

ANÁLISE COMPARATIVA DOS EFEITOS DE TRÊS SISTEMAS DE PRODUÇÃO NO DESEMPENHO DE FAZENDAS LEITEIRAS EM MINAS GERAIS, BRASIL

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFECTS OF THREE PRODUCTION SYSTEMS ON THE PERFORMANCE OF DAIRY FARMS IN MINAS GERAIS, BRAZIL

Autor(es) José Luis E. Codezzo¹, Marcelo Dias Paes Ferreira¹, Andre Rozemberg Peixoto Simões² e Lindomar Pegorini Daniel³

Filiação ¹Universidade Federal de Viçosa; ²Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul e ³Universidade do Estado de Mato Grosso.

E-mail jose.codezzo@ufv.br; marcelo.ferreira@ufv.br; andrerpsimoes@uems.br; lindomar.pegorini@unemat.br

Grupo de Trabalho (GT): << GT3. Evolução, estrutura, competitividade e dinâmica das cadeias agroindustriais >>

Resumo

Este estudo investiga o impacto de diferentes sistemas de produção de leite - Semi-Intensivo (SI), Confinado-sem-estrutura (CSE) e Compost Barn (CB) - sobre uma variedade de indicadores de desempenho em 177 fazendas leiteiras em Minas Gerais. Utilizando o método de efeito de tratamento multinível proposto por Cattaneo (2010), os resultados revelam que, em média, para a amostra total, os sistemas CSE e CB demonstram desempenho comparável em termos de produção total e renda bruta anual, ambos superando o sistema SI. Em relação aos lucros anuais, os resultados são similares a aqueles obtidos para a produção total de leite e renda bruta. No entanto, essa relação nos lucros se evidencia apenas em termos percentuais, uma vez que os valores absolutos dos estimadores não demonstraram significância estatística. Ademais, constatou-se que o sistema CB foi superior em termos de produtividade do trabalho e eficiência por área utilizada em comparação com os sistemas SI e Confinado-Sem-CSE. Além disso, observa-se que o sistema CB apresenta resultados médios superiores em relação à qualidade do leite quando comparado ao sistema CSE. Apesar da significância estatística dos resultados em vários casos ser comprometida no nível de quantis, o sistema CB também se destaca como o mais promissor entre os sistemas de produção avaliados. Os resultados desta pesquisa contribuem para uma melhor compreensão dos impactos dos diferentes sistemas de produção de leite e fornece dados importantes para identificar potencialidades no setor leiteiro no Brasil.

Palavras-chave: Avaliação de Impacto Multinível, Produção de Leite, Modernização.

Abstract

This study investigates the impact of different milk production systems - Semi-Intensive (SI), Structureless Confined (SCE), and Compost Barn (CB) - on several performance indicators in 177 dairy farms in Minas Gerais, Brazil. Utilizing the multilevel treatment effect method proposed by Cattaneo (2010), the results reveal that, on average, for the total sample, both CSE and CB systems demonstrate comparable performance in terms of total production and annual gross income, both surpassing the SI system. Regarding annual profits, the results are similar to those obtained for total milk production and gross income. However, this relationship in profits is evident only in percentage terms, as the absolute values of the estimators did not show statistical significance. Furthermore, it was found that the CB system was superior in terms of labor productivity and efficiency per area used compared to the SI and CSE systems. Additionally, we found that the CB system presents superior average results in relation to milk quality when compared to the CSE system. Despite the statistical significance of the results being compromised in several cases at the quantile level, the CB system also stands out as the most promising among the evaluated production systems. The results of this research contribute to a better understanding of the impacts of different milk production systems and provide important data to identify potentialities in the dairy sector in Brazil.

Key words: Multilevel Impact Evaluation, Milk Production, Modernization.

1. Introdução

No Brasil, a produção de leite ocorre em fazendas que utilizam sistemas de produção altamente tecnológicos, em contraste com outras onde predominam métodos tradicionais de produção (BACCHI; ALMEIDA; TELLES, 2022). A presença de regiões altamente produtivas indica a possibilidade de aumentar os níveis de eficiência em todo o país, equiparando-se aos líderes globais no setor leiteiro. Por exemplo, no estado de Paraná há municípios com uma produtividade de 7.500 litros/vaca/ano, quatro vezes superior à média nacional. Esses valores assemelham-se às taxas de produtividade observadas em países como Alemanha e Holanda, ambos figurando entre os 15 países mais produtivos do mundo, com 7.700 e 8.000 litros/vaca/ano, respectivamente (BACCHI; ALMEIDA; TELLES, 2022). Entretanto, apesar do seu significativo crescimento ao longo das últimas décadas, a produtividade média do setor persiste relativamente baixa.

A maior parte dos produtores de leite especializados se localizam nos quatro principais estados produtores de leite no Brasil, Minas Gerais, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Mas, assim como em nível nacional, esses Estados também exibem uma heterogeneidade tecnológica. O Estado de Minas Gerais é o maior produtor de leite do país contribuindo com aproximadamente 27% do total nacional. Em seguida, os três estados da região sul, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, apresentam cada aproximadamente 11% da produção de leite nacional (IBGE, 2024a). No entanto, Minas Gerais possui elevada heterogeneidade tecnológica em suas sub-regiões: a alta produtividade do Noroeste, Alto Paranaíba, Sul e Sudeste contrastam com áreas que ainda predominam técnicas rudimentares, especialmente nas sub-regiões do Norte do Estado (IBGE, 2024b).

A baixa competitividade de uma parcela significativa de produtores pode estar contribuindo para a desistência de muitos produtores em continuar na atividade (EMBRAPA 2023a). Sobre isso, observa-se uma tendência de redução significativa do número de produtores de leite ao longo dos anos registrada desde 1996 até 2017 de acordo com os últimos Censos Agropecuários, aproximadamente 174 mil estabelecimentos produtores de leite no Brasil (IBGE, 2019; VILELA et al., 2017). Contudo, apesar da redução do número de produtores, a quantidade de leite produzida no Brasil cresceu no mesmo período. (EMBRAPA, 2023b).

