

# Evolução da eficiência agropecuária na Amazônia brasileira<sup>1</sup>

Marcos Rodrigues<sup>2</sup>  
Wladimir Colman Azevedo Junior<sup>3</sup>  
David Costa Correia Silva<sup>4</sup>

**Resumo** – O objetivo deste trabalho foi determinar a eficiência agropecuária nos municípios da Amazônia Legal brasileira entre 2006 e 2017, pela análise das variáveis que impactam essa eficiência. Com base nos censos agropecuários de 2006 e 2017, foi possível obter a eficiência para cada município, por meio da análise de envelopamento de dados (DEA) – Data Envelopment Analysis – e, em seguida, determinar o efeito de algumas variáveis sobre a probabilidade de eficiência por um modelo logit. Os resultados mostraram que, em uma década, cresceu a eficiência geral dos municípios da Amazônia. O valor da produção agropecuária aumentou 8,54 vezes mais do que o incremento de área agricultável e pastagem, o que é consequência do uso de sistemas mais intensivos nas propriedades. A pecuária mostrou-se como atividade inversamente correlacionada à eficiência. A agricultura voltada principalmente às commodities, com maior intensidade de uso de máquinas agrícolas, favoreceu a eficiência. Políticas públicas devem, portanto, favorecer o desenvolvimento de sistemas intensivos na Amazônia e incluir medidas de melhor distribuição de recursos do crédito rural, difusão do conhecimento e tecnologia, bem como infraestrutura como suporte à produção rural.

**Palavras-chave:** análise envoltória de dados, censo agropecuário, gado, logit, soja.

## Evolution of the agricultural efficiency in the Brazilian Amazon

**Abstract** – The objective of this study was to determine the agricultural efficiency of Brazilian Amazon municipalities between 2006 and 2017, by the analysis of the variables that impact such agricultural efficiency. From the data of the agricultural censuses of 2006 and 2017 (*Censos Agropecuários de 2006 e 2007*), it was possible to estimate the technical efficiency of each municipality, using the data envelopment analysis (DEA), and to determine the effect of selected variables over the odds of ratio of efficiency using a logit model. The results showed that, over one decade, the majority of municipalities efficiency grew. The agricultural production value raised 8.54 times more than the increase of agricultural and pasture areas, which is a consequence of the expansion of intensive systems in the rural properties. Cattle raising was inversely correlated with efficiency. The agriculture mainly devoted to commodities, with intensive machinery use, favored the efficiency. Therefore, the public policies should prioritize the development of intensive systems in the Amazon, including measures for a better distribution of rural credit, technology and knowledge diffusion, as well as infrastructure to support the rural production.

**Keywords:** data envelopment analysis, agricultural census, cattle, logit, soybean.

<sup>1</sup> Original recebido em 19/11/2021 e aprovado em 18/3/2022.

<sup>2</sup> Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA). E-mail: marcos.rodrigues.adm@gmail.com

<sup>3</sup> Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). E-mail: azevedocolman@gmail.com

<sup>4</sup> Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA). E-mail: davidcorreiasilva@hotmail.com

## Introdução

Em 2016, os complexos agroindustriais foram responsáveis por 20% do PIB brasileiro e por 46% do valor exportado (Castro et al., 2020), e essa contribuição é ainda maior quando se consideram os efeitos provocados sobre outros setores da economia. A Amazônia brasileira se destaca em alguns setores, como a produção de soja em alguns estados e o grande rebanho bovino (Mendonça et al., 2012). Entretanto, há grande potencial de crescimento de sua produção, pois existem setores com baixa eficiência, seja pela competitividade, seja por fatores tecnológicos.

A eficiência produtiva da agropecuária pode contribuir para a redução do preço de alimentos e matérias-primas, para a elevação da demanda de máquinas e equipamentos e para as transferências intersetoriais relacionadas ao pagamento de impostos e à oferta de mão de obra, além de possibilitar a obtenção de divisas (Kuznets, 1968). Com base nisso, McArthur & McCord (2017) concluem que a produtividade agrícola tende a contribuir para o crescimento econômico, por meio de mudanças na estrutura do trabalho e do aumento da produtividade total dos fatores (PTF).

A análise de eficiência possui conexões teóricas com a economia, área do conhecimento que estuda a escassez dos recursos ou fatores de produção. Essa ligação ocorre via fatores produtivos (inputs) e os resultados da produção (outputs), e a conjunção entre os inputs e os outputs é feita por Unidades Tomadoras de Decisão (DMU). Segue que o modelo matemático aponta o ranqueamento entre as unidades, das eficientes até as menos eficientes ou ineficientes, enquanto a economia trata a eficiência como a efetivação dos fatores produtivos (recursos naturais, trabalho, capital físico e financeiro) para se obter o máximo de produção possível, o que é expresso na curva de possibilidade de produção (CPP) ou função de possibilidade de produção (FPP) (Sengupta, 1995).

Nesse sentido, a eficiência produtiva observada no meio rural brasileiro é essencial

para o progresso da economia como um todo. A busca pela eficiência, portanto, torna-se um desafio, não só para a ampliação do faturamento empresarial, mas também para que o crescimento econômico da nação seja potencializado. A análise de eficiência ainda é pouco explorada no setor agropecuário brasileiro. Estudos já buscaram determinar a eficiência agropecuária com o desmatamento na Amazônia (Marchand, 2012) e análises das microrregiões brasileiras (Barbosa et al., 2013). Entretanto, a análise acerca da eficiência entre os municípios da Amazônia ainda carece de informações.

