

**EFICIÊNCIA PRODUTIVA E ECOEFICIÊNCIA: UMA ANÁLISE DOS
MUNICÍPIOS DA AMAZÔNIA LEGAL**
*PRODUCTIVE EFFICIENCY AND ECO-EFFICIENCY: AN ANALYSIS OF THE
MUNICIPALITIES IN THE LEGAL AMAZON*

Autor(es): William Sales De Melo¹; Márcio Júlio Pereira Henriques¹; Angel Manuel Benitez Rodriguez²; Adriano Provezano Gomes¹.

Filiação: ¹Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Economia. ²Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Economia Rural.

E-mail: william.melo@ufv.br; marcio.henriques@ufv.br; angel.rodriquez@ufv.br; apgomes@ufv.br

Grupo de Trabalho (GT): GT4. Questão ambiental, agroecologia e sustentabilidade

Resumo

A Floresta Amazônica desempenha um papel essencial no controle climático global e está no centro do debate sobre sustentabilidade no mundo. A problemática em torno do uso de suas terras para fins produtivos é controversa, o que gera a necessidade de investigações sobre a forma com que os municípios desta área gerenciam seus recursos. Objetivando verificar se municípios eficientes produtivamente também são eficientes do ponto de vista ambiental utilizou-se a Análise Envolvória de Dados (DEA) com orientação produto e retornos variáveis de escala para construir dois modelos distintos: um para eficiência produtiva e outro para ecoeficiência. Os resultados apontam que os índices de eficiência não foram grandemente impactados pela inclusão da variável ambiental (1/Emissões de gases), havendo apenas um aumento ínfimo no número de municípios plenamente eficientes. Isto sugere que as cidades que foram consideradas eficientes na utilização dos recursos continuam sendo eficientes ou ineficientes na presença da variável ambiental.

Palavras-chave: Floresta Amazônica; Eficiência produtiva; Ecoeficiência; Sustentabilidade.

Abstract

The Amazon Rainforest plays a vital role in global climate control and is at the heart of the sustainability debate worldwide. The issue surrounding the use of its lands for productive purposes is contentious, leading to the need for investigations into how municipalities in this area manage their resources. To determine whether municipalities that are productive also demonstrate environmental efficiency, Data Envelopment Analysis (DEA) with product orientation and variable returns to scale was used to construct two distinct models: one for productive efficiency and another for eco-efficiency. The findings indicate that efficiency scores were not significantly affected by the inclusion of the environmental variable (1/Gas Emissions), with only a negligible increase in the number of fully efficient municipalities. This suggests that cities considered efficient in resource utilization remain so, whether efficient or inefficient, in the presence of the environmental variable.

Key words: Amazon Rainforest; Productive Efficiency; Eco-efficiency; Sustainability.

1. Introdução

A floresta Amazônica é um dos maiores ecossistemas do mundo, exerce papel crucial na regulação do clima do continente sul-americano e está no cerne do debate sobre as mudanças climáticas e a sustentabilidade no mundo. Segundo o Banco Mundial (2019) e o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, (IPCC, 2021) a maior floresta tropical do planeta possui cerca de 60% de seu território localizado no Brasil. Os demais países da América do Sul que possuem porções da floresta em seus territórios são Bolívia, Colômbia, Equador, Guiana, Guiana Francesa, Peru, Suriname e Venezuela.

As principais atividades agropecuárias da Amazônia Legal incluem a produção de soja no Cerrado, pecuária bovina e produtos florestais e agroindustriais, onde a maior área é ocupada pela pecuária. Análises em andamento têm mostrado que a atividade tem se intensificado entre a década de 90 e o início dos anos 2000. De acordo com o Ministério da Agricultura (2023), a produção agropecuária, florestal e extrativista possui grande relevância econômica na região, empregando um contingente expressivo de trabalhadores.

Vale ressaltar que, a maior parte das terras na Amazônia Legal são de baixa fertilidade, com algumas exceções em determinadas regiões próximas a recursos hídricos. Portanto,

intensificar a produção agropecuária nesses solos ácidos e pouco propícios à agricultura implica necessariamente no uso de insumos modernos. Além disso, a Amazônia está longe das regiões de produção e comercialização do país e esses insumos geralmente apresentam termos de troca desfavoráveis, comprometendo a rentabilidade dos sistemas mais intensivos em insumos modernos (Bueno *et al.*, 2011).

Soma-se a estes fatores a pressão ambiental e os impactos de atividades sobre o ecossistema e o cenário é ainda mais desafiador na região. O sistema PRODES (Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia) juntamente com o Plano Amazônia Sustentável do governo federal, permitiram a estimação de um desmatamento no território de 676.165 km² que equivale a 16,01% de sua área total. Constatou-se que as principais causas do desmatamento no Bioma da Amazônia estão relacionadas à expansão da agricultura, às obras de infraestrutura e a ausência de ordenamento territorial em termos de legislação ambiental em contraste com a política fundiária (Lemos; Silva, 2011).

Nesse contexto percebe-se que as políticas públicas e os preços agrícolas têm um impacto significativo sobre o desmatamento, portanto, a propositura de políticas que auxilie na eficiência produtiva aliada a ecoeficiência dos municípios, mostra-se importante, observando-se o contexto discutido. O setor agropecuário é crucial para a segurança alimentar e entender suas mudanças pode garantir que a produção de alimentos seja sustentável e atenda às necessidades da população. Nesse ínterim, muitas vezes aspectos sociais e demográficos são negligenciados, o que acaba por tornar a região um ponto de concentração de renda marcado pela crescente vulnerabilidade social.

A análise da eficiência operacional dos municípios, em conjunto com a sua eficiência ecológica, encontra relevância em uma série de fatores. Dada a importância da agropecuária na economia local, o fornecimento de bases empíricas de análise pode auxiliar na tomada de decisões que otimizem a produtividade. Ao avaliar o desempenho dos municípios em termos de sustentabilidade e eficácia produtiva, abre-se a possibilidade de identificação dos determinantes do desenvolvimento sustentável. Esta análise permite uma compreensão mais aprofundada das interações entre a eficiência produtiva e a eficiência ecológica, proporcionando uma visão holística da sustentabilidade na região da Amazônia Legal.

Portanto, este artigo objetiva verificar a eficiência dos municípios da Amazônia Legal em sua produção do setor agropecuário em conjunto com a análise da ecoeficiência destes, discutindo as implicações da combinação das duas eficiências para os municípios. Tal objetivo parte da problemática que busca responder se os municípios que demonstram eficiência produtiva também são ecoeficientes. Busca-se, portanto, identificar os municípios ecoeficientes para que as medidas adotadas por estes possam servir de base para a incorporação de ações otimizadoras por outras localidades. Este estudo se justifica no fato de que a Amazônia Legal abriga uma grande biodiversidade, onde mudanças na agropecuária podem ter um grande impacto sobre o bioma e sua população. É relevante monitorar os municípios pertencentes à região de formas distintas, a fim de melhorar a capacidade produtiva em conjunto com a capacidade de manejo sustentável dos recursos ambientais.

2. Amazônia legal

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2020) e o com o Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (Imazon, 2021), a Amazônia Legal é definida pela área que corresponde ao território total dos estados da Região Norte do Brasil (Rondônia, Acre, Amazonas, Roraima, Pará, Amapá e Tocantins), juntamente com a totalidade do estado de Mato Grosso na Região Centro-Oeste e parte da área oeste do estado do Maranhão na Região Nordeste.

A região foi instituída pela Lei 1.806, de 06/01/1953, com o objetivo de definir a delimitação geopolítica com fins de aplicação de políticas de soberania territorial e econômica para a promoção de seu desenvolvimento. Os limites estabelecidos no arcabouço legal brasileiro abrangem 58,9% do território brasileiro e se estendem por 8.510.295,914 km² distribuídos em nove estados com um total de 772 municípios¹. O Maranhão, apesar de ser o estado com o maior número de municípios, tem cerca de 79,3% do seu território (ou 261.350,785 km²) integrado à área de abrangência da Amazônia Legal.

Ao se tratar de questões relacionadas com a região, é imprescindível levar em consideração aspectos sociodemográficos, uma vez que a Amazônia Legal abriga uma população residente de mais de 28 milhões de habitantes (Imazon, 2021; Nobre et al., 2023). Esta população é excepcionalmente diversificada e faz parte de uma população empobrecida da América Latina. Nobre et al. (2023) pontuam por exemplo que cerca de metade das relações de trabalho na região são de caráter informal, além da presença de localidades insalubres e pessoas em situação de extrema pobreza.