A saída desses produtores é parte do processo de modernização, no qual os sistemas de produção menos competitivos cedem espaço a sistemas tecnologicamente mais avançados e rentáveis (EMBRAPA, 2023b). Neste sentido, são necessários avanços em economia de escala e maior eficiência produtiva para reduzir custos e se tornarem mais resilientes. Embora essa proposta suscite debates, dada a complexidade de prever os diversos efeitos potenciais sobre a realidade social nas áreas rurais brasileiras (BACCHI; ALMEIDA; TELLES, 2022; MACOURS; SADOULET, 2008), há um consenso de que produtores que não consigam crescer e inovar dificilmente conseguirão se manter na atividade leiteira (SIMÕES et al., 2020; SON; RICHARD; LAMBERT, 2022).

Espera-se que a adoção dos avanços tecnológicos afete positivamente a produtividade e diversos aspectos socioambientais (BÁNKUTI et al., 2018; BARBERG et al., 2007; CHARLTON; KOSTANDINI, 2021; CHARLTON; RUTTER, 2017; KOZINA; SEMKIV, 2020; SAUER; LATACZ-LOHMANN, 2015). No entanto, questões sobre a aplicabilidade de cada tipo de sistema em diferentes contextos, e os seus efeitos relativos ainda carecem de respostas claras. Diante disso, é relevante identificar as condições necessárias para que os produtores acompanhem o ritmo do processo de inovação produtiva no setor (BACCHI; ALMEIDA; TELLES, 2022; VILELA et al., 2017). Também é chave conhecer os elementos que facilitam o acesso a essas condições e inferir as implicações socioambientais dos diferentes

sistemas tecnológicos utilizados (HANSEN; BUGGE; SKIBREK, 2020; LUGÃO et al., 2019; SIMPSON, 2019). Na medida em que essas informações sejam escassas ou inexistentes, o processo de adoção generalizada dos avanços tecnológicos pode ser lento, resultando em menor ritmo de crescimento da produção agropecuária total. A identificação dos determinantes e efeitos da transformação tecnológica da atividade leiteira no Brasil é essencial para o desenvolvimento eficaz de políticas públicas que promovam a modernização do setor (BEN ARFA et al., 2015; PAAS et al., 2016; SIMPSON, 2019).

Com o propósito de contribuir para o debate sobre as vantagens comparativas das várias formas de produção de leite utilizadas no Brasil, o presente trabalho tem por objetivo avaliar os impactos de diferentes sistemas de produção, mais especificamente o Compost Barn (CB), Confinado-sem-Estrutura (CSE) e Semi-Intensivo (SI), sobre um conjunto de indicadores de desempenho, eficiência e rentabilidade. Mais especificamente, serão analisados aspectos como produção, renda bruta, lucro, produção por área, produtividade do trabalho e qualidade do leite, entre os produtores de leite em Minas Gerais.

2. Método e dados

Os dados utilizados são de uma amostra de 177 fazendas produtoras de leite, as quais são atendidas pelo projeto Educampo do Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae), referente ao ano de 2018. Os dados referem-se à produção, custos, características socioeconômicas dos produtores, perfil tecnológico das propriedades e práticas produtivas.

Para avaliar os impactos de cada sistema de produção sobre as variáveis-resultado predefinidas é adotada abordagem metodológica de efeitos causais para o cálculo do Efeito Tratamento Médio Condicional – ETM (IMBENS; WOOLDRIDGE, 2009). No contexto desta pesquisa, o termo "tratamento" refere-se ao sistema de produção adotado na propriedade. A maior parte da literatura seguindo esta abordagem concentra-se sobretudo em contextos de tratamento binários implementado o método *Propensity Score Matchig* – PSM. Embora o PSM seja adequado para condições de tratamento binárias, não é a estratégia mais eficaz para analisar um contexto que envolve tratamentos múltiplos, como é o caso nos sistemas de produção de leite objeto de estudo desta pesquisa.

A literatura recente tem avançado no desenvolvimento de métodos mais robustos para analisar ambientes de tratamentos multivariados e contínuos. Uma das abordagens mais inovadoras nesse contexto é o método proposto por Cattaneo (2010), o qual gera um estimador para avaliar o efeito do tratamento, denominado Estimador da Função de Influência Eficiente – EIF. EIF é um processo com várias etapas que envolve a estimação da probabilidade inversa e das funções de expectativa condicional ajustada pela inversa da probabilidade (CATTANEO, 2010; CATTANEO; DRUKKER; HOLLAND, 2012). O processo de estimação do EIF representa uma expansão do PSM, permitindo a obtenção de estimadores eficientes não somente para as médias, mas também para subgrupos de quantis segundo diferentes características de distribuição na amostra, definido como o efeito de tratamento multivariado do quantil – QTE. Dessa forma, equilibra-se a flexibilidade do modelo com a necessidade de controlar possíveis vies frequentes quando há múltiplas escolhas envolvidas.

O processo de estimação do EIF ocorre em etapas (CATTANEO; DRUKKER; HOLLAND, 2012). Na primeira etapa, são especificados os sistemas de produção adotados pelas fazendas produtoras de leite. A partir dessa categorização, foi definida uma variável discreta j com valor 2 para as fazendas produtoras de leite que utilizam o sistema de produção

Compost Barn (CB), 1 para o sistema Confinado sem Estrutura (CSE), e 0 para o Semi-Intensivo (SI).

