

Agronegócio de países selecionados: análise de sustentabilidade entre o PIB e emissões de CO²

Agribusiness from selected countries: sustainability analysis between GDP and CO₂ emissions

Patrícia Pompermayer Sesso¹ , Flávio Henrique Mendes² , Umberto Antonio Sesso Filho¹ , Irene Domenes Zapparoli¹ 

¹Programa de Pós-graduação em Economia Regional, Universidade Estadual de Londrina (UEL), Londrina (PR), Brasil.
E-mails: papomper2004@yahoo.com.br; umasesso@uel.br; zapparoli@uel.br

²Instituto de Pesquisas e Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas (PECEGE), Piracicaba (SP), Brasil.
E-mail: friquemendes@usp.br

Como citar: Pompermayer Sesso, P. P., Mendes, F. H., Sesso Filho, U. A., & Zapparoli, I. D. (2023). Agronegócio de países selecionados: análise de sustentabilidade entre o PIB e emissões de CO₂. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 61(2), e258543. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2022.258543>

Resumo: O objetivo do estudo foi mensurar e comparar a cadeia produtiva do agronegócio em 64 países e o restante do mundo considerando as variáveis renda (Produto Interno Bruto - PIB) e emissões de dióxido de carbono por queima de combustíveis fósseis entre os anos de 2005 e 2015 com metodologia baseada na matriz de insumo-produto. O PIB do agronegócio no ano de 2005 era de cerca de 6 trilhões de dólares em valores correntes e participava com 13,6% do PIB mundial e passou para 11 trilhões de dólares em 2015 (15,3%). O agronegócio gerou aproximadamente dois bilhões de toneladas de dióxido de carbono no ano de 2005, com participação de 8,5% nas emissões totais, e as emissões aumentaram cerca de 166 milhões de toneladas entre 2005 e 2015, porém a participação no total diminuiu para 7,6%. Os maiores emissores globais (setor produtivo e agronegócio) no ano de 2015 foram China, Estados Unidos, Índia e Rússia, respectivamente. Os resultados do indicador de sustentabilidade emissões por unidade de renda mostraram que na maior parte dos países o agronegócio se mostrou capaz de aumentar a produção com menor valor de emissões por unidade de renda em relação à média da economia.

Palavras-chave: poluição atmosférica, dióxido de carbono, meio ambiente, insumo-produto.

Abstract: The aim of this study was to measure and compare the agribusiness production chain in 64 countries and the rest of the world considering the variables income (Gross Domestic Product - GDP) and carbon dioxide emissions from burning fossil fuels between 2005 and 2015 with a methodology based on the input-output matrix. The agribusiness GDP in 2005 was about 6 trillion dollars in current values and participated with 13.6% of the world GDP and increased to 11 trillion dollars in 2015 (15.3%). Agribusiness generated close to two billion tons of carbon dioxide in 2005 with a share of 8.5% in total emissions and emissions increased by about 166 million tons between 2005 and 2015, however, the share in the total emissions decreased to 7.6%. The largest global polluters (manufacturing sector and agribusiness) in the year 2015 were China, the United States, India and Russia, respectively. The results of the sustainability indicator carbon dioxide emissions by burning fossil fuels per unit of income indicated that in most countries agribusiness was able to increase production with lower emissions per unit of income compared to the average economy.

Keywords: air pollution, carbon dioxide, environment, input-output.

1 Introdução

As emissões dos gases de efeito estufa na atmosfera pelas atividades humanas são responsáveis por modificações do clima com efeitos prejudiciais sobre o ambiente. Os países industrializados possuem responsabilidade pelo acúmulo do dióxido de carbono na atmosfera e mostram esforços para transformação da estrutura produtiva para diminuir suas emissões. As nações em desenvolvimento são as principais responsáveis pelo aumento das emissões na



atualidade, principalmente pelo crescimento econômico e aumento da demanda final, apesar da adoção de novas tecnologias de produção mais limpas e mudanças na matriz energética (Pompermayer Sesso et al., 2020).

Os acordos internacionais evoluíram no sentido de que cada país estabeleça sua meta de redução das emissões de carbono, e a transformação das cadeias produtivas dos países tem como objetivo atender a demanda da sociedade por bens e serviços por meio de um sistema econômico que seja adequado ao conceito de sustentabilidade, que pode ser compreendido como a busca pelo equilíbrio entre o suprimento das necessidades humanas e a preservação dos recursos naturais de forma a não comprometer a qualidade de vida das próximas gerações (Bueno Rubial, 2016; Okereke & Coventry, 2016; Afionis, 2017). Portanto, a estimativa da pegada de carbono (*carbon footprint*) se tornou importante para estabelecer metas de redução das emissões de carbono. A pegada de carbono é o impacto das emissões de dióxido de carbono produzido por um setor, produto, processo produtivo, nação ou pessoa (Thomas & Callan, 2016).

Dentro do contexto econômico e ambiental, o agronegócio é o conjunto de atividades com papel estratégico na oferta de alimentos e fibras para a sociedade, além de contribuir para o equilíbrio ambiental. O agronegócio é um conjunto de atividades que engloba o fornecimento de insumos, a agropecuária, a indústria e os serviços. A estimativa da sua participação nas emissões totais dos países e o estabelecimento de seu grau de sustentabilidade por meio de indicadores são passos importantes para que os países conheçam o nível de poluição e determinem metas de redução e adequação dos sistemas produtivos para alcançar a sustentabilidade.