O Produto Interno Bruto (PIB) da Amazônia Legal para o ano de 2015 foi de R\$497 bilhões correntes (Nobre *et al.*, 2023), enquanto a estimativa da Amazônia Legal em Dados (2020) aponta R\$763,7 bilhões de reais, o que evidencia a importância econômica da região para o país e sugere um crescimento acelerado. Todavia aspectos econômicos tornam-se secundários quando se analisa o valor intrínseco do bioma. Fearnside (2021) reforça esse aspecto quando cita as fontes de renda oriundas da natureza na região, como madeiras, fibras e derivados que fomentam desde a indústria de cosméticos até a farmacêutica. Alguns ativos sequer foram descobertos, com grande potencial para produção de novos fármacos, além das riquezas minerais e grande disponibilidade de recursos hídricos, onde cerca de 20% da água doce do mundo se encontra na região. Os serviços ambientais que são responsáveis por grande parte da economia do continente, como o ciclo de chuvas em todo o país e a ciclagem de nutrientes são fatores que merecem destaque. Apesar da gigantesca riqueza econômica e serviços ambientais, a biodiversidade é o fator que na verdade faz com que a região possua um valor inestimável, onde pelo menos 18% da biodiversidade do planeta se concentra na região, além de existirem inúmeros pontos de *hotspot* e milhares de espécies endêmicas, algumas delas com o risco de extinção antes mesmo de serem descobertas.

O Brasil como liderança global, possui sérios desafios acerca de questões de preservação e conservação de seus recursos naturais. As projeções para o futuro da região apresentam um cenário pessimista. De acordo com Nobre *et al.* (2023), a Floresta Tropical Amazônica enfrenta um sério risco de “savanização”, um processo que tende à transformação da região em uma planície seca e arbustiva em um futuro relativamente próximo. Esse fenômeno é resultado da interação complexa entre a desflorestação desenfreada e as mudanças climáticas globais.

A transformação em curso tem origens antigas, mas nos últimos anos têm se intensificado a um ritmo mais acelerado do que inicialmente previsto, onde fenômenos que estavam projetados para décadas futuras já são observáveis no presente, vide as sucessivas quebras de recordes de temperatura a cada ano. As taxas de desmatamento estão próximas de 18%, um nível considerado preocupante pois ao atingir um patamar de 20% o bioma passaria por um ponto de inflexão onde não haveria possibilidade de reversão da degradação. Neste momento, mais uma mudança drástica global ocorreria, com severo risco à segurança alimentar e energética do Brasil e impactos sobre todo planeta terra.

¹ A quantidade de municípios em cada estado de acordo com o IBGE (2020) é: Acre (22 municípios), Amapá (16), Amazonas (62), Mato Grosso (141), Pará (144), Rondônia (52), Roraima (15), Tocantins (139) e parte do Maranhão (181, dos quais 21 foram parcialmente integrados)

Portanto, a análise da eficiência de variáveis ambientais pode auxiliar no entendimento mais aprofundado da temática e permitir apontamentos ainda não realizados, vale pontuar que muitas vezes a população residente na região não é contemplada para na análise, o que torna o tema mais sensível em relação à debates sobre sustentabilidade. Uma vez que as atividades econômicas potencialmente podem exercer pressão sobre o bioma, cabe à análise abordar os fatores mais relevantes relacionados à diferenciação e avaliação da eficiência produtiva e/ou ecoeficiência. Portanto, a análise envoltória de dados como ferramenta, permite a consideração simultânea de aspectos econômicos e ambientais.

3 Metodologia

O estudo emprega um modelo empírico para quantificar a eficiência dos municípios da região da Amazônia Legal. A metodologia utilizada para essa estimação é a Análise Envoltória de Dados, uma abordagem não-paramétrica que permite a estimação de uma fronteira eficiente. Dois modelos distintos foram empregados na análise: o primeiro não considera variáveis ambientais sendo responsável por estimar a eficiência produtiva, enquanto o segundo incorpora as emissões de gases de efeito estufa (GEE) como um produto indesejável, de forma a calcular a ecoeficiência das *Decision Making Units* (DMU's). O objetivo do segundo modelo é categorizar as unidades de acordo com sua eficiência ambiental. Isso permite verificar se as DMU's que são eficientes do ponto de vista produtivo também demonstram ecoeficiência.

3.1 Análise Envoltória De Dados

A Análise envoltória de dados (*Data Envelopment Analysis* - DEA) é uma metodologia desenvolvida por Charnes, Cooper e Rhodes (1978) amplamente utilizada para avaliar a eficiência relativa em diversas áreas do conhecimento. Ela utiliza programação linear para estimar uma fronteira de eficiência capaz de incorporar *inputs* (insumos ou fatores de produção) e *outputs* (saídas ou produtos) para o cálculo da eficiência de unidades tomadoras de decisão, designadas por DMU's (*Decision Making Units*).

As DMU's que estão sobre essa fronteira são consideradas eficientes, enquanto as demais podem melhorar em relação a seus *benchmarks*, que são as DMU's utilizadas como modelo a ser seguido. Zhu et al (2019) elucidam que existe uma recomendação empírica de que o número de DMU's seja pelo menos três vezes maior que a soma dos inputs e outputs. Quando o número de DMU's é muito baixo em relação ao número de variáveis, a análise pode ficar comprometida.

Färe et al (2017) preceituam que o modelo objetiva criar uma função de produção que represente as relações entre inputs e outputs de todas as DMU's, chamado de resultado global; posteriormente pode-se encontrar as combinações ponderadas de *inputs* e *outputs* que maximizem a eficiência de uma DMU em relação a todas as outras. Isso é feito através da formulação de um problema de otimização linear, que é resolvido usando técnicas como o simplex ou o método dual.

As DMU's são eficientes independentemente de operarem em pequena ou grande escala. De acordo com Ahn et al. (2018) há dois modelos DEA clássicos. O modelo CCR (*constant returns to scale*) trabalha com retornos constantes de escala (Charnes et al., 1978). Já o modelo BCC, devido a Banker et al. (1984), considera retornos variáveis de escala. Nesse caso, a eficiência aumenta à medida que a escala de operação aumenta, ou seja, à medida que as DMU's produzem mais, elas se tornam mais eficientes.

Nesta análise são utilizados retornos variáveis para dois modelos propostos: um para eficiência produtiva e outro para verificar a ecoeficiência. Esse tipo de retorno é o mais utilizado na literatura, uma vez que os retornos constantes pressupõem uma certa homogeneidade dos insumos, o que pode não refletir a realidade. Além disso, a adoção de retornos de escala variáveis significa que os insumos podem ter diferentes valores para cada DMU.

Charnes et al (1994) esclarece que são possíveis duas orientações radiais para esses modelos: orientação a *inputs*, que tem como objetivo diminuir o uso de recursos para alcançar um determinado nível de produção; e a orientação a *outputs*, que visa maximizar os produtos mantendo a quantidade de insumos constante. A ênfase está em como aumentar a produção sem alocar recursos adicionais.

Dado o carácter das variáveis utilizadas como insumo nesta pesquisa (terra, capital e trabalho) a forma mais assertiva de otimização é a orientação produto para os dois modelos, pois ao diminuir o contingente de trabalhadores ou reduzir o capital empregado, haveria prejuízo do ponto de vista social e ambiental. O modelo com orientação produto também permite inserir a variável de emissão de gases do efeito estufa (emissão de GEE) como um insumo indesejável na forma de 1/GEE, dessa forma ao passo que o produto desejável é maximizado, a emissão de forma invertida é minimizada com esta orientação.

Neto, Gomes e Ervilha (2018) formalizam o modelo supondo k insumos e m produtos para cada uma das n DMU's. Posteriormente são construídas matrizes para os insumos e a matriz de produtos Y de dimensão $(k \times n)$ e $(m \times n)$ respectivamente. Nas linhas estão os insumos e nas colunas estão as DMU's, de forma que a eficiência é denotada como:

$$DMU_i = \frac{\mu y_i}{v x_i} = \frac{\mu_1 y_{1i} + \mu_2 y_{2i} + \dots + \mu_m y_{mi}}{v_1 x_{1i} + v_2 x_{2i} + \dots + v_k x_{ki}} \quad (1)$$

Em que μ é um vetor $(m \times 1)$ de pesos nos produtos e v um vetor $(k \times 1)$ de pesos dos insumos. É necessário atribuir pesos distintos para cada DMU, uma vez que os valores variam para as diferentes observações. Os valores de μ e v são os pesos atribuídos a cada DMU e são determinados de forma a maximizar a medida de eficiência de cada DMU. Este processo é realizado sob a restrição de que as medidas de eficiência sejam menores ou iguais a um. Posteriormente o problema de programação matemática é linearizado e é aplicada a dualidade para derivar sua forma envoltória; com orientação produto, esse processo resulta no seguinte modelo:

$$\begin{aligned} &MAX_{\phi, \lambda} \phi, \\ &sujeito a: \\ &-\phi y_i + Y\lambda = 0, \\ &x_i - X\lambda = 0, \\ &\lambda \geq 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Em que ϕ é um escalar que indica a eficiência de uma DMU i . Se o valor de ϕ for igual a um, a DMU é eficiente, caso contrário λ é um vetor $(n \times 1)$ cujos valores são provenientes da solução do problema. Valores de λ iguais a zero indicam eficiência, para ineficiência λ pode ser utilizado em uma combinação linear com outras DMU's de forma a projetar as unidades ineficientes para a fronteira eficiente; y_i é um vetor da quantidade de produtos da DMU i de dimensão $(m \times 1)$; x_i é um vetor $(k \times 1)$ de quantidade de insumos da i -ésima DMU.