A seguir são estimadas as probabilidades de cada produtor ter adotado cada um dos sistemas de produção descritos pela variável j . Para o cálculo dessas probabilidades é especificado um modelo logit multinomial (LM), representado na equação (1) como uma função exponencial de uma combinação linear de parâmetros (β) e variáveis explicativas (X_i).

$$p_j(X_i) = \frac{\exp(X'_i \beta_j)}{\sum_{j=1}^3 \exp(X'_i \beta_j)}, j = 0, 1, 2. \quad (1)$$

Os parâmetros β_j são estimados através do método de Máxima Verossimilhança, de maneira a maximizar a probabilidade conjunta de todas as escolhas observadas nos dados. Isso fornece informações consistentes que permitem entender como as características dos produtores e outros fatores influenciam a adoção de determinado sistema de produção por parte das fazendas produtoras de leite no estado de Minas Gerais.

Na segunda etapa, são estimadas as equações de resultado (2) e (3) para cada uma das respectivas variáveis-resultado definidas (produção, renda bruta, lucro, produção por área, produtividade do trabalho e qualidade do leite).

Assumindo Y_i como a variável resultado de interesse, $J \in \{0, 1, 2\}$ como o indicador do sistema de produção escolhido e X sendo um vetor de covariáveis, tem-se um vetor observado (Y_i, J_i, X_i) para cada propriedade leiteira. A condição de tratamento é definida com um indicador binário $D_{ij}(J_i) = \{1, \text{se } J_i = j; 0, \text{caso contrário}\}$. Seguindo os pressupostos correspondentes, uma vez que o tratamento não é atribuído de forma aleatória, podemos identificar os valores esperados dos resultados potenciais, Y_{ij} , ao examinar as expectativas dos resultados observados, Y_i , de acordo com o sistema de produção j escolhido.

$$E[Y_{ij}|X] = E[Y_{ij}|D_{ij}(T_i), X] = E[Y_{ij}|T_i, X] \quad (2)$$

As probabilidades condicionadas $p_j(X_i)[p_0, \dots, p_j]$ previamente calculadas, além de abordar o problema da dimensionalidade do vetor de covariáveis X_i , também são utilizadas para ponderar os valores esperados das variáveis-resultado (equação (3)). Dessa forma, os resultados potenciais podem ser identificados como:

$$E\left[Y \mid \frac{D_{ij}(T_i)}{p_j(X_i)}\right] = E[Y_i] \quad (3)$$

As estimativas anteriores são usadas para calcular as médias dos resultados potenciais sob diferentes níveis de tratamento, como apresentado na equação (4). O objetivo é calcular uma média ponderada das diferenças entre os resultados observados (Y_i) e as estimativas dos resultados potenciais sob o tratamento " J_i " ($estY_i(J_i)$).

$$est_{-U_{EIF,J}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \left[\frac{D_{ij}(J_i)Y_i}{est_{-p_j}(X_i)} - \left\{ \frac{D_{ij}(J_i)}{est_{-p_j}(X_i)} - 1 \right\} estY_{ij} \right] \quad (4)$$

A função leva em consideração se as propriedades adotaram ou não determinado sistema de produção " J_i " ($D_{ij}(J_i)$), e as estimativas das probabilidades condicionais de tratamento

($est_{p_j}(X_i)$). As estimativas dos resultados potenciais sob o tratamento "J" ($estY_i(J)$) são obtidas através de um modelo de regressão linear ponderada Y_i em X_i para aquelas observações com $D_{ij}(J_i) = 1$, usando o método dos mínimos quadrados ordinários – MQO. Dessa forma, como indicado pela equação (5), efeitos médios do tratamento (ETM) podem ser expressos como a diferença das médias dos resultados potenciais (POM) estimados $est_{U_{EIF}}$:

$$ETM_{EIF,m} = (est_{U_{EIF,m}}) - (est_{U_{EIF,k}}); \forall m, k \in \{0,1,2\} \quad (5)$$

Seguindo o mesmo procedimento de estimação também pode ser obtido o efeito médio do tratamento no nível de quantil – ETQ.

$$ETQ(q)_{EIF,m} = [est_{U_{EIF,m}}(q)] - [est_{U_{EIF,k}}(q)]; \forall m, k \in \{0,1,2\} \quad (6)$$

Nesta segunda parte, para obter o Efeito Médio do Tratamento (ETM), e em todos os quantis (ETQ), se faz uso do comando “poparm” do programa estatístico Stata (CATTANEO; DRUKKER; HOLLAND, 2013).

3. Resultados

Os produtores que adotaram o sistema CB não apresentaram uma média de produção estatisticamente diferente da média dos produtores que optaram pelo sistema de produção CSE. Além disso, estes dois sistemas de produção registraram médias estatisticamente superiores ao sistema semi-intensivo (SI). Em termos percentuais, as diferenças nas médias de produção também foram mais significativas no sistema CB, com um aumento de 59.4% em relação ao sistema semi-intensivo e de 50.4% em relação ao sistema CSE (Tabela 1).

Tabela 1. Efeito médio de tratamento sobre a média da produção anual de leite (Estimador EIF) dos produtores participantes do programa EDUCAMPO, 2018.

Sistemas de produção °	Efeito Médio de Tratamento			
	Coefficientes (Litros/ano)	estatística z	Coefficientes (%)	estatística z
CSE (1) vs SI (0)	582.774***	2,627	50,4***	2,760
CB (2) vs SI (0)	777.851***	3,312	59,4***	3,303
CB (2) vs CSE (1)	195.076	0,575	9,0	0,433

o Semi intensivo (SI), Confinado sem estrutura (CSE) e Compost Barn (CB).

Nota: ***valor-p < 0,01, **valor-p < 0,05, *valor < 0,10.