Assim, o objetivo desta pesquisa foi avaliar se houve incremento da eficiência produtiva agropecuária na Amazônia Legal brasileira em 2006–2017. A hipótese é que a eficiência produtiva agropecuária cresceu na última década, principalmente pelo uso mais intensivo da terra, em contradição ao modelo extensivo de décadas passadas.

## Eficiência, políticas públicas e a agricultura na Amazônia

### Políticas públicas e o agronegócio brasileiro

Políticas agrícolas são instrumentos de intervenção do Estado direcionados para diversas finalidades: produção, beneficiamento e comercialização da produção e redistribuição de terras e renda, por exemplo. Entretanto, algumas políticas agrícolas são capazes de distorcer os mercados de comercialização e de trabalho e dificultam as mudanças estruturais necessárias para o desenvolvimento do setor e da nação (Garrone et al., 2019; OECD, 2019). Nesse aspecto, quando as políticas são incapazes de promover incentivos de produção, ou institucionais, a eficiência produtiva do setor agropecuário tende a se estagnar e a depender ainda mais de novas políticas.

No agronegócio brasileiro, uma das políticas mais relevantes para o setor é o crédito

rural, que em boa parte é subsidiado, para oferecer condições de mercado melhores, seja no custeio, seja no investimento (Corcioli et al., 2022). Considerando-se os elevados valores empregados nas principais commodities agrícolas brasileiras – como soja, milho e algodão –, mas também na produção animal, o crédito rural é essencial para manter a competitividade e o incremento da produtividade. Quando insuficiente, o crédito privado surge então como uma opção ao produtor rural, mas normalmente associado a contratos vinculantes em comercialização (Rodrigues & Marquezin, 2014).

Ao considerar a eficiência das propriedades rurais brasileiras em 1985–2006, Rada, et al. (2019) verificaram que as pequenas e as grandes propriedades foram melhor na produtividade total dos fatores (PTF). Entre as causas destacadas, positivamente influenciando a PTF estão os gastos públicos em educação e assistência técnica; e como fator negativo está o crédito rural. Para este último, os autores destacam que muitas propriedades podem fazer mau uso de tal recurso (como a aquisição excessiva de insumos), acarretando assim ineficiência no emprego de recursos financeiros.

No levantamento recente de Rocha & Ozaki (2020), os autores deixam claro o panorama do crédito rural nas últimas décadas, principalmente que o objetivo de modernização dessa política não necessariamente leva à maior produtividade. O estudo expõe que um conjunto de ações deve complementar a política de crédito, sem as quais os recursos podem não ser empregados da forma mais eficiente possível.

Como mostra Schultz (1965), as atividades rurais desempenham papel de relevância no progresso material das nações, principalmente quando se levam em consideração as ligações com outros setores produtivos e a capacidade de reduzir preços através do aumento da oferta. Assim, é fundamental observar, em primeiro lugar, que é baixa a taxa de retorno dos investimentos da agricultura tradicional ao longo tempo; e, em seguida, que se fazem necessários a oferta de melhores fatores de produção e o uso eficiente de tais fatores (Schultz, 1965). Em ter-

mos mais recentes, a percepção de Schultz pode ser analisada envolvendo a relação do agronegócio com o desenvolvimento.

O agronegócio se apresenta ligado ao setor industrial, ora demandando insumos, ora oferecendo os insumos à indústria, e registra aspectos quantitativos e qualitativos por meio da escala de produção e da remuneração do capital (Araújo, 2007). Somada à cadeia agroindustrial, existe o fluxo monetário em tais mercados, caracterizados pelo comércio de commodities e que, portanto, atendem a mercados globais. O termo desenvolvimento está, originalmente, ligado a melhorias no uso da terra (Arndt, 1981). Posteriormente, o termo foi se ampliando para dimensões além da econômica e da tecnológica, acabando por incluir elementos como questões sociais e ambientais. Tais incrementos foram mais substanciais com o desdobramento do termo em "desenvolvimento sustentável", que inclui temas como a preservação de biomas e o combate à pobreza.

Além da pobreza, a sustentabilidade é um alvo das políticas públicas para as atividades rurais amazônicas. É extensa a literatura que trata dos impactos do agronegócio no desflorestamento, principalmente se referindo à pecuária como principal vetor, com a agricultura sendo um fator secundário ou indireto (Nepstad et al., 2006). Contudo, a necessidade de expandir a área de produção deve ser vista, também, como uma incapacidade de aumentar a produtividade e, por conseguinte, é uma debilidade no uso dos fatores produtivos, isto é, trata-se de um problema de eficiência. Portanto eficiência e políticas públicas são interligadas em sentido amplo.

### **Eficiência e produção agropecuária**

O uso da análise envoltória de dados (DEA) é disseminado em diversos estudos: gastos públicos em saúde e educação (Faria et al., 2008; Benegas, 2012; Silva & Almeida, 2012; Queiroz et al., 2013), relação entre renda e bem-estar (Marinho et al., 2004) e entre produção e consumo de energia (Meza et al., 2007). A avaliação de eficiência também é utilizada para o setor rural.

Toma et al. (2015) usaram a DEA para analisar o desempenho da agricultura praticada em 36 municípios da Romênia, classificados por grupos de áreas de planície (20 municípios), colina (oito) e montanha (oito); os inputs eram as áreas plantadas, as horas de trabalho e o maquinário; e o output, o valor da produção. Os resultados mostram que havia eficiência em 14 municípios (cinco em áreas planas, cinco em áreas montanhosas e quatro em áreas montanhosas). Além disso, os autores concluíram que a eficiência poderia ser ampliada com a melhoria da qualidade do fator trabalho ou do capital fixo (Toma et al., 2015).