3.2 Base de dados e procedimento proposto

Os dados foram obtidos do Censo Agropecuário para o ano de 2017. A pesquisa realizada pelo IBGE, investiga especificamente a produção agropecuária em estabelecimentos rurais brasileiros. Além disso, também foram utilizados dados do Sistema de Estimativas de

Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa SEEG para definir a variável ambiental. O quadro 1, a seguir, sumariza as variáveis utilizadas que representam os inputs e outputs do modelo DEA.

Quadro 1 – Definição das variáveis do modelo DEA.

Especificação	Variável	Descrição	Fonte
os Insum	Terra	Área dos estabelecimentos agropecuários nos municípios com lavoura permanente, lavoura temporária e matas/florestas plantadas, com pastagens naturais, pastagens em boas condições e pastagens em más condições	(IBGE, 2017)
	Trabalho	Pessoal ocupado em estabelecimentos agropecuários por município	(IBGE, 2017)
	Capital	Número de tratores existentes nos estabelecimentos de cada município	(IBGE, 2017)
os Produt	Produção	Valor da produção agropecuária acima deflacionado pelo IGP-DI centrado	(IBGE, 2017)
	1/Emissões de GEE do setor Agropecuário	Emissões de dióxido de carbono, metano, outros poluentes emitidos pelo setor agropecuário e Mudança de Uso da Terra e Florestas(desmatamento) em toneladas	(SEEG, 2017)

Fonte: Elaboração própria.

Na primeira estimação utilizou-se como insumos a terra, o capital e o trabalho e como produto a produção dos municípios. Foi realizada então uma segunda medição com os mesmos insumos, considerando como produto, além da produção dos municípios, as emissões de gases do efeito estufa de forma invertida: 1/Emissões (dado que as Emissões são um produto a ser minimizado). Utilizou-se o modelo DEA com retornos variáveis e orientação produto para as duas estimações: eficiência produtiva e ecoeficiência.

Em suma, o procedimento adotado no presente estudo foi realizado em duas etapas. Inicialmente, elaborou-se o modelo produtivo, em que se avalia a eficiência técnica dos municípios com relação à sua produção. Nessa etapa, foi utilizado o modelo com retornos variáveis à escala e orientação produto. Na segunda etapa, elaborou-se um modelo de ecoeficiência, através da adição da variável emissões de GEE em que se utilizou o modelo com retornos variáveis e orientação produto, porém a variável ambiental (emissões de gases) foi tratada como insumo indesejável, dessa forma foi incluída de forma inversa no produto (1/GEE).

4. Resultados e Discussão

A análise dos resultados é realizada em duas subseções. Numa primeira seção são apresentados e discutidos os resultados da análise descritiva. Posteriormente, são apresentados os resultados dos escores de eficiência dos municípios para o ano de 2017, juntamente com a análise de ecoeficiência.

4.1 Análise descritiva

A análise das estatísticas descritivas fornece evidências sobre as características da amostra, apontando tendências que podem ser confirmadas nas análises posteriores. A tabela 1

a seguir, apresenta as medidas dos diferentes indicadores para os 423 municípios utilizados no estudo, a saber da produção, terra, capital, trabalho e emissões de gases do efeito estufa (GEE), além das médias de eficiência e ecoeficiência.

Tabela 1 – Estatísticas descritivas referentes ao ano de 2017.

Variável	Média	Desvio Padrão	Mi n	Máx
Produção (R\$ mil)	153.701 ,409	329.037, 502	2.9 95,000	3.124.817 ,000
Terra (ha)	123.703 ,487	158.541, 386	56 4,000	1.475.117 ,000
Capital (un)	211,735	281,834	3,0 00	2.095,000
Trabalho (un)	4.908,7 38	4.480,45 0	30 4,000	48.246,00 0
Emissões de GEE (ton)	1.181.0 86,896	2.383.70 6,017	40, 000	24.598.96 4,000
Eficiência	0,268	0,220	0,0 43	1,000
Ecoeficiência	0,273	0,225	0,0 43	1,000

Fonte: Elaboração própria.

De acordo com a amostra, observa-se uma produção média de R\$153.701 milhões no ano de 2017 com a presença de uma expressiva dispersão dos dados em relação à média. Essa diferença é explicada pelo fato de a região abranger uma série de municípios muito distintos que constituem áreas que vão desde unidades onde a produção é bastante intensificada até localidades com baixíssimos níveis produtivos, estas localidades por sua vez, têm baixa produtividade por diversos fatores, seja por se tratarem de áreas remotas ou por possuírem uma baixa densidade demográfica, ou ambos.

Em termos de produção, por exemplo, os estados do Mato Grosso, Rondônia e Pará têm demonstrado crescimento expressivo da atividade agropecuária em seus territórios ao longo do tempo. Segundo o Ministério da Agricultura e Pecuária (2023), o Mato Grosso e o Pará figuram no *ranking* das dez maiores unidades federativas do Brasil em termos de produção (1ª e 10ª posição, respectivamente), além destes, Rondônia (11º) e Maranhão (14º) integram regiões de grande volume de produtivo.

Para elucidar a heterogeneidade regional pode-se observar que os 128 municípios com as maiores produções em reais naquele ano pertencem aos quatro estados mencionados. Por outro lado, a região Norte possui o menor nível produção agropecuária dentre as regiões brasileiras, havendo algumas localidades onde praticamente só existe cultivo de subsistência, como é o caso de Tufilândia e Boa Vista do Gurupi, ambos municípios no estado do Maranhão, e Santarém Novo, no Pará. É possível perceber uma grande discrepância no caso do estado do Maranhão, que apesar de ter grande potencial produtivo, tem muitas localidades figurando nas posições mais baixas em termos de produtividade, o que pode ser parcialmente explicado pelo maior número de municípios neste estado em relação às demais unidades federativas da região, assim, o número maior de municípios aumenta as chances de haver grande diferença entre localidades.

Na questão de terras agricultáveis, a média da área cultivada na região amazônica é próxima da extensão da cidade do Rio de Janeiro, os municípios dos estados do Mato Grosso e Pará detém as maiores extensões de áreas agricultáveis. Como mencionado, essas regiões apresentam parcela importante da produção nacional, todavia o uso intensivo de terras é motivo

de controvérsia, uma vez que os estados detêm algumas das maiores taxas de desflorestação do Brasil, que é a maior causa de emissão de GEE no país (SEEG, 2022). De acordo com Potenza et al. (2023) Justamente o Mato Grosso possui as maiores emissões de gases de efeito estufa que é oriunda da atividade agropecuária com 86,7 milhões de toneladas, o Pará ocupa a quarta posição com 51,1 milhões de toneladas. Estes resultados sugerem um possível *trade-off* entre atividade produtiva e eficiência ambiental, questão que será discutida mais adiante, a partir dos escores de eficiência individuais dos municípios.

Os 21 maiores investidores em capital são municípios pertencentes aos estados do Mato Grosso (19 municípios) e Pará (2 municípios) com a presença de municípios de outros estados nas posições mais altas do *ranking*, mas ainda com predominância dessas duas unidades da federação. É possível notar que a mecanização do setor agrícola e as tecnologias produtivas estão mais concentradas na região Centro-Oeste, o que se confirma pela maior quantidade de investimento em capital no Mato Grosso, único estado da região que integra a Amazônia Legal. Este fato, de acordo com a análise descritiva, explica o número de pessoas empregadas no setor agropecuário no estado ser menor que no estado do Pará, este último possui quase 834 mil pessoas empregadas no setor agropecuário, enquanto o Mato Grosso possui pouco mais de 275 mil, ainda assim, o estado do Centro-Oeste é mais produtivo, evidenciando o caráter mais impactante do capital sobre a produção para a referida amostra.