Fonte: Resultados da Pesquisa

Observou-se que apenas no primeiro quantil (25% dos produtores com menor produção) há uma diferença significativa na produção de leite, em termos de litro por ano, entre os estabelecimentos que adotam o sistema CB e aqueles que adotam o sistema SI. Neste quantil, o sistema CB apresenta uma produção média de 807 litros a mais do que o sistema SI. Assim, apesar de os resultados médios indiquem que os sistemas CB e CSE superam o sistema SI em termos de produção anual de leite; a análise dos quantis revela condições adicionais, destacando a falta de diferenças significativas na produção entre os sistemas em níveis específicos de subgrupos (Tabela 2).

Tabela 2. Efeito do sistema de produção sobre a média da Produção Anual de Leite nos Q25 e Q75 (Est. EIF) dos produtores participantes do programa Educampo, 2018.

Sistemas de produção °	Efeito sobre a produção anual de leite Q25		Efeito sobre a produção anual de leite Q75	
	Coefficientes (Litros/ano)	estatística z	Coefficientes (Litros/ano)	estatística z
CSE (1) vs SI (0)	548.984	1,334	1.012.160	0,756
CB (2) vs SI (0)	806.911*	1,882	-216.277	-1,159
CB (2) vs CSE (1)	257.927	0,501	-1.228.437	-0,919

° Semi intensivo (SI), Confinado sem estrutura (CSE) e Compost Barn (CB).

Nota: ***valor-p < 0,01, **valor-p < 0,05, *valor < 0,10.

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre as médias da renda bruta das propriedades que adotaram o sistema CB e aquelas que optaram pelo sistema CSE. Por outro lado, em média, os estabelecimentos com sistema CSE registram uma renda bruta anual superior em R\$ 1.146.287 em comparação com os estabelecimentos que utilizam o sistema SI. O sistema CB apresenta uma renda bruta anual superior em R\$ 1.531.966 em relação ao SI. Essas diferenças nas médias em relação ao sistema SI também foram estatisticamente significativas em termos percentuais (Tabela 3).

Tabela 3. Efeito médio de tratamento sobre a média da Renda Bruta Total Anual (Estimador EIF) dos produtores participantes do programa Educampo, 2018.

Sistemas de produção °	Efeito Médio de Tratamento			
	Coefficientes (R\$/ano)	estatística z	Coefficientes (%)	estatística z
CSE (1) vs SI (0)	1.146.287***	2,672	58,9***	2,802
CB (2) vs SI (0)	1.531.966***	3,344	61,3***	3,221
CB (2) vs CSE (1)	385.679	0,585	2,5	0,115

° Semi intensivo (SI), Confinado sem estrutura (CSE) e Compost Barn (CB).

Nota: ***valor-p < 0,01, **valor-p < 0,05, *valor < 0,10.

Fonte: Resultados da Pesquisa.

No caso da renda bruta considerando apenas a venda de leite, os maiores resultados médios do sistema CSE em comparação com o sistema SI foram estatisticamente significativos apenas percentualmente. O CB manteve médias superiores ao sistema SI, tanto em valores absolutos quanto em termos percentuais, (Tabela 4).

Tabela 4. Efeito médio de tratamento sobre a média da Renda Bruta Anual proveniente apenas da venda de Leite (Estimador EIF) dos produtores participantes do programa Educampo, 2018.

Sistemas de produção °	Efeito Médio de Tratamento			
	Coeficientes (R\$/ano)	estatística z	Coeficientes (%)	estatística z
CSE (1) vs SI (0)	1.031.984	2,526	57,1***	2,798
CB (2) vs SI (0)	1.390.738***	3,363	62,3***	3,509
CB (2) vs CSE (1)	358.754	0,579	5,2	0,236

o Semi intensivo (SI), Confinado sem estrutura (CSE) e Compost Barn (CB).

Nota: ***valor-p < 0,01, **valor-p < 0,05, *valor < 0,10.

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Na Tabela 5 são apresentadas as estimações por quantis dos efeitos dos sistemas de produção sobre a renda bruta total das propriedades e a renda bruta originada da produção de leite. Com relação à renda bruta total da propriedade observa-se, que no quantil 25, a única diferença nas médias é registrada entre as propriedades com o sistema de produção CB e aquelas com o sistema SI. Em média, as propriedades que adotam o sistema de produção CB registram uma renda bruta anual maior do que as propriedades com o sistema de produção SI. No quantil 75, o desempenho médio do sistema CB não é o melhor em termos da renda bruta anual. Com relação ao SI, não são observadas diferenças estatisticamente significativas, e em relação ao sistema CSE, as propriedades com o sistema CB apresentam uma renda bruta anual significativamente menor. Enquanto isso, a adoção do sistema CSE implica também em uma renda bruta média anual superior em R\$ 1.914.485 em comparação com o sistema SI.

Com relação às diferenças por quantil das médias das rendas brutas provenientes exclusivamente da produção de leite, os coeficientes estimados sugerem que na maioria dos casos não existem diferenças estatisticamente significativas, tanto no quantil superior quanto no quantil inferior. Com um nível de significância de 5%, somente no quantil 25 as propriedades com sistema CB apresentam, em média, uma renda bruta de só leite R\$ 1.358.985 maior do que as propriedades com sistema SI.

Deste modo, em termos de renda bruta os resultados médios refletem um desempenho semelhante entre os sistemas CB e CSE, contrastando com a superioridade destes dois sobre o sistema SI. A análise por quantis destaca a superioridade do sistema CB no quantil 25 e a vantagem do sistema CSE no quantil 75, evidenciando a importância de considerar não apenas as médias, mas também a distribuição dos resultados, conforme possibilitado pelo método utilizado nesta pesquisa.

Tabela 5. Efeito do sistema de produção sobre as médias da Renda Bruta Total Anual e da Renda Bruta Só Leite Anual Só nos Q25 e Q75 (Est. EIF) dos produtores participantes do programa Educampo, 2018.

