tabela 1- Produtividade da atividade leiteira dos principais estados brasileiros produtores - em 2015.

Estado	Produtividade
Minas Gerais	1,68
Paraná	2,84
Rio Grande do Sul	3,07
Goiás	1,38
Santa Catarina	2,69

Fonte: Elaborada pela autora, a partir de dados do IBGE (2016).

As diferenças nas produtividades apresentadas pelos estados, podem ser explicadas pelo uso de tecnologia, rebanho e áreas de pastagem. Segundo Angelo e Ponchio (2003) e Schumacher (2013), a produção de leite no Rio Grande do Sul é caracterizada pelo predomínio da produção familiar e o aumento da produtividade se deve a grandes investimentos no uso de pastagem, além das raças de bovinos europeias que se adaptaram bem e hoje compõem a região. Além disso, de acordo com Maia *et al.* (2013), a maior produtividade se dá com a elevada proporção de estabelecimentos da região que adotam a ordenha de forma mecanizada, a inseminação artificial e a transferência de embriões que contribuem para elevar a produção de leite por vaca.

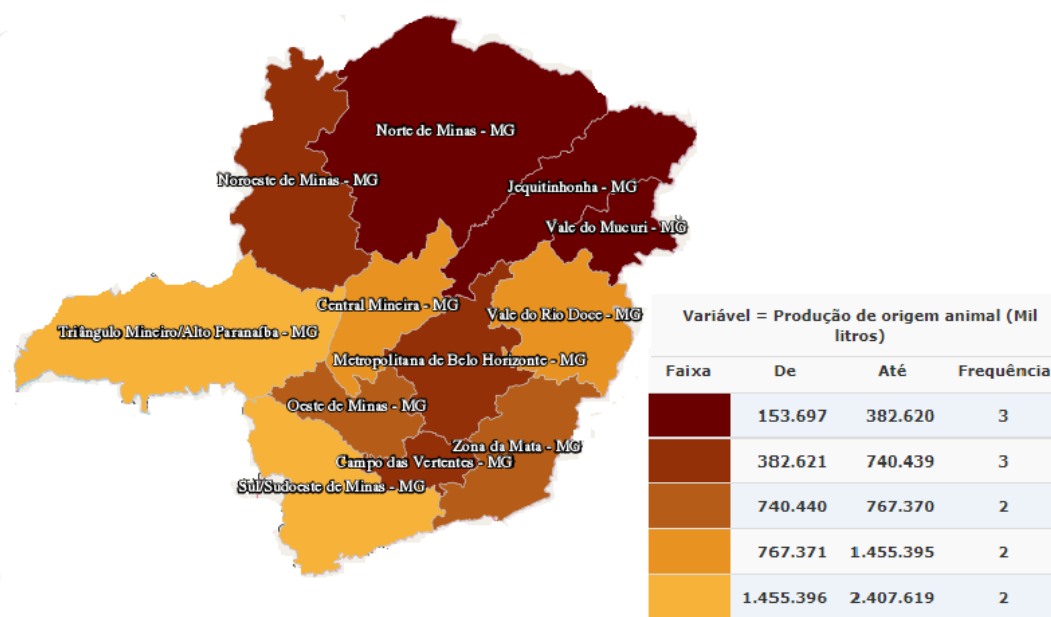
De acordo com Maia *et al.* (2013), a região sul do país obteve um incremento da sua produção em meados de 2000 e em 2011 produziu 32% do leite brasileiro. Já a região sudeste, que em meados de 1974 produzia mais da metade de toda produção brasileira, vem perdendo participação na produção de leite e em 2011 produziu um terço do leite nacional. Além disso, a produtividade da região é equivalente a 1,5 litros por vaca. Nos últimos anos houve um crescimento do rebanho bovino leiteiro nas regiões Centro-Oeste e Nordeste, o que possibilitou

um aumento da produção de leite nestas regiões. No entanto, a produção e a produtividade destas regiões ainda são baixas, com 1,40 e 0,96 litros por vaca, respectivamente.

A produção mineira, que também é predominada pela produção familiar, obteve ganhos de produtividade devido, principalmente, ao aumento do rebanho. De acordo com EMATER-MG (2016), muitas propriedades produtoras de leite de Minas Gerais investem pouco em tecnologia, possuem rebanhos com baixo potencial genético e as pastagens apresentam certo grau de degradação, dificultando assim, o aumento da produtividade. Desta maneira, para o desenvolvimento da produção de leite no estado e aumento dos lucros, diversos pequenos produtores se juntam e formam cooperativas para comercializar seu produto (CASTANHO, SILVEIRA e SILVA 2013).

Segundo Silva, Souza e Martins (2012), trabalhos desenvolvidos pela FJP/ BDMG (2003), indicaram que há uma concentração da produção agropecuária mineira nas regiões Triângulo Mineiro/ Alto Paranaíba, Sul/ Sudoeste e Noroeste do estado, conforme pode ser observado na Figura 1. Em Minas Gerais há doze mesorregiões e em todas é praticada a produção de leite. No entanto, as mesorregiões Triângulo Mineiro/ Alto Paranaíba e Sul/ Sudoeste de Minas se destacam na atividade. Em 2015 essas mesorregiões destacadas, produziram respectivamente 2,40 milhões e 1,45 milhões de litros de leite, contribuindo com 42% de toda a produção do estado. A produção láctea também contribui com a economia do Oeste de Minas e da Zona da Mata Mineira, que juntas produziram 16% do total estadual.

Figura 1 - Distribuição da produção de leite nas mesorregiões de Minas Gerais – 2015



Fonte: IBGE (2016).

Embora se verifique uma tradição na produção de leite no Sul de Minas, durante a década de 1990, ocorreu um deslocamento da produção láctea para a região do cerrado brasileiro, principalmente na mesorregião do Triângulo Mineiro/ Alto Paranaíba e no estado de Goiás. Este fato é explicado pelos menores custos de produção nestas localidades, decorrentes de menores preços de alguns insumos (GOMES, 1999).

O Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba ocupa lugar de destaque em relação à produção agropecuária nacional. O cultivo de grãos, cana-de-açúcar e criação de gado de corte e leite se destacam na região. A bovinocultura se mantém como uma das principais atividades econômicas do lugar e seu desenvolvimento envolve questões políticas e culturais (SOUZA, 2013). Composta pelo ecossistema Cerrado, o Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba está localizado no oeste de Minas Gerais e faz fronteira com os estados de São Paulo e Goiás. A supracitada região possui 66 municípios que se dividem em sete microrregiões, Patos de Minas, Patrocínio, Araxá, Uberaba, Uberlândia, Frutal e Ituiutaba.

Nos últimos 40 anos houve muitas mudanças no desenvolvimento das atividades no Cerrado brasileiro incentivadas por alguns programas governamentais, como por exemplo, a disseminação da Revolução Verde<sup>8</sup> a partir de 1970, bem como a disponibilidade de crédito ofertado pelo Sistema Nacional de Crédito Rural, através do Programa de Assentamento Dirigido do Alto Paranaíba (PADAP), implantado em 1973 e o Programa de Cooperação Nipo-Brasileira para o Desenvolvimento dos Cerrados (Prodecer) de 1979. As políticas governamentais realizadas para incentivar a produção agropecuária do cerrado favoreceram o oeste mineiro (MARTINS, SILVA e ORTEGA, 2014).

O cerrado brasileiro possui uma área de 201,7 milhões de hectares, suas características físicas favorecem a produção de grãos e pecuária. Estima-se que, 35% do rebanho bovino nacional está localizado nesta região. Além disso, as principais indústrias de laticínios do país estão instaladas nesta região, apostando no aumento da capacidade produtiva, devido ao potencial de crescimento da produção de leite existente na região (EMBRAPA, 2015).

De acordo com Bastos e Gomes (2011), as características físicas do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, como o solo, predominantemente de cerrados, aspecto facilitador do plantio e do uso de máquinas agrícolas, incentivam a produção de médio e grande porte, com uso de tecnologia intensiva. Além disso, a localização da região facilita o escoamento da produção, por ser uma região de encontro de diversas rotas, tornando-a uma região agrícola dinâmica e

---

<sup>8</sup> Segundo Albergoni e Pelaez (2007) a Revolução Verde impulsionou um novo modelo de produção agrícola, em que o uso de tecnologias foi incentivado.

desenvolvida (SOUZA, 2013). Assim, como ponderado por Bittencourt e Lima (2014), o agronegócio desenvolvido na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba é crescente. Tal fato se deve ao cultivo de grãos, como milho, soja e café, a expansão da agroindústria sucroalcooleira e da produção pecuária.

Como já mencionado, a agropecuária é uma atividade econômica importante para a mesorregião analisada, qual seja, Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (MG). Esta afirmação é confirmada ao se analisar e comparar a contribuição do valor adicionado (VA) da agropecuária no PIB mineiro. Em 2010 a região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba produziram 30,5% do VA agropecuário do estado, seguido das regiões Sul e Sudoeste que também são caracterizadas pela produção agropecuária e o VA para essa atividade foi de 21,4% (FJP, 2011).

Segundo Castanho, Silveira e Silva (2013), a bovinocultura de leite no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba geralmente é realizada pela agricultura familiar e em pequena escala. Para aumentar a produtividade e ampliar a geração de lucros, muitos produtores se unem na formação de cooperativas. A mesorregião analisada possui uma quantidade relevante de cooperativas de leite, dentre elas, COOPA, CEMIL e CALU.

Como já mencionado, o Sul e Sudoeste de Minas possuem tradição no que se refere a produção de leite. Por muitos anos, esta região foi a maior produtora de leite do estado. No entanto, como se pode observar na Tabela 2, a produção de leite no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba vem apresentando crescimento relativo nos últimos anos, de 2010 a 2015 sua produção cresceu 15% contra um crescimento de 6,9% da região Sul/ Sudoeste de Minas. As regiões que apresentaram maior variação entre o período analisado foram o Vale do Rio Doce, com crescimento de 30% e a Central Mineiro que aumentou sua produção em 24%.

Tabela 2 - Produção de leite (mil litros) nas mesorregiões de Minas Gerais nos anos 2010 e 2015.

Região	2010	2015	Variação
Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba	2.093.463	2.407.619	15,0%
Sul/Sudoeste de Minas	1.361.274	1.455.396	6,9%
Zona da Mata	793.599	740.440	-6,6%
Oeste de Minas	680.623	749.469	10,1%

Vale do Rio Doce	589.353	767.371	30,2%
Metropolitana de Belo Horizonte	617.403	601.239	-2,6%
Campo das Vertentes	345.857	382.621	10,6%
Central Mineira	674.389	839.277	24,4%
Noroeste de Minas	490.040	530.555	8,2%
Norte de Minas	439.812	311.316	-29,2%
Vale do Mucuri	170.365	205.958	20,8%
Jequitinhonha	131.863	153.697	16,5%

Fonte: Elaborada pela autora, com base em dados do IBGE (2016).

Ao comparar a eficiência nas mesorregiões mineiras, observa-se que a região composta pelo Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba apresenta a maior produtividade do estado, com 1,92 litros/vaca/ano. Em seguida, destaca-se o Sul e Sudoeste mineiro com produtividade igual a 1,77 litros/vaca/ano.

Além de ser a maior região produtora de leite do estado, o Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, também se destacam quanto a produção de leite nacional. A Tabela 3 apresenta as mesorregiões brasileiras que mais produziram leite em 2015. O noroeste do Rio Grande do Sul foi a região do país que mais produziu leite no referido ano, cerca de 3,4 bilhões de litros. Além de possuir a maior produtividade entre as regiões analisadas, com média equivalente a 3 mil litros/vaca/ano. O Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, foi a segunda maior produtora do país. No entanto, a produtividade é bem inferior ao observado no Noroeste do Rio-Grandense. Em seguida apresenta-se o Oeste Catarinense, com produção média de 2,2 bilhões de litros produzidos e com produtividade média de 3 mil litro/vaca/ano. A divergência entre a produtividade das mesorregiões, se dá pela qualidade das pastagens e pelo predomínio de raças europeias no sul do país, enquanto no sudeste e centro-oeste, há o predomínio de raças mestiças.

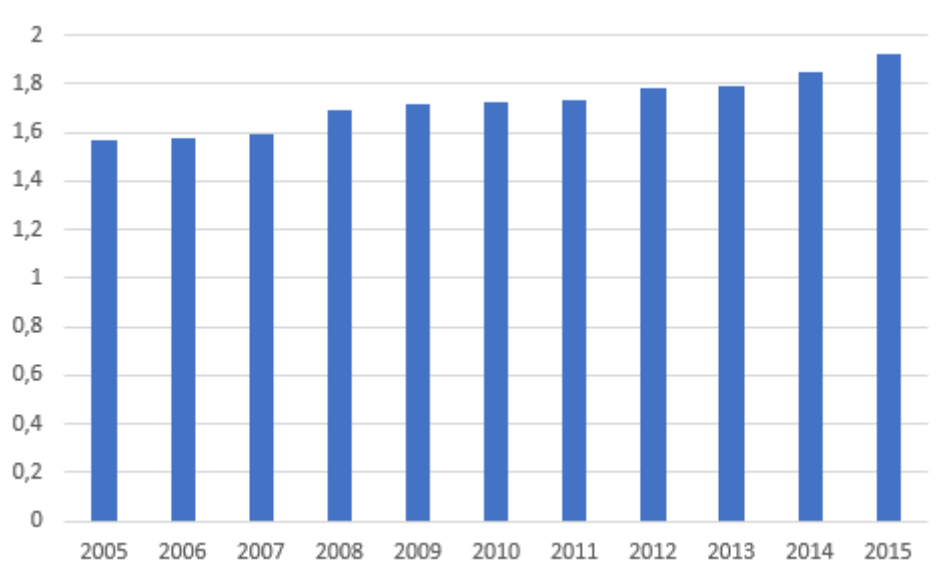
Tabela 3 - Mesorregiões com maior produção de leite em 2015 (mil litros).