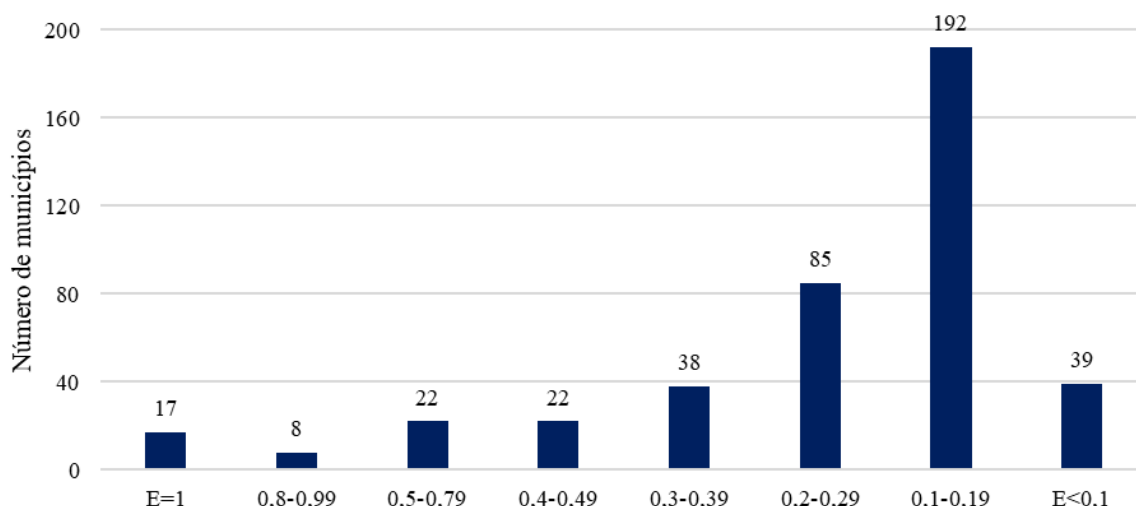
Em relação às emissões de dióxido de carbono (CO₂), metano e outros gases de efeito estufa, observa-se que no ano da amostra o Pará figurava como maior responsável por emissões de GEE, seguido pelo Mato Grosso. De acordo com estimativas do SEEG (2022) as primeiras posições se inverteram e o Mato Grosso passou a figurar na primeira colocação. Ainda segundo o sistema de monitoramento, a principal razão para o aumento nas emissões são as mudanças no uso do solo e florestas, que são mudanças causadas principalmente pelo desmatamento e queimadas; na região, essas atividades têm como fim a abertura de novas pastagens em meio a floresta, ou consolidação de novas lavouras.

As médias de eficiência e ecoeficiência ratificam a grande heterogeneidade da região, onde é possível encontrar desde localidades muito produtivas e com grande quantidade de recursos empregados, como tecnologia e capital, até regiões muito pequenas e isoladas, que podem incorrer inclusive em populações em situação de vulnerabilidade social. A Amazônia Legal apresenta uma eficiência produtiva média baixa, cerca de 26,8%. Quando se considera a ecoeficiência, o índice é bastante próximo, cerca de 27,3%. Vale ressaltar que a eficiência é uma medida relativa e diante de uma região tão diversificada, cabe uma análise mais pormenorizada. A seção a seguir apresenta a análise em relação à eficiência dos municípios.

4.2 Índices de eficiência e ecoeficiência

A partir da aplicação da Análise Envoltória de Dados foram estimados os índices de eficiência das DMU's representadas pelos municípios, posteriormente foi incluída na análise a variável ambiental para a estimação da ecoeficiência, essa variável são as emissões de GEE em toneladas (produto indesejável). A Figura 2 mostra a distribuição das estimativas do índice de eficiência produtiva.

Figura 1 – Distribuição dos municípios segundo o intervalo de eficiência produtiva



Fonte: Elaboração própria.

Em relação à eficiência produtiva, é possível observar que 17 DMU's foram plenamente eficientes², elas pertencem a cinco dos nove estados que compõem a Amazônia Legal: Amapá, Amazonas, Pará, Mato Grosso e Maranhão. Os valores de eficiência evidenciam a predominância de alguns estados no que tange a maior capacidade produtiva. Das 100 DMU's com maiores escores de eficiência produtiva, quase 60% pertencem aos estados do Mato Grosso e Pará. Quando se considera adicionalmente o Maranhão e o Amazonas, cerca de 86% dos maiores escores de eficiência produtiva pertencem aos quatro estados mencionados.

Apenas 25 municípios possuem índices elevados de eficiência, quando se considera um maior intervalo de eficiência entre (1 e 0,7), portanto o aumento no número de DMU's com altos escores é baixo: de 17 passam a ser 25 DMU's na porção mais alta da classificação quando o intervalo é aumentado. Este resultado evidencia que a produção é altamente concentrada em alguns poucos municípios da região Amazônica.

Ao realizar uma análise da porção inferior do modelo DEA para eficiência produtiva, observa-se uma expressiva proporção de municípios com eficiências substancialmente baixas. As unidades que apresentam escores inferiores a 20% representam uma parcela de mais de 54,6% da amostra em questão. Adicionalmente, é pertinente ressaltar que as DMU's com desempenho abaixo do patamar de 10% correspondem a aproximadamente 9,2% do conjunto analisado.

Os dois extremos detectados e especialmente o grande número de DMU's com escores baixos estão atrelados a condicionantes já mencionados, como vazios demográficos, alto índice de concentração de renda e baixos níveis de capital e tecnologias produtivas empregadas, em muitos casos essas técnicas são extensivas (Imazon, 2021; Nobre et al., 2023). Dentre os elementos destacados, ressalta-se ainda desafios estruturais, socioeconômicos e ambientais que existem na região. A infraestrutura insatisfatória, a distribuição desigual de recursos, bem como as questões ambientais específicas contribuem de maneira sinérgica para a subutilização dos recursos disponíveis ou uso não sustentável culminando na ineficiência das práticas de gestão e produção. Logo, parte da degradação do bioma pode ser atribuída a esta ineficiência produtiva, que acarreta em um ônus adicional, a saber o impacto ambiental.

Questões ambientais relacionadas à infraestrutura são especialmente sensíveis quando se trata da Amazônia, uma vez que a construção de estradas e outras infraestruturas

² Municípios eficientes: Coari, Tefé, Ananindeua, Barcarena, Benevides, Santa Izabel do Pará, Oiapoque, Godofredo Viana, Miranda do Norte, Presidente Médici, Rosário, São José de Ribamar, Tufilândia, Campo Novo do Parecis, Santa Carmem, Sapezal e Sorriso.

consideradas críticas para a região esbarram em rígidos critérios de legislação e ética socioambientais, levantando discussões acerca da capacidade desses elementos infraestruturais de coexistirem de forma sustentável com os recursos naturais da região.

Neste sentido Silva *et al.* (2022) discutem como a produção agropecuária na região amazônica avançou de forma exponencial, entretanto esse crescimento resultou em impactos ambientais significativos, o que coloca em xeque o benefício marginal oriundo da expansão econômica. A ecoeficiência média naquele estudo foi de 0,5490, indicando que os municípios amazônicos poderiam reduzir o consumo dos insumos e a pressão na biodiversidade em 45,01%. Além disso, maiores fluxos logísticos e de pessoas na região poderiam levar a maiores índices de degradação ambiental, além daquelas já proporcionadas pela simples implantação de qualquer projeto de infraestrutura.

Na tabela 2, se apresenta a eficiência de municípios nas porções superior e inferior do modelo DEA para produtividade desconsiderando aqueles que são plenamente eficientes. É importante mencionar que a eficiência é medida em uma escala de 0 a 1, onde 1 representa a maior eficiência e 0 a menor.

Tabela 2 – Ranking de eficiência produtiva dos municípios da Amazônia legal - 2017 (sem consideração das DMU's plenamente eficientes).

