

# EFICIÊNCIA TÉCNICA E GESTÃO AMBIENTAL NA AMAZÔNIA LEGAL FRENTE AOS OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Helson Gomes de Souza<sup>1</sup>  
Stalys Ferreira Rocha<sup>2</sup>

## RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi mensurar os escores de eficiência nos gastos com gestão ambiental dos 9 estados que compõem a Amazônia Legal e mensurar o efeito das possíveis causas dessa (in)eficiência nos escores obtidos. Para tanto, utilizou-se o modelo matemático não paramétrico *Data Envelopment Analysis* (DEA), e em sequência, a análise de regressão para verificar quais os efeitos são determinantes para os níveis de eficiência com gestão ambiental. Os resultados encontrados demonstraram que o estado de Roraima aparece como o mais eficiente, enquanto os estados do Maranhão e Tocantins apresentam os menores escores de eficiência. Os resultados ainda demonstraram que a extensão territorial e os embargos ambientais contribuem positivamente para os ganhos de eficiência, enquanto a população, a área plantada e a temperatura média possuem uma relação inversa com os níveis de eficiência.

**Palavras-chave:** Eficiência técnica; Gestão ambiental; Amazônia legal; Objetivos do desenvolvimento sustentável.

## TECHNICAL EFFICIENCY AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT IN THE BRAZILIAN LEGAL AMAZON IN FRONT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OBJECTIVES

## ABSTRACT

The objective of this research was to measure the efficiency scores in the expenses with environmental management of the nine states that make up the Brazilian Legal Amazon and to measure the effect of the possible causes of this (in)efficiency in the scores obtained. For this purpose, we use the nonparametric mathematical model known as *Data Envelopment Analysis* (DEA) and the regression analysis, in sequence, to verify which effects are determinant for efficiency levels with environmental management. The results showed that the state of Roraima appears as the most efficient, while the states of Maranhão and Tocantins have the lowest efficiency scores. The results also showed that territorial extension and environmental embargoes contribute positively to efficiency gains, while population, planted area, and average temperature have an inverse relationship with efficiency levels.

**Keywords:** Technical efficiency; Environmental management; Legal Amazon; Sustainable Development Objectives.

**JEL:** C14; Q23; R11.

<sup>1</sup> Economista. Doutorando em Economia PPGE/UFPB. E-mail: [helson.g.souza@gmail.com](mailto:helson.g.souza@gmail.com)

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo. Doutorado em Desenvolvimento Rural PGDR/UFRGS. E-mail: [stalysf.rocha@gmail.com](mailto:stalysf.rocha@gmail.com)



## 1 INTRODUÇÃO

Historicamente, a busca pelo desenvolvimento econômico já passou por várias fases que incluem transformações políticas e sociais baseadas na maneira como a sociedade gera sua produção. De fato, a busca por melhores níveis de desenvolvimento leva as nações a ampliar constantemente a sua produção e os seus níveis de crescimento econômico. Entretanto, o processo gerador de crescimento, quando realizado de maneira inconsistente, pode gerar um conjunto de consequências socioeconômicas, dentre elas - e que tem se destacado recentemente - os danos ambientais surgem muitas vezes como limiar na relação entre crescimento e desenvolvimento.

Grossman e Krueger (1991), por exemplo, observaram que no curto prazo, o aumento do crescimento econômico provoca uma elevação nos prejuízos ambientais, de maneira que essa relação poderia mudar no longo prazo conforme ocorressem modificações sociais e tecnológicas. Posteriormente, Almeida et al. (2017) demonstraram que embora seja possível, é consideravelmente complicado manter ganhos de crescimento associados aos ganhos de qualidade ambiental.

Nesse sentido, a busca por melhorias econômicas por meio do crescimento leva o poder público a gastar uma considerável quantidade de recursos com intuito de obter ganhos de crescimento sem causar grandes prejuízos ambientais. Em contrapartida, caberia a sociedade o subsídio de políticas ambientais em vista de prover regulamentações acerca dos possíveis limites de degradação ambiental provindos do crescimento.

Esse dispêndio pode apresentar-se de maneira diferenciada a depender do contexto ambiental de cada país. Dada a sua vasta extensão territorial e a sua abundância de recursos naturais, o Brasil, por exemplo, vem sendo cada vez mais notado no que diz respeito às questões ambientais. Com seis grandes biomas distribuídos em seu território e sendo esses biomas detentores de características unicamente brasileiras, comportar uma economia em desenvolvimento associada ao uso correto e sustentável dos recursos naturais tem sido um dos grandes desafios do Estado brasileiro.

De acordo com o Portal da Transparência (2019), no ano de 2018 o poder público brasileiro gastou aproximadamente R\$ 4,89 bilhões com gestão

ambiental. Desse montante, cerca de R\$ 556,4 milhões foram gastos com atividades referentes à preservação e conservação ambiental. Nesse mesmo ano, os dados do Portal da Transparência (2019) ainda demonstram que as atividades referentes ao combate e prevenção às mudanças climáticas representaram cerca de 12,2% dos recursos destinados à gestão ambiental.

A parte Centro-Norte do Brasil demanda uma maior intervenção governamental no que diz respeito às questões ambientais, devido à necessidade de preservação e regulação das atividades humanas nesse território. Nesse sentido, o Governo Federal (1966) criou em outubro de 1966 a área conhecida como Amazônia Legal, que engloba nove estados e dois biomas. A delimitação foi criada como forma de planejar e promover o desenvolvimento social e econômico dos estados da região amazônica, recebendo continuamente um conjunto de medidas governamentais de cunho ambiental.

Mesmo com a amplitude da intervenção governamental na forma de políticas públicas, gestão e regulamentação ambiental os dados do PRODES (2019) demonstram que a Amazônia legal vem enfrentando elevados níveis de degradação ambiental nos últimos anos. De fato, isso vai na contramão das propostas acordadas em 2015 na Cúpula das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável, aonde se estabeleceram os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Nesse caso, especificamente, se percebe o alinhamento dessa problemática com as metas do ODS 15, que se refere ao comprometimento do país com a proteção, recuperação e promoção do uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gestão sustentável das florestas, combate à desertificação, deter e reverter a degradação da terra, além de impedir a perda de biodiversidade.

Dado que uma considerável parte das medidas de regulação e preservação ambiental aplicadas na Amazônia Legal são advindas do setor público, e, conseqüentemente, os recursos para a implantação dessas medidas ocorrem em detrimento da renda individual de cada contribuinte, é de se esperar que a sociedade reivindique que esses dispêndios sejam feitos de maneira eficiente e que seja obtido o máximo de qualidade ambiental possível com um determinado nível de despesas com meio ambiente.

Em abril de 1999, o Ministério do Orçamento e Gestão institucionalizou a Portaria nº 42 (alterada em 2002), que padronizou a alocação dos recursos sobre gastos públicos na temática meio ambiente (função nº 18, gestão ambiental). Isto permitiu a ampliação das possibilidades de análise e a avaliação das políticas públicas ambientais. Assim, diversos estudos passaram a tentar analisar a questão do gasto ambiental (GUIMARÃES et al., 1992; DANTAS et al., 2014; PEREIRA; NETO, 2020), de modo a propiciar compreensões sobre a política pública ambiental e o processo orçamentário.

Nesse sentido, o presente estudo busca uma resposta para a seguinte problemática: Quais os níveis de eficiência referentes às despesas ambientais dos estados brasileiros? Em consequência, o objetivo desse estudo é mensurar os escores de eficiência das unidades da Federação brasileiras que compõem a Amazônia Legal e mensurar o efeito das possíveis causas dessa (in)eficiência nos escores obtidos.

Com isso, o presente trabalho é subdividido em cinco seções, incluindo esta breve introdução. A segunda, que se segue, engloba o embasamento teórico e literário sob o qual o ensaio é fundamentado. A terceira refere-se ao arcabouço metodológico utilizado. A quarta traz os resultados e as discussões estabelecidas sobre o tema. Por fim, têm-se as considerações finais.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

O referencial teórico está dividido em três seções, as quais abordam temas que fundamentam o estudo central do presente trabalho.

