

(x) Graduação () Pós-Graduação

**ECOEFIÊNCIA AGROPECUÁRIA DOS PAÍSES DO MERCOSUL: uma
abordagem temporal**

Maria Avyla Batista da Silva
Universidade Regional do Cariri (URCA)
avyla.batista@urca.br

Manoel Alexandre de Lucena
Universidade Federal do Cariri (UFCA)
manoel.alexandre@aluno.ufca.edu.br

Eliane Pinheiro de Sousa
Universidade Regional do Cariri (URCA)
pinheiroeliane@hotmail.com

RESUMO

A busca por eficiência, essencialmente no setor agrícola, confere aos países elevadas vantagens no mercado global e estimula a criação de alianças comerciais, como é o caso do Mercado Comum do Sul (Mercosul). Tendo em vista que o setor agrícola ocupa um papel essencial neste grupo e da relevância desempenhada pela eficiência econômica e ambiental, o presente trabalho se propõe analisar a ecoeficiência agrícola dos países que compõem o Mercosul no período de 2000 a 2020, empregando DEA com retornos constantes à escala em conjunto com análise de janela com orientação ao *input*. Para tal, utilizaram o emprego agrícola e a terra agrícola como *inputs* e o VAB agropecuário e as emissões de metano agrícola como *outputs*, respectivamente, desejável e indesejável. Todas as variáveis foram extraídas do site do Banco Mundial. Os resultados revelam que, dentre os países integrantes do Mercosul, a Bolívia registrou os maiores índices de ecoeficiência. Em termos médios, o Paraguai liderou o *ranking*, ao passo que o Brasil apresentou os menores escores de ecoeficiência média durante o período considerado, porém, sob a ótica de janelas, percebe-se uma expansão progressiva e gradual.

Palavras-chave: Ecoeficiência. DEA. Análise de janela. Mercosul.

1 INTRODUÇÃO

Concomitante ao desenvolvimento de novas técnicas e tecnologias, ocorreu o uso demasiado e descontrolado dos recursos naturais em virtude da necessidade crescente de elevar a produção. Esse aumento do potencial econômico fora responsável por significativos impactos ambientais ao longo dos anos. Apesar disso, apenas na década de 1970, esse cenário passou a ser debatido entre as nações, culminando na preocupação em promover a conciliação entre crescimento econômico e sustentabilidade (Custódio, 2021; Santana *et al.*, 2014). Nesse contexto de preocupação ecológica, desenvolve-se o conceito de ecoeficiência, descrito como um dos meios para atingir o desenvolvimento sustentável, pois, ao agrupar o crescimento econômico e ambiental, objetiva reduzir a utilização de recursos que degradam o meio ambiente, à proporção que o nível econômico é mantido. Por outro lado, ressalta-se a relevância intrínseca às atividades agrícolas no que diz respeito à conservação da biodiversidade e ao uso eficiente dos recursos naturais, ou seja, a busca por eficiência, essencialmente no setor agrícola, confere aos países elevadas vantagens no mercado global e estimula a criação de alianças comerciais (Martins, 2022).

Isto posto, destaca-se, de modo específico, o Mercado Comum do Sul (Mercosul), cuja instauração ocorreu, em 1991, com o viés da expansão comercial e integração entre os países latino-americanos. Em 2024, é composto por Argentina, Brasil, Bolívia, Paraguai e Uruguai, sendo que a Venezuela está suspensa deste grupo. Waquil (2001) aponta que o setor agrícola desempenha um papel essencial no grupo, tanto no que tange à oferta de produtos agrícolas próprios do clima tropical, como na potencialidade de expansão física e tecnológica que seus membros apresentam. Em paralelo, Jabkowski (2023) argumenta que o setor agropecuário dos países-membros do Mercosul tem um notório potencial competitivo, tanto pela vasta área que ocupam, como pela concentração de assentamentos voltados para essas atividades.

Ademais, dados do Banco Mundial (2024) indicam que, no ano de 2020, o valor adicionado agrícola dos países que compõem o Mercosul ultrapassou os 3% do total mundial, à medida que contribuíram com 14% das emissões de gases do efeito estufa no ano em questão, sendo o Brasil o líder do *ranking* em ambas as categorias. Desse modo, torna-se evidente a importância de se mensurar a eficiência econômica e ambiental (ou seja, a ecoeficiência) inerente ao setor agrícola desses países ao longo dos anos.

Ademais, ressalta-se que a aferição da ecoeficiência, bem como eficiência econômica, comumente é realizada na literatura por meio da Análise Envoltória de Dados (DEA) para avaliar as *Decisions Making Units* (DMUs), que, neste caso, são os países do Mercosul.

Outrossim, Cooper, Seiford e Tone (2000), Camioto, Rebelatto e Rocha (2016) e Martins (2022) afirmam que, na presença de dados em painel, ou seja, dados que incorporam corte transversal e séries de tempo, a análise por janela (*window analysis*) é mais indicada, possibilitando estudar o comportamento das unidades ao longo do tempo. Além disso, faz-se essencial, na presença de pequenas quantidades de DMUs. Logo, em virtude dos fatos supracitados, o objetivo deste trabalho é analisar a ecoeficiência agrícola dos países que compõem o Mercosul no período de 2000 a 2020, empregando DEA e análise de janela.

Além desta introdução, o presente trabalho está estruturado em mais três seções, sendo a segunda responsável pelo detalhamento do modelo analítico empregado; a terceira expõe e discute os principais resultados obtidos; e, por fim, a quarta aponta as considerações finais.

2 METODOLOGIA

2.1 Método analítico

De maneira introdutória, define-se eficiência como a capacidade de realizar uma atividade com o mínimo de desperdício de recursos. Partindo dessa aceção, a eficiência econômica é entendida como a busca pela maximização da produção de bens e serviços levando em conta a otimização dos recursos disponíveis, com o intuito de maximizar o bem-estar social (Silva, 2014; Ferreira, 2005). Entretanto, por vezes, o seu uso infundado e demasiado resulta em impactos ambientais negativos. Sendo assim, a eficiência ambiental surge como um conceito importante para incrementar a análise de eficiência. Essa, por sua vez, envolve a utilização dos recursos de maneira sustentável, possibilitando a redução das externalidades negativas sobre o meio ambiente, sem comprometer o abastecimento das gerações vindouras (Maciel, 2018; Santana *et al.*, 2014). Em síntese, na intersecção entre a eficiência econômica e a ambiental emerge a ecoeficiência, ou seja, a capacidade de promoção do crescimento econômico com desenvolvimento sustentável.