20 primeiros			20 últimos		
F	Município	Eficiência	F	Município	Eficiência
T	Tapurah	0,974	O	Esperantina	0,084
A	Abaetetuba	0,971	A	Igarapé-Açu	0,084
T	Verde	0,950	O	Candeias do Jamari	0,084
M	Barcelos	0,917	C	Acrelândia	0,082
T	Gaúchos	0,897	A	Itaituba	0,080
P	Amapá	0,868	R	Rorainópolis	0,078
T	Nova Mutum	0,866	A	Centro Novo do Maranhão	0,074
C	Feijó	0,844	T	Nova Bandeirantes	0,070
T	Nova Ubitatã	0,748	A	Capanema	0,068
M	Carauari	0,733	A	Governador Nunes	0,065
A	Pindaré-Mirim	0,718	A	Freire	0,061
A	São João	0,712	A	Itapecuru Mirim	0,061
A	Batista	0,712	A	Matões do Norte	0,060
A	Igarapé-Miri	0,692	A	Boa Vista do Gurupi	0,058
O	Corumbiara	0,674	O	Juarina	0,057
	Nova Maringá	0,668		Canutama	0,054

T			M		
T	Diamantino	0,645	O	Wanderlândia	0,052
M	Envira	0,623	R	São João da Baliza	0,052
A	Ulianópolis	0,621	A	Santa Maria do Pará	0,048
T	Sinop	0,606	A	Santarém Novo	0,043
T	Querência	0,582	T	Novo Santo Antônio	0,043

Fonte: Elaboração própria.

Os municípios com altos escores incluem Tapurah, Abaetetuba, Lucas do Rio Verde, Barcelos, Porto dos Gaúchos, Amapá, Nova Mutum e Feijó. Todos estes apresentam índices acima de 0,8. É notório que os municípios pertencentes aos estados do Mato Grosso, Pará e Maranhão dominam a lista de eficiência. O primeiro é um estado há muito tempo consolidado como grande produtor nacional de grãos, encontrando-se na fronteira da tecnologia agrícola mundial, além de possuir o maior rebanho do território nacional (IBGE, 2021). O segundo também se destaca na produção pecuária, com bovinos e búfalos, além de ser uma exceção no território amazônico, em razão de seus solos de alta fertilidade. Já o Maranhão vem crescendo produtivamente de forma significativa nos últimos anos. De acordo com o governo daquele estado (2021), a agropecuária maranhense apresentou um valor bruto de produção de R\$12,08 bilhões em 2020, sendo o segundo maior do Nordeste.

Por outro lado, as DMU's menos eficientes são representadas por municípios como Wanderlândia, São João da Baliza, Santa Maria do Pará, Santarém Novo e Novo Santo Antônio. Essas localidades apresentam índices de eficiência abaixo de 6%. Nesta análise em específico, é possível observar que mesmo os estados com grandes volumes de produção e teoricamente mais eficientes em termos gerais, possuem localidades isoladas com a presença de hiatos de produtividade.

Como mencionado anteriormente, a região amazônica é muito diversificada conforme apontam Lobão e Staduto (2020) e principalmente muito extensa. Os autores inclusive regionalizam a região em dois padrões distintos, um com a presença de modernização e outro com baixa produtividade, padrão que se repete nos resultados deste trabalho.

As ineficiências aqui explicitadas são explicadas também pela baixa densidade populacional da maioria dos municípios. Dentre as DMU's mais ineficientes, a grande maioria possui populações abaixo de 25 mil habitantes, algumas pequenas cidades como Novo Santo Antônio por exemplo tem população estimada de menos de 3 mil habitantes, esse cenário reforça que a produção nessas localidades possui uma parcela importante voltada para a subsistência e mesmo assim não utiliza os recursos de forma a aumentar a produtividade.

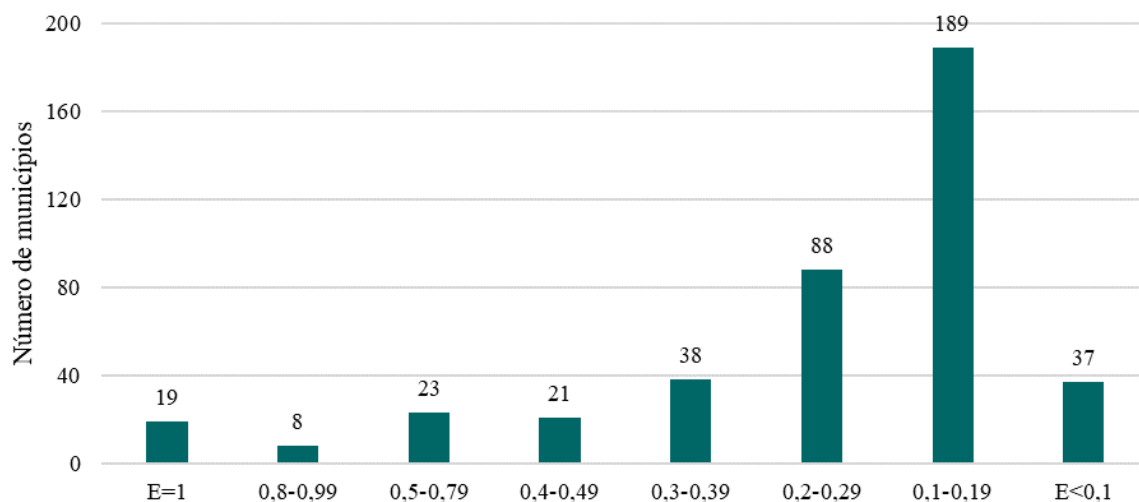
Ao incorporar variáveis ambientais, é possível identificar algumas modificações sutis no cenário, com apenas alterações pontuais na classificação. Essas observações sugerem que suposto *trade-off* entre eficiência produtiva e ecoeficiência não se manifesta sob uma abordagem holística de avaliação. Tal resultado converge para o estudo do Nobre *et al.* (2023) para o *World Resources Institute* que mostra que o fim do desmatamento e a manutenção da floresta em pé não prejudicam o desenvolvimento na Amazônia brasileira.

Neste trabalho o resultado aponta que a inclusão de uma variável ambiental não tem efeitos sobre os escores de eficiência, o que pode ser interpretado em relação à adoção de práticas sustentáveis e o fato destas não afetarem a produtividade de forma negativa. Pelo contrário, existem tecnologias produtivas que são capazes de aumentar o rendimento agrícola,

ao mesmo tempo em que reduz seu impacto ambiental e assegura a saúde dos ecossistemas de apoio (Teixeira, 2021).

A Figura 2, a seguir, mostra as estimativas dos índices de ecoeficiência, e sua distribuição de acordo com os intervalos.

Figura 2 – Distribuição dos municípios segundo o intervalo de ecoeficiência



Fonte: Elaboração própria.

Ao considerar-se as emissões de GEE, observa-se que a variável não possui grande impacto na determinação dos índices de eficiência. Mesmo assim, no caso específico desta análise, a variável $1/GEE$ proporcionou que mais municípios fossem considerados plenamente eficientes. Quando é realizada uma investigação mais criteriosa é possível perceber que existem localidades cujas emissões são extremamente baixas o que pode ter influenciado no aumento do número de unidades de referência.

Para ecoeficiência, agora 27 DMU's encontram-se na porção superior do modelo DEA, destas 27, 19 são plenamente eficientes³, além daquelas que são eficientes do ponto de vista produtivo, Matões do Norte e São João Batista, ambos no estado do Maranhão, também são plenamente eficientes. O primeiro município possui o segundo menor índice de emissões de GEE da amostra, enquanto o segundo possui emissões bem abaixo da média (93.063 ton), figurando entre as 80 menores emissões do recorte.

Nas demais subdivisões da distribuição, poucas alterações são percebidas, como por exemplo nos intervalos da parte inferior da análise, no caso do intervalo de 0,3 a 0,39 não houve mudança no número de DMU's. A Tabela 3, a seguir, apresenta a eficiência dos municípios nas porções superior e inferior do modelo DEA para ecoeficiência, mais uma desconsiderando aqueles que são plenamente eficientes.

Tabela 3 – Ranking de ecoeficiência dos municípios da Amazônia legal - 2017 (sem consideração das DMU's plenamente eficientes).

20 primeiros			20 últimos		
F	Município	Ecoefic iência	F	Município	Ecoefic iência
	Tapurah	0,974		Maranhãozinho	0,086

³ Municípios eficientes: Coari, Tefé, Ananindeua, Barcarena, Benevides, Santa Izabel do Pará, Oiapoque, Godofredo Viana, Matões do Norte, Miranda do Norte, Presidente Médici, Rosário, São João Batista, São José de Ribamar, Tufilândia, Campo Novo do Parecis, Santa Carmem, Sapezal, Sorriso.