Mesorregião Geográfica	Produção	Produtividade
Noroeste Rio-Grandense (RS)	3.064.551	3,40
Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (MG)	2.407.619	1,92
Oeste Catarinense (SC)	2.299.451	3,10
Sul Goiano (GO)	1.775.766	1,64
Sul/ Sudoeste de Minas (MG)	1.455.396	1,77

Fonte: Elaborado pela autora, com base nos dados do IBGE (2016).

Os dados da Tabela 3 demonstra que em relação a algumas regiões do sul do Brasil, a produtividade da produção de leite do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba é baixa. No entanto, na Figura 2, é possível verificar que a produtividade da bovinocultura do leite na região vem apresentando taxas de crescimento positiva. De acordo com Bittencourt e Lima (2014), a pecuária leiteira da região analisada recebeu muitos investimentos, principalmente em relação a genética dos bovinos, na qualidade dos silos para forragens e em tanques de resfriamento.

Figura 2 - Produtividade da produção de leite no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba – 2005 a 2015.



Fonte: Elaborada pela autora, com base em dados do IBGE (2016).

Desta maneira, como mencionado por Martins, Silva e Ortega (2014), é possível observar no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba algumas transformações no setor agropecuário da região, dentre elas, aumento da tecnologia, que propiciaram a modernização da agricultura e da



pecuária. Além disso, a região destaca-se por ser uma área propícia para o desenvolvimento das atividades agropecuária, devido a qualidade e custo de suas terras, localização, características socioeconômicas e disponibilidade de mão de obra.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 MODELOS DE FRONTEIRA ESTOCÁSTICA APLICADOS PARA A PRODUÇÃO DE LEITE

Nogueira (2005) e Barbosa *et al.* (2013) estimaram os níveis de eficiência técnica da agropecuária nas microrregiões brasileira através da análise envoltória dos dados (DEA). Nogueira (2005) utilizou dados do Censo Agropecuário 1995/1996 e além do DEA utilizou o modelo Tobit para identificar os determinantes de eficiência. Já o segundo trabalho, empregou dados do Censo Agropecuário referente ao ano de 2006 e usou a regressão quantílica para encontrar os determinantes de eficiência em diferentes quantis. Com exceção da região Centro-Oeste, em ambos os trabalhos se identificou ineficiência de escala nas microrregiões brasileiras.

Campos e Magalhães (2006) avaliaram a eficiência dos produtores do município de Sobral, Ceará, utilizaram medidas de eficiência técnica e de escala. Com uma amostra de quarenta produtores rurais do município e com produção mínima de 15 litros/dia foram determinadas medidas de eficiência para cada propriedade. Verifica-se que 67,5% dos produtores são ineficientes. Neste caso, um dos motivos da ocorrência de ineficiência se deve pela relação desvantajosa entre o preço de venda do produto e o custo médio da produção.

Lima (2006) estimou a eficiência técnica da pecuária leiteira de todas as mesorregiões de Minas Gerais. Para tal, o autor agrupou os produtores da amostra de acordo com o nível tecnológico definidos como A, B e C. Os produtores incluídos no grupo A possuíam maior uso de tecnologias, no B o uso é intermediário e no C há pouco uso de tecnologias. A maior média de eficiência técnica obtida foi no grupo C. De acordo com o autor, o resultado demonstra que propriedades com menor grau tecnológico tendem a otimizar seus custos para obter maiores lucros. O estrato B obteve a menor média com 68%, indicando assim, uma possível subutilização da tecnologia.

A fim de se avaliar a eficiência técnica da produção agropecuária brasileira Gazzola, Wander e Oliveira (2010) utilizaram um modelo de fronteira estocástica com os dados do Censo Agropecuário de 1996 e 2006. Os resultados obtidos demonstraram que a tecnologia utilizada apresentou retornos decrescentes de escala e uma aparente redução da eficiência no intervalo de dez anos que separam os censos, em todas as regiões. Além disso, foi possível averiguar que os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Ceará são os estados mais eficientes, operando com 89% do total da sua capacidade. Já os estados do Mato Grosso do Sul, Roraima, Distrito Federal e Tocantins são os estados que operam com maior ineficiência.

Segundo Yéλου, Larue e Tran (2010), a heterogeneidade é um problema que pode se fazer presente em conjuntos de dados utilizados para se estimar um modelo de fronteira estocástica utilizando dados em painel. Para tentar corrigir este eventual problema, foi feita uma aplicação empírica com a estimação de um modelo de fronteira estocástica de efeitos fixos. Para verificar a presença de limiares, foi utilizado métodos de inferência estatística desenvolvida por Hansen (1999, 2000). Os dados utilizados se referem a 302 fazendas situadas na província de Quebec com dados que cobrem o período de 1993 a 2003.

Os resultados obtidos demonstram que há presença de limiar. Além disso, há diferenças nos níveis médios de eficiência técnica, pois, fazendas de tamanhos diferentes utilizam tecnologias diferentes. Apesar disso, como resultado, os autores esperam médias de eficiência elevadas e estáveis. É possível observar também que ao longo dos anos as propriedades analisadas não sofreram variações de tamanho expressivo, este fato se deve a políticas que dificultaram a expansão dos produtores. No entanto, apesar do alto grau de proteção existente nas propriedades, há uma tendência de redução do número de propriedades que realizam a atividade leiteira, bem como o aumento médio do tamanho delas (YÉLOU, LARUE e TRAN, 2010).

Em Minas Gerais, Braga *et al.* (2012) estimaram a eficiência das propriedades leiteiras do estado, utilizando o modelo de fronteira estocástica proposto por Battese e Coelli (1992). O valor estimado da ineficiência foi de 0,544 que foi significativo ao nível de 5% e a eficiência média das propriedades foi de 82,58%. A variável referente a vacas em lactação foi a que obteve o maior coeficiente em todos os quantis analisados, sendo assim, ela foi relevante para explicar os maiores índices de eficiência técnica. Já o resultado obtido com a variável mão de obra familiar demonstra que, os produtores que fazem maior uso da mão de obra familiar são aqueles que apresentam menor percentual de eficiência técnica.

De acordo com Bardhan e Sharma (2013), apesar da Índia ser um dos maiores produtores de leite do mundo, a produtividade desta atividade no país é baixa. A produtividade média nacional da produção de leite de vacas cruzadas é de 5,82 a 7,80 litros por dia. Assim, por meio de um modelo de fronteira estocástica, os autores estimaram a eficiência técnica da produção de leite na região Kumaon de Uttarakhand, com o intuito de avaliar quais medidas devem ser realizadas para melhorar os índices de produtividade antes de se investir em tecnologia. Foram analisadas propriedades que se enquadram no sistema de agricultura mista e também, foi feito um comparativo da produção de leite realizada nas planícies e nas colinas. Sendo assim, observou-se que a variação da produção nas propriedades analisadas é devido à diferença nos

níveis de eficiência técnica. Além disto, a ineficiência da produção se deve ao mau uso da tecnologia existente. Na região das planícies, duas características contribuíram de maneira positiva com a eficiência, a existência de um rebanho menor e um maior nível de comercialização. Já na região das colinas, a presença de chefes de família jovens é o fator que influencia a eficiência.

Deste modo, pondera Bardhan e Sharma (2013), para melhorar a produtividade da região, além de aumentar a ligação entre as fazendas e mercado, é necessário que os formuladores de políticas foquem nas famílias que possuem um rebanho grande na região plana e nas famílias que são chefiadas por pessoas mais velhas nas colinas. É preciso também, incentivar o uso eficiente da tecnologia existente.

Jiang e Sharp (2015) utilizaram um modelo de fronteira estocástica e um o modelo proposto por Battese *et al.* (2004) e O'Donnell *et al.* (2008), para analisarem fazendas leiteiras do Norte e do Sul da Nova Zelândia. Apesar das regiões diferirem quanto ao clima, tipo de solo e história agrícola, os autores testaram a hipótese de que as fazendas leiteiras dessas regiões compartilham da mesma tecnologia empregada. Assim, os resultados obtidos rejeitam a hipótese suposta no trabalho, pois as fazendas do norte e do sul do país não compartilham da mesma tecnologia de produção. A fator comum entre elas é que a produção leiteira de ambas regiões exibe retornos decrescente de escala. Além disso, verificou-se que, as propriedades do sul possuem uma tecnologia mais avançada do que a do norte. Deste modo, a eficiência técnica das fazendas leiteiras do sul, em média, é estimada em 82%. Já a eficiência técnica das fazendas do norte é estimada em 70%, em média.

Conforme ponderado por Müller *et al.* (2015), outro fator que contribui com os índices de ineficiência da produção brasileira é a baixa qualidade das pastagens destinada a produção de leite. De acordo com o autor, cerca de 130 milhões de hectares de pastagens estão degradadas. Pastagens degradadas, quando em estágio avançado, podem alterar a estrutura do solo e, por conseguinte, aumentar as taxas de escoamento superficial, gerando assim, erosão e assoreamento de nascentes, rios e lagos. Estes fatos geram aumento dos custos com a alimentação do rebanho, pois, para alimentá-los, será necessário utilizar uma quantidade maior de concentrados.

García-Suárez e Pérez-Quesada (2016), estimaram uma fronteira de produção estocástica e um modelo de ineficiência técnica associada com o objetivo de verificar o efeito dos insumos na produção láctea no Uruguai. Para tal, utilizaram uma função no formato Cobb-Douglas. Os resultados indicaram que, o nível médio de eficiência técnica observado foi de 81,1%. Além

disso, todas as variáveis de insumos analisadas foram estatisticamente significativas e impactam positivamente na produção de leite. O número de vacas leiteiras, alimentação, terra e pastagem foram os insumos que mais impactam na produção. Em relação a fazendas que buscam ganhos de eficiência, os autores identificaram que, o uso de inseminação artificial e assistência veterinária, agrônômica e contábil possuem um efeito negativo sobre a ineficiência técnica, sendo estas apontadas pelos autores como as principais determinantes das diferenças de eficiência naquele país.

Segundo Carneiro *et al.* (2016), a mesorregião da Zona da Mata em Minas Gerais é uma das mais importantes produtoras de leite do estado, ocupando a quarta posição entre as doze mesorregiões que mais produzem leite no estado. Em 2014, sua produção foi de 8,3% do total estadual. Sendo assim, a produção leiteira se caracteriza por ser uma atividade importante para a economia da Zona da Mata mineira, contribuindo com a geração de emprego e renda local. Neste sentido, foram analisados os fatores explicativos dos níveis de eficiência local, por meio do uso de regressão quantílicas e as medidas de eficiência foram obtidas através da análise envoltória de dados (DEA). Carneiro *et al.* (2016) identificaram que, para melhorar os níveis de eficiência dos produtores da região, é necessário investir em tecnologia genética, por meio da inseminação artificial do rebanho bem como o auxílio de assistência técnica. Além disso, para que os produtores com restrições financeiras melhorem sua produtividade, é preciso que o governo viabilize serviços de acompanhamento técnico contínuo e de qualidade, além de ampliar o acesso ao crédito.

### **3.2 EFICIÊNCIA TÉCNICA E AMBIENTAL NA PECUÁRIA LEITEIRA**

O setor pecuário emite altas taxas de gases de efeito estufa, dentre eles, o nitrogênio. A poluição via emissão desse gás ocorre devido à aplicação de fertilizantes químicos e também a partir do uso dos dejetos produzidos por vacas e porcos para adubação agrícola acima do montante necessário. Assim, para obter uma redução da emissão de nitrogênio ocasionado pela pecuária, o governo holandês criou o Plano de Ação Nacional do Meio Ambiente (NEPP). Dentre as exigências aos produtores, foram estabelecidas cotas de adubo agrícola sujeito a cobrança de taxas sobre os excedentes. Além disso, há algumas restrições sobre a utilização de adubos orgânicos (REINHARD, LOVELL e THIJSSSEN, 1999).

De acordo com Reinhard, Lovell e Thijssen (1999), com o estabelecimento do NEPP e suas exigências surgiram questões em relação à eficiência técnica e ambiental da criação do

gado de leite holandês. Sendo assim, foram realizadas estimações das eficiências, que buscaram averiguar se elas melhoraram ou pioraram durante as duas primeiras fases da NEPP e se há compatibilidade entre as eficiências ambiental e técnica. Desse modo, a eficiência técnica foi obtida pela relação entre a produção observada e a produção máxima possível. A eficiência ambiental foi estimada pela relação entre o uso mínimo viável do insumo prejudicial ao meio ambiente, neste caso o nitrogênio e, o uso observado deste mesmo insumo. Assim como é descrito por Reinhard, Lovell e Thijssen (1999, p. 46),

*“Technical efficiency is estimated in the conventional way, as the ratio of observed to maximum feasible output, where the latter is provided by the stochastic production frontier. Environmental efficiency is estimated as the ratio of minimum feasible to observed use of the environmentally detrimental input, where the former is provided by the stochastic production frontier. This requires a novel manipulation of the stochastic translog production frontier. Thus our measure of technical efficiency is an output-oriented measure, while our measure of environmental efficiency is a nonradial input-oriented measure since it focuses on just one of several inputs.”*

A princípio, as eficiências foram estimadas separadamente. Em relação à eficiência técnica, foram obtidos bons resultados e eles foram altos com média de 0,89 do total de toda capacidade na produção. A eficiência técnica, além disso, foi estimada com sendo invariante no tempo. Assim, a elevada eficiência técnica sugere que apenas uma pequena parcela da produção comercializável é sacrificada quando se há o desperdício de recursos. Já a eficiência ambiental possui média menor, cerca de 0,44 do total. No entanto, constatou-se que houve uma melhora do seu desempenho durante o período em que a NEPP começou a exercer influência sobre o comportamento e decisões tomadas nas fazendas de gado de leite. Por fim, a estimação da compatibilidade entre as duas eficiências, demonstram que as fazendas com elevado grau de eficiência técnica possuem uma eficiência ambiental menor e possui um excedente grande de insumos com nitrogênio (REINHARD, LOVELL e THIJISSEN, 1999).