Souza et al. (2011) estudaram a eficiência dos 40 países com os maiores valores agregados pelo setor agrícola em 2005, tendo como inputs área plantada, trabalhadores rurais, capital físico disponível para produção agropecuária e quantidade de fertilizantes; como outputs, os Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), sendo esse uma proxy para a renda e o desenvolvimento de cada nação. Além do teste DEA, fez-se uma regressão, e os resultados mostraram que um elevado IDH não significa eficiência produtiva, pois, dos países que integram o G-7, apenas Canadá, Estados Unidos, França e Japão foram considerados eficientes, e nove dos 20 países com os maiores produtos foram considerados ineficientes, o Brasil incluído. Os autores concluíram que os países investigados poderiam elevar o valor agregado total pelo setor agrícola em pelo menos 53,9%, sem aumentar o uso de insumos com a tecnologia vigente.

Kočišová (2015) investigou a eficiência técnica do setor agrícola entre os 27 países da União Europeia (UE) usando a DEA em 2007–2011. Os inputs foram os trabalhadores em período integral, a área agrícola utilizada (ha) e o total de ativos pertencentes às propriedades agrícolas (€); já os outputs foram dados pelo valor da produção vegetal e o valor da produção animal, ambos expressos em euros. Os resultados mostram que 11 países foram eficientes em todos os períodos; oito foram eficientes em pelo menos um ano; e os outros oito não foram eficientes no período.

Em uma análise abrangente no Brasil, Barbosa et al. (2013) aplicaram a DEA para mensurar a eficiência entre as 524 microrregiões. Utilizando dados do Censo Agropecuário de 2006, verificaram um alto potencial para incremento do produto agropecuário nas microrregiões, sem a necessidade de incremento de insumos. Como mencionado pelos autores, políticas públicas podem contribuir para o incremento da eficiência ao fornecerem melhores condições de acesso a insumos.

Especificamente para a região Amazônica, onde a produção agropecuária é de grande relevância, é possível associar a atividade rural com impactos ambientais. Marchard (2012), com um modelo de fronteiras estocásticas com dados do Censo Agropecuário de 1995/1996, verificou que tanto as unidades rurais mais eficientes quanto as mais ineficientes convertem áreas florestadas em agrícolas. As ineficientes possuem restrições de crédito e trabalho, e, portanto, a expansão das terras produtivas é seu incremento de renda. Já as unidades eficientes sofrem menos com tais restrições, o que permite que o capital seja utilizado para a expansão da produção.

Das atividades na Amazônia, destaca-se a pecuária como a que mais causa impactos ambientais (Margulis, 2003; Rivero et al., 2009). A criação bovina também é apontada com uma atividade de baixa eficiência técnica na região (Souza & Gomes, 2015; Sparovek et al., 2018), motivada pelo processo histórico de ocupação baseado inicialmente na extração madeireira, seguida pela pecuária como forma de consolidar a propriedade da terra (Fearnside, 2008). Logo, o uso de capital para desenvolvimento da produção não foi estimulado, e a atividade se desenvolve historicamente como expansiva em área.

## Metodologia

### Análise de eficiência

Para estimar a eficiência produtiva agropecuária de cada município (DMU) da Amazônia,

emprega-se aqui o método de análise envoltória de dados com o modelo orientado para produto e retornos variáveis de escala (Cooper et al., 2000):

$$\begin{aligned} \min_z &= vx_0 - v_0 \\ \text{subject to } &\mu y_0 = 1 \\ vX - \mu Y - v_0 &\geq 0 \\ v \geq 0, \mu &\geq 0, v_0 \text{ sinal livre} \end{aligned} \quad (1)$$

No modelo,  $v$  e  $\mu$  são coeficientes relacionados, respectivamente, aos insumos (input) e produtos (output);  $x_0$  e  $v_0$  são vetores de insumos e produtos do município, respectivamente;  $Y$  e  $X$  são matrizes de insumos e produtos de todas as DMU, respectivamente; e  $v_0$  é o fator de escala. São consideradas eficientes as DMU cujo score DEA seja igual a 1; as demais são tecnicamente ineficientes. A DEA é uma técnica de avaliação não paramétrica para mensurar a eficiência, fundamentada em um método de otimização matemática. É um método empregado em vários setores produtivos em diversos níveis (países, regiões, províncias ou unidades produtivas), além de ser utilizado para avaliar a eficiência em diversos setores e ramos econômicos, como nos gastos com educação e saúde, na produção e consumo de energia e na industrial e agrícola.

A análise foi feita para dois momentos (2006 e 2017), considerando como insumos estas variáveis: área utilizada para agropecuária no município no respectivo ano (AA), em hectares; total de trabalhadores em propriedades rurais no município (L); crédito rural total (custeio, investimento e comercialização, agrícola e pecuário) contratado no respectivo ano (C), em mil reais. Como produção agropecuária da região amazônica é diversificada, foi adotado como *proxy* para o produto o valor da produção agropecuária (VPA), dado pela soma do valor da produção, agrícola e pecuário, em mil reais. Embora essa variável esteja sujeita às variações de preço dos produtos – pois uma mudança de VPA pode não significar mudança na produção –, pode-se utilizá-la como *proxy* porque ela converte as diferentes unidades produtivas dos produtos

agropecuários em uma única medição (Miller & Blair, 2009).

Entretanto, a realidade da produção amazônica é heterogênea em termos tecnológicos, produtivos e de dependência regional. Para fazer um comparativo entre os municípios, inicialmente eles foram classificados em grupos, com base na sua dependência econômica em relação à produção agropecuária. Foi mensurada a participação do Valor Adicionado da Produção Agropecuária (VApa) no Produto Interno Bruto municipal (PIBm). Municípios com participação de pelo menos 50% foram alocados no grupo 1 (D1); em D2, a partir de 25% e menos de 50%; e em D3, abaixo de 25%. Para cada grupo, em cada ano, fez-se o cálculo da DEA.