T				A		
A		Abaetetuba	0,971	O	Esperantina	0,085
T	Verde	Lucas do Rio	0,950	A	Igarapé-Açu	0,084
M		Barcelos	0,917	O	Candeias do Jamari	0,084
T	Gaúchos	Porto dos	0,897	C	Acrelândia	0,082
P		Amapá	0,886	A	Itaituba	0,080
T		Nova Mutum	0,866	R	Rorainópolis	0,078
C		Feijó	0,844	A	Maranhão Centro Novo do	0,074
T		Nova Ubiratã	0,748	T	Nova Bandeirantes	0,070
M		Carauari	0,733	A	Capanema	0,069
A		Pindaré-Mirim	0,720	O	Juarina	0,067
A		Igarapé-Miri	0,692	A	Freire Governador Nunes	0,066
O		Corumbiara	0,674	A	Itapecuru Mirim	0,061
T		Nova Maringá	0,668	A	Boa Vista do Gurupi	0,058
T		Diamantino	0,645	M	Canutama	0,054
A	Lumiar	Paço do	0,637	O	Wanderlândia	0,052
M		Envira	0,623	R	São João da Baliza	0,052
A		Ulianópolis	0,621	A	Santa Maria do Pará	0,048
T		Sinop	0,606	A	Santarém Novo	0,044
T		Querência	0,582	T	Novo Santo Antônio	0,043

Fonte: Elaboração própria.

Agora, a tabela 3 apresenta uma avaliação de ecoeficiência em diferentes municípios, relacionada à produção de emissões de gases do efeito estufa. Ao comparar as duas tabelas a fim de verificar se há alguma relação entre eficiência e ecoeficiência, constata-se que dentre os mais eficientes, todos figuram também entre os mais ecoeficientes. Nos municípios mais eficientes da tabela 2, como Tapurah, Abaetetuba e Lucas do Rio Verde, há uma sobreposição com os municípios mais ecoeficientes listados na tabela 3. Isto aponta que os municípios eficientes na produção agropecuária conseguem produzir relativamente maior volume, emitindo menores quantidades de GEE emitidos.

Estes resultados também apontam que na porção mais eficiente a variável ambiental não tem grande influência nos níveis de eficiência, porém sua inclusão permitiu que mais unidades

de referência surgissem, estas têm eficiência igual a 100%, ou seja, mesmo que ligeiramente, municípios eficientes são ecoeficientes.

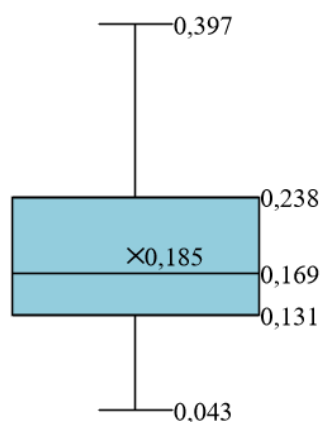
As variáveis adotadas na presente análise, podem auxiliar no entendimento destes resultados, ao verificar por exemplo, uma DMU que possui alto nível de produtividade utilizando pouca extensão de terra, é evidente que ela emitirá menores volumes de GEE do que grandes propriedades. Além disso, a proxy para capital inclui veículos de grande porte que em sua maioria utilizam combustíveis fósseis, como diesel, portanto, ao manter os mesmos níveis de capital, o município em questão estaria indiretamente melhorando sua qualidade ambiental quando aumenta sua produção.

A relevância de destacar municípios que se sobressaem na eficiência ambiental é evidenciada pelo grande número de DMU's em situação crítica, dessa forma os *benchmarks* devem orientar as demais DMU's, pois contribuem para práticas sustentáveis ao passo que aumentam suas respectivas produtividades. Os resultados obtidos revelam uma relação positiva entre ecoeficiência e níveis de produção, sugerindo que a implementação de práticas ecoeficientes não apenas contribui para a preservação ambiental, mas também se configura como uma estratégia eficaz para impulsionar a capacidade produtiva e, por conseguinte, a economia municipal.

Da mesma forma, na lista dos municípios menos eficientes, é possível encontrar DMU's comuns nos dois modelos, que aparecem inclusive em posições muito próximas nas duas listas. Essa coincidência sugere que os municípios menos eficientes parecem ter uma menor integração de políticas, ensejando ações insuficientes na adoção de práticas mais sustentáveis ou ainda não possuem peso significativo da atividade produtiva. Mesmo que a inclusão da variável de emissões endosse a constatação de baixos índices de poluição, essa constatação não se mostra suficiente para compensar a subutilização dos insumos.

O gráfico do tipo *box plot* a seguir foi utilizado para demonstrar visualmente a distribuição de dados através dos quartis, percebe-se que os dados se distribuem em torno de uma média de eficiência baixa e quaisquer valores acima de 40% de eficiência são considerados *outliers*, impossibilitando a plotagem destes valores de forma clara, razão pela qual foram omitidos. Dessa forma os limites que dividem os quartis são utilizados para classificar as faixas de eficiência no mapa da Figura 4.

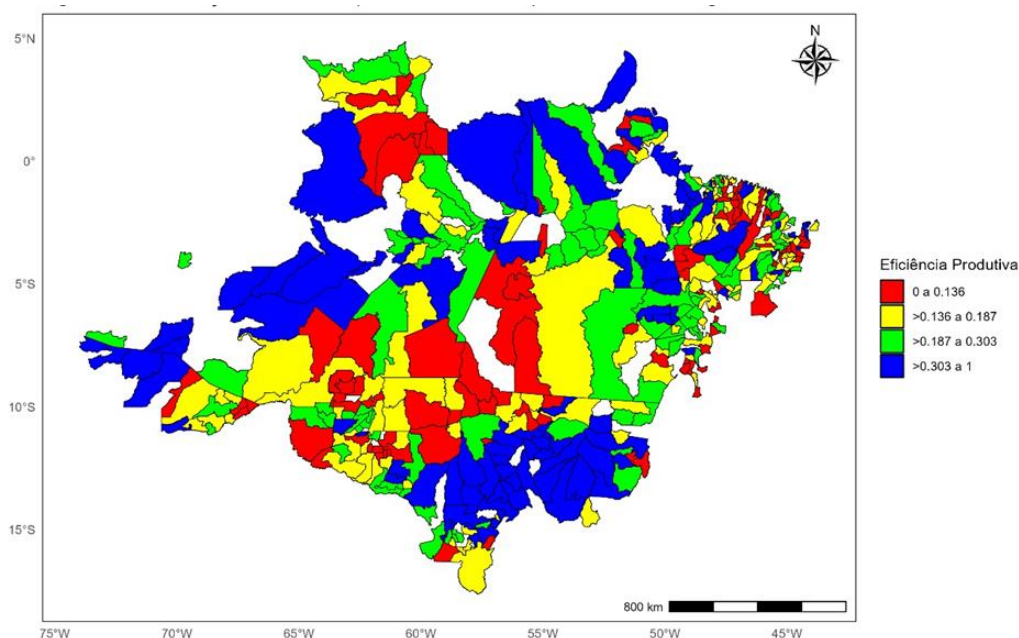
Figura 3 – Visualização *box plot* dos índices de eficiência produtiva dos Municípios da Amazônia Legal - 2017



Fonte: Elaboração própria.

Nos mapas representados pelas figuras 1 e 2, tem-se uma representação visual de como se distribui a eficiência e ecoeficiência nos municípios pertencentes à Amazônia legal. A figura 1 traz a eficiência dos municípios sem considerar o quesito ambiental. Percebe-se que as eficiências da maioria dos municípios estão abaixo de 30%, o que indica que a produção na região é muito inferior em relação às áreas mais produtivas.

Figura 4 – Classificação da eficiência produtiva dos municípios da Amazônia legal - 2017



Fonte: Elaboração própria.

Deve-se considerar de forma cautelosa, pois as discrepâncias regionais são acentuadas. Nesta porção do país são necessárias políticas intensivas de incentivo à produção e principalmente infraestrutura com foco na redução da dependência da exploração dos recursos naturais para a geração de renda. Também é relevante a intensificação de ações que reduzam os impactos ambientais provocados por formas não sustentáveis de geração de renda.

Considerando essa perspectiva, é importante considerar questões logísticas e sociodemográficas. A grande maioria dos municípios na faixa intermediária e de baixa eficiência está localizada em regiões de difícil acesso, o que dificulta sua integração com o restante do território nacional. Além disso, como mencionado, diversas localidades apresentam populações muito baixas, caracterizando alguns dos maiores vazios demográficos do país, fatores estes que podem ter grande influência na eficiência estimada. Cabe avaliar, pois, quais são as práticas adotadas nas regiões de referência, presentes nos estados do Amapá e do Amazonas, que mesmo com os reveses mencionados, conseguem se destacar na produtividade, sem aumentar as quantidades de insumos.