Além disso, é válido ressaltar que os métodos de mensuração de eficiência são vastos e sua utilização varia a depender do tipo de análise que venha a ser empregada. Ferreira (2005) observa que, habitualmente, a literatura econômica representa as medidas de eficiência por meio de funções de fronteiras, cuja classificação é realizada considerando a disposição das unidades ao longo da fronteira de produção. As fronteiras, por sua vez, como apontado por Silva (2014), podem ser classificadas em determinísticas ou estocásticas a depender tanto do modelo quanto dos fatores que influenciam o desempenho das unidades.

Em vista disso, Farrell (1957), considerando a utilização de insumos variados,

desenvolveu, seminalmente, uma medida de eficiência econômica como resultado da combinação entre eficiência técnica e alocativa. Esse procedimento foi responsável por influenciar os estudos de Charnes, Cooper e Rhodes (1978) e Banker, Charnes e Cooper (1984) que culminaram no advento da Análise Envoltória de Dados, do inglês *Data Envelopment Analysis* (DEA), que consiste em uma técnica não paramétrica de análise em razão do não estabelecimento de um critério para a distribuição dos dados (Ferreira, 2005). O método DEA é baseado em programação linear e, conforme ressaltam Camioto, Rebelatto e Rocha (2016), tem sido largamente empregado para examinar o desempenho relativo das *Decision Making Units* (DMUs) que utilizam os mesmos *inputs* (insumos) na criação de *outputs* (produtos) semelhantes. O método possibilita estabelecer um paralelo entre a eficiência das firmas e o resultado ótimo obtido entre elas (Rocha; Rebelatto; Camioto, 2015).

Desta forma, é válido salientar que, ao longo do tempo, DEA foi aprimorado com modelos matemáticos, mas o primeiro deles, o CCR, assim denominado em referência aos seus desenvolvedores Charnes, Cooper e Rhodes (1978), considera a presença de Retornos Constantes de Escala (CRS) ao longo da fronteira de produção. Nesse modelo, a fronteira é uma reta, não paramétrica e linear, que assume saídas proporcionais às entradas (Maciel, 2018; Rocha; Rebelatto; Camioto, 2015). Ademais, em sua versão original, o CCR é orientado para os *inputs*, ou seja, esses são minimizados, à medida que se mantém o nível das saídas (Suzigan; Peña; Guarnieri, 2020), o modelo postula, ainda, a maximização da eficiência das DMUs quando $h_0 = 1$ (Pereira; Mello, 2015). A sua formalização matemática é apresentada na equação (1):

$$\begin{aligned} \text{Max } h_0 &= \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} \\ \text{Sujeito a:} \quad & \sum_{i=1}^m V_i X_{i0} = 1 \\ & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m V_i X_{ij} \leq 0, j = 1, 2, \dots, n \\ & u_r, V_i \geq 0, \forall r, i \end{aligned} \quad (1)$$

em que: $i = 1, 2, \dots, m$, $r = 1, 2, \dots, s$ e $j = 1, \dots, n$; V_i remete ao multiplicador das entradas i e, paralelamente, u_r é multiplicador das saídas r ; além disso, os *inputs* da DMU $_j$ são representados por X_{ij} , enquanto y_{rj} diz respeito aos *outputs*; para a DMU em análise, X_{i0} e y_{r0} representam os *inputs* e os *outputs*, nessa ordem.

Não equidistante, Martins (2022) explica que os escores de ecoeficiência fornecidos pelo método DEA, situam-se no intervalo de 0 a 1, evidenciando a posição das unidades em relação ao máximo desempenho possível. Dessa maneira, DMUs que apresentam os menores resultados, ou seja, aqueles mais próximos de 0, tem menor ecoeficiência. Por outro lado, resultados mais próximos de 1 têm melhores escores de ecoeficiência. Logo, a DMU com a alocação ótima, apresenta valor igual a 1.

Além disso, como o presente trabalho objetiva a mensuração da ecoeficiência ao longo de mais de duas décadas, a base de dados incorporou o formato de dados em painel, uma vez que mescla informações para cada uma das unidades (países membros do Mercosul) observadas ao longo de uma série de tempo. Logo, tornou-se essencial considerar esse tipo de análise para observar as nuances entre os resultados das unidades no tempo. A literatura frequentemente utiliza o Índice de Malmquist (*Malmquist Index – MI*) e a análise de janela (*Windows Analysis – WA*) para contemplar as séries de tempo. Ademais, ambos se distinguem apenas na maneira como o período é tratado, haja vista que o primeiro incorpora análise entre dois períodos (Zeilfelder, 2022), ao passo que WA considera a média entre as DMUs e as compara entre uma mesma unidade (Camioto; Rebelatto; Rocha, 2016). Especificamente, adotou-se o método WA neste estudo. Portanto, utiliza-se o modelo DEA-CCR-WA.

Alkhars, Alnasser e Alfaraj (2022) destacam que o emprego de DEA-CCR-WA tem se difundido em diversos tipos de áreas, principalmente para a determinação de eficiência do setor energético, ambiental e agropecuário. Logo, para os fins de aplicação desta técnica, os anos foram separados em janelas que correspondem a diferentes grupos de anos, particularmente, para o período de 2000-2020. Em termos específicos, WA trabalha com uma abordagem semelhante ao cálculo de médias móveis, em que, a cada ano recente adicionado na análise, o ano mais antigo é removido. Para a construção das janelas para a mensuração da ecoeficiência, empregaram-se as equações (2) e (3) para calcular a quantidade (n) e o tamanho (w) de cada uma, respectivamente:

$$n = \frac{N + 1}{2} \quad (2)$$

$$w = N - n + 1 \quad (3)$$

Em que: N diz respeito ao período considerado; n é a quantidade de janelas; e w , por sua vez, o tamanho de cada uma das janelas.