### Determinantes da eficiência

Determinados os municípios eficientes em cada ano, buscou-se verificar as variáveis que podem ser determinantes para o incremento da eficiência agropecuária na região amazônica. Utilizou-se um modelo logit para determinar a probabilidade de uma DMU ser eficiente (variável dependente binária) diante de um conjunto de regressores (variáveis binárias e/ou contínuas). Sendo  $P_i$  a probabilidade de ocorrência de um evento, então pode-se determinar o modelo logit por

$$P_i = 1/(1 + e^{-z}) \quad (2)$$

em que  $z$  é a função linear

$$z = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i X_i$$

com um conjunto de variáveis independentes ( $X_i$ ) e respectivos coeficientes lineares ( $\beta_i$ ). A partir da equação 2, a razão de probabilidade de ocorrência de um evento pode ser dada por

$$P_i/(1 - P_i) = e^z \quad (3)$$

Transformando logaritmicamente a equação 3, tem-se o modelo linear

$$\ln(P_i/1 - P_i) = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i X_i + \varepsilon \quad (4)$$

com um termo de erro ( $\varepsilon$ ), em que é possível estimar os coeficientes  $\beta_i$  por meio do método de máxima verossimilhança.

Neste trabalho, a variável dependente é a eficiência DEA obtida pela DMU, sendo a variável igual à 1 quando for DEA eficiente e zero para as demais DMU. As variáveis independentes contínuas são estas: densidade de tratores (TR) no município (nº de tratores por mil hectares); efetivo do rebanho bovino (RB), em mil cabeças; e produção das principais commodities agrícolas (CA) na região – soja, milho e algodão –, em mil toneladas. Para as variáveis dicotômicas tecnológicas, foi atribuído o valor 1 quando pelo menos 25% das propriedades rurais dos municípios adotavam as seguintes práticas: uso de calcário (CC); uso de adubo (AD); alguma forma de preparo de solo (PS); e assistência técnica (AT). Ainda como variável dicotômica, foi incluído o grupo de participação relativa da produção agropecuária ( $D_i$ ) de que o município faz parte.

Para cada ano (2006 e 2017), foi estimado um modelo logit que contemplou na análise simultaneamente todos os municípios. Os modelos foram validados pelo teste qui-quadrado de ajuste de Pearson. Com base nos resultados, é possível obter a razão de probabilidades da variável, em caso de mudanças nos valores, transformando inversamente (exponencial) os coeficientes.

## Dados e análise

Foram levantados os dados de 771 municípios da Amazônia Legal (Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins e Maranhão – oeste do meridiano 44º W) para 2006 e 2017. Os dados agropecuários foram obtidos dos censos agropecuários de 2006 e 2017, fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020, 2021). Os dados do crédito rural foram coletados no Banco Central do Brasil (Bacen, 2020), com os valores monetários atualizados para 2017 pelo IGP-DI. Todos os procedimentos metodológicos foram feitos com o software R, versão 3.5.3 (R Core Team, 2019) – Tabela 1.

**Tabela 1.** Estatística descritiva.

Variável	2006				2017			
	Média	Desvio padrão	Máximo	Mínimo	Média	Desvio padrão	Máximo	Mínimo
Área (ha)	150.018,5	190.104,9	113,0	1.581.759,0	169.824,3	233.052,7	72,0	2.462.092,0
Trabalho	4.492,1	5.136,0	99,0	74.407,0	3.836,8	3.939,0	105,0	48.246,0
Crédito rural (R\$ mil)	11.120,42	23.700,23	0	238.527,68	35.162,75	82.253,19	0	970.019,79
Valor da produção (R\$ mil)	58.619,13	127.398,24	231,28	1.186.204,40	124.749,49	281.234,17	857,00	3.124.817,00
Tratores/ha mil	96,7	165,7	0	1.971,0	179,9	257,4	0	2.095,0
Rebanho bovino (cab. mil)	95,1	138,8	0	1.596,4	110,9	172,6	0	2.240,5
Commodities agrícolas (t mil)	32,3	149,7	0	2.217,9	96,6	386,5	0	6.048,9

## Resultados

Comparar municípios com diferentes vocações produtivas em uma vasta região na Amazônia é um processo complexo e, portanto, em uma análise de eficiência, é necessário inicialmente criar grupos em parte homogêneos. Este trabalho classificou os municípios em três grupos em função da dependência da economia em relação à produção agropecuária. Simultaneamente, fez-se o cálculo de eficiência DEA para cada município (DMU) em cada grupo (Tabela 2).

Os resultados mostram que o número de municípios dependentes da agropecuária (D1) subiu no período, incluindo o total de municípios eficientes. Na Amazônia em geral, o número de municípios eficientes cresceu entre 2006 e 2017 (de 27 para 39). O rendimento da produção rural na Amazônia cresceu significativamente no período, de R\$ 390,75/ha em 2006 para R\$ 734,58/ha em 2017. Enquanto a área agropecuária total aumentou 13,2%, o VPA cresceu 112,8%, refletindo o melhor uso dos recursos pelas DMU (razão de 8,54). O score DEA médio subiu de 0,193 em 2006 para 0,309 em 2017 (Figura 1).

Para verificar a relação entre a eficiência das DMU com um conjunto de variáveis, foi estimado um modelo logit para cada ano agrupando novamente todos os municípios (Tabela 3). O teste qui-quadrado de ajuste de Pearson rejeita a hipótese que o que modelo não está bem ajustado para ambos os anos.