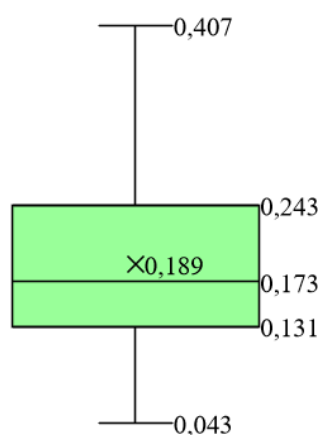
No estado do Amazonas, destacam-se Coari e Tefé, que empregam um contingente significativo de trabalhadores. Vale destacar que o primeiro representa o segundo maior PIB do estado do Amazonas com aproximadamente R\$3,8 bilhões de reais (IBGE, 2021), atrás apenas de Manaus. A infraestrutura necessária para a extração de petróleo e gás natural proporcionada pela instalação do polo extrativo da Petrobrás faz com que, mesmo no centro de uma das maiores florestas do mundo, o custo de produção seja pequeno, estas mudanças levaram a cidade a um crescimento significativo nos últimos anos o que se reflete no setor agrícola e pecuário. O município de Tefé, por sua vez, destaca-se por ser o segundo maior empregador de mão de obra no ano do censo agropecuário de 2017, à época com cerca de mais de 11 mil

trabalhadores. A proximidade entre as duas localidades remete a um efeito *spillover* na economia que também se reflete na produção agropecuária das duas localidades.

Situado no extremo norte do Brasil, o município de Oiapoque, estado do Amapá, é caracterizado pela presença de grandes áreas de pastagens naturais (87.428 ha) e plantadas (15.903) o que denota uma maior pecuarização dessa região (Brasil, 2007). Além disso, há grande influência da indústria pesqueira na região em razão da abundância de recursos hídricos e alguns dos maiores índices pluviométricos do continente sul-americano.

De forma semelhante o gráfico de *box plot* da Figura 5 mostra os limites em torno dos quais os dados se distribuem, limites estes que são utilizados no mapa referente à ecoeficiência mostrado na Figura 6.

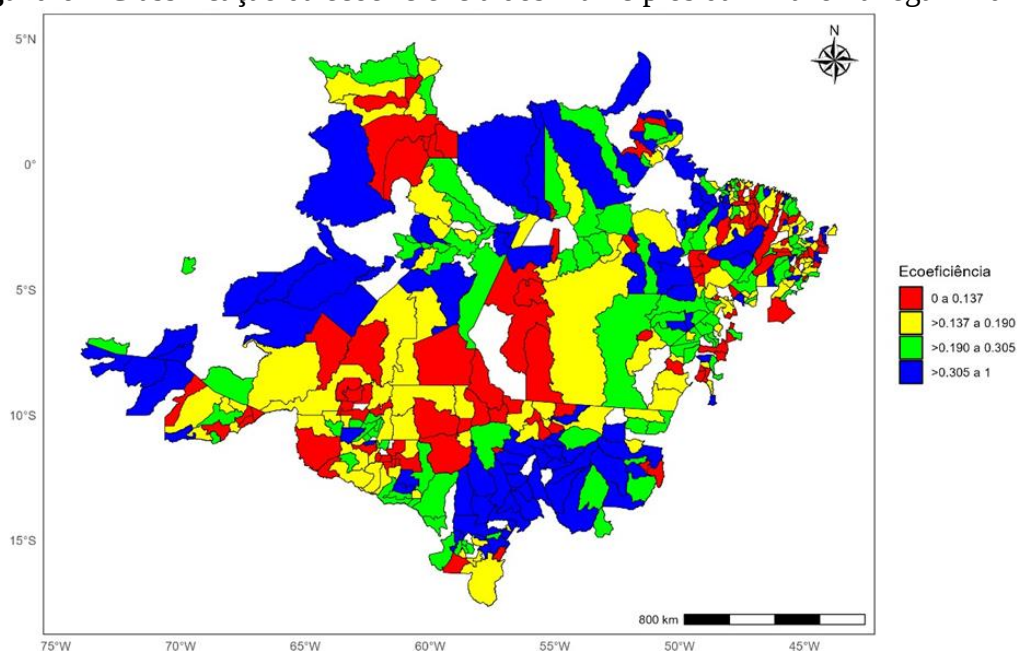
Figura 5 – Visualização *box plot* dos índices de ecoeficiência dos municípios da Amazônia Legal - 2017



Fonte: Elaboração própria.

A seguir, a Figura 6 mostra as novas classificações, uma vez inserida a variável ambiental.

Figura 6 – Classificação da ecoeficiência dos municípios da Amazônia legal - 2017



Fonte: Elaboração própria.

Ao se observar a figura 2 (que inclui a variável de ecoeficiência na análise) em comparação com a figura 1, percebe-se uma pequena variação nas classificações das DMU's. Dentre as DMU's com maiores eficiências, é possível perceber que aquelas que possuem os maiores índices (acima de 0,75), permanecem eficientes na presença da variável ambiental. Isto sugere que a inclusão dessa variável não possui grande influência nos escores dos municípios que já são eficientes. Na porção inferior, as DMU's com eficiência produtiva baixa continuam em patamar semelhante em termos ambientais.

Em ambos os cenários visuais, percebe-se um padrão de eficiência alta na porção norte do Mato Grosso. O maior e mais produtivo estado no que tange à agropecuária, embora tenha emissões relativas mais altas que os demais municípios, possui este aspecto compensado pela alta produtividade. Por outro lado, na região conhecida como “arco do desmatamento”, predominam DMU's com baixa eficiência, o que demonstra que a atividade produtiva não é capaz de superar os danos causados pelas atividades intensivas em uso de recursos naturais.

O cenário da produtividade na Amazônia Legal é pessimista, porém fornece um panorama de que há grandes possibilidades de melhorias para a região. As localidades devem observar as práticas adotadas pelos *benchmarks*, e buscar inserir abordagens semelhantes a fim de obter melhores resultados, o que além de melhorar o cenário econômico e níveis de produção também seria capaz de influenciar em aspectos sustentáveis, uma vez que estes incluem questões socioeconômicas.

Diante disso, ao melhorar a eficiência produtiva com uso mais sustentável dos recursos é possível melhorar simultaneamente a sustentabilidade da produção. Uma das mais duras críticas ao sistema produtivo atual é seu caráter extensivo, que muitas vezes negligencia técnicas de otimização, o que deve ser considerado quando se trata de um dos maiores ecossistemas do globo. Um ponto importante a ser ressaltado é que as DMU's eficientes possuem uma maior diversificação econômica, o que além de favorecer seus setores produtivos influencia sua capacidade agropecuária.

Os resultados também revelam o caráter de urgência para incentivos na região, e auxiliam no entendimento das causas da crescente degradação do bioma nos últimos anos, dos quais o mais explícito é desigualdade presente na região, que levam a população a apelar para modelos produtivos de baixa capacidade tecnológica, algo mais evidente pela grande concentração de terras, vide a eficiência média das DMU's localizadas no chamado “arco do desmatamento”, região que vai do sudeste do Pará para o oeste, passando por Mato Grosso, Rondônia e Acre. Isto evidencia que práticas produtivas de caráter extensivo, além de não alcançarem níveis produtivos eficientes, ainda possuem o ônus de causarem impactos ambientais mais significativos.

Em relação às práticas mais ecoeficientes, estados com grande atividade industrial como o Amazonas, conseguem reduzir a pressão sobre suas áreas naturais (pelo menos em regiões próximas à capital), enquanto aqueles que não possuem setores econômicos consolidados permanecem com grande dependência de atividades produtivas que correm o risco de não terem um retorno satisfatório além de exercerem grande impacto sobre o bioma.

Os resultados podem ainda também subsidiar os tomadores de decisão na propositura de aplicações de incentivo à preservação ambiental e redução de emissões. Políticas de diversificação econômica podem reduzir a pressão sobre a exploração de recursos naturais além de estimular a geração de empregos e renda para os municípios de uma região que ainda apresenta enormes discrepâncias em que pese sua importância a nível global.

5. Considerações finais

Este estudo avaliou a eficiência produtiva e a ecoeficiência dos municípios da Amazônia Legal com dados do Censo Agropecuário de 2017, produzido pelo IBGE. A metodologia

utilizada foi a Análise Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis* - DEA), em sua forma clássica a fim de verificar se os municípios eficientes produtivamente também são do ponto de vista ambiental.

Dentre os resultados, destaca-se as grandes heterogeneidades de DMU's pertencentes à região amazônica, sendo comum que dentro de um mesmo estado haja municípios altamente eficientes produtiva e ecologicamente, ao passo que dividem espaço com DMU's cuja eficiência é próxima de zero, padrão que se repete para toda a região.