Considerando a importância econômica do agronegócio e sua sustentabilidade, o objetivo desta pesquisa foi mensurar a cadeia produtiva em 64 países e o restante do mundo avaliando as variáveis renda e emissões de dióxido de carbono por queima de combustíveis fósseis entre os anos de 2005 e 2015. Especificamente, pretende-se identificar os principais países emissores de dióxido de carbono por queima de combustíveis fósseis do setor produtivo e analisar a evolução das emissões no período 2005-2015, dimensionando o agronegócio em termos de renda (PIB) e emissões de dióxido de carbono para analisar sua evolução, comparar resultados entre países e elaborar indicadores de sustentabilidade. Para o presente estudo, as pegadas de carbono do agronegócio e do setor produtivo de cada país foram calculadas como o volume (milhões de toneladas) de dióxido de carbono produzido durante um ano. Além disso, a estimativa de indicadores de sustentabilidade que não dependem do tamanho da economia e do volume total de emissões é importante para tornar possível a comparação entre países.

O texto está dividido em cinco seções, contando com a introdução. A segunda seção apresenta a evolução recente dos acordos internacionais sobre o tema, emissões e o conceito de agronegócio utilizado no presente estudo. A fonte dos dados e a metodologia são apresentadas na terceira seção para tornar possível a compreensão dos resultados e sua discussão da quarta seção do artigo. As principais conclusões da pesquisa estão na quinta seção.

2 Emissões atmosféricas, acordos internacionais e agronegócio

As mudanças climáticas são um dos desafios que colocam a humanidade diante dos resultados das interações entre homem e natureza (Rockström et al., 2009). O problema apresenta características sistêmicas e de alta complexidade com influências de muitas variáveis, sendo de difícil mensuração e determinação de responsabilidades para estabelecer a relação poluidor-pagador. Além disso, as causas e efeitos podem estar distantes no tempo (Corazza & Bonaccelli, 2013). Segundo Merico (2002), se a produção econômica suplantar a capacidade de manutenção dos ecossistemas, a ação humana torna-se uma ameaça ao planeta. Portanto, em

uma situação na qual a produção ultrapassa a capacidade de sustentação dos ecossistemas, os processos de manutenção da vida no planeta são rompidos.

As emissões de dióxido de carbono e outros gases de efeito estufa na atmosfera apresentam efeito acumulado e contemporâneo e causam modificações do clima que impactam a vida no planeta com eventos prejudiciais. A responsabilidade histórica dos países que promoveram o acúmulo de dióxido de carbono desde a revolução industrial, principalmente Estados Unidos, Rússia e União Europeia, e a responsabilidade do aumento das emissões atuais de países emergentes como Brasil, Índia e China determinam o dever moral por assumir a mitigação e adaptação de suas economias para solucionar o problema das mudanças climáticas. Portanto, o agronegócio deve se desenvolver dentro do conceito de sustentabilidade, o qual é amparado por três pilares: econômico, social e ambiental, a fim de manter a harmonia entre os componentes para garantir a qualidade e a abundância dos recursos do planeta para gerações futuras (Thomas & Callan, 2016).

A contribuição dos países industrializados listados no Anexo I do Protocolo de Kyoto para as emissões acumuladas de CO₂ na atmosfera no período de 1850 a 1990 foi de 80,94%, contra 19,06% de todos os demais países. Eles conseguiram em seu processo de desenvolvimento intensivo na queima de combustíveis fósseis obter 82,45% dos fluxos mundiais de riqueza expressos pelo PIB em contraponto com 17,55% que cabem a todos os países do resto do mundo em 1990, ano a partir do qual o Protocolo de Kyoto previa inicialmente a necessidade de reduções das emissões globais (Souza & Corazza, 2017). O Protocolo de Kyoto¹ determinou maior responsabilidade dos emissores históricos (ou seja, os países do Anexo I do Protocolo de Kyoto), mas deixou de lado quantidade demasiadamente grande das emissões (Viola, 2010). Os países desenvolvidos presentes no Anexo I do Protocolo de Kyoto criticaram os pressupostos e metas estabelecidos, e participantes importantes como Estados Unidos, China e Canadá deixaram o acordo. A retomada das negociações em relação ao tema resultou no Tratado de Paris, no qual cada país informa suas intenções e metas de diminuição da poluição e que abrange de forma mais igualitária países industrializados com responsabilidade histórica pelo acúmulo, como a União Europeia, e países em desenvolvimento com responsabilidade pelo aumento das emissões atuais, como China e Índia (Viola, 2010; Bodansky, 2016; Souza & Corazza, 2017).