Para avaliar o efeito de políticas ambientais nas fazendas produtoras de leite da Suíça, Ferjani (2011), propôs um teste de hipótese de Porter<sup>9</sup> utilizando o método não paramétrico DEA. Desta maneira, a autora observou que, ao considerar indicadores ambientais, em média o índice de Malmquist foi 0,3% maior do que o índice sem os indicadores ambientais. Além disso, as fazendas analisadas apresentaram heterogeneidade na relação entre produtividade

---

<sup>9</sup> De acordo com Ferjani (2011), a hipótese de Porter afirma que, regulação ambiental severa pode gerar um efeito positivo na produtividade das fazendas, pois restrições ambientais podem gerar inovações tecnológicas.

agrícola e regulação ambiental. Assim, foi concluído que entre 1993 a 2001 não há evidências de que a produtividade técnica tenha aumentado em decorrência de acordos ambientais.

Gourley, Aarons e Powell (2012), verificaram que o aumento da produção de produtos lácteos no mundo foi acompanhado pelo crescimento de insumos compostos por nitrogênio, para obter ganhos de produtividade. O acréscimo no uso desses insumos, gera taxas maiores de excesso de nitrogênio e, por conseguinte, perdas ambientais. Assim, os autores avaliaram a eficiência do uso de nitrogênio de alguns compostos alimentares e nas concentrações de ureia no leite das vacas em lactação e as práticas de manejo de estrume em 29 fazendas em Victoria, Austrália e Wisconsin, USA. Assim, o estudo objetivou avaliar o melhor desempenho do nitrogênio, pois melhorias nas práticas alimentares do rebanho e manejo dos adubos beneficia a indústria do setor, melhorando seu desempenho técnico e os resultados ambientais. Os resultados obtidos pelos autores, demonstraram que nas fazendas das cidades analisadas, independente do sistema de produção adotado, somente uma pequena parcela das terras disponíveis foram utilizadas para depositar o nitrogênio excretado. Na maioria das propriedades, quantidades significativas do estrume coletado foi colocado em áreas não produtivas, aumentando assim, o risco de perdas de nitrogênio no escoamento superficial.

Para identificar algumas opções que permitem mitigar os efeitos negativos dos poluentes gerados pela produção de leite, Toma *et al.* (2013), estimaram diferentes índices de eficiência ambiental, comparando sistemas de manejo distinto. Para tal, foi avaliado o manejo de pastagem e confinamento, com duas raças distintas, holandeses e frisões. Para avaliar o impacto dos insumos nos valores de eficiência, foram estimados dois modelos. Um deles considerou os seguintes insumos de produção: terra, fertilizantes, rações e vacas. O outro modelo não considerou essas variáveis. Deste modo, foi possível avaliar o efeito dos insumos através da comparação dos valores de eficiência. Os insumos utilizados na produção tiveram expressiva importância para medir a eficiência ambiental. Assim, foi possível constatar que, o tipo de manejo empregado e a alimentação do animal, feito por regimes adequados, são fatores que influenciam a redução dos níveis de poluente gerado pela produção leiteira.

Segundo Berre *et al.* (2014), há uma tendência a avaliar as políticas de produção pecuária considerando os efeitos da atividade no meio ambiente. Desta forma, o autor focalizou seu estudo para analisar o *trade-off* entre a produção de leite e seu efeito ambiental, considerando as emissões de gases do efeito estufa, precisamente o nitrogênio. Sendo assim, por meio da DEA, foi possível demonstrar que a melhor maneira de reduzir a eco-ineficiência, em relação a questões ambientais, é através da intensificação sustentável. Neste sistema, é possível reduzir a

emissão de  $CO_2$  em 238 gramas por litro de leite, 13,93% menor do valor atual. Além disso, é possível aumentar a produção de leite em 7,72 litros de leite para cada quilo de excedente de nitrogênio.

Nijuki e Bravo-Ureta (2015) analisaram o impacto econômico associado a um regime regulatório ambiental hipotético que possui o objetivo de reduzir as emissões dos gases de efeito estufa em alguns municípios produtores de leite dos Estados Unidos. Para tal, foi estabelecido um índice de poluição amplo que combina gado, combustível e fontes de fertilizantes responsáveis pela poluição. O método se diferencia do proposto por Reinhard, Lovell e Thijssen (1999) em que foi considerada apenas uma medida parcial com base no excesso de emissão de nitrogênio. Identificou-se que os estabelecimentos que cumprem as exigências da regulamentação apresentam ganhos de 5% na eficiência técnica média. Os custos decorrentes das novas exigências variam, sendo que as produções que operam com economias de escala apresentam maior redução dos custos.

Dayananda (2016) utilizou o modelo de fronteira de eficiência estocástica para estimar a eficiência técnica e ambiental de 143 fazendas leiteiras localizadas em Ontário, Canadá. Conforme a autora, as fazendas analisadas possuem bons índices de eficiência técnica, com média de 82%. Em contrapartida, a média de eficiência ambiental verificada é baixa, com apenas 30%. Além disso, foi verificado que quanto maior o rebanho, maiores serão os índices de eficiência ambiental. Por fim, foi averiguado que há correlação positiva entre as duas eficiências, ou seja, fazendas com elevado nível de eficiência técnica tendiam a ter um elevado nível de eficiência ambiental.

Os autores apresentados demonstram que a literatura aponta um descompasso entre as eficiências técnica e ambiental. Este descompasso ocorre, principalmente, devido à utilização de insumos mais baratos com o intuito de se reduzir os custos e aumentar a lucratividade do produtor. Além disso, a ineficiência ambiental pode ser constatada devido a uma utilização de insumos superior à necessária. Sendo assim, cabe analisar se os mesmos resultados podem ser obtidos para a região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba no Brasil.

### **3.3 PECUÁRIA E MEIO AMBIENTE**

Veschi, Barros e Ramos (2010) afirmam que, toda atividade produtiva acarreta modificações no ambiente. Além disso, a maioria dos processos de produção emitem gases de efeito estufa. Isto posto, é possível observar na Tabela 3 a emissão líquida de GEE do setor de



energia, processos industriais, agropecuária, mudanças no uso da terra e florestas e tratamento dos resíduos, medidos em  $CO_2eq$ , nos anos de 2005, 2010 e 2014. Assim, pode-se observar que em 2005, cerca de 70% das emissões de GEE dos setores acima citados, era proveniente da mudança de uso da terra e florestas. No mesmo ano, a agropecuária emitiu 14% do total de GEE, a produção de energia, processos industriais e tratamento de resíduos emitiram, 11%, 3% e 2% respectivamente (MCTI, 2016).

Entre 2005 a 2010 o setor de energia aumentou sua emissão de GEE em 18,7% e a agropecuária em 3,7%, assim estes foram os setores com maior participação nas emissões de 2010, emitindo 32% e 29%, respectivamente. Já entre 2010 a 2014 a variação das emissões de energia foi de 26,6%, a maior entre todos os setores e a agropecuária foi de 4,3%. Desta forma, no referido ano, a produção de energia emitiu 37% do total e a agropecuária 33%. Em contrapartida, o setor de mudança de uso da terra e floresta teve uma redução nas emissões de 87,7%, entre 2005 a 2010 e entre 2010 a 2014 foi de 33,2%. (MCTI, 2016).

Tabela 4 - Emissão de  $CO_2eq$  por setor, nos anos de 2005, 2010 e 2014.

Setores	Gg $CO_2eq$			variação	
	2005	2010	2014	2005-2010	2010-2014
Energia	312.747	371.086	469.832	18,7%	26,6%
Processos industriais	80.517	89.947	94.263	11,7%	4,8%
Agropecuária	392.491	407.067	424.473	3,7%	4,3%
Mudanças de uso da terra e florestas	1.904.666	349.173	233.140	-81,7%	-33,2%
Tratamento de resíduos	45.476	54.127	62.787	19,0%	16,0%
Total (emissões líquidas)	2.735.898	1.271.399	1.284.496	-53,5%	1,0%

Fonte: MCTI (2016).

Como observado na Tabela 3, a participação da agropecuária nas emissões de GEE é expressiva. No setor, os principais GEE emitidos são o óxido nitroso ( $N_2O$ ), gás carbônico ( $CO_2$ ) e metano ( $CH_4$ ). Segundo Powell *et al.* (2010), o uso de fertilizante, alimentos para

animais e outros nutrientes agrícolas ficaram mais baratos nos últimos anos e por este motivo, eles são utilizados para maximizar a produção agrícola e pecuária. No entanto, os sistemas biológicos possuem limites para adquirir os insumos de alguns nutrientes, como por exemplo, o nitrogênio. O nitrogênio auxilia no aumento da produção de grãos, porém, seu uso abundante aliado a sua baixa incorporação podem gerar danos ao meio ambiente, através da emissão gasosa de óxido nitroso e amoníaco e lixiviação do nitrato pelo solo. As consequências da liberação destes gases são adversas. O amônio em contato com outros produtos químicos pode gerar a chuva ácida, que pode danificar o ambiente aquático. A lixiviação do nitrato pode contaminar a água subterrânea e os nitratos podem ser reduzidos no solo e, desta maneira, podem ser emitidos como óxido nitroso.

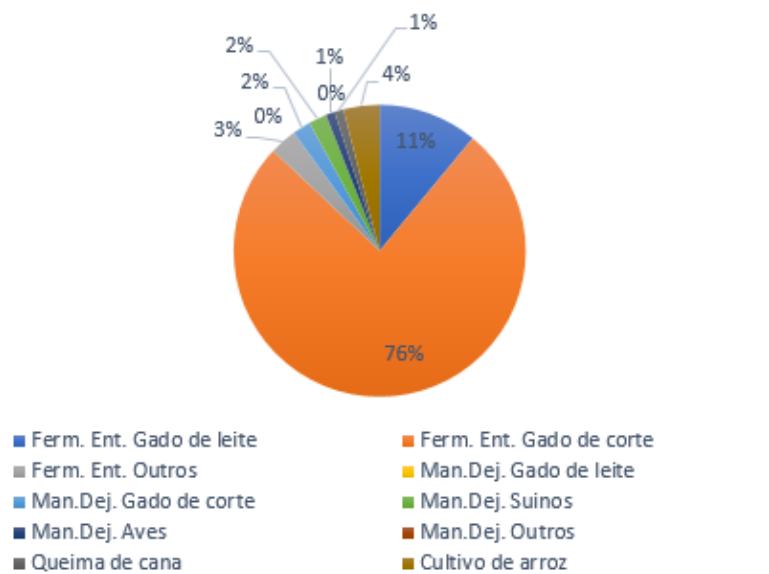
Em relação a emissão de ( $CH_4$ ), Machado *et al.* (2012) afirma que, o gás metano fica na atmosfera de 9 a 15 anos e seu potencial de aquecimento global 25 vezes maior que o gás carbono. A emissão de ( $CH_4$ ) é realizada principalmente pela pecuária e ocorre durante o processo digestivo dos herbívoros ruminantes. Em escala global, a emissão de ( $CH_4$ ) pela fermentação entérica é de 80 Teragramas (Tg) por ano, ou seja, 22% das fontes antrópicas<sup>10</sup> de metano. Além disso, o metano entérico é responsável por 15% do aquecimento global (EMBRAPA, 2010).

Assim, como demonstrado na Figura 3, em 2014 a pecuária bovina foi responsável por 89% do total de emissão de ( $CH_4$ ). Deste total, 87% das emissões foram realizadas via fermentação entérica do rebanho. Do total emitido pelo processo de fermentação entérica, 76% se refere ao gado de corte, os outros 11% foi emitido por bovinos leiteiros. A diferença entre a percentagem emitida por bovinos de corte e de leite pode ser explicada pelo número de animais que são destinados a essas duas atividades. No Brasil, cerca de 77% do rebanho se refere ao gado de corte e 23% se representa a quantidade do gado de leite.

---

<sup>10</sup> De acordo com Silva e Paula (2009), a emissão de GEE pode ocorrer via fatores internos e externos. Os fatores internos ocorrem através de atividade solar, composição físico-química da atmosfera, tectonismo e vulcanismo. Já os fatores externos são antropogênicos, ou seja, são induzidos pelo homem.

Figura 3 - Emissões de  $CH_4$  por sub-atividade do setor agropecuário – 2014.



Fonte: Elaborado pela autora, a partir de dados do MCTI (2016).

A produção de metano faz parte do processo digestivo dos herbívoros ruminantes e ocorre no rúmen e retículo do animal. A fermentação do vegetal ingerido pelo animal é um processo anaeróbico feito pela população microbiana ruminal. Assim, os carboidratos celulósicos são transformados em ácidos graxos<sup>11</sup> de cadeia curta e são utilizados como fonte de energia. As bactérias presentes no rúmen obtêm energia para seu desenvolvimento e utilizam hidrogênio para diminuir a quantidade de dióxido de carbono e então, formam o ( $CH_4$ ) que é exalado para a atmosfera. O ( $CH_4$ ) produzido durante esse processo, representa parte do uso improdutivo da energia contida na alimentação do gado (EMBRAPA, 2010).

Assim, devido o potencial de danos que podem vir a ser causados pela emissão de ( $CH_4$ ) foram realizadas diversas pesquisas com o intuito de mensurar a emissão de metano e encontrar maneiras de reduzi-la. Crutzen, Anselmann e Seiler (1986) estimaram a produção global de ( $CH_4$ ) proveniente da fermentação entérica de animais domésticos e humanos. Para tal, os autores combinaram as medidas entre a ingestão de alimentos e os rendimentos de metano das espécies animais com as estatísticas populacionais. Os resultados obtidos apontaram que a estimativa de emissão de ( $CH_4$ ) na atmosfera era de 74 Tg, com um nível de incerteza de 15%. Além disso, foi observado que o gado contribui com 74% do total de emissões, seguido dos búfalos e ovelhas que emitiram, respectivamente 8% e 9% do total. Camelos, mulas e jumentos,

<sup>11</sup> Os principais ácidos graxos transformados no rúmen do bovino são o ácido acético, ácido propiônico e butírico (EMBRAPA, 2010).

porcos e cavalos foram responsáveis pelo restante da emissão. A produção humana de metano, de acordo com os autores, é provavelmente menor que 1 Tg por ano.