### **2.1 A Amazônia Legal**

A Amazônia Legal (AL) corresponde a 59% do território brasileiro e compreende totalmente oito estados (Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins) e parcialmente o Estado do Maranhão (oeste do meridiano 44° W), perfazendo uma área de 5.114.798,30 milhões de km<sup>2</sup> (Tabela 1). O Bioma amazônico compõe 61% da AL, sendo o restante constituído de 24% de áreas do Bioma Cerrado e de transição, 15% de áreas antropizadas, e destas últimas sendo 8% de pastagens cultivadas, 5% de vegetação secundária e 2% de agricultura (VALENTIM; ANDRADE, 2009).

Tabela 1 - Representação da área dos Estados que integram a Amazônia Legal

<b>Estados</b>	<b>Área (km²)</b>
Acre	153.149,90
Amazonas	1.577.820,20
Amapá	143.453,70
Maranhão	333.365,60
Mato Grosso	906.806,90
Pará	1.253.164,50
Rondônia	238.512,80
Roraima	230.104
Tocantins	278.420,70
<b>Total</b>	<b>5.114.798,30</b>

Fonte: IBGE (2019).

O uso adjetivo “legal” ocorre para diferenciar esse recorte dos que delimitam a região amazônica pelo bioma ou pela bacia hidrográfica, bem como da Amazônia Internacional (IBGE, 2019). Esse contorno permitiu a delimitação geográfica da região política que permite a captação de incentivos fiscais visando o desenvolvimento regional desse território. O Território que conta com uma imensa área verde e por sua abundância em recursos hídricos, é constantemente alvo de questionamentos quanto à sua aptidão, viabilidade e sustentabilidade para exploração de atividades agrícolas e industriais.

A expansão das atividades econômicas na região tem contribuído para o debate público, sobretudo, por estarem diretamente ou indiretamente relacionadas com a degradação ambiental da região. Mas especificamente, a pecuária, seguidamente pela atividade madeireira, agricultura de pequenos e grandes portes, os projetos hidrelétricos e minerometalúrgicos, a construção de estradas e o crescimento urbano, estão entre as principais causas do desmatamento na Amazônia (BISPO; PIMENTEL, 2017).

## **2.2 A Gestão da Amazônia Legal e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) são um conjunto de objetivos e metas, acordadas internacionalmente em agosto de 2015, que deverão estar presentes nas agendas políticas dos países membros da ONU ao longo de 15 anos. Os ODS têm como base os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), que foi um acordo assinado na

Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, realizada no Brasil em 2012 e conhecida como Rio+20.

Os ODS são compostos de um conjunto de 17 objetivos e 169 metas universais pautado nas três dimensões do desenvolvimento sustentável: a econômica, a social e a ambiental. Esses objetivos e metas estão presentes no documento que foi chancelado por vários chefes Estado e de governo, *Transformando nosso mundo: a agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável*, em que definiram a estratégia mundial para atingir se atingir o desenvolvimento sustentável. A iniciativa busca promover políticas públicas e induzir o setor privado para que sejam cumpridas metas capazes de assegurar, simultaneamente, o crescimento econômico, o desenvolvimento social e a sustentabilidade ambiental dos países.

A grande diferença entre os ODM e os ODS é a relevância política que este último adquiriu para todos os países, após o aumento dos desastres ambientais e das crises econômicas e diante do aumento da desigualdade no mundo (JANNUZZI; DE CARLO, 2018). Conforme esclarece o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD):

Os ODS, embora de natureza global e universalmente aplicáveis, dialogam com as políticas e ações nos âmbitos regional e local. Na disseminação e no alcance das metas estabelecidas pelos ODS, é preciso promover a atuação dos governantes e gestores locais como protagonistas da conscientização e mobilização em torno dessa agenda. [PNUD, 201-]

Vários dos ODS abordam a questão ambiental direta ou indiretamente. Entretanto, o ODS 15 destaca-se por enfatizar em seu escopo, metas que estão estritamente direcionadas a problemática ambiental. Esse ODS é composto por 9 metas focadas na preservação, recuperação e promoção de práticas sustentáveis relacionadas ao Meio Ambiente e da Vida na Terra (Quadro 1).

Quadro 1 - As metas do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 15

Metas	Descrição
15.1	Garantir a conservação, recuperação e uso sustentável dos ecossistemas terrestres e de água doce em consonância aos acordos internacionais
15.2	Promover a implementação da gestão sustentável de todos os tipos de florestas, deter o desmatamento, restaurar as florestas degradadas e aumentar substancialmente o florestamento e o reflorestamento
15.3	Combater a desertificação, e restaurar a terra e o solo degradado
15.4	Garantir a conservação dos ecossistemas localizados nas montanhas
15.5	Adotar medidas capazes de reduzir a degradação dos habitats naturais, perda de biodiversidade e evitar a extinção de espécies ameaçadas
15.6	Garantir uma repartição justa e equitativa dos benefícios derivados da utilização dos recursos genéticos
15.7	Extinguir a caça ilegal, a comercialização e o tráfico de espécies da flora e fauna protegidas
15.8	Executar medidas que busquem evitar a introdução e reduzir significativamente o impacto de espécies exóticas invasoras em ecossistemas terrestres e aquáticos
15.9	Integrar os valores dos ecossistemas e da biodiversidade ao planejamento nacional e local, nos processos de desenvolvimento, nas estratégias de redução da pobreza, e nos sistemas de contas
15.a	Mobilizar e aumentar significativamente, a partir de todas as fontes, os recursos financeiros para a conservação e o uso sustentável da biodiversidade e dos ecossistemas
15.b	Mobilizar significativamente os recursos de todas as fontes e em todos os níveis, para financiar o manejo florestal sustentável e proporcionar incentivos adequados para promover o manejo florestal sustentável, inclusive para a conservação e o reflorestamento
15.c	Aumentar a capacidade das comunidades locais para buscar oportunidades de subsistência sustentável

Fonte: United Nations (2015).

Sem dúvida, adequar a Agenda 2030 para os contextos nacionais será um dos grandes desafios a serem enfrentados nos próximos anos. Afinal, esse aumento da pressão internacional em relação a gestão dos recursos naturais, acaba influenciando os contribuintes a pressionar o governo para que ações específicas sejam destinadas a conter a degradação ambiental no território da Amazônia Legal. Entretanto, essa adequação depende, de um lado, do mapeamento das políticas públicas e das ações dos diferentes órgãos setoriais (ministérios, secretarias e agências envolvidas) e, de outro lado, das informações existentes para monitorá-los. Os recursos que são direcionados a essa causa também necessitam de uma maior eficiência na alocação. Por isso, a importância da adoção de metodologias que contribuam para a conformação

adequada do processo de planejamento, gestão e monitoramento que aumentem a eficiência e dos recursos destinados a essa região.

## 2.2 Análise Envoltória de Dados

Uma determinada firma  $i$  produz um determinado produto  $y$  por meio de uma função de produção tal que  $y = f(x_j)$ , em que  $x_j$  corresponde aos insumos utilizados no processo produtivo, com  $j = 1, 2, \dots, n$ . Considerando um conjunto de firmas e dado a função de produção individual de cada uma delas, o conjunto de combinações entre insumos e os referentes produtos obtidos no processo de produção formam um conjunto de possibilidades de produção. Em muitos casos, esse conjunto de possibilidades é desconhecido e precisa ser estimado de acordo com uma ferramenta matemática. Nesse sentido, a *Data Envelopment Analysis* (DEA) surge como uma opção metodológica, a qual trata de uma ferramenta não paramétrica amplamente utilizada na literatura, sendo explorada e aperfeiçoada ao longo do tempo. Inicialmente, o método foi utilizado em estudos como Seiford e Thrall (1990), Lovell et al. (1993) e Lovell et al. (1994).

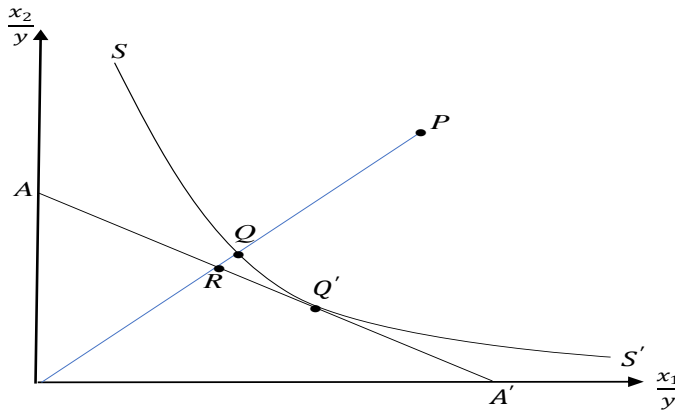
De acordo com Coelli (1996), no método DEA utiliza-se a programação linear para construir uma fronteira não paramétrica relacionada aos dados de maneira a tornar possível o cálculo das eficiências relativas à essa fronteira. Lovell et al. (1994) estabeleceram que essa eficiência pode ser mensurada considerando-se os retornos constantes ou variáveis de escala.