Ressalta-se que, tanto a quantidade quanto o tamanho das janelas para a presente

pesquisa resultaram em 11. Em outros termos, cada janela uma das 11 janelas comporta um intervalo de 11 anos, e essas são: janela 1 (2000-2010); janela 2 (2001-2011); janela 3 (2002-2012); janela 4 (2003-2013); janela 5 (2004-2014); janela 6 (2005-2015); janela 7 (2006-2016); janela 8 (2007-2017); janela 9 (2008-2018); janela 10 (2009-2019); janela 11 (2010-2020).

2.2 Modelagem de outputs indesejáveis

Salienta-se, sobretudo, que a utilização do modelo com orientação ao insumo é justificada pela modelagem de aumento do valor adicionado do setor agropecuário em conjunto com a redução dos impactos ambientais. Desse modo, envolvem-se aqui duas variáveis de saídas: o VAB agropecuário e a emissão de metano agrícola, sendo a primeira a saída desejada e a segunda, o *output* indesejado. Ao contrário da saída desejável, o *output* ambiental deve ser minimizado. Todavia, o modelo DEA-CRS-WA orientado ao insumo considerado, move-se apenas em uma direção, ou seja, mantém constante os *outputs* e minimiza os *inputs*. Desta forma, o *output* indesejável precisa ser incluído neste modelo de forma a minimizá-lo.

Para esta tarefa, diversas técnicas podem ser encontradas na literatura, conforme destacam Tschaffon e Meza (2014). Neste estudo, para modelar o *output* indesejável, aplicou-se a técnica denominada INP, que consiste em incluir a variável indesejada entre os *inputs*. Desta forma, ao considerar a minimização dos insumos, simultaneamente, tem-se a redução da saída indesejável (Caiado *et al.*, 2020; Scheel, 2001).

A subseção seguinte apresenta as variáveis estudadas, bem como a sua fonte e base de dados.

2.3 Variáveis e fonte dos dados

As variáveis necessárias para mensurar a ecoeficiência agropecuária dos países que fazem parte do Mercosul estão descritas no Quadro 1. Os dados foram coletados no site do Banco Mundial (Banco Mundial, 2024). Diante disso, para as entradas, utilizaram-se o emprego agrícola e a terra agrícola. Como saídas do modelo, utilizou-se o VAB agropecuário, como o *output* desejado, e as emissões de metano agrícola, para o *output* indesejável.

Quadro 1: Variáveis utilizadas como *inputs* e *outputs* para mensurar a ecoeficiência dos países membros do Mercosul entre os anos de 2000 a 2020.

Tipo	Variável	Descrição	Unidade de medida
Inputs	Emprego agrícola	Proporção do emprego total que estão atuando no setor agropecuário.	% do emprego total
	Terra agrícola	Percentual da área terrestre que é destinada ao cultivo, produção, pastagem, etc.	% da área terrestre total
Output indesejável	Emissões de metano agrícola	Corresponde às emissões de metano por animais, resíduos, produção e queima de biomas, é equivalente a milhares de toneladas métricas de CO ₂ .	Toneladas <i>per capita</i>
Output desejável	VAB agropecuário	Porcentagem que a agricultura, a silvicultura e a pesca adicionam ao PIB.	% do PIB total

Fonte: elaborado pelos autores com base nos dados do Banco Mundial (2024).

Neste estudo, para operar o modelo DEA, a obtenção de gráficos e tabelas, utilizou-se a linguagem *R* (R CORE TEAM, 2024), no ambiente *Rstudio Cloud*. Particularmente, para extração dos dados do Banco Mundial, adotou-se o pacote *World Development Indicators* (WDI) (Arel-Bundock, 2022). Na operacionalização do modelo DEA, o pacote *Benchmarking* (Bogetoft; Otto, 2022) foi utilizado.

Na próxima seção, portanto, os principais resultados obtidos são apresentados e discutidos.

3 DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS DADOS

A Tabela 1 apresenta as estatísticas descritivas das variáveis consideradas na mensuração da ecoeficiência agropecuária dos países membros do Mercosul no período de 2000 a 2020. No que tange ao valor adicionado agropecuário, nota-se que a média e a mediana possuem valores próximos, apontando que as observações estão dispostas próximas ao seu valor

médio, fato elucidado pelo baixo desvio padrão. Ainda, dadas as características dessa métrica, os resultados apontam o percentual de participação do setor agropecuário no PIB total desses países, isto é, no ano de 2010, dentre os países-membros do Mercosul, o Brasil apresentou a menor cota, com apenas 4,1%, enquanto, no ano de 2020, a Bolívia liderou com 14% de participação agropecuária no Produto Interno Bruto. Entretanto, apesar dessa baixa parcela, Onoda (2021) expõe que, em 2010, o Brasil experimentou uma elevação de 7,6% no PIB, impulsionada principalmente pelo setor agropecuário. No que tange à Bolívia, a literatura internacional expressa que o setor agropecuário se consolidou como primordial no país, sendo responsável por definir as políticas de diversificação produtiva (Coria; Marín, 2023).

Tabela 1: Estatísticas descritivas das variáveis elencadas para mensurar a ecoeficiência agropecuária dos países membros do Mercosul no intervalo entre 2000 e 2020

Variável	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	DP	CV(%)
VAB agrícola	4,1158	8,395	8,1218	140,009	3,0666	365,285
Emprego agrícola	7,2858	182,223	11,9459	442,021	10,497	576,052
Terra agrícola	273,175	462,911	403,855	854,874	19,479	420,792
Emissão de metano	1,5272	2,8698	1,966	6,3252	1,5924	554,879

Nota: DP e CV indicam, respectivamente, o desvio padrão e o coeficiente de variação.

Fonte: elaborado pelos autores.