O Acordo de Paris pode ser interpretado como uma abordagem *bottom up* para as negociações climáticas. Nessa abordagem, as Partes apresentam suas metas de redução de GEEs num novo arranjo em que os países devem assumir novas responsabilidades consolidadas na forma das *Intended Nationally Determined Contributions* (INDCs) apresentadas na Conferência das Partes (COP 21), em Paris, no final de 2015. As propostas (INDCs) foram discutidas na 21ª Conferência das Partes (COP-21) da *United Nations Framework Convention for Climate Change* (UNFCCC) ocorrida em Paris, no final do ano de 2015. O documento final foi chamado de Acordo de Paris, e as negociações chegaram ao consenso de deter o aumento da temperatura global média do planeta abaixo de 2°C em relação aos níveis pré-industriais e empenhar esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais, pois isso reduziria significativamente os riscos e impactos da mudança climática (Bueno Rubial, 2016; Okereke & Coventry, 2016; Afionis, 2017).

A contribuição do agronegócio dentro do problema das emissões de dióxido de carbono é o tema do presente estudo, considerando sua importância estratégica para fornecimento de alimentos e fibras e o meio ambiente. O agronegócio é compreendido como o conjunto de atividades de produção, processamento e distribuição de alimentos e fibras, e pode ser dividido em quatro agregados: insumos agropecuários, agropecuária, processamento e distribuição

¹ Para visualizar os países do anexo I do Protocolo de Kyoto (United Nations Climate Change, 2021).

(Davis & Goldberg, 1957; Batalha, 2021). As decisões de compra dos consumidores determinam a demanda do varejo, que por sua vez determinam a demanda dos atacadistas e agroindústria e, conseqüentemente, da produção agrícola (Mendes & Padilha, 2007). Sua importância para um país está na sua capacidade de fornecer matéria-prima para a indústria, alimentos para a população, poupança para investimento, ampliação dos mercados para seus produtos e receita de exportação (Delgado et al., 1998).

A estrutura do agronegócio e suas principais funções dentro do sistema econômico têm relação com o nível de desenvolvimento dos países. Em países pobres, a agropecuária deve fornecer alimentos e fibras a preços baixos para a população, mas seu papel se modifica com o aumento gradual da renda *per capita*. O desenvolvimento econômico promove maior exigência dos consumidores e maior importância da indústria e serviços. Os países desenvolvidos apresentam políticas de proteção da renda dos produtores rurais e o agronegócio tem importância em fatores ambientais, saúde da população e diminuição da pobreza (Leones et al., 1994; Reardon & Barret, 2000; Pingali, 2007).

Estudos recentes de dimensionamento do agronegócio e emissões atmosféricas foram desenvolvidos por Sesso Filho et al. (2019) e Bajan & Mrówczyńska-Kamińska (2020). O estudo realizado por Sesso Filho et al. (2019) estimou a geração de renda, emprego e emissões atmosféricas do agronegócio para quarenta países e o resto do mundo dividido em insumos, produção agrícola, indústria e serviços. Utilizaram-se matrizes de insumo-produto nacionais no ano de 2009 do *World Input Output Database* (WIOD). Os resultados mostraram que o agronegócio participava com 15% do total da renda mundial e gerava 926 milhões de empregos nos quarenta países (45% do total). A participação em emissões de dióxido de carbono equivalente no mundo era de 24%, e os países com maiores valores de participação do agronegócio em emissões de dióxido de carbono total em seu território foram Brasil (66%), Indonésia (43%), Irlanda (42%), França e Estônia (36%).

Bajan & Mrówczyńska-Kamińska (2020) analisaram as emissões de gases de efeito estufa relacionadas à produção de alimentos em países selecionados no ano de 2000, 2007 e 2014, e consideraram as emissões de gases de efeito estufa por unidade de renda como um indicador-chave que reflete o nível de sustentabilidade ambiental da produção. O estudo calculou as emissões dos principais gases de efeito estufa relacionados à produção de alimentos e comparados ao Produto Interno Bruto (PIB) do agronegócio. A proporção média da pegada de carbono do agronegócio para o PIB nos países examinados diminuiu durante o período do estudo, apesar do aumento nas emissões de gases de efeito estufa, o que validou a hipótese de que um aumento nas emissões de gases de efeito estufa do agronegócio não reflete necessariamente um declínio do desempenho ambiental de sua produção. Isso é especialmente verdadeiro para a China e o Brasil, cujas emissões de gases de efeito estufa relacionadas à produção de alimentos aumentaram consideravelmente juntamente com um claro declínio nos níveis de emissão por unidade do PIB do agronegócio.

Sesso Filho et al. (2022) estimaram o Produto Interno Bruto (PIB) do Agronegócio para 63 países e restante do mundo no período de 1995 a 2015 e identificaram relações entre os resultados com o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) encontrados, pela ordem, na China, Estados Unidos, Índia, Japão e Brasil. Os resultados mostraram que a participação do agronegócio no PIB mundial diminuiu de 18,4% para 15,2%, e a maior parte dos países (59 em 63) apresentou a mesma tendência no período simultaneamente com aumento do Índice de Desenvolvimento Humano. Países com maiores valores de IDH apresentaram maior participação da indústria e serviços na composição do PIB do agronegócio.

Considerando a importância do agronegócio para o meio ambiente nos diversos países, o presente estudo avança no tema em relação aos trabalhos anteriores com a análise de um maior número de países para um período mais recente possível. Além disso, a análise comparativa

entre o agronegócio e o setor produtivo e entre países é realizada por meio do indicador de sustentabilidade (emissões por renda), que independe do tamanho da economia e do agronegócio.