Tanto para 2006 quanto para 2017, TR, RB e CA se mostraram significativas ( $p < 0,05$ ). Já as variáveis tecnológicas AD e OS foram significativas em 2006 ( $p < 0,1$ ) mas não em 2017. Os grupos se mostraram relevantes para a eficiência principalmente em 2017.

Estimados os coeficientes, então é possível obter a razão de probabilidades em caso de alteração em variáveis selecionadas. Para TR, a ampliação, em um município, de 1 trator para cada mil hectares poderia elevar em 30,91% a probabilidade de a DMU ser eficiente em 2006 e em 21,87% em 2017. O mesmo efeito positivo ocorre em caso da ampliação da produção de commodities agrícolas: o aumento de mil toneladas na produção municipal subiria em 0,18% as chances de a DMU ser eficiente em 2006 e em 0,06% em 2017. Já a variável RB mostrou-se negativa: o aumento de mil cabeças reduziria a eficiência em 1,18% e 1,65% em 2006 e 2017, respectivamente.

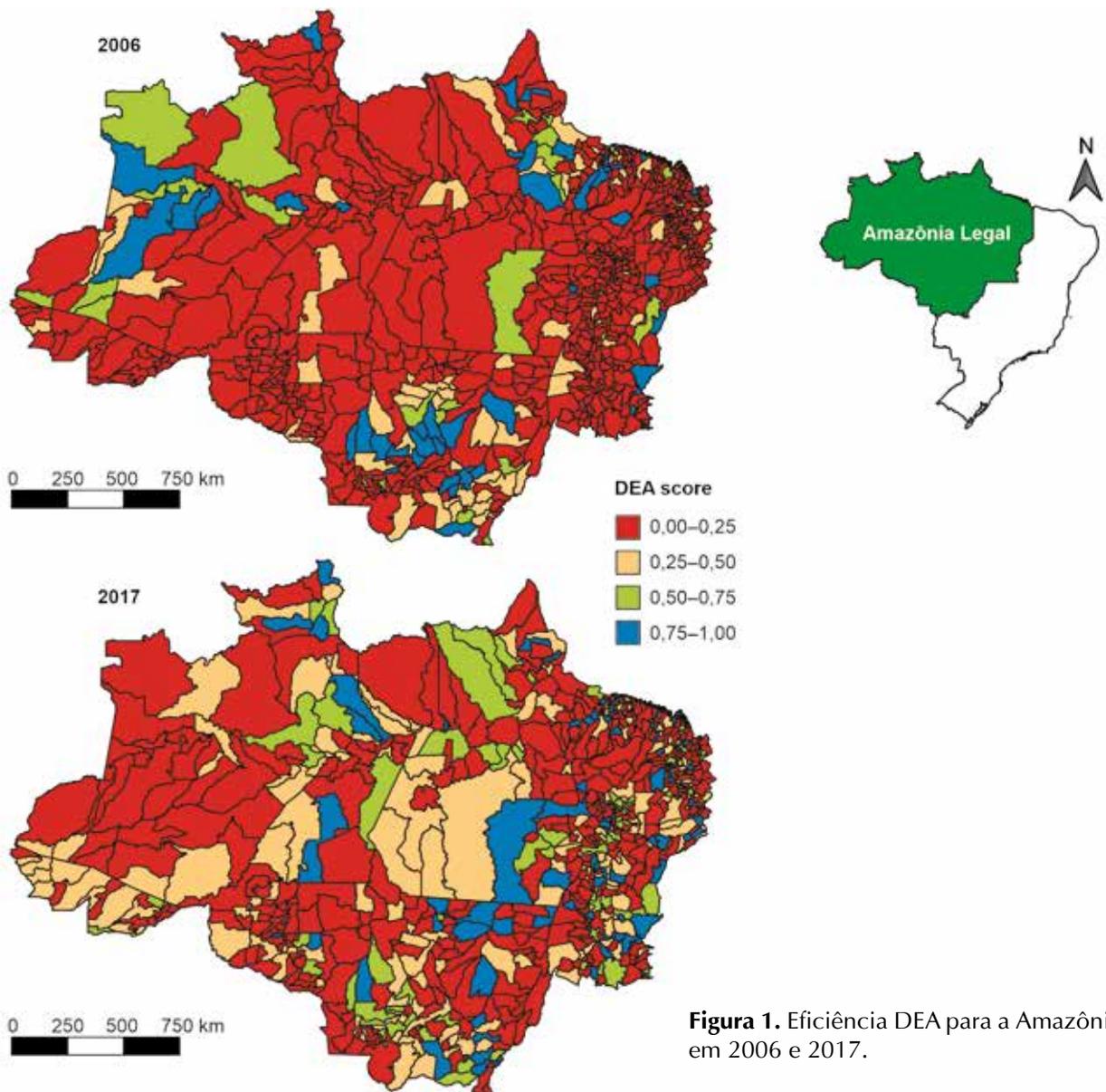
Para as variáveis dicotômicas, os municípios D2 têm 3,46 vezes menos chance de ser eficiente do que os de D1 em 2017. Para os municípios de D3, as chances são ainda menores: dez vezes menos chance em 2006 e 15,7 vezes em 2017.