No Brasil, Pedreira *et al.* (2009), estimaram a emissão de ( $CH_4$ ) do rebanho bovino leiteiro localizado na região sudeste do país. Para tal, ele estratificou o gado em vacas em lactação, vacas secas e novilhas. Para obter as médias de emissão do gás analisado foi utilizado a técnica do gás traçador SF<sub>6</sub> e os resultados obtidos para vacas em lactação foi de 131 (kg/cabeça/ano). Já Carvalho, Ferreira e Rodrigues (2016) utilizaram a metodologia “Tier 2” do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) para mensurar as emissões de ( $CH_4$ ) e ( $N_2O$ ) de uma fazenda produtora de leite da Bahia. O resultado de emissão de ( $CH_4$ ) obtida na pesquisa foi superior a demais trabalhos, a emissão média foi de 144 (kg/cabeça/ano). Desta forma, para reduzir a emissão de metano os autores sugerem alterações na alimentação do rebanho e melhoramento genético, que resultaria também, em aumento da produtividade da produção.

Lascano e Cárdenas (2010) e FAO (2013), também citam algumas alternativas existentes para redução da emissão de metano entérico. Dentre elas, os autores mencionam a manipulação da composição da dieta, completando os aditivos alimentares, com ionóforos, ácidos orgânicos<sup>12</sup> e compostos halogenados. Outra forma de reduzir a emissão de ( $CH_4$ ) é selecionando plantas forrageiras de alta qualidade. De tal modo que, a melhora na alimentação do gado através da ingestão de forragens de boa qualidade proporciona alto desempenho animal e, por conseguinte, reduz a quantidade emitida de ( $CH_4$ ) por unidade de produto e matéria seca ingerida.

Além das emissões de GEE, o desmatamento descontrolado também é um problema da produção pecuária. Segundo Margulis (2003) a pecuária é uma das principais responsáveis pelo desmatamento da Amazônia. A partir da década de 1990, ela passou a ser autônoma, ou seja, os pecuaristas que adentraram a floresta amazônica não necessitaram de incentivos governamentais, como ocorria nas décadas de 1970 e 1980. Esta modificação foi impulsionada, principalmente pelo uso de novas tecnologias e devido às condições geográficas e ecológicas que permitiram um aumento da produtividade e redução de custos da pecuária. As consequências do desmatamento são adversas para o meio ambiente, dentre elas, pode-se citar, perda da biodiversidade, redução da ciclagem de água e emissão de gases do efeito estufa devido à prática de queimadas (ARRAES, MARIANO e SIMONASSI, 2012).

---

<sup>12</sup> Ácidos orgânicos podem resultar em resistência de micróbios do rúmen, resultando em redução da emissão de metano entérico no curto prazo. Todavia, o uso de ácidos orgânicos resultaria em aumento de custo o que pode não ser economicamente viável (LASCANO e CÁRDENAS, 2010).

Desta forma, de acordo com Nascimento *et al.* (2016), para que se possa reduzir o impacto ambiental causado pela produção animal, é necessário conhecer os fatores que determinam a eficiência da fermentação entérica e a emissão de gases do efeito estufa. Assim, além de reduzir o impacto ambiental da pecuária, será possível aumentar a produtividade e a eficiência econômica. Visto que, um dos desafios atuais do desenvolvimento econômico brasileiro é manter o crescimento da agropecuária e, ao mesmo tempo, diminuir os impactos desta atividade sobre o meio ambiente, visto que, se utilizam recursos naturais em abundância e que, portanto, os impactos ambientais gerados pelo setor agropecuário são relevantes (SAMBUICH, *et al.* 2012).

## 4. METODOLOGIA

### 4.1 REFERENCIAL TEÓRICO

A análise de fronteira estocástica é uma abordagem analítica que utiliza técnicas econométricas paramétricas. Neste modelo, incorpora-se a ineficiência técnica, o controle dos produtores e os choques aleatórios como meios de interferência na quantidade produzida. Koopmans (1951), Debreu (1951), Shephard (1953) deram início a análise de fronteira estocástica. Farrel (1957) realizou o primeiro trabalho empírico, estimando uma função de produção para fronteira. Além destes, Aigner, Lovell e Schmidt (1977), seguidos das obras de Battese e Corra (1977) aperfeiçoaram os estudos sobre o tema e, no contexto de fronteira de produção, definiram o termo de erro de forma estruturalmente composta. Cita-se também os estudos realizados por, Schmidt e Lovell (1979), Greene (1980), Schmidt e Sickles (1984), Cornwell, Schmidt e Sickles (1990), Kumbhakar (1990), Battese e Coelli (1992), Kumbhakar e Lovell (2000) que contribuíram para o desenvolvimento das técnicas de estimação e análise da fronteira estocástica.

Sendo assim, segundo Farrel (1957), a eficiência econômica decorre da eficiência técnica e eficiência alocativa. A primeira ocorre quando a firma obtém o máximo de produto em relação a um conjunto de insumos, já a segunda se refere à habilidade que a firma tem de usar insumos em proporções ótimas dadas o preço e tecnologia. A eficiência também pode ser definida como a comparação entre os valores observados e os valores ótimos dos insumos, produtos, receitas, lucros e custos para se obter a maior produção possível com o menor custo.

Além dessas definições de eficiência há outras duas que foram definidas por Farrell (1957). Trata-se dos conceitos de mensuração insumo-orientados e produto-orientados. O insumo-orientado se dá com a redução dos insumos mantendo a produção constante. Já o produto-orientado ocorre quando há um aumento na produção mantendo os insumos constantes. O termo fronteira significa que nenhuma observação pode ultrapassar os limites das possibilidades de produção definidos pela função de produção. O conceito mais geral de fronteira envolve um vetor de insumo  $X$  e uma produção associada  $Y$ . Segundo Battese *et al.* (1998), a fronteira de produção representa o máximo de produto que se pode produzir em relação a cada nível de insumo. Assim, uma firma opera na fronteira quando há eficiência técnica máxima.

Segundo o modelo desenvolvido por Kumbhakar e Lovell (2000), os dados referem-se à quantidade de  $N$  insumos utilizados para produzir um produto de cada unidade produtiva, ou seja, o tipo de alimentação empregada e tecnologias. As estimativas de eficiência técnica e

ambiental serão dadas separadamente. A eficiência técnica será estimada de modo convencional, em que sua medida é obtida através do produto-orientado.

Assim, tem-se que o modelo de fronteira de produção possui a estrutura apresentada na eq. (1) (KUMBHAKAR e LOVELL, 2000).

$$y_i = f(x_i; \beta). TE_i \quad (1)$$

Em que  $y_i$  é o produto da unidade de produção  $i$ , em que  $i = 1, 2, \dots, n$ ,  $x_i$  é o vetor de  $N$  insumos,  $f(x_i; \beta)$  é uma fronteira de produção e  $\beta$  é um vetor de parâmetros desconhecidos a ser estimado.  $TE_i$  expressa a eficiência técnica do produto-orientado de cada produtor e é representada pela eq. (2).

$$TE_i = \frac{y_i}{f(x_i; \beta)} \quad (2)$$

A eq. (2) é a razão entre produto observado e o produto máximo produzido. Assim,  $y_i$  alcançará seu valor máximo de  $f(x_i; \beta)$  se  $TE_i = 1$ . Os déficits apresentados em  $y_i$  observado da produção máxima  $f(x_i; \beta)$  é denominado de ineficiência técnica. No entanto, as especificações acima desconsideram a presença de choques que estão fora do controle do produtor. Os modelos de fronteira são divididos em duas partes, uma determinística representada por  $f(x_i; \beta)$  e outra estocástica que incorpora os choques aleatórios sendo necessário a modificação da estrutura do modelo que passa a ser representado pela eq. (3).

$$y_i = f(x_i; \beta). \exp\{v_i\}. TE_i \quad (3)$$

Na qual  $[f(x_i; \beta). \exp\{v_i\}]$  representa uma fronteira de produção estocástica. A variável  $\exp\{v_i\}$  capta os efeitos dos choques que podem ser devido a variação do trabalho, desempenho do maquinário, fenômenos climáticos, entre outros. Sendo assim, caso a fronteira de produção seja estocástica, tem-se a relação descrita pela eq. (4).

$$TE_i = \frac{y_i}{f(x_i; \beta). \exp\{v_i\}} \quad (4)$$

A eq. (4) é a razão entre o produto observado e a produção máxima dado os choques aleatórios  $\exp\{v_i\}$ . A variável  $y_i$  atinge valor máximo quando  $TE_i = 1$ . Sendo assim,  $f(x_i; \beta)$  representa uma fronteira de produção estocástica. Como demonstrado por Reinhard, Lovell e Thijssen (1999), a fronteira de produção estocástica geral pode ser representada pela eq. (5).

$$y_i = F(x_{it}, Z_{it}, \beta) \cdot \exp\{v_i - u_i\} \quad (5)$$

Em que,  $y_i$  é o nível de produção,  $x_{it}$  é um vetor de insumos (com  $x_{it1}$  = trabalho,  $x_{it2}$  = capital,  $x_{it3}$  = alimentação,  $x_{it4}$  = insumos variáveis). A variável  $Z_{it}$  representa o insumo que prejudica o meio ambiente (excesso de metano). Diferentemente de alguns modelos, que inserem a variável que prejudica o meio ambiente como um produto indesejável, o modelo utilizado neste trabalho, o estabelece como um insumo convencional. O vetor de parâmetros que será estimado é representado por  $\beta$ . O termo de erro possui dois componentes  $v_i$  e  $u_i$ . O termo  $v_i$  é simétrico e sua distribuição ocorre independente de  $u_i$ . Sendo assim, caso  $u_i \geq 0$  o termo de erro  $\varepsilon_i = v_i - u_i$  será assimétrico.

Deste modo, a medida de eficiência técnica estocástica (TE) para a produção-orientada é expressa pela eq. (6).

$$TE = \frac{y_{it}}{[F(X_{it}, Z_{it}; \beta) \cdot \exp\{V_{it}\}]} = \{\exp -U_i\} \quad (6)$$

A eq. (6) considera que,  $U_i \geq 0$ ,  $0 \leq \exp\{-U_i\} \leq 1$ . A ineficiência técnica é representada pela diferença dos termos de erro ( $V_{it} - U_i$ ).

A eficiência ambiental é uma medida de insumo-orientado, concentrando somente em uma variável de insumo. Para se obter uma medida de eficiência ambiental estocástica, os autores transformaram a equação (5) em formato translog. Desse modo, a fronteira de produção estocástica em formato translog pode ser representada pela eq. (7).

$$\ln Y_i = \beta_0 + \sum_j \beta_j \ln X_{ij} + \beta_z \ln Z_{it} + \frac{1}{2} \sum_j \sum_k \beta_{jk} \ln X_{ij} \ln X_{ik} + \sum_j \beta_{jz} \ln X_{ij} \ln Z_i + \frac{1}{2} \beta_{zz} (\ln Z_i)^2 + V_i - U_i \quad (7)$$

A eficiência técnica é obtida quando  $U_i = 0$ , já a eficiência ambiental é atingida quando se substitui  $Z_{it}$  por  $Z_{it}^F$  e definindo  $U_i = 0$  na eq. (7) (REINHARD, LOVELL e THIJSEN, 1999).



$$\ln Y_{it} = \beta_0 + \sum_j \beta_j \ln X_{itj} + \beta_z \ln Z_{it}^F + \frac{1}{2} \sum_j \sum_k \beta_{jk} \ln X_{itj} \ln X_{itk} + \sum_j \beta_{jz} \ln X_{itj} Z_{it}^F + \frac{1}{2} \beta_{zz} (\ln Z_{it}^F)^2 + V_{it} \quad (8)$$

A mensuração da forma logarítmica da medida de eficiência ambiental, representado por  $\ln EE_{it} = \ln Z_{it}^F - \ln Z_{it}$ , pode ser representada ao igualar as equações (7) e (8). De acordo com Reinhard, Lovell e Thijssen (1999), ela poderá ser representada da seguinte maneira,

$$\frac{1}{2} \beta_{zz} [(\ln Z_{it}^F)^2 - (\ln Z_{it})^2] + \sum_j \beta_{jz} \ln X_{itj} [\ln Z_{it}^F - \ln Z_{it}] + \beta_z [\ln Z_{it}^F - \ln Z_{it}] + U_i = 0 \quad (9)$$

Reescrevendo a equação (9) e isolando  $\ln EE_i = \ln Z_{it}^F - \ln Z_{it}$ , a eficiência ambiental é estimada usando “+√ formula” na eq. (10) (REINHARD, LOVELL e THIJSSSEN, 1999).

$$\ln EE_i = [-(\beta_z + \sum_j \beta_{jz} \ln X_{ij} + \beta_{zz} \ln Z_i) \pm \{(\beta_z + \sum_j \beta_{jz} \ln X_{ij} + \beta_{zz} \ln Z_i)^2 - 2\beta_{zz} U_i\}^{0,5}] / \beta_{zz} \quad (10)$$

Reinhard, Lovell e Thijssen (1999) explicam que isto ocorre porque uma fazenda tecnicamente eficiente é também ambientalmente eficiente, considerando  $U_t = 0 \Rightarrow \ln EE_{it} = 0$ , porém apenas se “+√ formula” for utilizada.

Portanto, a fronteira de eficiência técnica e ambiental pode ser estimada tanto por modelos determinísticos quanto estocásticos, porém a segunda opção pode vir a produzir estimativas mais precisas.

## 4.2 MODELO ANALÍTICO

### 4.2.1 Base de Dados

Os dados utilizados nesta pesquisa se referem a produtores de leite do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, participantes do projeto Educampo. Este projeto teve início em 1977 no estado de Minas Gerais e é incentivado pelo Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas

Empresas (SEBRAE). Seu objetivo é prestar assistência gerencial e tecnológica para produtores rurais do estado, com o intuito de auxiliar o produtor na administração da sua propriedade. Assim, acredita-se que os produtores do estado venham a obter melhores resultados dos indicadores técnicos e econômicos.