3 Metodologia

3.1 Fontes dos dados

A base de dados elaborada pela Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (Organisation for Economic Co-operation and Development, 2020) é a fonte das matrizes de insumo-produto e emissões de dióxido de carbono (CO₂). As emissões são relativas aos setores produtivos dos países pela queima de combustíveis fósseis em milhões de toneladas ao ano. Portanto, é importante observar que os dados utilizados na pesquisa não incorporam emissões por fatores como mudança do uso da terra e métodos de produção (desmatamento, queimadas, emissão de metano e CO₂ por bovinos e outros). Os dados são do período 2005-2015 (mais recente possível) e se referem a 36 países membros, 28 não membros e o agregado Outros Países (restante do mundo), com 36 setores da economia.

As Tabelas 1 e 2 mostram os setores da economia e os países, respectivamente. Na Tabela 1, tem-se que os setores pertencentes ao agronegócio são (1) Agropecuária, (5) Alimentos, bebidas e tabaco, (6) Têxteis, vestuário, couro e produtos relacionados, (7) Madeira e produtos de madeira e cortiça e (8) Produtos de papel e impressão. A Tabela 2 apresenta os 64 países em análise, os quais representavam mais de 90% da renda mundial nos anos do estudo.

Tabela 1. Setores produtivos da economia para a matriz insumo-produto dos países

Setores da matriz de insumo-produto	
1	Agropecuária, silvicultura e pesca
2	Mineração e extração de produtos energéticos
3	Mineração e pedreiras de produtos não energéticos*
4	Atividades de serviço de suporte de mineração*
5	Alimentos, bebidas e tabaco
6	Têxteis, vestuário, couro e produtos relacionados
7	Madeira e produtos de madeira e cortiça
8	Produtos de papel e impressão
9	Coque e produtos petrolíferos refinados
10	Produtos Químicos e Farmacêuticos
11	Produtos de borracha e plástico
12	Outros produtos minerais não metálicos
13	Metais básicos
14	Produtos de metal fabricados
15	Computador, produtos eletrônicos e ópticos
16	Equipamento elétrico
17	Máquinas e equipamentos
18	Veículos a motor, reboques e semirreboques
19	Outro equipamento de transporte
20	Outras manufaturas; reparação e instalação de máquinas e equipamentos
21	Serviços de eletricidade, gás, abastecimento de água, esgoto, resíduos e remediação
22	Construção
23	Comércio no atacado e varejo; reparação de veículos a motor
24	Transporte e Armazenamento
25	Serviços de alojamento e alimentação
26	Publicação, audiovisual e radiodifusão
27	Telecomunicações
28	TI e outros serviços de informação
29	Atividades financeiras e de seguros
30	Atividades imobiliárias
31	Outros serviços do setor empresarial
32	Admin público. e defesa; segurança social obrigatória
33	Educação
34	Saúde humana e trabalho social
35	Artes, entretenimento, recreação e outras atividades de serviço
36	Domicílios particulares com pessoas empregadas

*A matriz do ano de 1995 apresenta os setores de mineração agregados. Fonte: Adaptado de Organisation for Economic Co-operation and Development (2020)

Tabela 2. Países que possuem matriz de insumo-produto OECD e não OECD

Países da OECD	Países não OECD
1 Austrália	37 Argentina
2 Áustria	38 Brasil
3 Bélgica	39 Brunei Darussalam
4 Canadá	40 Bulgária
5 Chile	41 Camboja
6 República Tcheca	42 China
7 Dinamarca	43 Colômbia
8 Estônia	44 Costa Rica
9 Finlândia	45 Croácia
10 France	46 Chipre
11 Alemanha	47 Índia
12 Grécia	48 Indonésia
13 Hungria	49 Hong Kong
14 Islândia	50 Cazaquistão
15 Irlanda	51 Malásia
16 Israel	52 Malta
17 Itália	53 Marrocos
18 Japão	54 Peru
19 Coréia do Sul	55 Filipinas
20 Letônia	56 Romênia
21 Lituânia	57 Rússia
22 Luxemburgo	58 Arábia Saudita
23 México	59 Cingapura
24 Países Baixos	60 África do Sul
25 Nova Zelândia	61 Taipei
26 Noruega	62 Tailândia
27 Polônia	63 Tunísia
28 Portugal	64 Vietnã
29 República Eslovaca	
30 Eslovênia	
31 Espanha	
32 Suécia	
33 Suíça	
34 Turquia	
35 Reino Unido	
36 Estados Unidos	

Fonte: Adaptado de Organisation for Economic Co-operation and Development (2020)

3.2 Dimensionamento do agronegócio

A metodologia utilizada no presente estudo para dimensionamento do agronegócio foi adaptada de Furtuoso et al. (1998) e Bajan & Mrówczyńska-Kamińska (2020), que usam a matriz insumo-produto. O método é baseado na divisão proposta por Davis & Goldberg (1957) em quatro partes ou agregados. Dessa forma, o agregado (I) representa os insumos, o agregado (II), a agropecuária, o agregado (III) representa a agroindústria e o agregado (IV), os serviços. A metodologia adaptada foi aplicada aos dados obtidos na Organisation for Economic Co-operation and Development (2020) para 64 países e restante do mundo (agregado em

Outros países) para estimar a geração de renda e emissões de dióxido de carbono por queima de combustíveis fósseis.