Por conseguinte, a variável emprego agrícola, que comporta a parte dos trabalhadores totais que estão alocados no setor agropecuário, tem o seu mínimo no ano de 2020 na Argentina, em razão da heterogeneidade enfrentada no setor agropecuário argentino após a adoção de políticas mais inclinadas à agroindustrialização, causando desemprego estrutural (Albanesi, 2021). Além disso, a Bolívia apresentou a maior parcela, que corresponde ao ano de 2001, em consonância com Calle (2018), que apresenta os efeitos das inversões públicas proporcionadas pelo PIB agropecuário boliviano na geração de emprego, renda e investimento a partir do ano 2000, como resultado de uma interligação entre atores das diversas dimensões do Estado. Ademais, o coeficiente de variação expõe a dispersão relativa dos dados em relação a sua média e, quando comparado às demais variáveis escolhidas para o estudo, essa, em particular, apresentou a maior flutuação, denunciando a forte presença de índices de informalidade entre alguns países latino-americanos (Ernest *et al.*, 2022).

No que diz respeito à variável terra agrícola, é oportuno salientar que remete a uma fração da área total, isto é, a porção territorial destinada às atividades agropecuárias. A partir disso, é relevante considerar que as estatísticas para desvio padrão e coeficiente de variação expõem a significativa dispersão e variabilidade entre as unidades observadas, em outros termos, tanto a área quanto a finalidade conferida às terras entre os países são divergentes. Segundo dados do IBGE Países (IBGE, 2024), o Brasil possui a maior extensão territorial entre os países do bloco econômico, enquanto o Uruguai é o menor. Dessa maneira, a porcentagem de participação uruguaia tende a ser maior em virtude da pequena área. Esse fato é corroborado pelos dados expostos para o valor máximo e mínimo, dado que este ocorreu no Brasil no ano de 2000, à medida que aquele foi apresentado no Uruguai no ano de 2001. Por fim, destaca-se que esse padrão das cotas de terra destinados ao setor agropecuário é constante entre as unidades nos anos considerados.

Por fim, as emissões de metano agrícola remetem a quantidade de CH₄ liberado na atmosfera em consequência das práticas agropecuárias. Atentando-se para o coeficiente de variação dessa métrica, deduz-se as elevadas taxas de produção de gás metano intrínseca a esses países e, em paralelo, Viola, Barros-Platiau e Leis (2008) argumentam que, nos países sul-americanos, a maior concentração de emissão de gases do efeito estufa ocorre em função do desmatamento ilegal, em sua maioria, e das mudanças de uso da terra. De mais a mais, a unidade de medida da variável em questão é a quantidade de toneladas por habitante, logo, mais uma vez a consideração do valor da população total é imprescindível para sua análise. Por meio dos resultados obtidos, nota-se a ocorrência do valor máximo no ano 2006 no Uruguai e o mínimo no Brasil no ano de 2000. Isto posto, referenciando-se em dados do IBGE (2024), evidencia-se que o Uruguai é o país menos populoso entre os países-membros do Mercosul, então, mesmo apesar da sua baixa emissão, o valor *per capita* tende a ser mais expressivo. Por outro ângulo, o Brasil é o sétimo país mais populoso do mundo e o primeiro dentre os membros do bloco e, por mais que seja uma das nações que mais contribuem com os gases do efeito estufa, quando considerado o valor por habitantes, sua margem se torna menor.

Outrossim, a Figura 1 atesta, graficamente, os fatos detalhados. O Diagrama de Caixa, do inglês *boxplot*, foi introduzido por Tukey (1977) através da Análise Exploratória de Dados (EDA) com o intuito de observar o comportamento do conjunto de observações antes da realização da análise dos resultados (Bussab; Morettin, 2010). Ainda de acordo com os autores referenciados, o *boxplot* possibilita a visualização posicional e distributiva, bem como expõe valores extremos e atípicos. Esses últimos, também denominados de *outliers* na literatura,

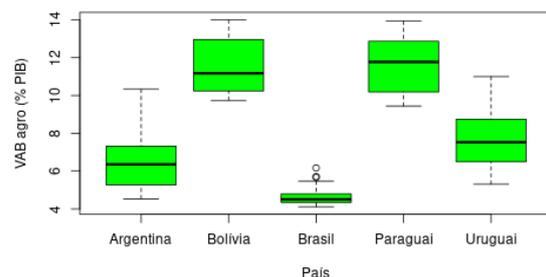
remetem aqueles dados que destoam drasticamente do conjunto e que levam a uma análise viesada. À luz desses conceitos, aponta-se que, entre as variáveis consideradas no presente estudo, a existência de valores discrepantes não foi observada em nenhuma delas. Portanto, essa aplicação possibilitou conhecer as unidades que possuíam homogeneidade distributiva.

Em relação ao PIB agropecuário, através da observação das caixas, percebe-se que Argentina e Uruguai possuem uma distribuição mais simétrica em torno da mediana, mas com um limite superior muito elevado. Além disso, enquanto a Bolívia tem valores assimétricos distribuídos acima da mediana, no Paraguai ocorre o inverso. Já no caso do Brasil, a distribuição é mais condensada, mas com a distribuição assimétrica superior ao valor do segundo quartil. Não obstante, o modelo de desenvolvimento produtivo dos países latino-americanos é reflexo de um modelo fundamentado, desde a época colonial, na exploração dos recursos naturais, em alguns de maneira mais acentuada em função do alargamento das relações comerciais (Vitte, 2020). O emprego agrícola, por sua vez, possui maior parte dos dados acima da mediana para todos os países, com exceção do Uruguai, que ocorre o contrário. A distribuição indica a gradual elevação da participação do setor agropecuário na empregabilidade das nações, todavia, no Uruguai, essa trajetória decresce, justificado essencialmente pela flexibilidade e formas de contratação apresentadas pelo processo produtivo sazonal da agropecuária, que contribuem para o aprofundamento dos postos de trabalho temporários e elevação das desigualdades socioeconômicas no país (Riella; Ramirez, 2021).