Foi disponibilizado uma base de dados com informações econômicas e técnicas das 178 propriedades do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba pertencente ao projeto, no ano de 2016. A base de dados do Educampo foi escolhida por oferecer informações detalhadas sobre as propriedades de leite de Minas Gerais e por conter dados de períodos recentes. A amostra contém informações econômicas das fazendas, custos dos insumos, recursos disponíveis para a produção e as tecnologias utilizadas. Desta forma, é possível analisar a eficiência técnica e a ambiental.

O modelo estimado, tem como variável dependente a quantidade, em litros, de leite produzido e como insumos convencionais, utilizou-se a área da propriedade, medida em hectare, despesa com trabalho, despesa com alimentação e estoque de capital. Em relação ao insumo ambiental indesejável, foi utilizado neste trabalho, a variável emissão de metano, diferente dos autores citado, que utilizaram excedente de nitrogênio para mensurar a eficiência ambiental.

Uma característica da amostra é a heterogeneidade do tamanho das propriedades analisadas. Assim, como fizeram Reinhard, Lovell e Thijssen (1999) e Dayanada (2016), todas as variáveis utilizadas neste estudo foram normalizadas por suas respectivas médias.

Para estimar o modelo proposto nesta pesquisa, foi utilizado o *software frontier*, versão 4.1, desenvolvido por Coelli. Este *software*, através das estimativas de máxima verossimilhança, usa a parametrização sugerida por Battese e Corra (1977) e Battese e Coelli (1995), em que  $\sigma_v^2$  e  $\sigma_u^2$ , são substituídos por  $\sigma^2 = \sigma_v^2 + \sigma_u^2$  e  $\gamma = \frac{\sigma_u^2}{(\sigma_v^2 + \sigma_u^2)}$ , respectivamente (ARCOVERDE, SOUSA e TANNURI-PIANTO 2009).

#### 4.2.2 Descrição das Variáveis

- Produto ( $y_i$ ): a variável produto refere-se à quantidade anual de leite produzido medida em litros.
- Área ( $area_i$ ): se refere ao tamanho da propriedade medida em hectares.

- Trabalho ( $trab_i$ ): esta variável representa o custo com mão de obra dispendido na produção. Seu valor foi obtido pela soma da despesa com mão de obra familiar e contratada.
- Alimentação ( $alimen_i$ ): o valor desta variável foi obtido através da soma da despesa com concentrado e despesa com volumosos.
- Capital ( $cap_i$ ): para se obter a estimativa do capital utilizado na produção, foi realizado o somatório do valor do estoque de benfeitorias, estoque de máquinas e estoque de animais.
- Emissão de metano ( $z_i$ ): a estimativa da emissão de metano foi realizada com base em dados da fermentação entérica. A metodologia utilizada neste trabalho é a proposta pelo IPCC. As estimativas dos valores de referência do IPCC são para a América Latina. Assim, para se obter as estimativas nacionais, foram utilizadas as informações dos relatórios do Ministério de Ciência, Tecnologia e Informação (MCTI).

Assim, a quantidade de metano emitido por cada propriedade é demonstrada pela eq. (11) (MCTI, 2010).

$$Z_i = \frac{EF_i \times \text{total de vacas}}{10^6} \quad (11)$$

Em que  $Z_i$  é a quantidade de metano emitido por cada fazenda, medido em  $GgCO_2eq$  e  $EF_i$  é o fator de emissão.

Deste modo, para se calcular os fatores de emissão da fermentação entérica, foi utilizado a método “Tier 2”. O fator de emissão ( $EF_i$ ) é representado pela eq. (12) (IPCC, 2006; BRASIL, 2010).

$$EF_i = \frac{GE_i \times Y_m \times 365}{55,65 Mj/KgCH_4} \quad (kg/cabeça/ano) \quad (12)$$

Em que  $GE_i$  representa a ingestão de energia bruta e  $Y_m$  refere-se a uma taxa de conversão do metano, de acordo como IPCC (2006), esta taxa é de 0,06.

A ingestão de energia bruta de cada animal ( $GE_i$ ) é obtida de acordo com a eq. (13) (IPCC, 2006; BRASIL, 2010).

$$GE_i = \left[ \frac{(NE_m + NE_f + NE_l + NE_d + NE_p)}{RND} + \frac{NE_g}{RND_g} \right] \times \frac{100}{DE} \quad (13)$$

Em que,  $NE_m$  é a energia líquida necessária para a manutenção,  $NE_f$  é a energia líquida necessária para a alimentação,  $NE_l$  é a energia líquida necessária para a lactação,  $NE_d$  é a energia líquida necessária para o trabalho,  $NE_p$  é a energia líquida necessária para a gestação,  $NE_g$  é a energia líquida necessária para o crescimento, todas medidas em (MJ/cabeça/dia),  $RND$  é a razão de energia líquida utilizada para a manutenção da lactação, gestação e trabalho. Já  $RND_g$  é a razão entre a energia líquida consumida para o crescimento e a energia digerível e DE representa a digestibilidade (%).

O cálculo da energia líquida necessária para manutenção é obtido a partir da eq. (14) (IPCC, 2006; MCTI, 2010).

$$NE_m = 0,335x(w)^{0,75}(\text{MJ/cabeça/dia}) \quad (14)$$

Em que,  $w$  representa o peso do animal.

Já a energia líquida requerida para alimentação ( $NE_f$ ) é representada pela eq. (15) (IPCC, 2006; MCTI, 2010).

$$NE_f = 0,17xNE_m \text{ (MJ/cabeça/dia)} \quad (15)$$

Na eq. (14),  $NE_f$  é uma parcela de  $NE_m$ . Além disso, tanto a energia líquida para a manutenção quanto a requerida para a alimentação são específicas para o gado leiteiro.

Para o cálculo da energia necessária para a lactação ( $NE_l$ ) utiliza-se a eq. (16) e ela é realizada considerando apenas as fêmeas (IPCC, 2006; MCTI, 2010).

$$NE_l = MP \times (1,47 + 0,40 \times MF) \text{ (MJ/cabeça/dia)} \quad (16)$$

Em que,  $MP$  é a produção de leite (kg/cabeça/dia) e  $MF$  é o conteúdo de gordura do leite (%). O  $MF$  é disponibilizado pela base de dados do Educampo para cada fazenda.

A energia líquida utilizada na gestação é obtida pela eq. (17) (IPCC, 2006; MCTI, 2010).

$$NE_p = 0,075xNE_m \times \frac{PR}{100} \quad (17)$$

Na eq. (16), PR representa a taxa de prenhez (%).

A energia líquida empregada em trabalho é obtida pela equação  $NE_d = 0,10(NE_m \times H)$  (MJ/cabeça/dia). Em que H representa o número de horas trabalhadas por dia. No Brasil, o valor de H é calculado em zero.

A energia líquida necessária para o crescimento, é obtida de acordo com a eq. (18) (IPCC, 2006; MCTI, 2010).

$$NE_g = 4,18x[(0,035x(w)^{0,75}x(WG)^{1,119}) + WG] \quad (18)$$

WG representa o ganho de peso do animal (kg/cabeça/dia).

Por fim, de acordo com IPCC (1996) e MCTI (2010), para obter os valores de RND e  $RND_g$  é necessário utilizar as eq. (19) e (20).

$$RND = 0,298 + (0,00335 \times DE) \quad (19)$$

$$RND_g = -0,036 + (0,00535 \times DE) \quad (20)$$

Esta metodologia foi escolhida devido a disponibilidade de dados disponibilizados pelo IPCC (2006) e por MCTI (2010), já que a base de dados do Educampo não contém todas as informações necessárias para o cálculo da emissão de metano pela pecuária. De tal modo que, para se estimar a emissão de metano para o Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, utilizou-se informações do rebanho leiteiro da região sudeste. De acordo com informações do MCTI (2016), na região sudeste predomina-se a presença de raças mestiças (gir + hol) e o peso médio das vacas leiteiras é de 440 kg. A taxa de digestibilidade é de 57% e a taxa de prenhez de 60%.

A média do fator de emissão de metano por fermentação entérica encontrado pelo IPCC (2006) para a América Latina foi de 63 (kg/cabeça/ano). Neste trabalho, a média do fator de emissão de metano mensurado foi de 81,49 (kg/cabeça/ano). A média obtida nesta pesquisa é superior ao do IPCC (2006), e este fato pode ser explicado pelas diferenças nas taxas de gordura do leite produzido nas fazendas estudadas e o que é indicado pelo IPCC (2006). A Tabela 12 no Apêndice A apresenta a média obtida em cada equação.

#### 4.2.3 - Procedimentos de Estimação

Segundo Reinhard, Lovell e Thijssen (1999), a derivação da equação, considera o insumo ambiental como um insumo convencional. Foi utilizado nas estimações o método de máxima verossimilhança, proposto por Aigner, Lovell e Schmidt (1977). Este método permite separar o termo de erro em dois componentes com mais facilidade se comparado com o método de mínimos quadrados ordinários.

Além disso, optou-se por estimar uma função de produção translog. Funções com este formato são interpretadas como uma aproximação de segunda ordem de uma outra função. Desta forma, a elasticidade de produção não é mais fixada na unidade, mas sim na variável. Outra vantagem da função translog é o fato dela apresentar os efeitos das variáveis combinadas em relação as suas elasticidades diretas e cruzadas (HISNANICK e KYMN, 2001).

Desta forma, para o cálculo da eficiência técnica este trabalho utiliza uma função translog expressa pela eq. (21).

$$\begin{aligned}
 \ln y_i = & \beta_0 + \beta_1 \ln area_i + \beta_2 \ln trab_i + \beta_3 \ln alimen_i + \beta_4 \ln cap_i + \beta_5 \ln z_i \\
 & + \frac{1}{2} [\beta_6 (\ln area_i)^2 + \beta_7 (\ln area_i \ln trab_i) + \beta_8 (area_i \ln alimen_i) \\
 & + \beta_9 (\ln area_i \ln cap_i) + \beta_{10} (\ln area_i \ln z_i) + (\beta_{11} (\ln trab_i)^2 \\
 & + \beta_{12} (\ln trab_i \ln alimen_i) + \beta_{13} (\ln trab_i \ln cap_i) \\
 & + \beta_{14} (\ln trab_i \ln z_i) + \beta_{15} (\ln alimen_i)^2 + \beta_{16} (\ln alimen_i \ln cap_i) \\
 & + \beta_{17} (\ln alimen_i \ln z_i) + \beta_{18} (\ln cap_i)^2 + \beta_{19} (\ln cap_i \ln z_i) \\
 & + \beta_{20} (\ln z_i)^2
 \end{aligned} \tag{21}$$

Após estimar os parâmetros do modelo, são calculados os níveis de eficiência técnica de cada uma das fazendas analisadas. Os valores de eficiência, variam entre 0 e 1 e quanto mais próximo a 1 mais eficiente é a produção. Além disso, também é calculado os níveis de eficiência ambiental das fazendas. Para este cálculo, são utilizados o termo de erro e os parâmetros relacionados ao insumo de emissão de metano, conforme descrito na eq. 10.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção apresentam-se as características dos produtores, as estatísticas descritivas das variáveis, os resultados obtidos com a estimação da função de produção, os testes realizados e os índices de eficiência técnica e ambiental.

A Tabela 5 apresenta as estatísticas descritivas das variáveis utilizadas no modelo. Ao observar a variável produção de leite ( $y_i$ ), verifica-se que a quantidade média produzida pelas fazendas analisadas foi de 436 mil litros por ano. O valor médio dispendido com a mão-de-obra é de R\$ 69 mil por ano e o valor médio do estoque de capital foi de R\$ 762 mil no mesmo ano.

A despesa média com alimentação do rebanho em 2016 foi de R\$ 318 mil. Ao analisar a Tabela 5, percebe-se que o custo médio com este item é superior as despesas com mão-de-obra. Este resultado está em conformidade com o que foi exposto pelo *International Farm Comparison Network* (IFCN, 2014), de que o valor dispendido com a alimentação do animal é um dos itens que mais elevava os custos de produção. Assim, quanto maior a qualidade do alimento oferecido ao rebanho mais custoso será a produção.

A emissão de metano média foi de 0,01 GgCO<sub>2</sub>eq. De acordo com Cardoso (2012), a alimentação estaria relacionada com o aumento da produtividade e com a emissão de CH<sub>4</sub>, pois o uso de concentrados geralmente aumenta a emissão de CH<sub>4</sub> por animal, como também gera aumentos da produtividade.

Tabela 5 - Estatísticas descritivas das variáveis utilizadas.

Variável	Unidade de medida	Observação	Média	Desv. Padrão	Mínimo	Máximo
$y_i$	Litros	178	436.742	426,10	550.72	4.144.363
$area_i$	Hectare	178	69,86	62,00	6,43	526,92
$trab_i$	R\$	178	70.721	49.846	8.219,61	365.421,84
$cap_i$	R\$	178	762.418	567.257	145.734,7	4.176.981
$alimen_i$	R\$	178	318.366	339.251	23.412,09	3.329.863
$z_i$	GgCO <sub>2</sub> eq	178	0,01	0,00	0,00	0,05

Fonte: Resultados da pesquisa.

Para obter as estimativas de eficiência técnica e ambiental, foram estimados dois modelos, um no formato Cobb-Douglas e outro no formato Translog, ambos incluem a variável emissão de metano como um insumo comum. Foi feito o teste razão de verossimilhança e os

resultados apontam o modelo translog como a melhor opção. Assim, neste trabalho serão expostos os resultados obtidos pela função de produção translog, que foi estimado com uma distribuição normal truncada<sup>13</sup>.

Para a escolha do modelo, foram realizados os testes *Akaike* (*Akaike Information Criterion* - AIC) e *Bayesiano* (*Bayesian Information Criterion* - BIC). A Tabela 6 apresenta os resultados dos testes. Como pode-se observar, ambos apontaram a função translog como melhor modelo.