O agronegócio é composto pelos agregados (I) Insumos, (II) Agropecuária, (III) Indústria e (IV) Distribuição. O método de mensuração do PIB do agronegócio leva em consideração que o primeiro agregado são os insumos para o setor (1) Agropecuária, silvicultura e pesca. Os valores monetários destes insumos adquiridos pelo setor agropecuário são divulgados nas matrizes de insumo-produto. O agregado II é o setor agropecuário, que abrange todas as atividades de produção animal e vegetal, extrativismo e pesca. Os setores do agregado III (indústria) são (5) Alimentos, bebidas e tabaco; (6) Têxteis, vestuário, couro e produtos relacionados; (7) Madeira e produtos de madeira e cortiça e (8) Produtos de papel e impressão. O agregado IV se refere aos setores relacionados ao comércio e serviços (setores 23 a 36 da Tabela 1).

Os cálculos apresentados nesta seção se referem ao dimensionamento do agronegócio em termos de PIB, sendo que as estimativas das emissões de dióxido de carbono pela queima de combustíveis fósseis seguem o mesmo procedimento.

A mensuração do agregado I é realizada pela Equação 1, na qual inicia-se multiplicando os valores das colunas dos insumos utilizados pelo setor Agropecuária pelos respectivos coeficientes de valor adicionado (CVA_i), onde tem-se $i = 36$ setores. O PIB do agregado I é calculado por:

$$PIB_I = \sum_{i=1}^n z_i \times CVA_i \quad (1)$$

Onde:

PIB_I é o PIB do agregado I (insumos),

z_i é o valor total do insumo do setor i para a agropecuária e

CVA_i é o coeficiente de valor adicionado do setor i .

Os Coeficientes de Valor Adicionado (CVA_i) são obtidos pela divisão do Valor Adicionado a Preços de Mercado de cada setor (VA_{PM_i}) pela respectiva produção (X_i), conforme Equação 2:

$$CVA_i = \frac{VA_{PM_i}}{X_i} \quad (2)$$

O Valor Adicionado a preços de mercado (VA_{PM}) é obtido pela soma do valor adicionado a preços básicos (VA_{PB}) aos impostos indiretos líquidos (IIL). Portanto, tem-se $VA_{PM} = VA_{PB} + IIL$.

A mensuração do Agregado II é realizada na Equação 3, a qual considera no cálculo o Valor Adicionado do setor (1) Agropecuária, silvicultura e pesca e subtraem-se o valor adicionado dos insumos agropecuários usados pelo próprio setor. Tem-se então que:

$$PIB_{II} = VAA_{PM} - z_1 \times CVA_1 \quad (3)$$

Onde:

PIB_{II} é o PIB do agregado II (Agropecuária),

VAA_{PM} é o Valor Adicionado da Agropecuária e as outras variáveis são como as definidas anteriormente e $z_1 \times CVA_1$ é o valor do insumo da Agropecuária usado pelo próprio setor.

O Agregado (III) abrange as agroindústrias identificadas por fatores relacionados ao uso dos produtos agrícolas como insumos; participação percentual dos produtos agropecuários no total de insumos do setor e setores que realizam a primeira, segunda e terceira transformações de agropecuários básicos. A mensuração do Agregado (III) é realizada na Equação 4 pelo somatório dos valores adicionados dos setores agroindustriais subtraídos dos valores adicionados destes setores que foram utilizados como insumos do Agregado (II). Os setores do agregado III (indústria)

são (5) Alimentos, bebidas e tabaco; (6) Têxteis, vestuário, couro e produtos relacionados; (7) Madeira e produtos de madeira e cortiça e (8) Produtos de papel e impressão. Tem-se que:

$$PIB_{III} = \sum_{i=1}^k (VA_{PM_i} - z_i \times CVA_i) \quad (4)$$

Onde:

PIB_{III} é o PIB do agregado (III) da indústria e
 $k = 4$ indústrias de base agrícola.

A mensuração do Agregado (IV) realizada pela Equação 5 leva em consideração o Valor Adicionado dos setores relativos ao Transporte, Comércio e Serviços (setores 23 a 36 da Tabela 1). A parcela relativa ao agronegócio do Valor Adicionado total destes setores é calculada pela participação dos produtos agropecuários e agroindustriais na demanda final de produtos. O processo de cálculo do Valor Adicionado do Agregado IV inicia-se com a definição da Demanda Final Doméstica (DFD):

$$DFD = DFG - ILL_{DF} - PI_{DF} \quad (5)$$

Onde:

DFD é a demanda final doméstica,
 DFG é a demanda final global,
 ILL_{DF} são os impostos indiretos líquidos pagos pela demanda final e
 PI_{DF} são os produtos importados pela demanda final.

A margem de comercialização dos setores de transporte, comércio e serviços (MC) é calculada pela Equação 6:

$$MC = VAT_{PM} + VAC_{PM} + VAS_{PM} \quad (6)$$

Onde:

MC é a margem de comercialização,
 VAT_{PM} é o valor adicionado do setor transporte a preços de mercado,
 VAC_{PM} é o valor adicionado do setor comércio a preços de mercado e
 VAS_{PM} é o valor adicionado do setor serviços a preços de mercado.