Usando a definição mostrada em Coelli (1996) é possível observar o funcionamento do processo de obtenção da eficiência por meio da programação linear. Utilizando a representação da Figura 1, onde são considerados dois insumos e um produto, se a quantidade de insumos utilizada para produzir o produto  $y$  for a combinação  $P$  e a isoquanta individual da firma for dada pelo segmento  $SS'$ , então a ineficiência técnica dessa firma seria representada pelo comprimento do segmento  $QP$ , que corresponde aos pontos em que a quantidade de insumos pode ser reduzida sem que seja diminuída a produção de  $y$ . Essa medida pode ser representada em termos percentuais por meio da razão  $QP/OP$  que corresponde à porcentagem em que todos os



insumos poderiam ser reduzidos. Em consequência, a eficiência técnica da firma seria dada pela razão  $0Q/0P$  que equivale a  $(0P - 0Q)/0P$ .

Figura 1 - Representação das eficiências técnica e alocativa.



Fonte: Elaborado pelos autores com base em Coelli (1996).

Ainda considerando a representação demonstrada na Figura 1, é possível extrair a eficiência alocativa da firma, a qual é dada pela razão  $0R/0Q$  no caso em que a firma opere com a combinação de insumos indicada no ponto  $P$ . Nesse caso,  $RQ$  representa a redução nos custos de produção que ocorreria se a produção ocorresse no ponto alocativamente eficiente  $Q'$  em vez do ponto  $Q$ . Além disso, é possível obter a eficiência econômica da firma, a qual é dada pela razão  $0R/0P$ . A partir desses conceitos, é possível notar que o nível geral de eficiência da firma é dado pelo produto entre a eficiência técnica e a eficiência alocativa, ou seja:

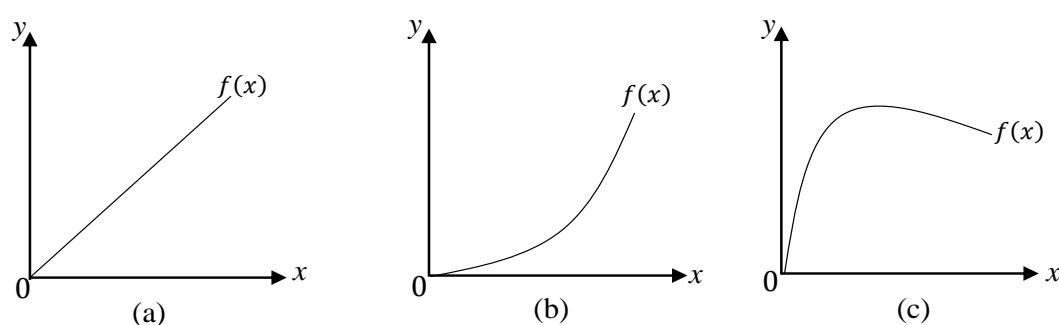
$$ET * EA = \left(\frac{0Q}{0P}\right) \left(\frac{0R}{0Q}\right) = \left(\frac{0R}{0P}\right) = EE \quad (1)$$

Em que  $ET$  corresponde a eficiência técnica,  $EA$  representa a eficiência alocativa e  $EE$  diz respeito a eficiência econômica.

Coelli et al. (2005) indica que a eficiência pode ser medida em diferentes aspectos a depender da especificação da função de produção da firma. A Figura 2 traz uma demonstração simplificada desses aspectos. Para compreender o que é demonstrado na referida figura, considere uma determinada firma  $i$ , a qual produz o produto  $y$  utilizando os insumos  $x_1$  e  $x_2$  com uma função de produção do tipo  $y = f(ax_1, ax_2)$ , caso ocorra  $y =$

$f(\alpha x_1, \alpha x_2) = \alpha f(x_1, x_2)$ , então a firma opera com retornos constantes de escala e a curva de possibilidades de produção segue o formato delimitado em (a); caso ocorra  $y = f(\alpha x_1, \alpha x_2) > \alpha f(x_1, x_2)$ , então a firma opera com retornos crescentes de escala e a curva de possibilidades de produção segue o formato delimitado em (b); caso ocorra  $y = f(\alpha x_1, \alpha x_2) < \alpha f(x_1, x_2)$ , então a firma opera com retornos decrescentes de escala e a curva de possibilidades de produção segue o formato delimitado em (c);

Figura 2 - Representação das curvas de possibilidade de produção



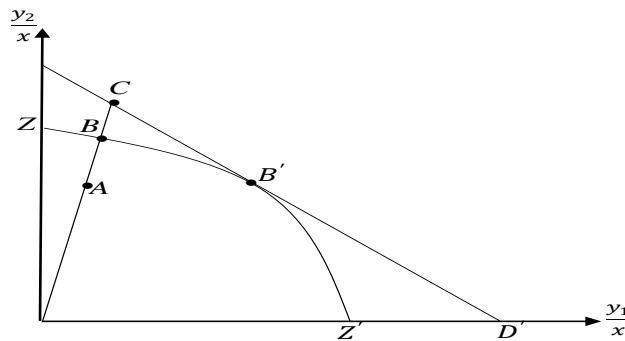
Fonte: Elaborado pelos autores com base em Coelli et al. (2005) e Coelli (1996).

Coelli et al. (2005) também atenta para o fato de que as firmas produzam sobre uma determinada orientação inserida na função de produção, de maneira que, caso a firma deseje elevar a produção sem gerar elevações na quantidade de insumo utilizada, então essa firma busca uma eficiência orientada ao produto, enquanto no caso em que ela vise reduzir a quantidade de insumos sem que a produção caia, então a eficiência obtida será orientada ao insumo, sendo que, a curva de possibilidade de produção sofre alterações a depender do caso analisado.

Para representar considere que uma determinada firma  $i$  produz dois produtos ( $y_1$  e  $y_2$ ) com um único insumo  $x_1$ . Considerando retornos constantes de escala, a Figura 3 representa a curva de possibilidades de produção em duas dimensões. Nesse caso, o segmento  $ZZ'$  representa a curva de possibilidades de produção e o ponto  $A$  representa uma combinação ineficiente. Nesse caso, produzir com base na combinação  $A$  é uma decisão ineficiente, visto que, esse ponto encontra-se abaixo da curva de possibilidades, o que demonstra que a produção pode ser elevada com pelo menos a mesma

quantidade de insumos. Nesse caso, a distância referente ao segmento  $AB$  representa a ineficiência técnica da firma, medindo o quanto pode ser produzido a mais sem a necessidade de aumento na quantidade de insumos.

Figura 3 - Eficiência com orientação ao produto



Fonte: Elaborado pelos autores com base em Coelli et al. (2005).

Dada essa representação, Coelli (1996) indica que a eficiência técnica com orientação ao produto é dada pela razão  $ET_0 = OA/OB$ . Caso existam informações adicionais sobre o mercado e o nível de preços é possível definir a curva de isoreceita  $DD'$  e definir a eficiência alocativa como a razão  $EA_0 = OB/OC$ . Dado esses conceitos, a eficiência econômica pode ser medida pelo produto entre as eficiências técnica e alocativa, ou seja:

$$EE_0 = \left(\frac{OA}{OC}\right) = \left(\frac{OA}{OB}\right) = TE_0 * AE_0 \quad (2)$$

Contudo, Charnes et al. (2013) destaca que em se tratando de inúmeras firmas com múltiplos produtos e insumos e um conjunto amplo de restrições, a mensuração da eficiência pode não ser tão simples e a utilização do DEA se sobrepõe aos métodos convencionais de programação linear.