Sistemas de produção °	Efeito sobre a renda bruta total Q25		Efeito sobre a renda bruta total Q75	
	Coefficientes (R\$/ano)	estatística z	Coefficientes (R\$/ano)	estatística z
CSE (1) vs SI (0)	1.379.113	1,583	1.914.485**	2,036
CB (2) vs SI (0)	1.332.812**	2,098	-272.316	-0,716
CB (2) vs CSE (1)	-46.301	-0,052	-2.186.802**	-2,243

Sistemas de produção °	Efeito sobre a renda bruta do leite Q25		Efeito sobre a renda bruta do leite Q75	
	Coefficientes (R\$/ano)	estatística z	Coefficientes (R\$/ano)	estatística z
CSE (1) vs SI (0)	1.988.037	0,634	1.953.029	1,209
CB (2) vs SI (0)	1.358.985**	2,032	-264.217	-0,723
CB (2) vs CSE (1)	-629.053	-0,194	-2.217.246	-1,283

° Semi intensivo (SI), Confinado sem estrutura (CSE) e Compost Barn (CB).

Nota: ***valor-p < 0,01, **valor-p < 0,05, *valor < 0,10.

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas nas médias dos lucros anuais entre as propriedades que adotaram os três sistemas de produção aqui analisados. Mas, os coeficientes obtidos nas estimações, em termos percentuais, mantêm o padrão dos resultados obtidos para a produção anual de leite e as rendas brutas. Assim, em termos percentuais, não existem diferenças nas médias do lucro anual entre os estabelecimentos que utilizam o sistema CB e os que utilizam o sistema CSE. Apesar disso, a média do lucro dos estabelecimentos com CB é 97.1% maior do que os com sistema SI, enquanto o lucro das propriedades com CSE é 62.6% maior. É importante ressaltar que, embora não seja estatisticamente significativo, o valor do coeficiente estimado para as diferenças das médias dos lucros entre as propriedades com CB e as propriedades com CSE sugere um lucro de R\$ 62.972 maior nas propriedades com CB em relação às CSE (Tabela 6).

Tabela 6. Efeito médio de tratamento sobre a média do Lucro Total Anual (Estimador EIF) dos produtores participantes do programa Educampo, 2018.

Sistemas de produção °	Efeito Médio de Tratamento			
	Coeficientes (R\$/ano)	estatística z	Coeficientes (%)	estatística z
CSE (1) vs SI (0)	-11.141	-0,125	62,6**	2,052
CB (2) vs SI (0)	51.830	1,168	97,1***	2,758
CB (2) vs CSE (1)	62.972	0,586	34,5	1,106

° Semi intensivo (SI), Confinado sem estrutura (CSE) e Compost Barn (CB).

Nota: ***valor-p < 0,01, **valor-p < 0,05, *valor < 0,10.

Fonte: Resultados da Pesquisa.

No quartil 25, observa-se que o lucro total anual tanto das propriedades com sistema CB quanto das propriedades CSE é maior em comparação com a média dos lucros totais anuais das propriedades que produzem leite sob o sistema SI (Tabela 7). No quartil superior, nenhum dos três coeficientes estimados para o efeito tratamento sobre o lucro total foi significativo. Os resultados referentes ao lucro anual ressaltam a existência de complexidades que vão além dos indicadores brutos, como a produção total anual. É essencial considerar também os custos operacionais da atividade para uma compreensão abrangente do impacto financeiro desses sistemas nas propriedades leiteiras.

Tabela 7. Efeito do sistema de produção sobre o Lucro Total Anual nos Q25 e Q75 (Estimador EIF) dos produtores participantes do programa EDUCAMPO, 2018.

Diferenças entre sistemas de produção °	Efeito sobre o lucro total anual Q25		Efeito sobre O lucro total anual Q75	
	Coeficientes (R\$/ano)	estatística z	Coeficientes (R\$/ano)	estatística z
CSE (1) vs SI (0)	112.081,6**	2,118	-15.403,45	-0,113
CB (2) vs SI (0)	210.547,1*	1,932	-38.236,3	-0,155
CB (2) vs CSE (1)	98.465,52	0,802	-22.832,85	-0,075

° Semi intensivo (SI), Confinado sem estrutura (CSE) e Compost Barn (CB).

Nota: ***valor-p < 0,01, **valor-p < 0,05, *valor < 0,10.

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Ao avaliar a produtividade da terra em termos de quantidade de leite anual por área, foram observados os resultados apresentados na Tabela 8. Em termos absolutos, não foram observadas diferenças na produtividade da terra entre os três sistemas de produção. Em termos percentuais, a única diferença estatisticamente significativa a 5% foi entre as propriedades com CB e as propriedades com SI, com um rendimento 27.4% maior para o CB.

Tabela 8. Efeito médio de tratamento sobre a média da Produção Anual de Leite por Área (Estimador EIF) dos produtores de leite participantes do programa Educampo, 2018.

Sistemas de produção °	Efeito Médio de Tratamento			
	Coefficientes (Lit./ha/ano)	estatística z	Coefficientes (%)	estatística z
CSE (1) vs SI (0)	4.440	1,412	41,4	1,484
CB (2) vs SI (0)	410	0,200	27,4**	2,425
CB (2) vs CSE (1)	-4.030	-1,192	-14,1	-0,512

° Semi intensivo (SI), Confinado sem estrutura (CSE) e Compost Barn (CB).

Nota: ***valor-p < 0,01, **valor-p < 0,05, *valor < 0,10.

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Na análise da produtividade por área, no quantil superior, não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre os sistemas CSE e CB (Tabela 11). Entretanto, ambos os sistemas registraram uma produção anual de leite por hectare maior do que o sistema SI. No quantil 75, as propriedades que adotaram o sistema CSE produziram, em média, 6.147 litros a mais por ano por hectare do que as propriedades com sistemas SI. No caso do CB, essa diferença foi de 5.683 litros. Já no quantil inferior, apenas o sistema CSE apresentou uma produção maior em comparação com o sistema SI, com um aumento de 10.327 litros por hectare.