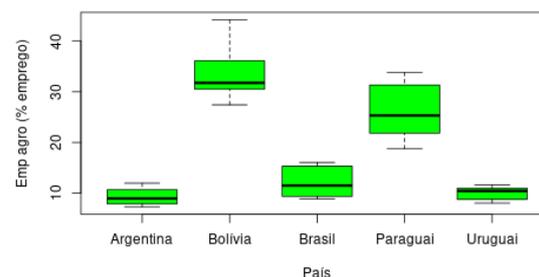
Quanto à variável terra agrícola, concorda-se com Dias (2000) que a propriedade e a distribuição conflitantes das áreas são um marco na história desses países. Isto posto, a Bolívia e o Brasil possuem valores médios muito próximos do primeiro quartil da distribuição, à medida que Argentina, Paraguai e Uruguai apresentam dados com distribuição simétrica. Por fim, no que concerne às emissões de metano no setor agropecuário, Argentina e Uruguai possuem uma distribuição desbalanceada com valores superiores à mediana, todavia, Bolívia e Paraguai expressam o inverso. Já o Brasil demonstra valores na média entre seus extremos. Em consonância com Sánchez (2021), as divergentes quantidades de gás metano emitidas pelos países são responsáveis por maiores transmissões, enquanto outros pouco participam.

Figura 1: Distribuição das variáveis utilizadas para mensurar a ecoeficiência agropecuária entre os países integrantes do Mercosul no recorte temporal de 2000 a 2020

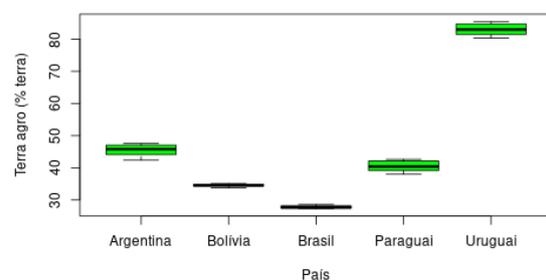
a. VAB agropecuário



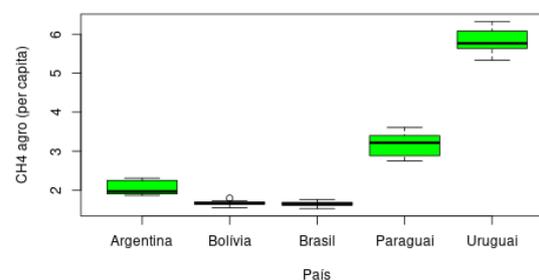
b. Emprego na agricultura



c. Terra agrícola



d. Emissão de metano



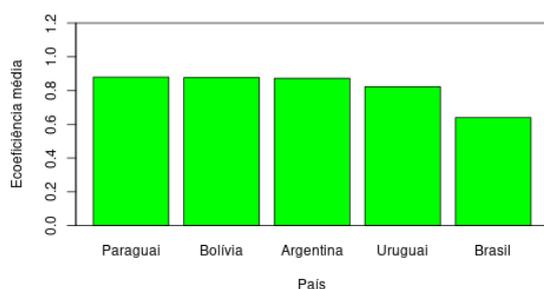
Fonte: elaborada pelos autores.

Essas constatações são particularmente interessantes, pois demonstram a diversidade dos aspectos históricos, culturais, socioeconômicos e ambientais vivenciados em cada um desses países e que ganham primazia na compreensão da sua realidade. Entretanto, também apresentam a intensificação do abismo entre setores e regiões, desvirtuando a ideia de integração e alavancando as disparidades, à medida que os vinculam às elites dominantes (Gonçalves, 2009).

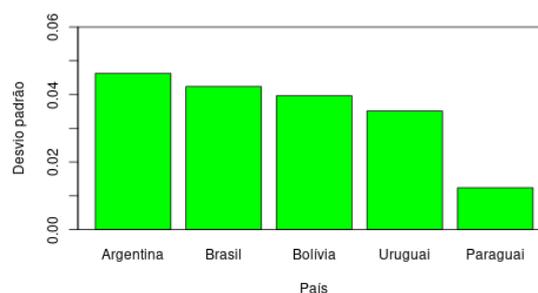
Por conseguinte, uma vez conhecida a natureza e distribuição do conjunto de dados, aplicou-se o modelo DEA com retornos constantes à escala com análise de janela (DEA-CCR-WA) na sua forma original, ou seja, com orientação ao *input*. Assim, a Figura 2 apresenta os gráficos relativos à média e ao desvio padrão dos escores de eficiência agropecuária dos países integrantes do Mercosul entre os anos 2000 e 2020. Em relação à média, o Paraguai liderou o *ranking*, seguido por Bolívia, Argentina, Uruguai e Brasil. O baixo desvio padrão do Paraguai confere homogeneidade ao nível de ecoeficiência no país, por outro lado, a alta disposição dos dados em torno da média argentina indica heterogeneidade ao longo do recorte temporal.

Figura 2: O valor médio e a variação padrão dos escores de ecoeficiência agropecuária dos países que compõem o Mercosul no intervalo de 2000 a 2020

a. Média



b. Desvio padrão



Fonte: elaborada pelos autores.

A Tabela 2 apresenta a ecoeficiência agrícola média dos países do Mercosul nas janelas consideradas. A utilização de janelas proporciona observar o comportamento dos países ao longo do tempo. À luz dos resultados apresentados, infere-se que a Bolívia apresentou a maior ecoeficiência média entre os países, seguida por Paraguai, Argentina, Uruguai e Brasil, respectivamente.

Considerando cada país, a Bolívia foi apontada como o país com maiores índices de ecoeficiência entre os países do Mercosul, demonstrando que houve mais eficiência em reduzir os *inputs* e o output indesejável e elevar a geração do *output* desejável, neste caso o valor adicionado do setor agropecuário. Dessa forma, pode-se supor que, com elevação dos insumos, haverá mais produto, concomitante com a possibilidade de crescimento sustentável. Em relação ao comportamento ao longo dos anos, deduz-se que houve uma queda entre a quinta e a sexta janela, mas com uma recuperação nos anos mais recentes. Sabourin *et al.* (2014) destacam que o país integra vários programas para a promoção de modos alternativos de produção agrícola, como o Programa Nacional de Biocultura, que interconecta as dimensões socioeconômica, biológica e cultural, na promoção de uma abordagem qualificada e ampla sobre o desenvolvimento sustentável.