## Discussão

A eficiência agropecuária nas unidades produtivas da Amazônia pode contribuir em diferentes aspectos: i) redução da pobreza, pelo incremento do rendimento do trabalho na terra;

**Tabela 2.** Grupos de dependência da agropecuária e eficiência na Amazônia brasileira.

Grupo	2006				2017			
	DEA eficientes	Municípios no grupo	% em relação ao grupo	Score DEA médio	DEA eficientes	Municípios no grupo	% em relação ao grupo	Score DEA médio
D1	4	25	16,0	0,552	10	47	21,3	0,681
D2	14	287	4,9	0,221	18	267	6,7	0,448
D3	9	459	2,0	0,157	11	457	2,4	0,189
<b>Total</b>	<b>27</b>	<b>771</b>	<b>3,5</b>	<b>0,193</b>	<b>39</b>	<b>771</b>	<b>5,1</b>	<b>0,309</b>



**Figura 1.** Eficiência DEA para a Amazônia em 2006 e 2017.

ii) ampliação da oferta de alimentos e matérias-primas, pela maior produtividade; iii) redução do desmatamento, decorrente de pressões por cumprimento de padrões ambientais – a intensificação do uso da terra é uma alternativa à expansão de área agrícola ou pastagem. Conjuntamente, esses aspectos tendem a propiciar o desenvolvimento regional, principalmente em uma região que, historicamente, carece de recursos.

Percebe-se claramente o crescimento da eficiência agropecuária entre os municípios da região em 2006–2017. Embora a eficiência de

uma unidade pode ser conquistada pela redução da quantidade de insumos (mantendo o produto constante), na Amazônia, na última década, observou-se uma situação diferente. Houve incremento dos insumos (área destinada a fins agrícola e pecuário) acompanhado de crescimento ainda maior do produto: o valor da produção cresceu 8,5 vezes mais do que a área. O rendimento por hectare (R\$/ha) cresceu 88% de 2006 a 2017, média de 5,9% ao ano. Em linhas gerais, o incremento da eficiência ocorreu pelo melhor aproveitamento dos insumos já utilizados.

**Tabela 3.** Modelo logit para a Amazônia (Y = DMU eficientes).

Variável	Modelo 2006		Modelo 2017	
	Coefficiente	Erro padrão	Coefficiente	Erro padrão
Constante	-1,876 **	0,722	-0,373	0,521
TR	0,269 **	0,106	0,198 **	0,092
RB	-0,012 **	0,005	-0,017 **	0,004
CA	0,002 **	0,001	0,0006 **	0,000
CC	0,650	0,815	0,379	0,725
AD	1,084 *	0,605	-0,843	0,573
AT	0,758	0,568	0,772	0,518
os	-1,182 *	0,650	-0,339	0,413
D2	-1,113	0,720	-1,241 **	0,470
D3	-2,308 **	0,755	-2,751 ***	0,533

Notas: \* significante a 10%; \*\* significante a 5%; TR – tratores por mil ha; RB – rebanho bovino (mil cab.); CA – produção de commodities agrícolas (soja, milho e algodão) (t mil); CC – uso de calcário; AD – uso de adubo; AT – recebe assistência técnica; OS – faz preparo do solo; D2 – grupo 2; D3 – grupo 3; D1 – grupo 1, representado pela constante quando D2 = D3 = 0.

Os municípios DEA eficientes passaram de 27 em 2006 para 39 em 2017. O escore DEA médio também subiu no período, mostrando que municípios antes distantes da eficiência foram capazes de ampliar o rendimento produtivo. Entretanto, quando se separaram os municípios em grupos com base na dependência do PIB em relação ao valor adicionado bruto da agropecuária, observa-se que o grupo com relação acima de 50% exibe maior número de unidades eficientes relativamente ao total – a proporção relativa de municípios eficientes decresce conforme a relação VAP/PIB cai.

Os municípios identificados com maior dependência do setor agropecuário (D1) possuem nele a base de sua economia, e, portanto, o uso eficiente dos recursos é necessário para o funcionamento econômico. Entretanto é no grupo intermediário (D2) que estão os principais municípios produtores agrícolas da Amazônia (grãos, gado ou outros produtos relevantes, como dendê e algodão), motivo que impulsionou o salto no escore DEA média no período (de 0,221 em 2006 para 0,448 em 2017). O grupo menos dependente da produção rural (D3) possui outros setores como chave da economia local. Nele, portanto, o desenvolvimento da produção rural é menos vinculado a incrementos da eficiência.

Entre os determinantes da eficiência estimados pelo modelo logit, a densidade de trator se mostrou relevante. Tal tecnologia permite incrementar o rendimento do trabalho e elevar o produto e também contribui para o desenvolvimento necessário em agriculturas de escala, como as commodities agrícolas, como soja e milho. Para 2017, essa variável tinha a capacidade de elevar em 21,87% as chances de um município ser eficiente para cada trator por mil hectares adicional. A tecnologia agrícola pode ser um meio de promover o desenvolvimento rural através da eficiência produtiva. Portanto, são essenciais as políticas tanto para a aquisição tecnológica pelas propriedades rurais quanto para a difusão do conhecimento sobre as tecnologias.

Para a produção agrícola das principais commodities, é positivo para a eficiência o incremento da área plantada. Isso ocorre porque essas culturas (milho, soja e algodão) estão vinculadas a cadeias produtivas já bem estruturadas e com nível tecnológico e padrão produtivo elevados. O papel tanto do setor privado quanto do público é intenso, seja com pesquisa e introdução de novas variedades, seja com disponibilização de capital e integrações verticais da produção. Nos municípios, há fortes investimentos privados em tais cadeias, capazes de contribuir para a eficiên-

cia com o incremento da produção com menor expansão de área (agricultura intensiva), reflexos tanto das mudanças da política ambiental, que incentivam o uso racional dos recursos, quanto de investimentos realizados ao longo do tempo em tecnologia e infraestrutura.