Utiliza-se a margem de comercialização (MC) e a Demanda Final Doméstica (DFD) no cálculo do agregado de Comércio e Serviços (Distribuição de produtos do agronegócio) e subtraem-se os valores adicionados dos setores de comércio e serviços que foram utilizados como insumos do Agregado (II), conforme Equação 7:

$$PIB_{IV} = MC \times \frac{DF_A + \sum_{i=1}^k DF_k}{DFD} - \sum_{i=1}^q (z_i \times CVA_i) \quad (7)$$

Onde:

PIB_{IV} é o PIB do agregado IV,
 DFD é a demanda final doméstica,
 DF_A é a demanda final da agropecuária,
 DF_k é a demanda final dos setores agroindustriais ($k = 4$) e
 $q = 14$ setores do comércio e serviços (23 a 36).

O PIB total do Agronegócio é dado pela soma dos seus agregados na Equação 8:

$$PIB_{AGRO} = PIB_I + PIB_{II} + PIB_{III} + PIB_{IV} \quad (8)$$

Onde:

PIB_{AGRO} é o PIB do Agronegócio.

Considerando que os resultados estão em valores monetários correntes (dólares americanos em valores nominais), eles poderão ser utilizados em valores percentuais para tornar possível a análise comparativa entre os países em diferentes anos, evolução do agronegócio no mundo e relações da estrutura de valor (composição da renda) e de emissões.

3.3 Indicador de Sustentabilidade

A fim de tornar possível a comparação da sustentabilidade do agronegócio com o sistema produtivo como um todo (nacional ou global) e de ambos entre países, foi utilizado um indicador de sustentabilidade ambiental que quantifica as emissões de dióxido de carbono por unidade de renda. Um indicador de sustentabilidade deve proporcionar a transformação do conceito de desenvolvimento sustentável em definição operacional, o que reduz a distância entre o conceito abstrato e a tomada de decisão no processo de desenvolvimento (Van Bellen, 2006).

Os indicadores de sustentabilidade considerando emissões de dióxido de carbono por unidade da renda (Produto Interno Bruto) em toneladas por milhão de dólares correntes anuais estimados no presente estudo são dados por:

$$I_{S\ AGRO} = \frac{E_{AGRO}}{PIB_{AGRO}} \quad (9)$$

Onde:

I_S é o indicador de sustentabilidade do agronegócio (nacional ou global),

E_{AGRO} são as emissões de dióxido de carbono pela queima de combustíveis fósseis do agronegócio e

PIB_{AGRO} é o Produto Interno Bruto do Agronegócio.

$$I_{S\ PROD} = \frac{E_{PROD}}{PIB_{PROD}} \quad (10)$$

Onde:

$I_{S\ PROD}$ é o indicador de sustentabilidade do setor produtivo da economia (nacional ou global),

E_{PROD} são as emissões de dióxido de carbono pela queima de combustíveis fósseis do setor produtivo (economia nacional ou global) e

PIB_{PROD} é o Produto Interno Bruto do setor produtivo (economia nacional ou global).

4 Resultados e Discussão

Os resultados estão divididos em três subseções: a primeira tem como objetivo identificar os principais países poluidores e a evolução das emissões de dióxido de carbono. Na segunda subseção é realizada a análise dos valores de PIB e emissões do agronegócio, e a terceira apresenta a discussão sobre os indicadores de sustentabilidade.

4.1 Principais Poluidores

Considerando os desafios da redução das emissões de carbono para controlar as mudanças climáticas, é importante a identificação dos principais poluidores e as taxas de crescimento das emissões ao longo do tempo para mensurar as responsabilidades de cada país.

Os mapas referentes às Figuras 1 e 2 foram elaborados com o Excel 365 por meio da Plataforma Bing. A Figura 1 mostra as emissões de dióxido de carbono pela queima de combustíveis fósseis dos países em milhões de toneladas anuais. Podem-se identificar no mapa os maiores poluidores como China, Estados Unidos, Índia, Rússia e Japão, respectivamente. Estados Unidos, Japão e Rússia possuem responsabilidade histórica pelo acúmulo das emissões pela industrialização e, além disso, altos valores totais de emissões atuais. Por outro lado, China e Índia são países em desenvolvimento com industrialização relativamente mais recente e que apresentam maiores taxas de crescimento da economia com incorporação de pessoas ao mercado consumidor e aumento da produção industrial e, conseqüentemente, emissões atmosféricas.