Tabela 2: Ecoeficiência agrícola média dos países do Mercosul conforme as janelas no período de 2000 a 2020

País	Janela										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Argentina	0,780	0,821	0,849	0,833	0,929	0,912	0,912	0,907	0,886	0,876	0,892
Bolívia	0,893	0,874	0,853	0,836	0,837	0,917	0,927	0,902	0,914	0,890	0,804
Brasil	0,596	0,596	0,596	0,594	0,627	0,631	0,649	0,667	0,680	0,687	0,712
Paraguai	0,884	0,883	0,875	0,893	0,895	0,891	0,885	0,881	0,870	0,855	0,865
Uruguai	0,749	0,781	0,820	0,832	0,821	0,874	0,868	0,842	0,828	0,816	0,818

Notas: janela 1 (2000-2010); janela 2 (2001-2011); janela 3 (2002-2012); janela 4 (2003-2013); janela 5 (2004-2014); janela 6 (2005-2015); janela 7 (2006-2016); janela 8 (2007-2017); janela 9 (2008-2018); janela 10 (2009-2019); janela 11 (2010-2020).

Fonte: Elaborada pelos autores.

Por conseguinte, o Paraguai apresentou expressivos índices de ecoeficiência média, com um nível quase constante nos anos em estudo. À vista disso, Rodriguez (2019) indicou que, no Paraguai, as mudanças climáticas são menos degradantes à agricultura, o que confere à nação grandes vantagens comparativas. Na sequência, a Argentina, apesar de algumas oscilações, apresentou um crescimento contínuo até a janela 8, quando decresceu 0,02, retornando ao patamar inicial. Ressalta-se que esse país tem notável significância agrícola no bloco, principalmente no que concerne ao comércio internacional. Essa notoriedade conferiu à agricultura argentina um maior dinamismo e modernização, tanto por meio da integração setorial, quanto pelo advento da biotecnologia (Garcia, 2022).

No que diz respeito aos resultados do Uruguai, um crescimento gradual é destacado, podendo indicar que o país está melhorando gradativamente a eficiência dos seus *inputs* na geração de valor adicionado do setor agropecuário, reduzindo os impactos ambientais. Em consonância com Álvarez *et al.* (2014) que expressam que a preocupação com a questão ambiental se tornou uma pauta relevante entre as políticas públicas do país, mas que ainda enfrenta tensões dos grandes grupos agroindustriais. Por outro lado, o Brasil foi eco-ineficiente, ou seja, apresentou os menores escores de ecoeficiência média entre os países do grupo durante o período considerado. Entretanto, a partir da observação das suas janelas, deduz-se uma expansão progressiva e gradual, em paralelo ao apontado por Martins (2022). Sendo assim, tendo em conta os extremos, percebe-se uma elevação de eficiência de aproximadamente 0,12 entre os anos de 2000 e 2020.

Portanto, as principais constatações da literatura sobre a questão sustentável nos países latino-americanos, de modo geral, divergem. Uma das linhas defende a capacidade da agricultura em fornecer a conservação ambiental e a promoção da sustentabilidade (Zimmerer, 2011), enquanto outra expõe o atraso dos países em se adequar aos moldes das economias desenvolvidas, ou seja, a dificuldade em conciliar o seu desenvolvimento com práticas sustentáveis (Sabourin *et al.*, 2014; Cimoli; Porcile; Rovira, 2010). Desse modo, a integração entre regiões, como proposto pelo Mercosul, é crucial para considerar as características locais, especialmente tendo em vista como a aproximação e o aperfeiçoamento das nações desenvolvidas impactam nas suas diversas dimensões. Concorde-se, portanto, com Kosop e Lima (2017) quando evidenciam que os blocos não se restringem apenas a acordos de comércio, nem a superação de limitações geográficas, mas também são responsáveis por assegurar, através da integração, aos países-membros, de modo principal aqueles carregam uma forte herança colonial, perspectivas mais abrangentes tanto nas suas questões socioeconômicas quanto ambientais.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dada a relevância do setor agropecuário para a economia de nações desenvolvidas ou em desenvolvimento, o estudo dos resultados econômicos concomitante aos impactos ambientais, torna-se relevante. Desta forma, o objetivo deste estudo consistiu em mensurar a ecoeficiência agrícola dos países do Mercosul no período de 2000 a 2020. Para tal, utilizou-se Análise Envoltória de Dados com retornos constantes de escala combinada com análise de janela (DEA-CRS-WA) considerando *inputs* e *outputs* (desejável e indesejável) para Argentina, Brasil, Bolívia, Paraguai e Uruguai.

Os resultados mostraram que, em termos de ecoeficiência média, o Paraguai liderou o *ranking*, seguido por Bolívia, Argentina, Uruguai e Brasil. Embora, nenhum país tenha atingido a fronteira ao longo do período de estudo, Brasil, Paraguai e Uruguai aumentaram relativamente a ecoeficiência. Já a Bolívia e Argentina, apesar de leves oscilações, apresentaram índice de ecoeficiência mais estável, mesmo com altos valores.

Assim, pode-se concluir que os países membros do Mercosul, em geral, têm conseguido produção agropecuária ecoeficiente. Contudo, países como o Brasil, notadamente com grandes áreas territoriais e elevada participação da agropecuária em sua economia, precisam melhorar sua alocação de insumos neste setor, bem como, gerir os impactos ambientais, visando atingir a fronteira de eficiência. Reflexos de melhorias neste país, observado nas janelas atuais com

maiores escores de ecoeficiência quando comparados aos anos iniciais, sinaliza que o país pode caminhar para uma produção agropecuária sustentável.