O rebanho bovino exibiu efeito inverso em ambos os anos, ou seja, o incremento do efetivo de animais (a cada mil cabeças adicionais) reduz a eficiência (em 1,18% para 2006 e 1,65% para 2017). A pecuária na região é historicamente associada a processos de ocupação da terra, ou seja, ocorre de forma extensiva e ineficiente. Essa atividade é apontada como uma das principais causas do desmatamento na região. Técnicas intensivas de criação que permitem maior ganho por hectare chegaram só recentemente, mas ainda de forma incipiente.

Para o desenvolvimento regional e o incremento do total de DMU (municípios) eficientes na Amazônia, a ampliação do acesso às políticas agrícolas é essencial. O crédito rural é importante por estimular a mecanização e a tecnificação no meio rural, o que amplia o rendimento do trabalho e, conseqüentemente, a eficiência das unidades produtivas. Entretanto, a distribuição do crédito na Amazônia é desigual e insuficiente para contribuir ainda mais para o incremento da eficiência (Rodrigues & Silva, 2015). Logo, ações adicionais, como capacitação no campo, difusão de conhecimento e regularização fundiária, devem ser implantadas para facilitar o acesso ao crédito.

Além do crédito rural, um dos grandes gargalos na Amazônia para o crescimento do agronegócio é a falta de infraestrutura (Frey et al., 2018), que reduz a competitividade e dificulta a modernização das cadeias produtivas locais. Portanto, políticas podem dar suporte a soluções de transporte, armazenamento e distribuição de energia elétrica, mas é importante considerarem a sustentabilidade necessária para que o agronegócio não crie desafios para a conservação ambiental na região.

## Conclusão

A extensão da Amazônia e o papel do setor agropecuário na região tornam necessário o uso mais eficiente dos recursos. Este trabalho analisou a eficiência dos municípios da Amazônia em 2006–2017. Foi possível verificar que no período de uma década a eficiência geral dos municípios cresceu, principalmente pela maior capacidade de gerar valor de produção empregando os insumos disponíveis.

Também foi mostrado que a atividade pecuária favorece a ineficiência em parte dos municípios, principalmente pelo predomínio histórico do sistema extensivo. Já o cultivo das principais commodities favorece a eficiência, pois foram desenvolvidos sistemas mais intensivos com o uso de tecnologias e capital. O incremento do rendimento do trabalho pelo maior número de máquinas agrícolas por hectare também favoreceu a eficiência.

Alguns caminhos parecem ser obrigatórios para o ganho de eficiência da economia amazônica. O primeiro é o que aproxima a região dos principais mercados. Naturalmente, as commodities são a principal opção. Deve-se buscar também valorizar os produtos tipicamente amazônicos, como ocorre com o açaí e a castanha-do-pará. O cupuaçu, a pupunha e o tucumã, por exemplo, além de servirem de alimentos, podem entrar no ramo de cosméticos e da biotecnologia. Outra importante via é a da expansão de políticas agrícolas para a Amazônia. O crédito rural e o desenvolvimento de infraestrutura podem ampliar a rentabilidade e a competitividade das cadeias produtivas, direcionando a produção para trajetórias mais eficientes e que contribuam para o desenvolvimento regional.

## Referências

ARAÚJO, M.J. **Fundamentos do agronegócio**. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2007.

ARNDT, H.W. Economic development: a semantic history. **Economic Development and Cultural Change**, v.29, p.457-466, 1981. DOI: <https://doi.org/10.1086/451266>.

BACEN. Banco Central do Brasil. **Matriz de Dados do Crédito Rural**. 2020. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/estabilidade/financeira/creditorural>>. Acesso em: 31 mar. 2020.

BARBOSA, W. de F.; SOUSA, E.P. de; AMORIM, A.M.; CORONEL, D.A. Eficiência técnica da agropecuária nas microrregiões brasileiras e seus determinantes. **Ciência Rural**, v.43, p.2115-2121, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013005000126>.

BENEGAS, M. O uso do modelo NetWork DEA para avaliação da eficiência técnica do gasto público em ensino básico no Brasil. **Economia**, v.13, p.569-601, 2012.

CASTRO, N.R.; BARROS, G.S. de C.; ALMEIDA, A.N.; GILIO, L.; MORAIS, A.C. de P. The Brazilian agribusiness labor market: measurement, characterization and analysis of income differentials. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.58, e192298, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2020.192298>.

COOPER, W.W.; SEIFORD, L.M.; TONE, K. **Data envelopment analysis: a comprehensive text with models, applications, references and DEA-Solver software**. Boston: Kluwer Academic, 2000.

CORCIOLI, G.; MEDINA, G. da S.; ARRAIS, C.A. Missing the target: Brazil's agricultural policy indirectly subsidizes foreign investments to the detriment of smallholder farmers and local agribusiness. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v.5, art.796845, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.796845>.

FARIA, F.P.; JANNUZZI, P. de M.; SILVA, S.J. da. Eficiência dos gastos municipais em saúde e educação: uma investigação através da análise envoltória no estado do Rio de Janeiro. **Revista de Administração Pública**, v.42, p.155-177, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-76122008000100008>.

FEARNSIDE, P.M. The roles and movements of actors in the deforestation of Brazilian Amazonia. **Ecology and Society**, v.13, art.23, 2008. DOI: <https://doi.org/10.5751/ES-02451-130123>.

FREY, G.P.; WESR, T.A.P.; HICKLER, T.; RAUSCH, L.; GIBBS, H.K.; BÖRNER, J. Simulated Impacts of Soy and Infrastructure Expansion in the Brazilian Amazon: A Maximum Entropy Approach Forests. **Forest**, v.9, art.600, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/f9100600>.