Tabela 6 - AIC e BIC para função Cobb-Douglas e Translog.

Modelo	observações	ll(model)	df	AIC	BIC
Cobb-Douglas	178	118,56	8	-221,13	-195,68
Translog	178	132,88	23	-219,76	-146,58

Fonte: Resultados da pesquisa.

Salienta-se que todas as variáveis foram normalizadas por seus valores médios. A Tabela 7 apresenta os valores dos parâmetros estimados para a função translog.

Tabela 7 – Resultados do modelo de fronteira estocástica para a função de produção translog.

Variável	Coeficiente	Erro padrão	P> z
$\ln area_i$	0,020	0,046	0,665
$\ln trab_i$	0,033	0,064	0,604
$\ln alimen_i$	0,505	0,054	0,000
$\ln cap_i$	0,176	0,080	0,029
$\ln z_i$	0,322	0,114	0,005
$\ln(area_i)^2$	-0,069	0,052	0,188
$\ln area_i \times \ln trab_i$	0,173	0,136	0,203
$\ln area_i \times \ln alimen_i$	-0,074	0,140	0,595
$\ln area_i \times \ln cap_i$	-0,163	0,166	0,328

<sup>13</sup> Os resultados da regressão em formato Cobb-Douglas estão expostos no apêndice.



$\ln area_i \times \ln z_i$	0,354	0,277	0,202
$\ln(trab_i)^2$	-0,413	0,207	0,046
$\ln trab_i \times \ln alimen_i$	0,303	0,256	0,236
$\ln trab_i \times \ln cap_i$	0,054	0,322	0,865
$\ln trab_i \times \ln z_i$	0,509	0,309	0,100
$\ln(alimen_i)^2$	0,164	0,124	0,185
$\ln alimen_i \times \ln cap_i$	0,019	0,296	0,949
$\ln alimen_i \times \ln z_i$	-0,683	0,347	0,049
$\ln(cap_i)^2$	-0,137	0,099	0,166
$\ln cap_i \times \ln z_i$	0,290	0,332	0,930
$\ln(z_i)^2$	0,229	0,280	0,413
_cons	0,235	0,031	0,000
<hr/>			
sigma_v	0,072	0,014	
Sigma_u	0,151	0,024	
sigma <sup>2</sup>	0,028	0,005	
Lambda	2,076	0,036	

Fonte: Resultados da pesquisa.

Realizou-se um teste de hipótese para verificar se o modelo estimado não possui componente de ineficiência técnica. A hipótese nula do teste é  $H_0: \delta_u^2 = 0$  contra a hipótese alternativa  $H_1: \delta_u^2 > 0$ . Deste modo, se a hipótese nula for não rejeitada, o modelo de fronteira estocástica estimado se reduz a um modelo de mínimos quadrados com erros normais. O teste possui distribuição qui-quadrado e foi realizado no nível de 5% de significância. O valor obtido foi de  $LR = 4,15$ , este valor excede o valor crítico de 2,71 e a hipótese nula de que não há ineficiência técnica no sistema de produção leiteira do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba é rejeitada.

Como já mencionado anteriormente, o resíduo do modelo, que se refere a distância entre cada produtor e a fronteira estimada é dividido em dois componentes, um em relação às causas aleatórias e o outro devido a ineficiência da unidade produtiva. Desta maneira, o efeito da

ineficiência é obtido pelo efeito gama ( $\gamma$ )<sup>14</sup>, e o valor obtido foi igual a 0,811. Este resultado indica que cerca de 81% da variação no termo de erro composto é devido ao componente de erro.

Além dos testes estatísticos de seleção, foi observado a coerência dos sinais dos coeficientes com a teoria econômica e o nível de significância das variáveis de primeira ordem. Os sinais das variáveis estão em conformidade com a literatura acerca do tema e com exceção da variável despesa com mão de obra e a área da propriedade, as demais variáveis de primeira ordem foram estatisticamente significativas. A função do modelo é apresentada em termos de logaritmo. Desta forma, os coeficientes das variáveis obtidos podem ser interpretados como as elasticidades parciais da produção em relação aos insumos utilizados (GUJARATI, 2006).

Das variáveis utilizadas no modelo, observa-se que a despesa com alimentação do rebanho é o fator que mais contribui com a elasticidade total da produção. Deste modo, mantendo os demais insumos constantes, pode-se afirmar que, um aumento de 10% dessa variável gera, um aumento médio da produção de leite em 5,0%. As variáveis área da propriedade e despesa com mão de obra impactam muito pouco no aumento da produção. Um acréscimo de 10% na área e despesas com trabalho gera, respectivamente, um aumento da produção de 0,2% e 0,3%. Um aumento de 10% no capital, gera um retorno de 1,7% na produção de leite.

Os efeitos ambientais são mais difíceis de se quantificar. No entanto, um insumo cujo uso causa um efeito ambiental negativo, pode ser quantificado e utilizado para analisar o desempenho técnico e ambiental das fazendas estudadas. Neste sentido, em relação a emissão de metano, nota-se que, um aumento de 10% nesta variável gera um acréscimo de 2,46% na produção.

Além disso, foram estimados os índices de eficiência técnica de cada unidade produtora da amostra. A Tabela 8 apresenta a estatística descritiva do nível de eficiência técnico obtido pela estimação.

Tabela 8 - Estatística descritiva da eficiência técnica das fazendas analisadas.

Variável	Observação	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Te	178	0,890	0,062	0,681	0,977

Fonte: Resultados da pesquisa.

<sup>14</sup> O parâmetro  $\gamma$  deve variar entre 0 e 1. Ver: Battese e Coelli (1992).

Os resultados mostram que a eficiência técnica média para as 178 fazendas analisadas foi de 0,89. A propriedade menos eficiente possui eficiência de 0,68. Assim, na Tabela 9 observa-se que parcela expressiva das propriedades analisadas possuem nível de eficiência técnica superior à média e cerca de 10,11% das fazendas operam nos níveis mais baixos de eficiência e 10,67% das fazendas possuem os maiores índices de eficiência técnica.

Tabela 9 - Distribuição das fazendas por eficiência técnica.

Eficiência Técnica	
0,68 - 0,80	10,11%
0,80 – 0,90	34,26%
0,90 – 0,95	44,94%
0,95 – 1,00	10,67%

Fonte: Resultados da pesquisa.

De acordo com Reinhard, Lovell e Thijssen (1999), o nível elevado da eficiência técnica encontrada indica que uma parcela pequena da produção comercializável é perdida devido ao desperdício dos recursos. O alto índice de eficiência média encontrado neste estudo, pode ser explicado pelo fato das fazendas analisadas serem participantes do projeto Educampo. Desta forma, elas recebem assistência técnica periódica, com o intuito de ocasionar melhorias técnicas e econômicas na fazenda.

Como mencionado anteriormente, a eficiência ambiental foi mensurada com base na equação (10), ou seja, ela se dá através das estimativas dos coeficientes de interação entre a variável ambiental e os demais insumos. Assim, os resultados obtidos podem ser observados na Tabela 10. A luz do método utilizado, a média da eficiência ambiental das 178 unidades produtivas avaliadas foi de 0,73.

Tabela 10 - Estatística descritiva da eficiência ambiental das fazendas analisadas.

Variável	Observação	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Te	178	0,733	0,148	0,273	0,957

Fonte: Resultados da pesquisa.

Ressalta-se que a eficiência ambiental apresentou alta dispersão entre as unidades produtivas avaliadas. Ao observar a Tabela 11, observa-se que cerca de 7,86% das propriedades possuem índice de eficiência ambiental maior que 90%. Enquanto a menos eficiente tem uma pontuação mínima de 0,27.

Tabela 11 - Distribuição das fazendas por eficiência ambiental.

Eficiência Ambiental	Distribuição Percentual
0,27 – 0,50	8,98%
0,50 – 0,70	24,15%
0,70 – 0,80	29,21%
0,80 – 0,90	29,77%
0,90 – 1,00	7,86

Fonte: Resultados da pesquisa.

Primavesi *et al.* (2004) destaca que para reduzir a emissão de metano por quilograma de leite e, por conseguinte, melhorar o desempenho da eficiência ambiental, é necessário melhorar a dieta do rebanho. Para tal, é preciso fornecer ao animal alimentos com maior índice de energia digerível, com maior conteúdo de proteína e menos fibrosa. Além disso, é preciso investir na melhoria das pastagens, na suplementação alimentar fornecida ao rebanho e melhorar o manejo da produção.

Foi realizado também, um teste de correlação entre a eficiência ambiental e a eficiência técnica das fazendas analisadas. Assim, verificou-se através da correlação de Spearman que há uma correlação positiva entre as duas eficiências de 0,812 que é significativa a 5%. De acordo com Dayananda (2016), a correlação positiva entre as duas eficiências pode ser em parte explicada pelos meios de se reduzir as emissões de GEE. Conforme já mencionado, parcela expressiva das emissões de metano liberado pelo rebanho bovino leiteiro de Minas Gerais é devido ao processo de fermentação entérica. Desta forma, a redução no uso de ração para um determinado rendimento de leite aumenta a eficiência técnica da fazenda. Da mesma forma que, a redução de insumos emissores de metano também reduz a emissão desse gás e, por conseguinte, melhora a eficiência ambiental da propriedade. Assim, dado que a fermentação entérica é a principal fonte de emissão de gases de efeito estufa, ao melhorar a alimentação do rebanho, melhora-se tanto a eficiência técnica quanto a ambiental, o que resulta na correlação positiva entre as duas eficiências médias.

Assim, essas medidas, além de proporcionar redução da emissão de metano, também gerariam melhorias no desempenho produtivo. A correlação positiva entre a eficiência ambiental e técnica encontrada neste estudo, indica que ambas as eficiências podem ser melhoradas em conjunto. Este resultado está em conformidade com outros trabalhos, como os realizados com Reinhard, Lovell e Thijssen (1999), Tamini e Larue (2009) e Dayananda (2016) que através do índice de correlação de Spearman estimaram a correlação entre a eficiência técnica e ambiental e encontraram, respectivamente, índices de 0,87, 0,71 e 0,41.

Para mais, a estimativa de eficiência técnica encontrada é semelhante ao trabalho de Reinhard, Lovell e Thijssen (1999), que obtiveram média de 89% para as fazendas leiteiras da Holanda. O valor obtido por Dayananda (2016), por sua vez, foi de 82%. A estimativa de eficiência técnica encontrada por Tamini e Laurue (2009) foi inferior aos demais autores, sendo de 42%.

O resultado da eficiência técnica obtido nesta pesquisa também foi superior os demais estudos que analisaram o índice de eficiência técnica para o setor leiteiro em Minas Gerais. Nascimento *et al.* (2012) ao estimar a eficiência técnica das fazendas leiteiras de Minas Gerais encontrou um valor médio de 82,58%. Os autores observaram uma grande assimetria da distribuição do índice de eficiência entre as propriedades. A produção de leite no estado de Minas Gerais, como já mencionado, é caracterizada por muitas diferenças entre as mesorregiões. Desta forma, pode ser que a heterogeneidade das regiões mineiras explique a assimetria encontrada pelos autores.

Campos (2011) estratificou os dados da amostra de acordo com o sistema de produção. Os resultados obtidos demonstram que a eficiência técnica, econômica e ambiental foram, em média, 41,4%, 15,3% e 7,2%, respectivamente, para produtores em sistema extensivo. As fazendas em sistema intensivo obtiveram 60%, 35% e 14,7%. Já no longo prazo, as eficiências técnicas e econômicas demonstram ter melhor desempenho.

De acordo com a análise feita por Lima (2006), a média de eficiência técnica das fazendas leiteiras do TM/AP com maior tecnologia empregada foi de 77%. Já as propriedades com nível de tecnologia intermediário obtiveram uma média de 72%. Por fim, nas fazendas com menor uso de tecnologia a média de eficiência técnica encontrada foi de 76%. Parte dos produtores analisados neste trabalho afirmaram não receber assistência técnica e, disseram que não dispunham de capital para melhorarem o desempenho produtivo.

Em relação a eficiência ambiental encontrada neste estudo, estimada em 73%, foi superior às estimativas encontradas por Reinhard, Lovell e Thijssen (1999) e Dayananda (2016) em que, obtiveram valores de 44% e 30%, respectivamente.<sup>15</sup>

Campos (2011) também encontrou médias inferiores às deste estudo para a eficiência ambiental. As propriedades que trabalham com sistemas extensivos apresentaram uma eficiência ambiental baixa, com cerca de 13,7% com retornos constantes a escala e 15,9% com retornos variáveis. Em contrapartida, as fazendas com sistema intensivo obtiveram média igual a 11,1% com retornos constantes a escala e 23% com retornos variáveis.

Dayananda (2016) afirma que, de acordo com a literatura, quanto maior a produção média de leite do rebanho, menor será a intensidade das emissões de GEE. Assim, vacas altamente produtivas geram uma quantidade menor de metano por unidade de leite produzido. Desta forma, uma das possíveis explicações para a média de eficiência técnica encontrada neste trabalho, é devido à baixa produção média de leite por vaca da região, que é de 436 mil litros por ano.

---

<sup>15</sup> Cabe reiterar que, embora os autores tenham usado o mesmo método proposto neste estudo, utilizaram o problema ambiental da nitrificação do solo e não a fermentação entérica para medir a eficiência ambiental e aplicaram seus modelos para outros países, o que torna os resultados não totalmente comparáveis.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A média da eficiência técnica das fazendas analisadas neste trabalho foi de 0,89. Todas as variáveis analisadas no modelo obtiveram os sinais esperados e com exceção da despesa com mão de obra e área da propriedade, todas as variáveis primárias foram significativas. A variável despesa com alimento é a que provoca o maior impacto na quantidade produzida.

A estimativa da eficiência ambiental encontrada neste trabalho, foi de 0,733. Assim, a média da eficiência ambiental foi menor do que a da eficiência técnica. Além disso, ela apresenta uma variabilidade maior que da eficiência técnica entre as fazendas analisadas, mostrando que as eficiências ambientais das unidades produtoras são heterogêneas.