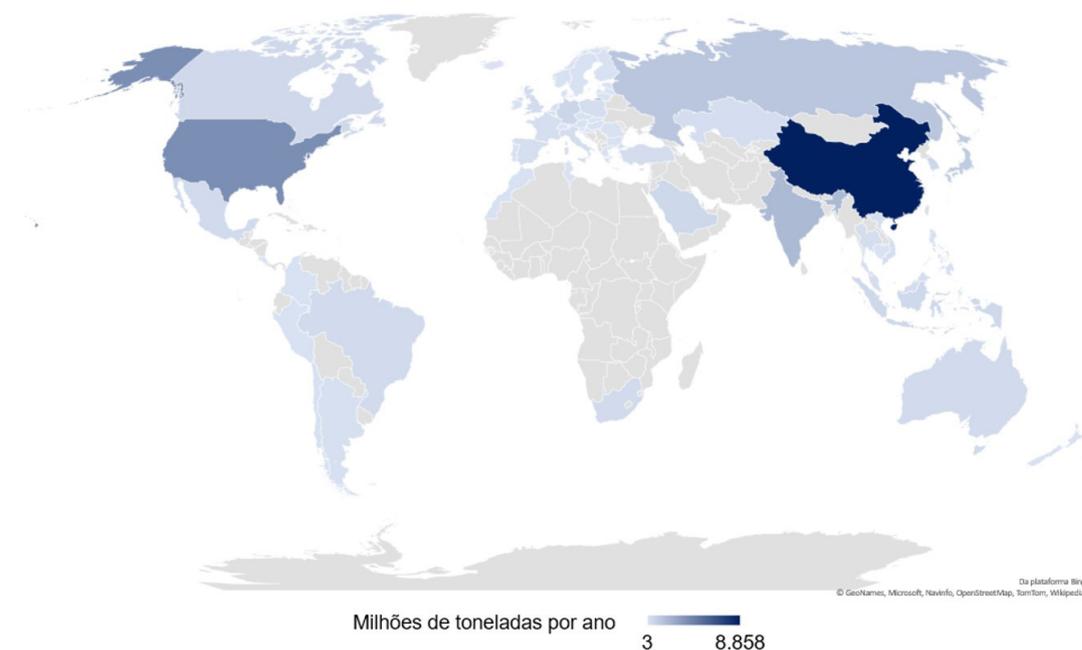


Figura 1. Emissões de dióxido de carbono por queima de combustíveis fósseis do setor produtivo dos países no ano de 2015. Fonte: Cálculos da pesquisa com base nos dados da Organisation for Economic Co-operation and Development (2020).

A identificação dos maiores poluidores em valores absolutos é importante para avaliar a responsabilidade dos países e necessidade de mitigação, porém, existem países que não figuram entre os principais poluidores e apresentam taxas de crescimento das emissões maiores que a média. As Figuras 2 e 3 mostram a variação percentual das emissões de dióxido de carbono por queima de combustíveis fósseis do setor produtivo dos países. Observa-se que a maior parte do aumento das emissões é de responsabilidade dos países em desenvolvimento, dos quais podem-se citar China, Índia, Colômbia, Indonésia, Peru, Arábia Saudita, Malásia e Vietnã. Esta é uma das razões do abandono do Protocolo de Kyoto, pois neste a responsabilidade pela diminuição das emissões recaía principalmente sobre os países desenvolvidos. No acordo de Paris, mais recente, cada país estabelece sua meta de redução conforme suas possibilidades.

A Figura 3 apresenta as variações das emissões de dióxido de carbono por queima de combustíveis fósseis dos 64 países analisados e os números correspondem aos países da Tabela 2. Nota-se a grande variação das emissões, com países dobrando os valores emitidos, como Arábia Saudita (58) e Camboja (41), e outros, como Itália (17) e Espanha (31), com reduções próximas de 30% no período 2005 a 2015.

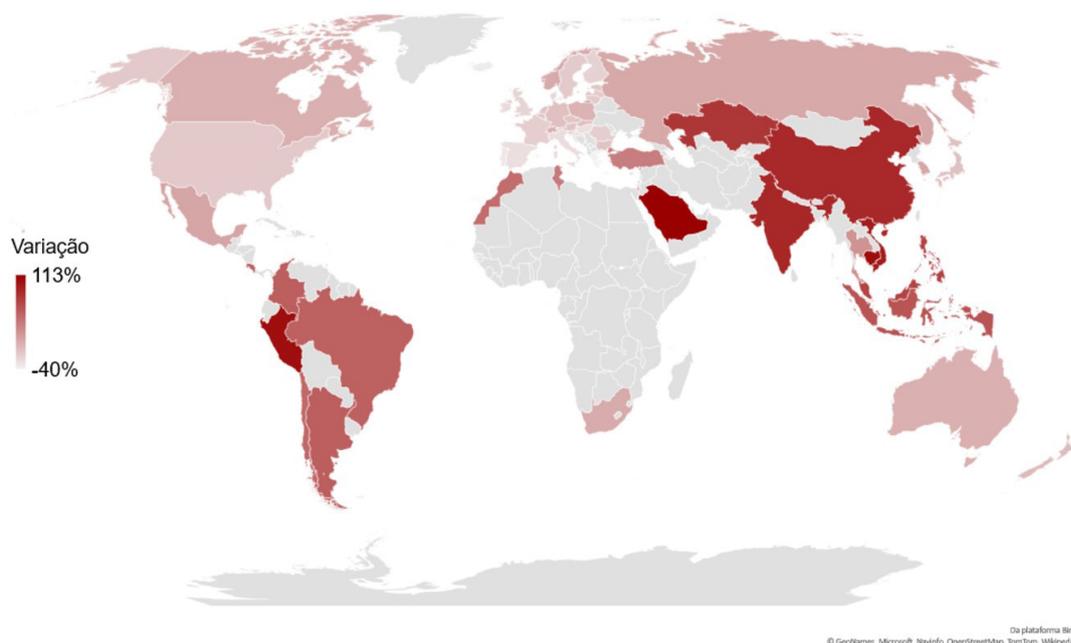


Figura 2. Variação percentual das emissões de dióxido de carbono pela queima de combustíveis fósseis dos países, de 2005 a 2015. Fonte: Cálculos da pesquisa com base nos dados da Organisation for Economic Co-operation and Development (2020).