Nesse sentido, Coelli et al. (2005) indicam que o método DEA pode ser exemplificado de maneira intuitiva. Nesse caso, cada firma obtém uma medida para a razão entre os produtos e insumos, como sendo  $u'y_i/v'x_i$ , onde  $u'$  é um vetor  $M \times 1$  de ponderação ao produto e  $v$  é um vetor  $K \times 1$  de ponderações ao insumo. Nesse sentido, a ponderação ótima é obtida por meio da resolução do seguinte problema de programação linear:

$$\max_{u,v} \left( \frac{u' y_i}{v' x_i} \right)$$

Sujeito a:

$$\left( \frac{u' y_j}{v' x_j} \right) \leq 1 \tag{3}$$

Com  $j = 1, 2, \dots, n$  e  $u, v > 0$

Esse processo envolve a obtenção de valores para  $u$  e  $v$ , de tal modo que a medida de eficiência para a  $i$ -ésima firma é maximizada, sujeita à restrição de que todas as medidas de eficiência devem ser menores ou iguais a um<sup>3</sup>.

Quais os níveis de eficiência referentes às despesas ambientais dos estados brasileiros? Em consequência, o objetivo desse estudo é mensurar os escores de eficiência das unidades da Federação brasileiras que compõem a Amazônia Legal e mensurar o efeito das possíveis causas dessa (in)eficiência nos escores obtidos.

### 3 METODOLOGIA

A presente pesquisa utilizará principalmente métodos quantitativos, mas que serão complementados pela análise qualitativa dos resultados. Quanto aos objetivos propostos, este estudo pode ser classificado como descritivo e exploratório. De acordo com Gil (2008), as pesquisas descritivas permitem uma maior aproximação com o problema, tornando-o mais compreensível, com o objetivo de aperfeiçoar as ideias e descobertas. Assim, este trabalho buscou aproximar-se dos estudos sobre a eficiência do gasto de recursos orçamentários com gestão ambiental a nível estadual, para gerar dados capazes de nortear estudos mais aprofundados sobre essa temática ainda pouco explorada na literatura científica brasileira.

A metodologia empregada neste trabalho encontra-se subdividida em duas etapas. Na primeira etapa utiliza-se o método DEA para mensurar os escores de eficiência referentes aos gastos dos estados brasileiros com gestão

<sup>3</sup> Coelli (1996), Cook (2001), Coelli et al. (2005), Coelli et al. (2005), Charnes et al. (2013) e Cook e Zhu (2014) demonstram maiores detalhes desse processo.

ambiental. Em sequência, utiliza-se a análise de regressão para analisar os efeitos de um conjunto de características que atuam como determinantes dos níveis de eficiência.

### 3.1 Mensuração dos escores de eficiência

A Análise Envoltória de Dados trata de uma ferramenta não paramétrica que permite obter a eficiência técnica relativa a partir de um conjunto de unidades a serem analisadas, as quais são denominadas DMU's. Nesse tipo de análise, a eficiência relativa é mensurada basicamente sobre duas óticas, o modelo orientado ao *input* onde uma determinada DMU será considerada eficiente quando consegue minimizar insumos sem que sejam reduzidos os seus níveis de produto, e o modelo orientado ao *output*, onde uma DMU será considerada eficiente se conseguir aumentar o seu produto sem elevar as quantidades de insumo utilizadas.

O modelo DEA com retornos constantes de escala orientados para os insumos podem ser apresentados por:

$$\text{Max } Ef_0 = \sum_{j=1}^8 u_j y_{j0}$$

Sujeito às restrições:

$$\sum_{i=1}^r v_i x_{i0} = 1 \quad (4)$$

$$u_j \geq 0 \text{ para } k = 1, 2, \dots, s$$

$$v_j \geq 0 \text{ para } i = 1, 2, \dots, r$$

Onde  $Ef$  diz respeito à eficiência,  $x$  representa o insumo,  $y$  representa o produto e  $u$  e  $v$  dizem respeito ao peso atribuído ao produto e ao insumo na programação linear, respectivamente. Nesse caso, é possível obter o conjunto ótimo de multiplicadores que maximizam a eficiência. Caso a eficiência obtida para uma determinada DMU seja superior à eficiência das demais DMU's, então obtém-se um escore de eficiência igual a 1. O modelo DEA orientado ao produto, bem como suas versões com retornos crescentes e decrescentes de

escala e suas respectivas versões dual podem ser verificadas com maiores detalhes em Cook (2001).

Dado que a análise DEA trata de uma abordagem determinística, pode ocorrer que um resultado diferente da eficiência total possa ser interpretado como ineficiência devido a alguns fatores como os erros na coleta dos dados ou fatores aleatórios não captados na análise. Em vista dessa possibilidade, Simar e Wilson (1998) propõem a utilização da técnica de *bootstrap* para produzir uma inferência estatística acerca dos resultados da eficiência gerados pelo método DEA.

Essa técnica consiste em mensurar um intervalo de confiança para cada DMU permitindo o cálculo do viés e a mensuração de uma eficiência corrigida. Formalmente, a o cálculo do *bootstrap* para o estimador DEA ( $\hat{\theta}_{DEA}(x_0, y_0)$ ) é dado por:

$$\widehat{VIES}_B \left( \hat{\theta}_{DEA}(x_0, y_0) \right) = B^{-1} \sum_{b=1}^B \hat{\theta}_{DEA,b}^*(x_0, y_0) - \hat{\theta}_{DEA}(x_0, y_0) \quad (5)$$

Em que  $\hat{\theta}_{DEA,b}^*(x_0, y_0)$  é o número de replicações de *bootstrap*. Nesse caso, o estimador de correção de viés  $\hat{\theta}(x_0, y_0)$  é dado por:

$$\hat{\theta}_{DEA}(x_0, y_0) = \hat{\theta}_{DEA}(x_0, y_0) - \widehat{VIES}_B \left( \hat{\theta}_{DEA}(x_0, y_0) \right) \quad (5)$$

Nesse caso, os escores de eficiência podem ser obtidos com maior precisão e com um menor viés na sua estimativa se comparado ao modelo de programação linear tradicional indicado na Equação 1<sup>4</sup>.

### 3.2 Regressão Beta

Tendo construído a primeira etapa por meio do modelo DEA, o próximo passo é verificar os efeitos de algumas variáveis sobre os escores de eficiência obtidos, para tanto, utiliza-se a análise de regressão.

<sup>4</sup> Maiores detalhes acerca do arcabouço metodológico podem ser consultados no estudo de Simar e Wilson (1998).

Nesse caso, a variável dependente utilizada no modelo de regressão diz respeito aos escores de eficiência encontrados com o modelo DEA. Como essa variável é truncada entre o intervalo (0,1), uma estimação via MQO poderia fornecer resultados viesados. Para corrigir tal problema, o presente trabalho utiliza uma especificação econométrica para variável dependente censurada, proposta por Ferrari e Cribari-Neto (2004), conhecido como regressão beta, a qual trata de um método de estimação adaptado para o caso em que a variável dependente seja uma taxa ou proporção.

A regressão beta é baseada em uma parametrização alternativa da densidade beta em termos de uma média variável e de um parâmetro de precisão. Formalmente, a densidade beta é dada por:

$$f(y, p, q) = \frac{\Gamma(p + q)}{\Gamma(p)\Gamma(q)} y^{p-1}(1 - y)^{q-1} \quad (6)$$

Com  $0 < y < 1$ . Sendo que  $p > 0$  e  $q > 0$  são parâmetros que indexam a distribuição e  $\Gamma(\cdot)$  é a função Gamma. Ferrari e Cribari-Neto (2004) propõem uma parametrização diferente para obter  $\mu = p/(p + q)$   $\phi = p + q$ . Esse procedimento consiste em obter:

$$f(y, \mu, \phi) = \frac{\Gamma(\phi)}{\Gamma(\mu\phi)\Gamma((1 - \mu)\phi)} y^{\mu\phi-1}(1 - y)^{(1-\mu)\phi-1} \quad (7)$$

Com  $0 < \mu < 1$  e  $\phi > 0$ . Nesse caso obtém-se que  $y \sim \beta(\mu, \phi)$ , com  $E(y) = \mu$  e  $Var(y) = \mu(1 - \mu)/1 + \phi$ .  $\mu$  é conhecido como o parâmetro de precisão, uma vez que, para um dado  $\mu$ , quanto maior  $\mu$  menor será a variância de  $y$ .