Desta forma, embora no total da amostra não tenham sido observadas diferenças significativas na produtividade da terra entre os sistemas de produção, o sistema CB apresentou uma vantagem estatisticamente significativa em comparação com o SI em termos percentuais. Esta superioridade persistiu principalmente no quantil superior, onde tanto o CB quanto o CSE exibiram uma produção anual de leite por hectare maior do que o SI. No entanto, no quantil inferior, apenas o sistema CSE demonstrou uma produção significativamente superior em comparação com o SI, enfatizando a presença de heterogeneidades na eficiência da terra em diferentes estratos de análise.

Tabela 9. Efeito do sistema de produção sobre a média da produtividade por área nos Q25 e Q75 (Est. EIF) dos produtores participantes do programa Educampo, 2018.

Sistemas de produção °	Efeito na produção anual de leite por área Q25		Efeito na produção anual de leite por área Q75	
	Coefficientes (Lit./ha/ano)	estatística z	Coefficientes (Lit./ha/ano)	estatística z
CSE (1) vs SI (0)	10.327**	2,054	6.147***	1,641
CB (2) vs SI (0)	9.363	1,376	5.683***	1,789
CB (2) vs CSE (1)	-963	-0,122	-463	-0,098

° Semi intensivo (SI), Confinado sem estrutura (CSE) e Compost Barn (CB).

Nota: ***valor-p < 0,01, **valor-p < 0,05, *valor < 0,10.

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Quanto à produtividade da mão de obra, em termos de litros dia por trabalhador, observou-se uma superioridade das propriedades que adotaram o sistema CB, tanto em termos percentuais quanto absolutos. Em termos percentuais, a produtividade média do trabalho dos produtores utilizando CB é 25.3% maior do que os produtores que utilizam o sistema SI e 45.2% maior do que os produtores com CSE. Em termos absolutos, as propriedades com sistema CB produzem diariamente 158 litros a mais por trabalhador do que as propriedades com SI e 231 litros por dia por trabalhador a mais do que as propriedades CSE. É notável que os estabelecimentos com CSE registram, em média, uma produtividade do trabalho 19.8% menor do que os estabelecimentos que adotaram o sistema SI.

Tabela 10. Efeito médio de tratamento sobre a média da Produtividade do Trabalho (Estimador EIF) dos produtores participantes do programa Educampo, 2018.

Sistemas de produção °	Efeito Médio de Tratamento			
	Coeficientes (Lit./trab./dia)	estatística z	Coeficientes (%)	estatística z
CSE (1) vs SI (0)	-73	-1,197	-19,8**	-1,917
CB (2) vs SI (0)	158**	2,521	25,3**	2,316
CB (2) vs CSE (1)	231*	2,597	45,2***	2,984

° Semi intensivo (SI), Confinado sem estrutura (CSE) e Compost Barn (CB).

Nota: ***valor-p < 0,01, **valor-p < 0,05, *valor < 0,10.

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Com base nos coeficientes estimados para os quantis 25 e 75, obtiveram-se as diferenças na produtividade da mão de obra entre os diferentes sistemas de produção avaliados (Tabela 11). No quantil 25, em comparação com o sistema SI, o sistema CB demonstrou uma maior produtividade do trabalho, com 199 litros de leite dias a mais por trabalhador. Por outro lado, no quantil 75, a produtividade do trabalho do sistema CB não foi estatisticamente diferente do sistema SI. Neste quantil, contrariamente ao esperado, observou-se uma menor produtividade do trabalho para o sistema CSE em comparação com o SI, com um coeficiente de -271.160 significativo ao 5%.

Os efeitos dos sistemas de produção sobre a produtividade do trabalho revelam a vantagem do sistema CB na produtividade da mão de obra em comparação com o SI e o CSE, embora no quantil 75 essa superioridade tenha sido menos evidente, com uma produtividade semelhante ao SI, enquanto o sistema CSE demonstrou uma menor produtividade do trabalho.

Tabela 11. Efeito do sistema de produção sobre a média da produtividade do trabalho nos Q25 e Q75 (Est. EIF) dos produtores participantes do programa Educampo, 2018.

Sistemas de produção °	Efeito sobre a produtividade do trabalho Q25		Efeito sobre a produtividade do trabalho Q75	
	Coeficientes (Lit./trab./dia)	estatística z	Coeficientes (Lit./trab./dia)	estatística z
CSE (1) vs SI (0)	20,860	0,142	-271,160**	-1,980
CB (2) vs SI (0)	199,670***	2,711	-98,250	-0,486
CB (2) vs CSE (1)	178,810	1,078	172,910	0,811

° Semi intensivo (SI), Confinado sem estrutura (CSE) e Compost Barn (CB).

Nota: ***valor-p < 0,01, **valor-p < 0,05, *valor < 0,10.

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Finalmente, na Tabela 12 são expostos os coeficientes dos efeitos das diferenças entre os sistemas de produção em relação da qualidade do leite. Os coeficientes indicam que existem algumas diferenças na qualidade do leite produzido, particularmente evidenciado pela diferença na Contagem de Bactérias Totais (CBT). Em média, os valores da Contagem de Bactérias Totais são menores no sistema CB do que no sistema CSE. No entanto, não foram observadas outras diferenças estatisticamente significativas neste indicador de qualidade do leite.

Tabela 12. Efeito médio de tratamento sobre a média da Qualidade do Leite CBT (Estimador EIF) dos produtores de leite participantes do programa Educampo, 2018.