A correlação entre a eficiência técnica e eficiência ambiental, medida pela correlação de Spearman, foi positiva. Este resultado indicou que propriedades que apresentaram uma maior eficiência técnica, também apresentaram uma maior eficiência ambiental.

No decorrer desta pesquisa, foram encontradas diversas limitações. Dentre elas, a indisponibilidade de dados detalhados referente a alimentação e idade do rebanho. Para melhor avaliar a emissão de gases de efeito estufa por ruminantes seria necessário ter informações sobre a quantidade de alimento ingerido pelos animais e a faixa etária deles. De posse destas informações, também, seria possível calcular os efeitos marginais sobre o índice de eficiência ambiental. Saber o que o animal ingere e a qualidade de sua alimentação afeta a emissão de metano através da fermentação entérica. Apesar das limitações encontradas, foi possível calcular a quantidade de emissão de metano utilizando dados disponibilizados pelo IPCC (2006) e MCTI (2012). Para melhoria dos índices de eficiência técnica e ambiental, é necessário melhorar a alimentação do rebanho, a área de pastagem e a tecnologia utilizada na produção.

Para futuros trabalhos, recomenda - se analisar o tipo e a quantidade de alimentação do rebanho. Além disso, sugere-se analisar a emissão de metano via manejo de dejetos, visto que a decomposição anaeróbica dos dejetos eliminados por bovinos produz quantidades expressivas de metano.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERGONI, L. PELAEZ, V. Da Revolução Verde à agrobiotecnologia: ruptura ou continuidade de paradigmas? **Revista de Economia**. V. 33, n. 1 (ano 31), p. 31-53, jan./jun. 2007. Disponível em: < <http://revistas.ufpr.br/economia/article/view/8546>>. Acesso em: 19 set 2016.

ANGELO, J. PONCHIO, L.A. **A participação da mão-de-obra no custo de produção leiteira nos estados do RS e GO**. Boletim do Leite - CEPEA/ESALQ/USP. ano 10, n. 115, out. 2003.

ARAÚJO, A. P. **Estudo comparativo de diferentes sistemas de instalações para produção de leite tipo B, com ênfase nos índices de conforto térmico e na caracterização econômica**. 2001, 69 f. Dissertação. (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – USP, Pirassununga – SP. 2001.

ARCOVERDE, F.; SOUSA, M.; TANNURI-PIANTO, M. Fronteiras de eficiência estocásticas para as empresas de distribuição elétrica no Brasil: uma análise de dados de painel. **Estudos Econômicos**, São Paulo, v. 39, n. 1, p. 221-247, 2009.

ARRAES, R.A.; MARIANO, F.Z.; SIMONASSI, A.G. Causas do desmatamento no Brasil e seu ordenamento no contexto mundial. **RESR**, v. 50, n. 1, p. 119-140, jan/mar, 2012.

BARBOSA, P.F., BERCHIELLI, T.T.; FRIGHETTO, R.T.; LIMA, M.A.; PEDREIRA, M.S.; PRIMAVESI, O. Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais brasileiras. **Pesq. Agropec. Bras**, Brasília, v.39, p. 277-283, mar. 2004.

BARBOSA, W.F.; SOUSA, E.P.; AMORIM, A.L.; CORONEL, D.A. Eficiência técnica da agropecuária nas microrregiões brasileiras e seus determinantes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 24, n 11, p. 2115-2121, nov, 2013.

BARDHAN, D.; SHARMA, M.L.. Technical efficiency in milk production in underdeveloped production environment of India. **Springer Plus**, vol. 2, n. 1, p. 1–7, 2013.

BARROS, G.S.C; GILIO, L.; SILVA, A.F.; FACHINELLO, A.L.; CASTRO, N.R. O Agronegócio em Minas Gerais: evolução do produto interno bruto entre 2004 e 2015. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 14, nº 1,2 e 3, 2016.

BARUA, M.O.; BROCKETT, P.L.; COOPER, W.W.; DENG, H.; PANKER, B.R.; RUEFLI, T.W.; WHINSTON, A. DEA evaluations of long-and short-run efficiencies of digital vs physical product “dot com” companies. *Socio-Economic Planning Sciences*, v. 38, n. 4, p. 233-253, 2004.

BASTOS, S. Q.A.; GOMES, J.E.. Dinâmica da agricultura no estado de Minas Gerais. Análise estrutural-diferencial para o período 1994-2008. **Revista do Centro de Estudos Rurais – RURIS**, v.5, n. 2. 2011. Disponível em: <<HTTP://www.ifch.unicamp.br/ojs/index.php/ruris/article/viewf/1463/980>>. Acesso em: 18 dez. 2016.



BATTESE, G.E.; COELLI, T.J.; O'DONNELL, C.J.; RAO, D.S.P. An introduction to efficiency and productivity analysis. 2<sup>o</sup> ed. 1998.

BATTESE, G.E.; COELLI, T.J. Frontier production functions, technical efficiency and panel data: with application to Paddy farmers in India. **Journal of Productivity Analysis**, v. 3, p. 153-169. 1992.

BERRE, D.; BLANCARD, S.; BOUSSEMART, J-P.; LELEU, H.; TILLARD, E. Finding the right compromise between productivity and environmental efficiency on high input tropical dairy farms: a case study. **Journal of Environmental Management**, 235-244, 2014.

BITTENCOURT, G.M.; LIMA, J.E. Perfil do desenvolvimento rural dos municípios da mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. **Gestão e Regionalidade**, v. 30, n. 89, mai-ago, 2014.

BRAGA, M. J.; LIMA, J. E.; GOMES, A. P.; NASCIMENTO, A. C.; NASCIMENTO, M.. Eficiência técnica da atividade leiteira em Minas Gerais: uma aplicação de regressão quantílica. **R. Bras. Zootec.**, v. 41, n. 3, p. 783-789, 2012.

BRASIL. Lei 12187, de 15 de setembro de 2010. Institui a política nacional sobre mudança do clima – PNMC e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2009/lei/112187.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/112187.htm)>. Acesso: 12 jun. 2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n<sup>o</sup> 51, de 20 de setembro de 2002. Aprova os regulamentos técnicos de produção, identidade e qualidade do leite tipo A, do leite tipo B, do leite tipo C, do leite pasteurizado e do leite cru refrigerado e o regulamento técnico da coleta de leite cru refrigerado e seu transporte a granel. Disponível em: <<http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/EMATER/DOC/DOC000000000001051.PDF>>. Acesso: 03 fev. 2016.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Instrução Normativa n<sup>o</sup> 51 de 18/09/2002. Disponível em: <<http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/EMATER/DOC/DOC000000000001051.PDF>>. Acesso: 06 abr. 2016.

BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA e INOVAÇÃO - MCTI. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa**- 3<sup>a</sup> edição. 2016. Disponível em: <[http://sirene.mcti.gov.br/documents/1686653/1706227/LIVRO\\_MCTIC\\_EstimativaDeGases\\_Publica%C3%A7%C3%A3o\\_210x297mm\\_FINAL\\_WEB.pdf/61e78a4d-5ebe-49cd-bd16-4ebca30ad6cd](http://sirene.mcti.gov.br/documents/1686653/1706227/LIVRO_MCTIC_EstimativaDeGases_Publica%C3%A7%C3%A3o_210x297mm_FINAL_WEB.pdf/61e78a4d-5ebe-49cd-bd16-4ebca30ad6cd)>. Acesso 05 jan. 2017.

BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA e INOVAÇÃO - MCTI. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa**- 2<sup>a</sup> edição. 2014. Disponível em: <[http://sirene.mcti.gov.br/documents/1686653/1706227/LIVRO\\_MCTIC\\_EstimativaDeGases\\_Publica%C3%A7%C3%A3o\\_210x297mm\\_FINAL\\_WEB.pdf/61e78a4d-5ebe-49cd-bd16-4ebca30ad6cd](http://sirene.mcti.gov.br/documents/1686653/1706227/LIVRO_MCTIC_EstimativaDeGases_Publica%C3%A7%C3%A3o_210x297mm_FINAL_WEB.pdf/61e78a4d-5ebe-49cd-bd16-4ebca30ad6cd)>. Acesso: 10 fev. 2016.

BRASIL - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA TECNOLOGIA E INOVAÇÃO – MCTI. Emissões de metano por fermentação entérica e manejo de dejetos de animais. **Segundo inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa**. 2010. Disponível em: < [http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0235/235580.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0235/235580.pdf)>. Acesso em: 24 ago. 2016.

CAMPOS, S. A. C.. **Eficiência econômica e ambiental da produção leiteira em Minas Gerais**. 2011, 171 f. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG. 2011.

CAMPOS, R. T., MAGALHÃES, K. A. Eficiência técnica e desempenho econômico de produtores de leite no estado do Ceará, Brasil. **Rev. Econ. Sociol. Rural**, v. 44, n 4. oct/dez, 2006.

CARDOSO, A.S. **Avaliação das emissões de gases de efeito estufa em diferentes cenários de intensificação de uso das pastagens no Brasil Central**. 2012, 99 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) Seropédica, 2012.

CARNEIRO, A. V.; GOMES, A. P.; SOBREIRA, D. B.; TRAVASSOS, G. F.. Determinantes da Eficiência Técnica dos Produtores de Leite da Mesorregião da Zona da Mata - MG. **R. de Economia e Agronegócio**, v. 13, n 1,2 e 3, 2016.

CASTANHO, R.B.; SILVEIRA, E.M.; SILVA, L.F. A utilização de geotecnologias aplicadas ao estudo comparativo dos Censos Agropecuários de 1995-6 e 2006: considerações a partir da mesorregião geográfica do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba – MG/Brasil. **Revista GeoPantanal**, Corumbá/MS, n. 15, p. 175-189, jul./dez. 2013.

CARVALHO, L.S.; FERREIRA, F.U.; RODRIGUES, L.B.; Estimativas das emissões de metano e óxido nitroso da produção de leite no território de identidade médio sudoeste da Bahia. XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. João Pessoa, out., 2016. **Anais**.

CARVALHO, R.C.; HOTT, M.C.; OLIVEIRA, A.F. Análise espacial da produção de leite no estado de Minas Gerais em base microrregional. In: Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural (SOBER), 45., 2007, Londrina. **Anais**.

CEPEA. CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. **PIB Agro Minas Gerais**. CEPEA-USP. Disponível em: <<http://www.cepea.esalxq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-de-minas-gerais.aspx>>. Acesso: 22 out. 2016.

CEPEA. CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. **PIB Agro**. CEPEA-USP, 1995/2015. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>>. Acesso: 18 out. 2016.

COELLI, T.; LAUWERS, L.; HUYLENBROECK, G.V. Environmental efficiency measurement and the materials balance condition. **Journal of Productivity Analysis**, v. 28, n.1-2, p. 2-12, 2006.

COMMON, M.; PERRINGS, C. Towards an ecological economics of sustainability. **Ecological Economics**, v. 6, n.1, p. 7-34, 1992.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Leite e Derivados**. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17\\_01\\_10\\_08\\_15\\_53\\_leite\\_de\\_zembro\\_2016.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_01_10_08_15_53_leite_de_zembro_2016.pdf)>. Acesso: 03 fev. 2017.

CNA. CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL. **Pecuária de Leite**. Disponível em: <[http://www.cnabrazil.org.br/sites/default/files/sites/default/files/uploads/14\\_pecuaria\\_deleite.pdf](http://www.cnabrazil.org.br/sites/default/files/sites/default/files/uploads/14_pecuaria_deleite.pdf)>. Acesso: 25 abr. 2017.

CRUTZEN, P.J; ASELMANN, I.; SEILER, W. Methane production by domestic animals, wild ruminants, other herbivorous fauna, and humans. **Tellus**, v. 38B, p. 271-284, jul./set. 1986.

DAYANANDA, C. **Technical and environmental efficiencies of Ontario dairy farming**. 2016, 108 f.. Dissertação (Mestrado em Ciências) – University of Guelph, Ontario, 2016.

EMATER. EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DE MINAS GERAIS. **Programa estadual da cadeia produtiva do leite**. Disponível em: < [http://www.emater.mg.gov.br/portal.cgi?flagweb=site\\_tpl\\_minas\\_leite&id=7530](http://www.emater.mg.gov.br/portal.cgi?flagweb=site_tpl_minas_leite&id=7530)>. Acesso: 13 set. 2016.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistemas de produção**. Disponível em: <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Leite/LeiteSudeste/introducao.html>>. Acesso: 05 set. 2016.

FEAM. FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Estimativas de emissões e remoções de gases de efeito estufa do estado de Minas Gerais – ano base 2014. Belo Horizonte, MG. 2016. Disponível em: <[http://pemc.meioambiente.mg.gov.br/images/Estimativas\\_GEE\\_2005\\_2014\\_MG\\_FEAM\\_v02-1.pdf](http://pemc.meioambiente.mg.gov.br/images/Estimativas_GEE_2005_2014_MG_FEAM_v02-1.pdf)>. Acesso: 25 jan. 2017.

FARREL, M. J. The measurement of productive efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society**, v. 120, n.3, p. 253-290, 1957.

FONTANELI. R.S. Sistemas de produção de leite baseados em pastagens sob plantio direto. In: VILELA, D. *et al.* **O agronegócio do leite e políticas públicas para o seu desenvolvimento sustentável**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2002.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Dairy production and products**. Disponível em: <<http://www.fao.org/agriculture/dairy-gateway/milk-production/en/#.WJeLuVUrLI>>. Acesso: 07 jun. 2016.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Status and prospects for smallholder milk production a global perspective**. Rome, 2010. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/012/i1522e/i1522e.pdf>>. Acesso: 08 jun. 2016.

FERJANI, A. Environmental regulation and productivity: a data envelopment analysis for swiss dairy farms. **Agricultural Economics Review**, v. 2, n. 1. 2011.

FJP. FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Produto interno bruto dos municípios de Minas Gerais** – Informativo CEI. Belo Horizonte, 2011.