Ressalta-se que este estudo não esgota as discussões acerca desta temática. Para estudos futuros, sugere-se ampliar a área de estudos, considerando também os demais países da América Latina. Além disso, incluir os determinantes da ecoeficiência agrícola pode revelar importantes resultados para o desenvolvimento sustentável rural destas nações. Ademais, aplicar outros modelos que permitem, por exemplo, maximizar as saídas desejáveis e minimizar, simultaneamente, as saídas indesejáveis, para o cômputo de ecoeficiência também pode se construir uma agenda de pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALBANESI, R. P. Mundo del aíses agrario, aísesse. *In*: MUZLERA, J.; SALOMÓN, A (ed.). **Diccionario del agro iberoamericano**. Buenos Aires: TeseoPress. 2021. P. 743-749.

ALKHARS, M.; ALNASSER, A.; ALFARAJ, T. A Survey of DEA Window Analysis Applications. **Processes**, 10, 1836. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr10091836>.

ÁLVAREZ, M. F. T.; ARBELETICHE, P.; SABOURIN, E.; GULLA, J. C.; MASSARDIER, G. La agricultura familiar em Uruguay: entre dos proyectos contrapuestos. *In*: SABOURIN, E.; SAMPER, M.; SOTOMAYOR, O. **Políticas públicas y agriculturas familiares em América Latina y el Caribe: balance, desafíos y perspectivas**. Santiago, Chile: CEPAL, p. 275-297, 2014.

AREL-BUNDOCK V. **WDI: World Development Indicators and Other World Bank Data**. R package version 2.7.8. 2022.

BANCO MUNDIAL. **Indicadores de desenvolvimento mundial**, 2024. Disponível em: <https://databank.worldbank.org/>. Acesso em: 28 de fev de 2024.

BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis. **Management Science**, S.l., v. 30, n. 9, p. 1078-1092, 1984.

BOGETOFT, P.; OTTO, L. **Benchmarking with DEA and SFA**. R package version 0.31. 2022.

BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A. **Estatística básica**. 5th ed. São Paulo: Saraiva; 2010.

CAIADO, R. G. G.; HEYMANN, M. C.; SILVEIRA, C. L. R.; MEZA, L. A.; QUELHAS, O. L. G. Measuring the Eco-efficiency of Brazilian Energy Companies using DEA and Directional Distance Function. **IEEE Latin America Transactions**, [S. l.], v. 18, n. 11, p. 1844–1852, 2020.

CALLE, M. E. H. **Análisis de la estructura de financiamiento del presupuesto de**

inversión pública en el sector agropecuario en Bolivia 2000-2014. 2018. 162f. Monografía (Graduação em Economia) – Facultad de Ciencias Económicas y Financieras – Universidad Mayor de San Andres, La Paz, 2018.

CAMIOTO, F. C.; REBELATTO, D. A. N.; ROCHA, R. T. Análise da eficiência energética nos países do BRICS: um estudo envolvendo a Análise por Envoltória de Dados. **Gestão & Produção**, v. 23, p. 192-203, 2016.

CHARNES, A.; COOPER, W.W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision-making units. **European Journal of Operational Research**, v. 2, n. 6, p. 429-444, 1978.

CHAVES, F. A. H.; CAMPOS, K. C.; ARAUJO, J. A.; SOUSA, E. P.; GUIMARÃES, C. P. Estudo da eficiência da produção de camarão no Estado do Ceará. **Revista Custos e Agronegócio**, Recife, v. 17, p. 184-208, ago. 2021. Edição Especial. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/64370>. Acesso em: 13 mar. 2024.

CIMOLI, M.; PORCILE, G.; ROVIRA, S. Structural change and the BOP-constraint: why did Latin America fail to converge? **Cambridge Journal of Economics**, n. 34, p. 389-411. 2010.

COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; TONE, K. **Data Envelopment Analysis: a comprehensive Text with models, applications, reference and DEA–Solver software.** 1 ed. Norwell: Kluwer Academic Publishers, 2000.

CORIA, J. D. V.; MARÍN, C. A. P. Impactos climáticos y económicos de El Niño Oscilación del Sur: evidencia em PIB agrícola de Bolivia. **Unpublished Manuscript, Sheffield Hallam University.** MPRA Paper n. 119069, p. 1-60, 2023.

CUSTÓDIO, J. N. **Crescimento econômico e desenvolvimento sustentável: análise comparativa dos impactos ambientais entre os países que compõem o BRICS.** 2021. 104f. Monografia (Graduação em Ciências Econômicas) – Departamento de Economia, Centro de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.

DIAS, A. On the Political Economy of Latin American Land Reforms. **Dynamics**, n.3, p. 551-571, 2000.

DORSA, A. C. C.; TAVEIRA, J. C.; PEREIRA, M. S.; SANTOS, F. K.; COSTA, R. B. Eficiência dos municípios de Mato Grosso do Sul: uma abordagem baseada em fronteira determinística. **Interações (Campo Grande)**, [S. l.], v. 21, n. 3, p. 663–680, 2020. DOI: 10.20435/inter.v21i3.2788. Disponível em: <https://interacoesucdb.emnuvens.com.br/aissess/article/view/2788>. Acesso em: 21 mar. 2024.

ERNEST, E., HIAL, S. E. A., SOARES, S., HORNE, R., DEWAN, S., & KÜHN, S. **Perspectivas aissess y del empleo em el mundo: Tendencias 2022 (1ª ed.).** OIT. 2022. <https://doi.org/10.54394/LITX3868>.

FARRELL, M. The measurement of productive efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)**, [S. l.], v. 120, n. 3, p. 253-90, 1957.

FERREIRA, M. A. M. **Eficiência técnica e de escala de cooperativas e sociedades de capital na indústria de laticínios do Brasil.** 2005. 158 f. Tese (Doutorado em Economia

Aplicada) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2005.

GARCIA, E. M. **A agenda 2030 da ONU e os seus objetivos de desenvolvimento sustentável**: uma visão sobre as políticas de sustentabilidade do governo da cidade de Buenos Aires e a implementação do programa digitalizate. 2022. 66f. Monografia (Bacharel em Relações Internacionais) – Conselho de Curso de Relações Internacionais da Faculdade de Filosofia e Ciências, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Universidade Estadual Paulista, Marília. 2022.