GARRONE, M.; EMMERS, D.; OLPER, A.; SWINNEN, J. Jobs and agricultural policy: Impact of the common agricultural policy on EU agricultural employment. **Food Policy**, v.87, art.101744, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2019.101744>.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2006**: segunda apuração. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/>

>. Acesso em: 31 mar. 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2017**: resultados definitivos. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>>. Acesso em: 11 ago. 2021.

KOČIŠOVÁ, K. Application of the DEA on the measurement of efficiency in the EU countries. **Agricultural Economics**, v.61, p.51-62, 2015. DOI: <https://doi.org/10.17221/107/2014-AGRICECON>.

KUZNETS, S. **Toward a theory of economic growth with reflections on the economic growth of modern nations**. Nova York: W.W. Norton, 1968.

MARCHAND, S. The relationship between technical efficiency in agriculture and deforestation in the Brazilian Amazon. **Ecological Economics**, v.77, p.166-175, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.02.025>.

MARGULIS, S. **Causas do desmatamento da Amazônia brasileira**. Brasília: Banco Mundial, 2003.

MARINHO, E.; SOARES, F.; BENEGAS, M. Desigualdade de renda e eficiência técnica na geração de bem-estar entre os estados brasileiros. **Revista Brasileira de Economia**, v.58, p.583-608, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-71402004000400006>.

MCARTHUR, J.W.; MCCORD, G.C. Fertilizing growth: Agricultural inputs and their effects in economic development. **Journal of Development Economics**, v.127, p.133-152, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2017.02.007>.

MENDONÇA, M.J.; LOUREIRO, P.R.A.; SACHSIDA, A. The dynamics of land-use in Brazilian Amazon. **Ecological Economics**, v.84, p.23-36, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.08.014>.

MEZA, L.A.; MELLO, J.C.C.B.S. de; GOMES, E.G.; FERNANDES, A.J.S. Seleção de variáveis em DEA aplicada a uma análise do mercado de energia elétrica. **Investigação Operacional**, v.27, p.21-36, 2007.

MILLER, R.E.; BLAIR, P.D. **Input-output analysis: foundations and extensions**. 2<sup>nd</sup> ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511626982>.

NEPSTAD, D.C.; STICKLER, C.M.; ALMEIDA, O.T. Globalization of the Amazon soy and beef industries: opportunities for conservation. **Conservation Biology**, v.20, p.1595-1603, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00510.x>.

OECD. Organisation for Economic Cooperation and Development. **Agricultural policy monitoring and evaluation 2019**. Paris, 2019. (OECD. Agricultural

Policy Monitoring and Evaluation). DOI: <https://doi.org/10.1787/39bfe6f3-en>.

QUEIROZ, M. de F.M. de; SILVA, J.L.M. da; FIQUEIREDO, J. de S.; VALE, F.F.R. do. Eficiência no gasto público com saúde : uma análise nos municípios do Rio Grande do Norte. **Revista Econômica do Nordeste**, v.44, p.761-776, 2013.

R CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Viena: R Foundation for Statistical Computing, 2019.

RADA, N.; HELFAND, S.; MAGALHÃES, M. Agricultural productivity growth in Brazil: large and small farms excel. **Food Policy**, v.84, p.176-185, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2018.03.014>.

RIVERO, S.; ALMEIDA, O.; ÁVILA, S.; OLIVEIRA, W. Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. **Nova Economia**, v.19, p.41-66, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-63512009000100003>.

ROCHA, G.A.P.; OZAKI, V.A. Crédito rural: histórico e panorama atual. **Revista de Política Agrícola**, ano29, p.6-31, 2020.

RODRIGUES, M.; MARQUEZIN, W.R. CPR como um instrumento de crédito e comercialização. **Revista de Política Agrícola**, ano23, p.40-50, 2014.

RODRIGUES, M.; SILVA, D.C.C. Crédito rural e produção agropecuária no Pará. **Revista de Administração e Negócios da Amazônia**, v.7, p.105-119, 2015. DOI: <https://doi.org/10.18361/2176-8366/rara.v7n3p105-119>.

SCHULTZ, T.W. **A transformação da agricultura tradicional**. Rio de Janeiro: Zahar, 1965.

SENGUPTA, J.K. **Dynamics of data envelopment analysis: theory of systems efficiency**. Dordrecht: Springer, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-94-015-8506-4>.

SILVA, J.L.M. da; ALMEIDA, J.C.L. de. Eficiência no gasto público com educação: uma análise dos municípios do Rio Grande do Norte. **Planejamento e Políticas Públicas**, n.39, p.219-242, 2012.

SOUZA, G. da S. e; GOMES, E.G. Improving agricultural economic efficiency in Brazil. **International Transactions in Operational Research**, v.22, p.329-337, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/itor.12055>.

SOUZA, G. da S. e; MOREIRA, T.B.S.; GOMES, E.G. Potential improvement of agricultural output for major producers based on DEA efficiency measurements. **Pesquisa Operacional**, v.31, p.79-93, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0101-74382011000100006>.

SPAROVEK, G.; GUIDORRI, V.; PINTO, L.F.G.; BERNDDES, G.; BARRETTO, A.; CERIGNONI, F. Asymmetries of cattle and crop productivity and efficiency during Brazil's agricultural expansion from 1975 to 2006. **Elementa Science of the Anthropocene**, v.6, art.25, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1525/elementa.187>.

TOMA, E.; DOBRE, C.; DONA, I.; COFAS, E. DEA applicability in assessment of agriculture efficiency on areas with similar geographical patterns. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v.6, p.704-711, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.08.127>.