GARCÍA-SUÁREZ, G.; PÉREZ-QUESADA, G. Technical efficiency measurement in Uruguayan dairy farms using stochastic production frontiers. In: Agricultural & Applied Economics Association Annual Meeting. **Anais**. Boston, jul/agost., Massachusetts, 2016.

GAZZOLA, R.; WANDER, A. E.; OLIVEIRA, M.P. Eficiência técnica na agricultura brasileira: uma abordagem via fronteira estocástica. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional na Gestão do Conhecimento, **Anais**. Rio de Janeiro, 2010.

GOMES, S. T. Evolução recente e perspectiva da produção de leite no Brasil. Disponível em: <[http://www.ufv.br/DER/docentes/stg/stg\\_artigos](http://www.ufv.br/DER/docentes/stg/stg_artigos)>. Acesso: 16 nov. 2015.

GOMES, S. T. Diagnóstico e perspectivas da produção de leite no Brasil. Disponível em: <[http://www.ufv.br/der/docentes/stg/stg\\_artigos](http://www.ufv.br/der/docentes/stg/stg_artigos)>. Acesso: 17 nov. 2015.

GOURLEY, C.J.P; AARONS, S.R.; POWEL, J.M. Nitrogen use efficiency and manure management practices in contrasting dairy production systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, p. 73-81. 2012.

GUJARATI, D. **Econometria básica**. São Paulo: Campus, 2006. 840 p.

HISNANICK, J.; KYMN, K.O. The CES-translog Productions function, returns to scale and AES. **Bulletin of Economic Research**, vol. 53, p. 207-214. 2001

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2006**. (Rio de Janeiro, RJ). Disponível em: <[http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/51/agro\\_2006.pdf](http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/51/agro_2006.pdf)>. Acesso: 13 ago. 2015.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Pecuária Municipal 2015**. SIDRA (Sistema Brasileiro de Recuperação Automática). Disponível em <http://www.sidra.ibge.gov.br/>. Acesso: 10 nov. 2016.

IEA. INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Queda no rebanho e na produção de leite no estado de São Paulo, 2005 a 2014**. (São Paulo, SP). Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=13692>>. Acesso: 15 jan. 2017.

IFCN. International Farm Comparison Network. World Dairy Map 2014. Kiel: IFCN, 2014. 2014. 1. mapa. Disponível em: <http://www.ifcndairy.org/en/start/index.php>. Acesso: 15 jan. 2017.

IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Agriculture, Forestry and Other Land Use - Emissions from Livestock and Manure Management. v. 4, cap 10. 2006.

IPEADATA. INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Dados macroeconômicos e regionais**. Disponível em: <HTTP://www.ipeadata.gov.br>. Acesso: 11 jan. 2017.

Jiang, N. y Sharp, B. Technical efficiency and technological gap of New Zealand dairy farms: a stochastic metafrontier model. **Journal of Productivity Analysis**, p. 39-49. 2015.

KUMBHAKAR, S. C.; LOVELL, C. A. K. Stochastic frontier analysis. Cambridge University Press, 2000.

LASCANO, C.E.; CÁRDENAS, E. Alternatives for methane emission mitigation in livestock systems. **R. Bras. Zootec.** vol.39, Viçosa. 2010

LIMA, A.L.R. **Eficiência produtiva e econômica da atividade leiteira em Minas Gerais**. 2006, 77 f.. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade Federal de Lavras, 2006.

LEMONS, M. B.; GALINARI, R.; CAMPO, B.; BIASI, E.; SANTOS, F.. Tecnologia, especialização e produtividade: um estudo da pecuária leiteira em Minas Gerais. **RSER**, v. 41, n. 3, 2003.

MAIA, G. B. D. S., PINTO, A. D. R., MARQUES, C. Y. T., ROITMAN, F. B., LYRA, D. Produção leiteira no Brasil. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 37, p. 371-398, 2013. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/bibliotecadigital>. Acesso: 10 mai. 2016.

MACEDO, C.F.; SIPAUBA-TAVARES, L. Eutrofização e qualidade da água na piscicultura: consequências e recomendações. **Boletim Instituto de Pesca**, v.36, n.2, p.149-163, 2010.

MACHADO, F. S.; PEREIRA, L. G. R.; GUIMARAES JUNIOR, R.; LOPES, F. C. F.; CHAVES, A. V.; CAMPOS, M. M.; MORENZ, M. J. F. Emissões de metano na pecuária: conceitos, métodos de avaliação e estratégias de mitigação. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite (Documentos, 147), 92 p., 2012.

MARGULIS, S. Causas do desmatamento da Amazônia brasileira. Banco Mundial, Brasil, 2003.

MARTINS, M.C. Competitividade da cadeia produtiva do leite no Brasil. **Revista de Política Agrícola**, ano VIII, n. 3, 2004.

MARTINS, H.E.P.; SILVA, G.J.C.; ORTEGA, A.C. Transformações recentes da produção agropecuária no cerrado: uma análise da região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. **Ensaios FEE**, Porto Alegre, v. 35, n. 2, p. 555-585, dez., 2014.

MULLER, M. D.; MARTINS, C. E.; BRIGHENTI, A. M.; MORENZ, M. J. F.; ROCHA, W. S. D. da; SOUZA SOBRINHO, F. de; CALSAVARA, L. H. F.; ANDRADE, P. J. M.; MACHADO, A. F.. Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta como alternativa para produção pecuária leiteira sustentável em áreas declivosas. In: MARTINS, P. do C. et. al. **Sustentabilidade Ambiental, Social e Econômica da Cadeia Produtiva de Leite: desafios e perspectivas**. Brasília, DF: Embrapa, p. 343-386., 2015.

NASCIMENTO, C.F.M.; *et al.* Methane emission of cattle fed urochola brizantha hay harvested at different stages. **Journal of Agricultural Science**, v. 8, n. 1, 2016.

NEIVERTH, C., LIBARDI, P., MACHADO, M., SCHNEIDER, F.. Lixiviação de nitrato e amônio em colunas indeformadas de solos de uma pedossequência do estado do Paraná. **Anais do EVINCI - UniBrasil**, 2016. Disponível em: <<http://portaldeperiodicos.unibrasil.com.br/index.php/anaisevinci/article/view/989/965>> Acesso: 20 mar. 2017.

NICHOLSON, W.; SNYDER, C. Microeconomic theory: basic principles and extensions. Ed. 11, EUA, ano 2008.

NIJUKI, E.; BRAVO-URETA, B. E. The economic costs of environmental regulation in U.S. dairy farming: a directional distance function approach. **Oxford Journals**, mar., 2015.

NOGUEIRA, M.A.. **Eficiência técnica na agropecuária das microrregiões brasileiras**. 2005, 120 f. Tese (doutorado em economia). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2005.

PEDREIRA, M.S.; PRIMAVESI, O.; LIMA, M.A. Ruminant methane emission by dairy cattle in southeast Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, 66(6): 742-750, 2009.

PIOT-LEPETIT, I.; VERMERSCH, D.; WEAVER, R. Agriculture's environmental externalities: DEA evidence for French agriculture. **Applied Economics**, v. 29, n.3. p. 331-338, 1997.

POWELL, J.M.; GOURLEY, C.J.P.; ROTZ, C.A.; WEAVER, D.M. Nitrogen use efficiency: a potential performance indicator and policy tool for dairy farms. **Environmental Science and Policy**, v.13, n.3, p. 217-228, 2010.

PRIMAVESI, O.; FRIGHETTO, R.T.S.; PEDREIRA, M.S.; LIMA, M.A.; BERCHIELLI, T.T.; BARBOSA, P.F.. Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais brasileiras. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.39, n.3, p.277-283, mar. 2004.

PRIMAVESI, O.; PEDREIRA, M.; FRIGHETTO, R.; LIMA, M.A.; BERCHIELLI, T.T., OLIVEIRA, S.G., RODRIGUES, A.D.A., BARBOSA, P.F. Manejo alimentar de bovinos leiteiros e sua relação com produção de metano ruminal. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2004. 21 p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Circular Técnica, 39).

REINHARD, S.; LOVELL, C.A.K.; THIJSSSEN, G. Econometric estimation of technical and environmental efficiency: an application to dutch dairy farms. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 81, n. 1, p. 44-60, 1999.

SAMBUICH, R.H.R.; OLIVEIRA, M.A.C.; SILVA, A.P.M.; LUEDEMANN, G.. Sustentabilidade ambiental da agropecuária brasileira: impactos, políticas públicas e desafios. Texto para Discussão 1782, IPEA, Rio de Janeiro, 2012.

SCHUMACHER, G. **Produção de leite no Rio Grande do Sul: a distribuição espacial e a relação de dependência entre os municípios**. 2013, 104 f. Dissertação (mestrado em administração). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2013.

SILVA, H.; RESENDE, A.; ROSA, C.; SIMÕES, R. Dinâmica agropecuária e urbanização: uma análise multivariada para Minas Gerais (1995-2000). In: XXXIII ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA. 2005, Natal, Rio Grande do Norte. **Anais**. Disponível em: <[HTTP://www.anpec.org.br/encontro\\_2005.htm](http://www.anpec.org.br/encontro_2005.htm)>. Acesso: 27 jan. 2017.

SILVA, G. J. C.; SOUZA, E. C.; MARTINS, H. E. DE P. Produção agropecuária em municípios de Minas Gerais (1996-2006): padrões de distribuição, especialização e associação espacial. **RESR**, Piracicaba-SP, v. 50, n. 2, p. 333-350, abr./jun. 2012.

SILVA, R.W.C.; PAULA, B.L. Causa do Aquecimento Global: antropogênica versus natural. **Terra e Didática**, p. 42-49, 2009.

SIQUEIRA, K.B.; CARNEIRO, A.V.; ALMEIDA, M.F.; SOUZA, R.C.S.N.P. O Mercado Lácteo Brasileiro no Contexto Mundial. Brasília, DF: EMBRAPA, 2010.

SOUZA, L.C. **O Agronegócio da pecuária no Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba: relações de poder e políticas públicas de 1990 a 2010**. Dissertação (Mestrado em Ciências Sociais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica - RJ, 2013.

SOUZA, C. Instalações para gado de leite. Área de CRA/DEA/UFV. 2004. Disponível em: < <http://arquivo.ufv.br/dea/ambiagro/arquivos/GadoLeiteOutubro-2004.pdf>>. Acesso: 03 dez. 2016.

STEINFELD, H.; GERBER, P.. Livestock production and the global environment: Consume less or produce better? **Proc Natl Acad Sci**. USA 107:18237–18238. 2010. Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2972985/>>. Acesso: 13 dez. 2015.

TAMINI, L.D.; LARUE, B. Technical and environmental efficiencies and best management practices in agriculture. **MPRA**, n. 18964, dec. 2009. Disponível em:< [https://mpr.aub.uni-muenchen.de/18964/1/IDF\\_juillet\\_2009.pdf](https://mpr.aub.uni-muenchen.de/18964/1/IDF_juillet_2009.pdf)>. Acesso: 04 fev. 2017.

TOMA, L.; MARCH, M.; STOTT, A.W.; ROBERTS, D.J. Environment efficiency of alternative dairy systems: a productive efficiency approach. **American Dairy Science Association**, 2013.

USDA. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Dairy: world markets and trade. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/dairy.pdf>>. Acessado em 13/07/2017.

VARIAN, H.R. **Microeconomia: Princípios Básicos**. Rio de Janeiro: Campus, 2000.

VESCHI, J. L. A.; BARROS, L. S. S.; RAMOS, E. M. Impacto ambiental da pecuária. In: BRITO, L. T. L.; MELO, R. F.; GIONGO, V. (Ed). **Impactos ambientais causados pela agricultura no Semiárido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. Cap. 6, p. 171-187.

VILELA, D.; RESENDE, J.C. Cenário para a produção de leite no Brasil na próxima década. II Seminário dos Centros Mesorregionais de Excelência em Tecnologia do Leite. Maringá, 2014. **Anais**.

VILELA, D.; RESENDE, J.C.; LEITE, J.B.; ALVES, E. A evolução do leite no Brasil em cinco décadas. **Revista de Política Agrícola**, v.26, n°1, 2017.

YÉLOU, C.; LARUE B.; TRAN K.C. Threshold effects in panel data stochastic frontier models of dairy production in Canada. **Economic Modeling**, v. 27, p. 641-647. Canada, 2016.

ZOCCAL, R., CARNEIRO, A. V., JUNQUEIRA, R., ZAMAGNO, M. A Nova Pecuária Leiteira Brasileira. In: III Congresso Brasileiro de Qualidade do Leite. **Anais**. Recife: CCS Gráfica e Editora, 2008, v.1, p. 85-95.



## APÊNDICE A – Resultados adicionais

A Tabela 12, apresenta os resultados das Equações usadas para Calcular o Consumo de Energia Diária.

Tabela 12 - Fatores de emissão de metano por fermentação entérica.

	Vacas
$NE_m$ (MJ/cabeça/ dia)	29,96
$NE_f$ (MJ/cabeça/ dia)	5,09
$NE_l$ (MJ/cabeça/ dia)	38,30
$NE_d$ (MJ/cabeça/ dia)	-
$NE_p$ (MJ/cabeça/ dia)	1,34
$NE_g$ (MJ/cabeça/ dia)	22,98
$EF_i$ (MJ/cabeça/ dia)	81,49

Fonte: Resultados da pesquisa.

A Tabela 13 apresenta a estimação dos Coeficientes dos Parâmetros da Fronteira de Produção Estocástica no Formato de Função Cobb-Douglas.

Tabela 13 – Coeficientes dos parâmetros da fronteira de produção estocástica – Cobb Douglas.

$\ln y$	Coeficiente	Erro padrão	$P >  z $
$\ln area_i$	-0,040	0,019	0,032
$\ln trab_i$	-0,021	0,033	0,525
$\ln alimen_i$	0,539	0,031	0,004
$\ln cap_i$	0,099	0,034	0,000
$\ln z_i$	0,442	0,048	0,000
_cons	0,269	0,027	0,000

Fonte: Resultados da pesquisa.