GONÇALVES, J. A. **Mercosul**: formação, desafios e perspectivas. 2009. 61 f. Monografia (Graduação) – Faculdade de Ciências Sociais e Jurídicas, Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2009.
<https://personal.utdallas.edu/~ryoung/phdseminar/BCC1984.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2024.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE Países**. Disponível em: <https://pais.es.ibge.gov.br/#/>. Acesso em: 26 de mar de 2024.

JABKOWSKI, A. D. Conditions for the competitiveness of the agricultural sector in the EU, Japan, Canada, Vietnam, and Mercosur countries. **Problems of Agricultural Economics** 374, n. 1, p. 42-61. 2023. DOI:10.30858/zer/162031.

KOSOP, R.; LIMA, S. M. M. Integração regional no Mercosul: ferramenta para a construção de um modelo sustentável e multidimensional. **Revista do Mestrado em Direito da UCB**, v. 11, n. 2, p. 188-211. 2017.

MACIEL, H. M. **Análise da ecoeficiência entre os países**: um estudo entre os anos de 1991 e 2012. 2018. 150 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

MARTINS, M. A. **Ensaio de eficiência econômica e ambiental agrícola dos países componentes do BRICS**. 2022. 64 f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

ONODA, S. S. **Análise comparativa da desindustrialização brasileira nos períodos 2000-2010 e 2011-2018 sob uma perspectiva intrassetorial**. 2021. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Econômicas) – Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

PEREIRA, E. R.; MELLO, J. C. C. B. S. Uso da suavização da fronteira na determinação de pesos únicos em modelos DEA CCR. **Production**, v. 25, p. 585-597, 2015.

R CORE TEAM. **R A Language and Environment for Statistical Computing**. 2024. Vienna, Austria.

RIELLA, A.; RAMIREZ, J. El sector agrario uruguayo: trabajadores transitorios y vulnerabilidad social. **Revista De Ciencias Sociales**, vol.34, n.49, p. 89-116, 2021.

ROCHA, R. T.; REBELATTO, D. A. N.; CAMIOTO, F. C. Análise da eficiência de fatores nos países do BRICS a partir da aplicação da Análise por Envoltória de Dados. **Revista de Administração, Contabilidade e Economia da Fundace**, v. 6, n. 1, p. 67-80, 2015.

RODRIGUEZ, A. M. B. Impacto econômico das mudanças climáticas na agricultura do Paraguai. 2019. 83 f. **Dissertação** (Mestrado em Economia Aplicada) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2019.

SABOURIN, E.; SAMPER, M.; LE COQ, J. F.; MASSARDIER, G; SOTOMAYOR, O.; MARZIN, J. Análisis transversal de las políticas sobre agricultura familiar en América Latina. IN: SABOURIN, E. S.; SAMPER M.; SOTOMAYOR, O. (Coords). **Políticas públicas y agriculturas familiares en América Latina y el Caribe: balance, desafíos y perspectivas**. Santiago, Chile: CEPAL, p. 19-48, 2014.

SÁNCHEZ, J. A. R. **Producción agrícola y contaminación ambiental relación entre emisiones agrícolas de gas metano y producción agrícola en América Latina**. 2021. 56f. **Dissertação** (Mestrado em Economia) - Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador, 2021.

SANTANA, N. B. REBELATTO, D. A. N.; PÉRICO, A. E.; MARIANO, E. B. Sustainable development in the BRICS countries: an efficiency analysis by data envelopment. **International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, v. 21, n. 3, p. 259-272. 2014. DOI: 10.1080/13504509.2014.900831

SANTIAGO DO CHILE. Corporación de Estudios para Latinoamérica (Cieplan). Contribuição ao projeto: "Uma Nova Agenda Econômica e Social para a América Latina", 33p., 2008.

SCHEEL, H. Undesirable outputs in efficiency valuations. **European Journal of Operational Research**, v. 132, n. 2, p. 400-410, 2001.
segurança climática na América do Sul. São Paulo: Instituto Fernando Henrique Cardoso;

SILVA, J. S. **Análise da eficiência econômica dos produtores de manga do Vale do São Francisco**. 2014. 87 f. **Dissertação** (Mestrado em Economia) - Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2014.

SUZIGAN, L. H.; PEÑA, C. R.; GUARNIERI, P. Eco-efficiency assessment in agriculture: a literature review focused on methods and indicators. **Journal of Agricultural Science**, v. 12, n. 7, p. 118, 2020.

TSCHAFFON, P.; MEZA, L. A. Assessing the efficiency of the electric energy distribution using Data Envelopment Analysis with undesirable outputs. **IEEE Latin America Transactions**, v. 12, n. 6, p. 1027-1035, 2014.

TUKEY, J. W. **Exploratory data analysis**. Reading: Addison-Wesley, 1977.
units. **European Journal of Operational Research** 2, S.l., p. 429-444, 1978.

VIOLA, E.; BARROS-PLATIAU, A. F.; LEIS, H. R. **Governança e segurança climática na América do Sul**. São Paulo: Instituto Fernando Henrique Cardoso; Santiago do Chile: Corporación de Estudios para Latinoamérica (Cieplan), 33p. 2008.

VITTE, Claudete de Castro Silva. Neoextrativismo e o uso de recursos naturais na América Latina: notas introdutórias sobre conflitos e impactos socioambientais. **Conexão Política**, v. 9, n. 1, p. 167-194, 2020.

WAQUIL, P. D. O setor agrícola nos 10 anos do Mercosul. **Indicadores Econômicos FEE**, v. 29, n. 1, p. 71-81, 2001.

ZEILFELDER, L. **Análise da performance da citricultura europeia através da Data Envelopment Analysis e do Índice de Malmquist comparação da performance de empresas portuguesas, espanholas e italianas**. 2022. 35f. Tese (Doutorado em Gestão Empresarial) - Faculdade de Economia Universidade do Algarve, Faro, Portugal. 2022.

ZIMMERER, K. "Conservation Booms" with Agricultural Growth?: Sustainability and Shifting Environmental Governance in Latin America, 1985-2008 (Mexico, Costa Rica, Brazil, Peru, Bolivia). **Latin American Research Review**, n. 46, p. 114 - 82. 2011.