Sendo  $y_1, \dots, y_n$ , uma amostra aleatória em que  $y_i \sim \beta(\mu_i, \phi)$ ,  $i = 1, \dots, n$ , a regressão beta pode ser escrita como:

$$g(\mu_i) = x_i^T \beta = \eta_i \quad (8)$$

Em que  $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_k)^T$  é um vetor  $k \times 1$  de parâmetros desconhecidos e  $\eta_i$  é um preditor linear  $\eta_i = \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_k x_{ik} \forall i = 1$ .<sup>5</sup> Para controlar a heterogeneidade nos dados, a regressão é estimada considerando a inclusão de variáveis binárias que identificam os anos de análise<sup>6</sup> e as regiões geográficas as quais cada estado pertence<sup>7</sup>

### 3.3 Dados

Os dados utilizados neste trabalho são distribuídos ao longo do tempo com dispersão anual entre os anos de 2005 e 2017. As DMUs utilizadas na estimativa da DEA correspondem às 9 unidades da Federação brasileira que compõem a denominada Amazônia Legal, de acordo com o PRODES (2019), sendo eles, Acre (AC), Amazonas (AM), Pará (PA), Amapá (AP), Maranhão (MA), Mato Grosso (MT), Rondônia (RO), Roraima (RR) e Tocantins (TO).

Para construção do método DEA são utilizados um *input* e dois *outputs*. O *input* utilizado diz respeito às despesas estaduais com gestão ambiental disponibilizados pelo Tesouro Nacional (2019), sendo essas despesas atualizadas monetariamente pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor (INPC) para valores de dezembro de 2018. Já os *outputs* utilizados são as remoções anuais de emissões de gás carbônico  $CO_2$  disponibilizados pelo Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa SEEG (2019), e uma medida para a área "não desmatada" que equivale à diferença entre a área total estadual (em  $Km^2$ ) e o incremento do desmatamento informado pelo Global Forest Watch (2019).<sup>8</sup>

Nesse caso, a estimativa DEA com orientação ao *output* busca checar a eficiência dos gastos com gestão ambiental das unidades da Federação brasileira pela ótica da elevação dos níveis de remoção de  $CO_2$  e da área "não desmatada" relacionado a um determinado nível de despesas ambientais.

No segundo estágio, onde busca-se verificar o efeito de um conjunto de variáveis para com os escores de eficiência considera-se a temperatura (em

<sup>5</sup> Maiores detalhes em Ferrari e Cribari-Neto (2004).

<sup>6</sup> 13 variáveis binárias, sendo uma para cada ano de análise com valor 1 se o ano é igual ao ano a que se refere a variável binária e zero caso contrário.

<sup>7</sup> Três variáveis binárias com valor 1 se o estado pertence à região a que se refere a variável e zero caso contrário.

<sup>8</sup> Considerou-se a perda de cobertura de copa para áreas com cobertura de copa igual ou superior a 50% da área total.



°C) e a precipitação média (em milhões de milímetros (mm) anuais), ambas disponibilizadas pelo *Global Climate Monitor* (2019); o número de incêndios florestais (milhões de focos de incêndio) disponibilizado pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA, 2019); a extensão territorial e a área destinada à colheita (ambas em milhões de Km<sup>2</sup>), que foi disponibilizada pela Produção Agrícola Municipal PAM (2019); a frota estadual de veículos (em 100.000 unidades) disponível junto ao DENATRAN (2019), a população residente estimada (em milhões de habitantes), disponibilizada pelo IBGE (2019) e o consumo estadual de energia elétrica (em milhões de Gwh), disponibilizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2019). Cabe destacar que o consumo de energia elétrica é utilizado por Linhares et al. (2012) como uma aproximação para o capital físico das Unidades da Federação brasileira, com isso, o presente trabalho utiliza essa variável nesse mesmo sentido. Além disso, utiliza-se duas variáveis para representar a intervenção governamental em relação às questões ambientais, sendo elas, o valor das multas e advertências aplicadas pelo Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (IBAMA) - (em R\$ milhões, corrigidos monetariamente para valores de dezembro de 2018 pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor - INPC) e o número de embargos em decorrência de questões ambientais (em 1.000 embargos)<sup>9</sup>, ambas as variáveis disponibilizadas pelo IBAMA (2019).

#### **4 RESULTADOS**

Antes de detalhar os resultados dos procedimentos metodológicos realizados, faz-se necessário realizar uma explanação e uma breve descrição dos dados utilizados. A Tabela 1 demonstra as estatísticas descritivas dos dados considerados para o primeiro e segundo estágios. Considerando todos os anos estudados, observa-se que em média os estados que compõem a Amazônia Legal gastaram cerca de R\$ 367,95 milhões com gestão ambiental e conseguiram remover cerca de 15,3 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> da atmosfera, sendo que esses estados apresentaram uma área não desmatada

---

<sup>9</sup> Os embargos ambientais consistem na aplicação de uma restrição à execução de determinada atividade em uma área específica. Os embargos ambientais possuem o intuito de preservar áreas onde determinado tipo de atividade, potencialmente prejudicial ao meio ambiente, estejam sendo executadas.

média de 32,64 milhões de hectares. Em relação às variáveis do segundo estágio, os resultados demonstram que em média, as unidades da Federação estudadas possuem uma extensão territorial de cerca de 565 mil Km<sup>2</sup> e uma população média de 2,88 milhões de habitantes no período analisado. Além disso, obteve-se uma média de 31.200 focos de incêndio no período, onde foi obtida uma temperatura média de 27,10 °C e uma precipitação média de 2.450 mm. Entre 2005 e 2017, os estados considerados obtiveram uma média de 364.000 veículos automotores, tendo apresentado um consumo médio de 1.190 Gwh de energia elétrica.

As estatísticas descritivas das variáveis que representam a intervenção estatal em relação às questões ambientais demonstram que em média, entre 2005 e 2017 foram realizados 276 embargos em vista de descumprimento das regulamentações ambientais nos estados da Amazônia Legal. Além disso o IBAMA aplicou multas que somaram um montante de R\$ 11,90 milhões nesse período, demonstrando uma ampla atividade regulamentar no que diz respeito ao aspecto ambiental.

Tabela 1 - Estatísticas descritivas das variáveis

Variável	Unidade	Observações	Média	D. Padrão	Mínimo	Máximo
<b>Variáveis do primeiro estágio (em milhões)</b>						
Despesas	R\$	338	367,9554	715,6691	0,8141	7.732,3312
Remoções Floresta	ton Km <sup>2</sup>	338	15,3077 32,6449	3,0336 36,9639	0,0020 2,1849	124,5873 155,8312
<b>Variáveis do segundo estágio</b>						
Extensão Territorial	Km <sup>2</sup>	117	565.000,00	504.000,00	143.000,00	1.560.000,00
Área plantada	Km <sup>2</sup>	117	17.700,00	34.700,00	163,00	156.000,00
População	hab	117	2.880.000,00	2.520.000,00	2.520.000,00	8.370.000,00
Energia	Gwh	117	1.190,0000	920,00	156,00	3.820,00
Incêndios	u	117	31.200,0000	33.000,00	1.360,00	165.000,00
Precipitação	mm	117	2.450,0000	608,00	1.060,00	3.700,00
Temperatura	°C	117	27,1000	1,26	23,40	31,80
Veículos	unid	117	364.000,0000	458.000,00	8.690,00	1.880.000,00
Embargos	unid	117	276,0000	298,00	2,00	1.330,00
Multas	unid	117	11.900.000,0000	19.000.000,00	48.200,00	9.840.000,00

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tendo demonstrado as propriedades dos dados, o próximo passo é mensurar os escores de eficiência das unidades da Federação que compõem a Amazônia Legal brasileira. A Tabela 2 mostra os resultados dos níveis de eficiência obtidos com o modelo DEA convencional informado na Equação 1. Observa-se que no primeiro ano em que esta análise está fundamentada, o estado do Acre atuou como referência para os demais estados da Amazônia Legal, uma vez que, dentre os estados estudados, o Acre situara-se sobre a fronteira de possibilidades de produção.

Para os anos subsequentes os escores desse estado apresentaram uma certa variabilidade, com destaque para a grande perda de eficiência até o ano de 2017. O estado de Roraima, por sua vez, aparece como sendo referência para os demais estados, em 9 dos 13 anos estudados, mostrando-se como o estado mais regular em termos de eficiência durante o período aqui analisado.

Nos anos de 2015 e 2016, os resultados apontam que o estado do Amapá foi a DMU referência, a qual obteve tangência sobre a fronteira de possibilidades de produção, fundamentando-se como o estado com maior produção dos *outputs* considerados, em vista da quantidade de *inputs* utilizada nesses dois anos. Já em 2017, a DMU referência passa a ser o estado de Amazonas.