Sistemas de produção °	Efeito Médio de Tratamento			
	Coeficientes (CBT)	estatística z	Coeficientes (%)	estatística z
CSE (1) vs SI (0)	13,485	0,946	29,0	0,865
CB (2) vs SI (0)	-17,108	-0,999	2,3	0,037
CB (2) vs CSE (1)	-30,593*	-1,888	-26,7	-0,454

° Semi intensivo (SI), Confinado sem estrutura (CSE) e Compost Barn (CB).

Nota: ***valor-p < 0,01, **valor-p < 0,05, *valor < 0,10.

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Ao considerar o nível de quantil, o sistema CB demonstra resultados ainda mais favoráveis do que no conjunto total dos dados, destacando-se como o sistema que obtém resultados melhores em termos da qualidade do leite, medida em relação à Contagem de Bactérias Totais (CBT). No quantil 75, observa-se que os valores da CBT no sistema de produção CB são inferiores aos dos sistemas de produção CSE e SI. Além disso, a CBT é menor no CB do que no CSE para o quantil mais baixo. Nesse mesmo quantil, o sistema de produção CSE apresenta uma qualidade de leite inferior ao sistema SI, como indicado pelo coeficiente positivo (40,720) e significativo ao 10%, que representa as diferenças nas médias entre os sistemas CSE e SI.

Estes resultados sugerem que a escolha do sistema de produção pode influenciar a qualidade do leite, com implicações importantes para a indústria láctea relacionadas aos mecanismos que podem garantir padrões de higiene.

Tabela 13. Efeito do sistema de produção sobre a média da Qualidade do Leite em relação à CBT nos Q25 e Q75 (Est. EIF) dos produtores de leite participantes do programa Educampo, 2018.

Diferenças entre sistemas de produção °	Efeito sobre a qualidade do leite Q25		Efeito sobre a qualidade do leite Q75	
	Coeficientes	estatística z	Coeficientes	estatística z
CSE (1) vs SI (0)	40,720*	1.831	20,580	0,944
CB (2) vs SI (0)	0,470	0,053	-32,840**	-2,197
CB (2) vs CSE (1)	-40,250*	-1,762	-53,420**	-2,168

° Semi intensivo (SI), Confinado sem estrutura (CSE) e Compost Barn (CB).

Nota: ***valor-p < 0,01, **valor-p < 0,05, *valor < 0,10.

Fonte: Resultados da Pesquisa.

4. Conclusões

O presente estudo avaliou os impactos de três sistemas de produção de leite sobre quantidade anual de leite produzida, a renda bruta total anual da propriedade, a renda bruta anual proveniente da atividade leiteira do estabelecimento, o lucro anual total da propriedade, a produção por unidade de área, a produtividade da mão de obra e a qualidade do leite.

O sistema de produção compost barn (CB) demonstrou vantagens em relação aos outros dois sistemas. Por outro lado, o sistema semi-intensivo demonstrou um desempenho inferior em quase todos os indicadores selecionados. Para a quantidade de leite produzida por ano, não se observam diferenças estatisticamente significativas entre o sistema CB e o sistema CSE, tanto em termos absolutos quanto percentuais. No entanto, a significância estatística dos estimadores calculados revela que em relação a este indicador, o sistema SI teve um desempenho inferior em relação a esses dois sistemas de produção. Na análise por quantil para a quantidade de leite produzida por ano, a maioria dos estimadores obtidos não demonstrou significância estatística, com exceção da superioridade do sistema CB sobre o sistema SI no quantil 25. O padrão observado no resultado dos efeitos sobre o nível de produção de leite por ano também se reflete nas variáveis de renda bruta total e renda bruta exclusiva do leite. Neste caso, novamente os resultados por quantil são heterogêneos, e o sistema CB demonstra novamente, em média, um bom desempenho, especialmente no quantil 25. É relevante notar que, no quantil superior, a renda bruta exclusiva do leite no sistema CB, em média, foi menor do que a do sistema CSE.

No total da amostra, os resultados obtidos para lucros anuais dos estabelecimentos mantem o padrão de diferenças no desempenho registrado nos indicadores de produção e renda bruta, unicamente quando avaliados em termos percentuais. Além disso, ao analisar por níveis de quantil, mais uma vez observa-se um grau de heterogeneidade nos resultados, com o sistema CB demonstrando uma vantagem. Quanto aos indicadores de produtividade por área e por mão de obra, o sistema compost barn (CB) se destaca, especialmente na produtividade da mão de obra, enquanto na produtividade por área, o CB foi superior ao sistema SI apenas em termos percentuais. Mas, por quantis, é o sistema CSE que apresenta os melhores resultados em termos de produção por área, tanto no quantil inferior quanto no superior. Destaca-se também o

resultado inesperado em termos de produção por mão de obra, com o sistema CSE apresentando, no total da amostra, um desempenho inferior ao sistema SI. Em relação à produtividade do trabalho, o sistema CB foi o mais destacado, tanto no quantil superior quanto no inferior. Finalmente, o CB demonstrou ser o melhor sistema quando consideramos a qualidade do leite, definida a partir do Contagem Bacteriana Total (CBT).

Embora o sistema compost barn (CB) como solução para todas as propriedades leiteiras pode não ser a abordagem mais adequada, os resultados desta pesquisa sugerem que o sistema CB pode oferecer vantagens em termos de produção, renda bruta e produtividade do trabalho. Nesse sentido, os resultados desta pesquisa podem orientar o desenvolvimento de estratégias para o setor leiteiro, visando melhorar a eficiência, competitividade, sustentabilidade e qualidade do produto, beneficiando tanto os produtores quanto os consumidores. Contudo, as estimativas apresentadas devem ser assumidas com cautela dada a complexidade da problemática analisada, sendo preciso futuras pesquisas que explorem mais detalhadamente os custos operacionais associados a cada sistema, bem como investigar outros aspectos relevantes vinculados a facilidade de implementação de cada sistema em diferentes contextos, a fim de lograr uma compreensão abrangente das diferentes formas de produção de leite e seus impactos.