Quando se analisa de forma pormenorizada e comparativa os dois modelos, é possível verificar que a inclusão da variável ambiental não tem efeitos sobre os escores de eficiência de forma geral. Dessa forma, observou-se grande sobreposição de DMU's eficientes ou ineficientes produtivamente que permanecem eficientes ou ineficientes no modelo ambiental. Ainda assim, houve um aumento ínfimo no número de DMU's eficientes quando se verifica o modelo ambiental. Vale ressaltar ainda a baixa eficiência geral dos municípios da amostra em ambos os modelos. Nesse ínterim, aspectos ambientais, logísticos e sociodemográficos, explicam parcialmente os resultados observados.

Políticas públicas que sejam capazes de “homogeneizar” os indicadores produtivos dos municípios dentro de um território seriam de grande relevância no contexto da eficiência média da região, que no geral se demonstrou abaixo de 30% para as duas análises. Esta prática também teria um desdobramento sobre questões relacionadas à ecoeficiência, proporcionando melhorias nos indicadores ambientais, desde que adotadas práticas sustentáveis, que comprovadamente otimizam indicadores econômicos. Este círculo virtuoso, além trazer melhorias no bem-estar individual, ainda contribui para desacelerar os processos de exploração não sustentável dos recursos naturais da região, principalmente por se tratar de uma área estratégica para a manutenção do equilíbrio ecológico e climático global.

Uma das limitações do presente estudo foi a escassez de dados para todos os municípios, o que onera a padronização de determinados indicadores na base de dados. Para pesquisas futuras, sugere-se a análise de maiores períodos de tempo, aliada ao aprofundamento da metodologia DEA, com o cálculo do índice de Malmquist-Luenberger que permitiria decompor os diferentes tipos de eficiência e comparar períodos de tempo distintos.

6. Referências

AHN, Heinz; AFSHARIAN, Mohsen; EMROUZNEJAD, Ali; BANKER, Rajiv. Recent developments on the use of DEA in the public sector. **Socio-Economic Planning Sciences**, New York, NY, v. 61, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seps.2017.06.001>

AMAZÔNIA LEGAL EM DADOS. **Territorialização do indicador**. Disponível em: https://amazonialegalcmdados.info/dashboard/perfil.php?regiao=Amaz%C3%B4nia%20Legal&area=Economia_78&indicador=TX_IBGE_PIB_PC_UF_78. Acesso em 13 de Janeiro de 2024.

ANGULO-MEZA, L.; LINS, M.P.E. Review of Methods for Increasing Discrimination in Data Envelopment Analysis. **Annals of Operations Research**, New York, v. 116, p. 225-242, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1021340616758>

BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management Science**, Catonsville, USA, v. 30, n. 9, p. 1078-1092, 1984. DOI: <https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078>

BARBOSA, Frederico Celestino; FUCHIGAMI, Hélio Yochihiro. **Análise envoltória de dados: teoria e aplicações práticas**. Ulbra, Canoas, 2018.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE atualiza Mapa da Amazônia Legal**. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de->

imprensa/2013 -agencia-de-noticias/releases/28089-ibge-atualiza-mapa-da-amazonia-legal. Acesso em: 23 de novembro de 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Valor Bruto da Produção Agropecuária de 2023 é atualizado em R\$ 1,135 trilhão.** disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/valor-bruto-da-producao-agropecuaria-de-2023-e-atualizado-em-r-1-135-trilhao/202307VBPREGIONAL.xlsx/view>. Acesso em: 05 de dezembro de 2023.

BRASIL. Ministério da Educação. **A agropecuária do estado do Amapá** disponível em: http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf/agropec_ap.pdf. Acesso em 29 de janeiro de 2024.

BUENO, G. et al. **Caracterização da Amazônia Legal e macrotendências do ambiente externo.** Embrapa Estudos e Capacitação, Brasília, DF, 2011. ISSN 2237-7298; n.01.

CHARNES, A., COOPER, W.W., LEWIN, A.Y., SEIFORD, L.M. **Basic DEA Models. In: Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology, and Applications.** Springer, Dordrecht, 1994. DOI: <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2600342>

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision-making units. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, Netherlands v. 2, n. 6, p. 429-444, 1978. DOI: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)

EMIR, Aquiles. **Setor agropecuário maranhense encerra 2022 apontando um crescimento estimado de 3,1%.** Maranhão Hoje. 2023. Disponível em: <https://www.ma.gov.br/noticias/setor-agropecuaria-maranhense-encerra-2022-apontando-um-crescimento-estimado-de-31>. Acesso em: 15 de dezembro de 2023.

FÄRE, R.; GROSSKOPF, S.; KARAGIANNIS, G. et al. Data envelopment analysis and its related linear programming models. **Annals of Operations Research**, New York, v. 250, p. 37-43, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10479-015-2042-y>

FEARNSIDE, Philip Martin. **O valor intrínseco da biodiversidade amazônica: 1–Reconhecer o “elefante na sala”.** Amazônia Real, Manaus, p. 1-4, 2021. Disponível em: <https://amazoniareal.com.br/o-valor-intrinseco-da-biodiversidade-amazonica-1-reconhecer-o-elefante-na-sala/>. Acesso em: 04 de dezembro de 2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário de 2006.** Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2006/segunda-apuracao>. Acesso em: 15 de novembro de 2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário de 2017.** Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>. Acesso em: 15 de novembro de 2023.

LEMOS, A. L. F.; SILVA, J. A. Desmatamento na Amazônia Legal: Evolução, Causas, Monitoramento e Possibilidades de Mitigação através do Fundo Amazônia. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 18, n. 1, p. 98–108, 2011. DOI: <https://doi.org/10.4322/floram.2011.027>

LOBÃO, Mário Sérgio Pedroza; STADUTO, Jefferson Andronio Ramundo. Modernização agrícola na Amazônia brasileira. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 58, p. e188276, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2020.182276>.

MACIEL, G. DA S. et al. Avaliação de processos licitatórios de embarcações de apoio marítimo offshore com utilização de análise envoltória de dados. **Journal of Transport Literature**, Manaus, v. 8, n. 4, p. 329–349, out. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/2238-1031.jtl.v8n4a13>

NETO, Waldemiro Peterle; GOMES, Adriano Provezano; ERVILHA, Gabriel Teixeira. Uma análise de eficiência para os senadores brasileiros. **Revista de Desenvolvimento e Políticas Públicas**, v. 2, n. 1, p. 03-20, 2018. DOI: <https://doi.org/10.31061/redepp.v2n1.03-20>

NOBRE, C. A. et al. **Nova Economia da Amazônia**. Relatório WRI Brasil e The New Climate Economy. São Paulo, 2023. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/nova-economia-da-amazonia>. Acesso em: 20 de janeiro de 2024.

POTENZA, R. F. et al. Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa - SEEG. **Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil / 1970-2021**. Relatório técnico observatório do clima e Instituto de Pesquisas da Amazônia - IPAM. Disponível em: <https://www.oc.eco.br/wp-content/uploads/2023/03/SEEG-10-anos-v4.pdf>. Acesso em: 05 de dezembro de 2023.

REINAS, R. I.; MARIANO, E. B.; REBELATTO, D. A. DON. Custo/benefício de aeronaves: Uma abordagem pela Análise Envoltória de Dados. **Produção**, v. 21, n. 4, p. 684–695, São Carlos, SP, 2011. DOI: 10.1590/S0103-65132011005000048

SANTOS, Daniel. SALOMÃO, Rodney. VERÍSSIMO, Adalberto. IMAZON - Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia. **Fatos da Amazônia 2021**. Belém, PA, 2021. <https://amazonia2030.org.br/wp-content/uploads/2021/04/AMZ2030-Fatos-da-Amazonia-2021-3.pdf>.

SEEG - Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. **Emissões brutas- Ranking 2022**. Disponível em: <https://plataforma.seeg.eco.br/>. Acesso em 15 de novembro de 2023.

SILVA, João Vitor Borges da et al. Ecoeficiência da produção agropecuária na Amazônia brasileira: fatores determinantes e dependência espacial. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 60, Brasília, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.250907>

SOUZA, Bruna de Lourdes Araújo. **Mensurando a eficiência do Judiciário brasileiro: uma abordagem DEA em dois estágios**. Dissertação de Mestrado Profissional em Gestão Econômica de Finanças Públicas. Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

TEIXEIRA, Alexsandro Lara. **Sistemas agrícolas mais sustentáveis**. EMBRAPA, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/visao-de-futuro/sustentabilidade/sinal-e-tendencia/sistemas-agricolas-mais-sustentaveis>. Acesso em: 24 de Janeiro de 2024.

ZHU, Wei et al. Eco-efficiency of the Western Taiwan Straits Economic Zone: An evaluation based on a novel eco-efficiency model and empirical analysis of influencing factors. **Journal of cleaner production**, v. 234, p. 638-652, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.157>.