Tabela 2 - Escores de eficiência (DEA convencional com retornos constantes de escala)

UF	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
AC	1,00	0,21	0,17	0,28	0,04	0,09	0,06	0,03	0,08	0,05	0,05	0,08	0,07
AM	0,91	0,68	0,57	1,0	0,15	0,48	0,51	0,26	0,51	0,52	0,75	1,00	1,00
AP	0,72	0,28	0,09	0,20	0,03	0,03	0,03	0,03	0,74	0,49	1,00	1,00	0,54
MA	0,72	0,24	0,16	0,33	0,02	0,18	0,21	0,09	0,18	0,10	0,20	0,23	0,20
MT	1,00	0,93	0,37	0,71	0,09	0,29	0,19	0,08	0,25	0,25	0,18	0,23	0,20
PA	0,39	0,40	0,22	0,57	0,06	0,19	0,16	0,13	0,52	0,45	0,30	0,40	0,36
RO	0,37	0,26	0,43	0,84	0,09	0,22	0,18	0,11	0,64	0,48	0,56	0,56	0,48
RR	0,78	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,70	0,75	0,56
TO	0,14	0,16	0,14	0,39	0,02	0,03	0,04	0,02	0,20	0,21	0,15	0,25	0,17

Fonte: Elaborado pelos autores.

O caráter determinístico do método DEA, associado a algumas características particulares dos dados pode fazer com que os escores de eficiência apresentados na Tabela 2 apresentem um determinado viés. Para corrigir esse problema, o presente trabalho utiliza o procedimento proposto por Simar e Wilson (1998), que consiste na utilização de *bootstrap* para fornecer

um intervalo de confiança aos escores de eficiência obtidos com o procedimento DEA. Com isso, utiliza-se um total de 300 repetições a fim de obter um intervalo de confiança robusto e extrair o viés dos escores de eficiência. Os resultados desse procedimento estão demonstrados na Tabela 3.

Com a utilização do *bootstrap*, os escores de eficiência na Tabela 3 diferem dos resultados da Tabela 2. Esse resultado dá-se em decorrência da exclusão do viés na estimativa da eficiência. Em suma, os resultados sugerem que as DMUs não conseguiram atingir um nível de eficiência pelo qual estariam situadas sobre a fronteira de possibilidades de produção.

Observa-se que o estado de Roraima apresenta elevados níveis de eficiência se comparado com os demais estados, sendo que, em sete dos 13 anos estudados, esse estado obteve os maiores escores de eficiência dentre as demais unidades da federação consideradas nesse estudo.

Vale destacar que os estados do Maranhão e Tocantins obtiveram escores consideravelmente baixos se comparado com os demais estados. O resultado apresenta-se de acordo com o esperado, uma vez que, os referidos estados compõem a nova "fronteira agrícola" brasileira conhecida como MATOPIBA, região que engloba algumas microrregiões dos estados do Maranhão, Piauí, Tocantins e Bahia. Trabalhos como o estudo desenvolvido por Bragança (2018) demonstram uma considerável elevação da exploração agrícola nessa região, a qual pode gerar consequências ambientais que atuam como determinantes nos níveis de eficiência ambiental dessas áreas.

É possível observar também que com exceção dos estados de Rondônia e Tocantins, todas as demais DMUs obtiveram queda nos seus escores de eficiência quando feita uma comparação entre os períodos final e inicial da análise. Um destaque dessa comparação está na perda de eficiência do estado do Acre, o qual obteve o maior escore em 2005 e no ano final da análise situou-se como a DMU que esteve mais distante da fronteira de possibilidades de produção. Nesse sentido, as evidências tomadas a partir da Tabela 3 demonstram a necessidade de intervenção pública a cerca de melhorar a eficiência nos gastos com gestão ambiental nos estados que compõem a Amazônia Legal, principalmente no que diz respeito àqueles que se localizam mais distantes da fronteira de possibilidades de produção.

Tabela 3 - Escores de eficiência (DEA com replicações *bootstrap* e retornos constantes de escala

UF	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
AC	0,88	0,16	0,12	0,24	0,02	0,06	0,04	0,02	0,06	0,04	0,04	0,06	0,05
AM	0,81	0,53	0,42	0,83	0,09	0,33	0,34	0,16	0,41	0,40	0,56	0,76	0,73
AP	0,66	0,21	0,06	0,16	0,02	0,02	0,02	0,01	0,58	0,37	0,71	0,75	0,41
MA	0,64	0,19	0,12	0,28	0,11	0,12	0,15	0,05	0,16	0,08	0,16	0,19	0,15
MT	0,87	0,75	0,28	0,61	0,05	0,21	0,13	0,05	0,20	0,20	0,14	0,18	0,16
PA	0,36	0,30	0,16	0,47	0,03	0,13	0,11	0,08	0,41	0,34	0,21	0,30	0,28
RO	0,34	0,20	0,31	0,68	0,05	0,15	0,12	0,07	0,49	0,36	0,42	0,43	0,36
RR	0,72	0,74	0,70	0,81	0,57	0,67	0,66	0,61	0,77	0,75	0,52	0,56	0,43
TO	0,13	0,13	0,10	0,33	0,01	0,02	0,03	0,01	0,16	0,17	0,11	0,20	0,13

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para obter um maior detalhamento acerca dos resultados do modelo DEA, o próximo passo é regredir os escores de eficiência demonstrados na Tabela 3 em função de um conjunto de regressores indicados na Tabela 1. Para tanto, utiliza-se a regressão Beta, a qual consiste em uma modelagem específica para o caso em que a variável dependente é limitada ou censurada. Para a construção da regressão Beta, utilizou-se uma estimação via máxima verossimilhança por meio de uma função de ligação do tipo logística. Como os dados estão distribuídos em tempo e espaço, considerou-se quatro tipos de estimação, sendo a primeira, consistindo no conjunto de dados agrupados e sem inclusão de variáveis binárias de identificação de ano e região geográfica, a segunda com a inclusão das variáveis binárias que representam os anos e sem a inclusão das variáveis binárias de região geográfica, a terceira com efeitos variáveis binárias de região e sem variáveis binárias de tempo, e por último, elaborou-se uma regressão beta onde foram considerados as variáveis binárias que representam os anos e as regiões geográficas.

Antes de formular o modelo de regressão torna-se necessário fazer uma análise prévia da dispersão dos dados, uma vez que, os modelos de regressão com dispersão variável necessitam de uma estrutura específica para modelar a precisão dos parâmetros. Para tanto, testa-se a hipótese de que o parâmetro de precisão varia de acordo com as variáveis que representam a intervenção estatal acerca da questão ambiental (multas ambientais e número de embargos). Com isso, utilizou-se um teste de razão de verossimilhança para testar a hipótese nula de precisão fixa, ou seja,  $\phi_1 = \phi_2, \dots, \phi_n$ . Os resultados deste procedimento estão detalhados na Tabela 4.

Nota-se que em todas as estimações realizadas, a hipótese nula de precisão variável foi rejeitada. Nesse caso, modelar uma precisão fixa é o procedimento mais adequado<sup>10</sup>. Ademais, é possível notar que a estimação 4 com inclusão de efeitos fixos de tempo e estado obteve o maior log da verossimilhança, bem como o maior valor para o *Pseudo R*<sup>2</sup>. Nesse sentido, a interpretação dos resultados demonstrados na Tabela 4 será feita com base nos coeficientes da estimação 4.

Os resultados apontam que os estados com maior extensão territorial estão mais propensos a serem mais eficientes, o que indica que mesmo com menores extensões territoriais, o que facilitaria a regulamentação e os procedimentos de vigilância ambiental, alguns estados não conseguem obter um nível adequado de eficiência nos gastos com gestão do meio ambiente. De uma maneira geral, não se pode inferir uma relação de causa-efeito entre a eficiência técnica e a extensão territorial, uma vez que a última é uma medida fixa. Com isso, o resultado obtido com este coeficiente pode apenas fornecer indícios de que os estados com menor extensão territorial encontram-se, em média, mais distantes da fronteira de possibilidades de produção, de maneira que essas unidades federativas poderiam ter maiores escores de eficiência do que os valores encontrados nesse trabalho caso ocorresse uma realocação dos insumos.