Referências

BACCHI, M. D.; ALMEIDA, A. N.; TELLES, T. S. Spatio-temporal dynamics of milk production in Brazil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 43, n. 1, p. 241–262, 2022.

BÁNKUTI, F. I. et al. Structural features, labor conditions and family succession in dairy production systems in Paraná State, Brazil. **Cahiers Agricultures**, v. 27, n. 4, p. 45004, 1 jul. 2018.

BARBERG, A. E. et al. Performance and Welfare of Dairy Cows in an Alternative Housing System in Minnesota. **Journal of Dairy Science**, v. 90, n. 3, p. 1575–1583, 1 mar. 2007.

BEN ARFA, N. et al. Agricultural Policies and Structural Change in French Dairy Farms: A Nonstationary Markov Model. **Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue canadienne d'agroeconomie**, v. 63, n. 1, p. 19–42, 2015.

CATTANEO, M. D. Efficient semiparametric estimation of multi-valued treatment effects under ignorability. **Journal of Econometrics**, v. 155, n. 2, p. 138–154, abr. 2010.

CATTANEO, M. D.; DRUKKER, D. M.; HOLLAND, A. D. Estimation of Multivalued Treatment Effects under Conditional Independence. **The Stata Journal**, v. 13, n. 3, p. 407–450, 1 set. 2013.

CATTANEO, M.; DRUKKER, D.; HOLLAND, A. **POPARMS: Stata module for potential outcome parameter estimation**. : Statistical Software Components., 27 nov. 2012. Disponível em: <<https://econpapers.repec.org/software/bocbocode/s457511.htm>>. Acesso em: 22 ago. 2023

CHARLTON, D.; KOSTANDINI, G. Can Technology Compensate for a Labor Shortage? Effects of 287(g) Immigration Policies on the U.S. Dairy Industry. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 103, n. 1, p. 70–89, 2021.

CHARLTON, G. L.; RUTTER, S. M. The behaviour of housed dairy cattle with and without pasture access: A review. **Applied Animal Behaviour Science**, SI: Ethology and sustainability. v. 192, p. 2–9, 1 jul. 2017.

EMBRAPA. **CILEITE - Centro de Inteligencia do Leite: Estatísticas e Ferramentas**. Disponível em: <<https://www.cileite.com.br/#estatisticas>>. Acesso em: 26 dez. 2023a.

EMBRAPA. **Índice de Custo de Produção de Leite da Embrapa**. Informativo. Disponível em: https://www.cileite.com.br/content/%C3%ADndice-de-custo-de-produ%C3%A7%C3%A3o-de-leite-4?utm_campaign=boletim_cileite_custo_de_producao_de_leite_tem_alta_de_13_em_novembro_-_icp_leite_2023&utm_medium=email&utm_source=RD+Station. Acesso em: 26 dez. 2023b.

HANSEN, B. G.; BUGGE, C. T.; SKIBREK, P. K. Automatic milking systems and farmer wellbeing—exploring the effects of automation and digitalization in dairy farming. **Journal of Rural Studies**, v. 80, p. 469–480, 1 dez. 2020.

IBGE. **Censo Agro 2017**. Disponível em: <https://censoagro2017.ibge.gov.br/2013-agencia-de-noticias/releases/25789-censo-agro-2017-populacao-ocupada-nos-estabelecimentos-agropecuarios-cai-8-8.html>. Acesso em: 11 maio. 2023.

IBGE, I. B. DE G. E E. **Produção de Leite no Brasil | IBGE**. 2024a. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/leite/mg>. Acesso em: 19 jan. 2024

IBGE, I. B. DE G. E E. **IBGE | Biblioteca | Detalhes | Indicadores IBGE: estatística da produção pecuária**. 2024b. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=72380>. Acesso em: 19 jan. 2024

IMBENS, G. W.; WOOLDRIDGE, J. M. Recent Developments in the Econometrics of Program Evaluation. **Journal of Economic Literature**, v. 47, n. 1, p. 5–86, mar. 2009.

KOZINA, A. M.; SEMKIV, L. P. Sustainable development of dairy farming through the use of digital technologies. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 613, n. 1, p. 012061, dez. 2020.

LUGÃO, S. M. B. et al. Technical and economic indicators of milk production systems in the Caiuá sandstone region. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 41, p. e42536, 7 jan. 2019.

MACOURS, K.; SADOULET, E. Managing the Exodus. **Development Outreach**, v. 10, n. 3, p. 23–26, out. 2008.

PAAS, W. et al. Integrated impact assessment of climate and socio-economic change on dairy farms in a watershed in the Netherlands. **NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences**, v. 78, p. 35–45, 1 set. 2016.

SAUER, J.; LATACZ-LOHMANN, U. Investment, technical change and efficiency: empirical evidence from German dairy production. **European Review of Agricultural Economics**, v. 42, n. 1, p. 151–175, 1 fev. 2015.

SIMÕES, A. R. P. et al. Dynamic impacts of farm-level technology adoption on the Brazilian dairy supply chain. **International Food and Agribusiness Management Review**, v. 23, n. 1, p. 71–84, jan. 2020.

SIMPSON, J. R. **The Economics Of Livestock Systems In Developing Countries: Farm And Project Level Analysis**. Boca Raton: CRC Press, 2019.

SON, M.; RICHARD, J.; LAMBERT, D. M. U.S. Dairy Farm Transition and Exits, 1987–2017. **Journal of Agricultural and Applied Economics**, v. 54, n. 2, p. 242–261, maio 2022.

VILELA, D. et al. A evolução do leite no Brasil em cinco décadas. **Revista de Política Agrícola**, v. 26, n. 1, p. 5–24, 9 ago. 2017.