O coeficiente referente à população foi estatisticamente significativo e obteve sinal negativo, o que indica que o aumento da população reduz os escores de eficiência dos estados da Amazônia Legal. O resultado é tido como esperado, uma vez que, o crescimento populacional demanda a elevação das atividades econômicas locais, o que poderia acarretar maiores níveis de degradação ambiental e gerar um determinado nível de dificuldade no que diz respeito à manutenção e execução da legislação ambiental, assim como foi observado por Shaw (1992).

A variável que indica o valor da área plantada obteve significância estatística a nível de 95% de confiança e apresentou um sinal negativo, indicando que uma elevação da área destinada ao plantio de culturas agrícolas

---

<sup>10</sup> Os resultados das estimações com precisão variável podem ser obtidos via consulta junto aos autores.

tende a reduzir os níveis de eficiência nos gastos com gestão ambiental na Amazônia Legal. O resultado é tido como esperado, uma vez que, supondo que as áreas de não floresta factíveis à agricultura estão sendo plenamente utilizadas, o aumento da área cultivada requer uma elevação no desmatamento florestal, variável essa que compõe o indicador de eficiência aqui utilizado. Além disso, a expansão das áreas cultivadas impõe uma série de condições que podem vir a provocar uma elevação da degradação ambiental como a perda de cobertura do solo, aumento no uso de defensivos agrícolas e a exploração de áreas de floresta.

Apesar de o sinal do coeficiente relacionado à área plantada apresentar-se de acordo com o esperado, este resultado pode fornecer indícios de que os estados que compõem a Amazônia Legal brasileira precisam melhorar a gestão dos recursos destinados ao controle ambiental no que se refere aos efeitos da expansão da fronteira agrícola para com as variáveis ambientais da região, dado que, a intensificação das atividades agrícolas na região podem ser acompanhadas de menores níveis de eficácia na aplicação dos recursos ambientais.

No que diz respeito às variáveis climáticas, obteve-se um coeficiente negativo e estatisticamente significativo para a temperatura média anual. O resultado indica que elevações na temperatura média tendem a provocar um efeito negativo nos níveis de eficiência dos gastos com gestão ambiental das DMUs aqui estudadas. O sinal negativo do referido coeficiente fornece indícios de que gestão dos recursos destinados à gestão ambiental pode não ser adequada em um cenário de oscilações climáticas.

O coeficiente da variável que indica o número de embargos aplicados foi positivo e estatisticamente significativo a um nível de 95% de confiança, demonstrando que, a intervenção governamental na forma de vigilância. Em tese, a elevação do número de embargos ambientais acarretaria em uma melhora nos níveis de eficiência no uso dos recursos ambientais na Amazônia Legal. O resultado pode indicar que apenas a vigilância e o monitoramento tradicional, via aplicação de multas e penalidade jurídica ao infrator podem ter os seus efeitos potencializados quando aplicados em conjunto com um

embargo ambiental, melhorando, com isso, os níveis de eficiência para com os gastos ambientais de uma DMU específica.

Tabela 4 - Resultados da regressão Beta

Variável dependente: Escore de eficiência				
Variável	Estimação 1	Estimação 2	Estimação 3	Estimação 4
Intercepto	4,8910*	10,8900*	6,0989*	13,2934*
Área	0,4009	0,6094*	0,7051*	1,0150*
População	-0,2610*	-0,1264	-0,4529*	-0,3212*
Incêndios	4,4560	0,3503	6,1488	1,7607
Área plantada	-7,4480*	-2,7920	-24,3902*	-24,0393*
Precipitação	0,0176	-0,3031	253,2652	133,5791
Temperatura	-0,2491*	-0,4182*	-0,2484*	-0,4484*
Veículos	0,0324	-0,0338	0,0305	-0,0404
Energia	0,0505	0,0182	598,8702*	79,9192
Multas	0,0001	-0,0008	0,0046	0,0082
Embargos	-0,0287	0,1972	0,7341	1,1878*
Coefficiente de precisão	5,4955*	10,3840*	5,9162*	12,9350*
P-Valor ( $\emptyset_1 = \emptyset_2, \dots, \emptyset_n$ )	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Dummy de tempo	Não	Sim	Não	Sim
Dummy de região	Não	Não	Sim	Sim
Log da verossimilhança	71,1500	107,4000	75,2500	119,9000
Pseudo R <sup>2</sup>	0,2139	0,6302	0,2640	0,7000

Nota: O símbolo \* denota significância estatística a 95% de confiabilidade.

Fonte: Elaborado pelos autores.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável propõem uma otimista e audaciosa transformação em diversas áreas que interferem diretamente na qualidade de vida das futuras gerações. Neste sentido, a questão ambiental passa a ser fundamental para toda a sociedade. Porém, é evidente que a disseminação e o alcance das metas estabelecidas pelos ODS exigem o esforço conjunto dos entes federativos e da sociedade civil para discutir e propor medidas que favoreçam o planejamento e a gestão ambiental. Porém, é preciso alertar que apesar do entusiasmo inicial da sociedade civil organizada, da insistência das agências das Nações Unidas e de algumas instâncias do Estado brasileiro, a agenda 2030 de desenvolvimento ainda está muito incipiente no país.

Com o intuito de contribuir com essa discussão, o presente trabalho teve como objetivo mensurar os escores de eficiência das unidades da Federação brasileiras que compõem a Amazônia Legal. Além disso, buscou-se analisar a



contribuição de uma série de covariadas para com os níveis de eficiência obtidos. Para tanto, foram utilizados dados referentes aos nove estados da Amazônia Legal distribuídos entre 2005 e 2017 e utilizou-se o método DEA para calcular os escores de eficiência. Em seguida, os escores de eficiência foram regredidos como função de um conjunto de variáveis por meio de uma regressão beta.

Os resultados demonstraram que o estado do Acre teve a maior queda de eficiência entre os anos inicial e final da análise. Além disso, observou-se que o estado de Roraima obteve elevados índices de eficiência, de forma que, durante a maior parte do tempo estudado, o referido estado se apresentou como sendo a DMU com maior escore de eficiência.

Os resultados do modelo DEA ainda permitiram concluir que os estados do Maranhão e do Tocantins obtiveram níveis de eficiência relativamente baixos, advindos, provavelmente da expansão agrícola a qual os referidos estados vêm enfrentando ao longo dos anos.

Os resultados do segundo estágio obtidos com a regressão beta demonstraram que a expansão populacional tende a reduzir os níveis de eficiência nos gastos com gestão ambiental nos estados considerados. Além disso, checkou-se que a temperatura anual média mantém uma relação negativa com os escores de eficiência, o que demonstra a importância da adequação do uso dos recursos ambientais às possíveis alterações climáticas nos estados estudados.

Os resultados também mostraram que a expansão da área plantada tende a reduzir os níveis de eficiência nos gastos ambientais dos estados da Amazônia Legal, demonstrando a necessidade de intensificação ou melhorias nas medidas de vigilância e controle dos impactos ambientais da expansão agrícola nos estados estudados.

Demonstrou-se, também, que os embargos ambientais possuem um efeito positivo sobre os níveis de eficiência nos gastos ambientais na Amazônia Legal, indicando que as medidas punitivas a respeito das infrações ambientais terão melhores resultados sobre a eficiência nos gastos dos recursos ambientais quando forem aplicadas em conjunto com os embargos ambientais.

Cabe destacar aqui algumas limitações e observações acerca dos procedimentos realizados neste estudo.

a) Os escores de eficiência são medidas relativas, assim, os resultados podem ter outras magnitudes se forem incluídos outros produtos e/ou insumos.

b) Em termos absolutos, os escores de eficiência podem ser alterados caso seja empregado outro método de correção do viés.

c) A limitação dos dados impede uma análise temporal mais completa.

d) Desagregar os dados para além do nível estadual poderia fornecer resultados mais robustos. No entanto, a dificuldade de obtenção de dados a respeito dos *outputs* utilizados impede a realização desse procedimento.

Tendo ciência desses pontos, uma breve síntese do que foi exposto nesse estudo indica que:

a) Mesmo com algumas variações nos escores de eficiência, o estado de Roraima pode servir como base no que diz respeito à eficiência na gestão dos recursos ambientais.

b) O crescimento populacional pode vir a prejudicar as ações de regulamentação e gestão das atividades ambientais, o que provocaria efeitos negativos para com a eficiência nos gastos ambientais na Amazônia Legal.

c) As mudanças climáticas - no sentido da elevação dos níveis de temperatura para além da média anual - podem gerar perdas de eficiência nos gastos ambientais da Amazônia Legal, o que impõe uma necessidade de intensificação da vigilância ambiental para com atividades que provoquem potenciais danos climáticos.

d) Os embargos ambientais possuem uma relação positiva com a eficiência nos gastos com gestão ambiental, indicando que essa pode ser uma importante ferramenta de controle e punição de infrações ambientais.

Por fim, espera-se que este estudo, por meio dos resultados aqui apresentados forneça evidências que corroborem a melhoria da utilização dos recursos públicos destinados às questões ambientais na Amazônia Legal.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, T. A. N; CRUZ, L; BARATA, E; GARCÍA-SÁNCHEZ, I. M. Economic growth and environmental impacts: An analysis based on a composite index of environmental damage. **Ecological Indicators**, v. 76, p. 119-130, 2017.

BRAGANÇA, A. The economic consequences of the agricultural expansion in matopiba. **Revista Brasileira de Economia**, v. 72, n. 2, p. 161-185, 2018.

BISPO, L. G.; PIMENTEL, G. A. Agricultura na amazônia legal e sua relação com o desmatamento: Uma análise a partir dos censos demográficos e agropecuários de 1996 e 2006. **Revista de Administração de Roraima-RARR**, v. 7, n. 2, p. 244-267, 2018.

CHARNES, A; COOPER, W. W; LEWIN, A. Y; SEIFORD, L. M. (Ed.). **Data envelopment analysis: Theory, methodology, and applications**. Springer Science & Business Media, 2013.

COELLI, T. **A guide to deap version 2.1: a data envelopment analysis (computer) program**. Centre for Efficiency and Productivity Analysis, University of New England, Australia, 1996.

COELLI, T. J; RAO, D. S. P; O'DONNELL, C. J; BATTESE, G. E. **An introduction to efficiency and productivity analysis**. Springer Science & Business Media, 2005.

COOK, W. D. Data envelopment analysis: a comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software. **European Journal of Operational Research**, v. 33, n. 2, p. 416-31, 2001.

COOK, W. D.; ZHU, J. **Data envelopment analysis: A handbook of modeling internal structure and network**. Springer, v. 208, 2014.

DANTAS, M.K.; PACHECO, L.M.; LIBONI, L.B.; CALDANA, A.C.F. Análise dos Gastos Públicos com Gestão Ambiental no Brasil. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, São Paulo, v. 8, n. 3, p. 52-68, 2014.

**ESTATÍSTICAS - FROTA DE VEÍCULOS (DENATRAN)**, 2019.

<https://infraestrutura.gov.br/component/content/article/115-portal-denatran/8552-estat%C3%ADsticas-frota-de-ve%C3%ADculos-denatran.html> Acesso em: 15 jul. 2019.

EPE. **BEN - Séries Históricas Completas**, 2019. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/BEN-Series-Historicas-Completa>. Acessado em: 15 jul. 2019.

FERRARI, S.; CRIBARI-NETO, F. Beta regression for modelling rates and proportions. **Journal of Applied Statistics**, Taylor & Francis, v. 31, n. 7, p. 799-815, 2004.

GLOBAL CLIMATE MONITOR. **Global Climate Monitor, Getting Knowledge from data**, 2019. Disponível em: <https://www.globalclimatemonitor.org> Acesso em: 15 jul. 2019.

GLOBAL FOREST WATCH. **Monitoramento de Florestas Projetado para a Ação**, 2019. Disponível em: <https://www.globalforestwatch.org>. Acesso em: 24 jul. 2019.

GOVERNO FEDERAL. **LEI Nº 5.173, de 27 de outubro de 1966**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil/03/leis/L5173.html> Dispõe sobre o Plano de Valorização Econômica da Amazônia; extingue a Superintendência do Plano de Valorização Econômica da Amazônia (SPVEA), cria a Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM), e dá outras providências.

GROSSMAN, G. M; KRUEGER, A. B. Environmental impacts of a North American free trade agreement. **National Bureau of Economic Research**, 1991.

GUIMARÃES, P.C.V.; CARNEIRO, J.M.B.; DOWELL, S.M. (1992). Gasto na gestão ambiental no estado de São Paulo um estudo preliminar. **Revista de Administração Pública**, São Paulo, v. 26, n. 2, p. 155-172

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS (IBAMA). **Dados abertos**. 2019. Disponível em: <<http://dadosabertos.ibama.gov.br/organization/instituto-brasileiro-do-meio-ambiente-e-dos-recursos-naturais-renovaveis>>. Acesso em: 16 jul. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Amazônia Legal**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15819-amazonia-legal.html?edicao=28079&t=o-que-e>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

JANNUZZI, P. M.; DE CARLO, S. Da agenda de desenvolvimento do milênio ao desenvolvimento sustentável: oportunidades e desafios para planejamento e políticas públicas no século XXI. **Bahia Análise & Dados**, v. 28, n. 2, p. 6-27, 2019.

LINHARES, F; FERREIRA, R. T; IRFFI, G. D; MACEDO, C. M. B. A hipótese de Kuznets e mudanças nas relações entre desigualdade e crescimento de renda no Brasil. **Planejamento e Políticas Públicas**. v. 42, n. 3, dez. 2012.

LOVELL, C. K; GROSSKOPF, S; LEY, E; PASTOR, J. T; PRIOR, D; EECKAUT, P. V. Linear programming approaches to the measurement and analysis of productive efficiency. **Top**, v.2, n.2, 175-248, 1994.

LOVELL, C. A. K. Production Frontiers and Productive Efficiency. In. FRIED. H.O.; LOVELL, C.A.K.; SCHMIDT, S.S. (Ed.). **The Measurement of Productive Efficiency**: techniques and applications. New York: Oxford University Press, 1993. p. 3-67.

NASA. **Fire Information for Resource Management System**. Disponível em: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov> . Acesso em: 15 jul. 2019.

PAM. **Produção Agrícola Municipal**. 2019. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457i>. Acesso em: 15 jul. 2019.

PEREIRA, P. V. de M.; NETO, L. F. F. Evolução dos gastos públicos ambientais dos municípios brasileiros: uma análise no período de 2005 a 2015. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 25, n. 2, p. 425-437, 2020.

PORTAL DA TRANSPARÊNCIA. **Gestão ambiental**. <http://www.portaldatransparencia.gov.br/funcoes/18-gestao-ambiental?ano=2018i>. Acesso em: 24 jul. 2019.

PRODES. **Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite**. <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodesi>. Acesso em: 15 jul. 2019.

Programa das Nações Unidas Para o Desenvolvimento (PNUD). **Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**: dos ODM aos ODS. Disponível em: < <http://www.pnud.org.br/ods.aspx> > Acesso em: 20 jun. 2020.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (SEEG). Disponível em: <https://seeg.eco.br>. Acesso em: 24 jul. 2019.

SEIFORD, L. M; THRALL, R. M. Recent developments in dea: the mathematical programming approach to frontier analysis. **Journal of econometrics**, Elsevier, v. 46, n. 1-2, p. 7-38, 1990.

SHAW, R. P. The impact of population growth on environment: the debate heats up. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 12, p. 11-36, 1992.

SIMAR, L; WILSON, P. W. Sensitivity analysis of efficiency scores: How to bootstrap in nonparametric frontier models. *Management science*. **INFORMS**, v. 44, n. 1, p. 49-61, 1998.

**TESOURO NACIONAL. Sistema de Informações contábeis e Fiscais do Setor Público Brasileiro.**

[https://siconfi.tesouro.gov.br/siconfi/pages/public/consulta\\_finbra/finbra list.jsfi](https://siconfi.tesouro.gov.br/siconfi/pages/public/consulta_finbra/finbra_list.jsfi).

Acesso em: 24 jul. 2019.

**UNITED NATIONS (UN). A/RES/70/1 – Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015.** Disponível em:

[https://www.un.org/ga/search/view\\_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E](https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E).

Acesso em: 18 jun. 2020.

VALENTIM, J.F., ANDRADE, C.M.S de. Tendências e perspectivas da pecuária bovina na Amazônia Brasileira. **Amazônia: Ci. & Desenv**, v. 4, p. 9-32, 2009.