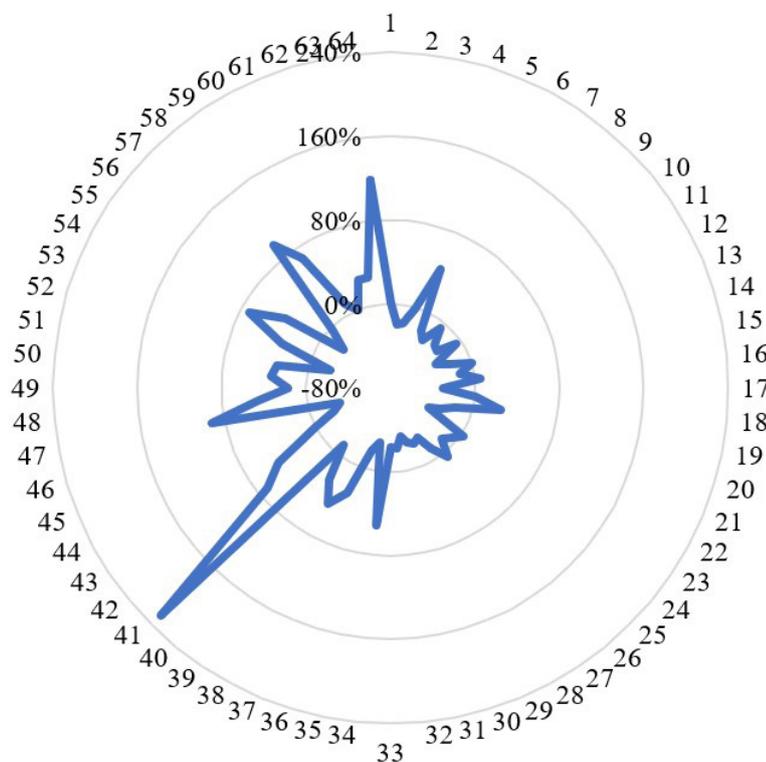


Figura 3. Variação das emissões de dióxido de carbono por queima de combustíveis fósseis totais do setor produtivo dos países do estudo, de 2005 a 2015. Fonte: Cálculos da pesquisa com base nos dados da Organisation for Economic Co-operation and Development (2020).

A Tabela 3 mostra as emissões de dióxido de carbono pela queima de combustíveis fósseis do setor produtivo em valores totais (milhões de toneladas anuais), participação (%) e variações dos vinte principais poluidores em valores absolutos do ano de 2015. Os cinco maiores poluidores são responsáveis por aproximadamente 60% dos 27,83 bilhões de toneladas emitidas em 2015. Os dados de variações dos valores absolutos e relativos de dióxido de carbono indicam se o país está aumentando as emissões e seguindo caminho contrário ao consenso internacional sobre a necessidade de diminuir os riscos climáticos causados pela poluição atmosférica. Os maiores aumentos percentuais de emissões são da Arábia Saudita (95,7%), Índia (92,4%), China (70,8%), Turquia (51,5%), Brasil (45,2%) e Indonésia (44,8%). Por outro lado, as maiores quedas percentuais de emissões ocorreram para Itália (-30,4%), Reino Unido (-26,9%), Estados Unidos (-16,8%), Polônia (-10,5%) e Alemanha (-4,5%). Estes países buscaram novos processos produtivos e geração de energia para diminuir as emissões.

Os valores estimados de participação e variação de emissões e conclusões estão de acordo com França et al. (2018) e Esteves (2017), que afirmaram que União Europeia e Estados Unidos são os grandes emissores mundiais. No entanto, os países estão adotando novas tecnologias de produção, mais limpas, e modificando a matriz energética com maior participação de fontes de energia renováveis. Por outro lado, investigações feitas por Souza et al. (2015), Perdigão et al. (2017) e Zapparoli et al. (2018) mostraram que os países em desenvolvimento, em especial os países do grupo Brasil-Rússia-Índia-China (BRIC), apesar dos esforços em adotar tecnologias menos poluentes e fontes renováveis de energia, aumentaram as emissões de dióxido de carbono principalmente por motivo do aumento da demanda final. Isto é apresentado no presente estudo pelo aumento de 70,8% das emissões da China, 92,4% da Índia, 45,2% do Brasil e comportamento similar em outras economias em desenvolvimento.

Os resultados indicaram a necessidade da adoção de tecnologias de produção mais limpas e a modificação da matriz de energia dos países, principalmente dos maiores poluidores com responsabilidade histórica e dos emergentes com aumento das emissões atuais para alcançar as metas de reduções estabelecidas voluntariamente pelos países no Acordo de Paris.

Tabela 3. Principais emissores de dióxido de carbono por queima de combustíveis fósseis do setor produtivo

País	Emissões totais (milhões de toneladas)			Participação nas emissões (%)			Rank Emissões 2015
	2005	2015	Variação	2005	2015	Variação	
42 China	5188	8858	3671	22,5	31,8	70,8	1
36 Estados Unidos	4653	3873	-780	20,2	13,9	-16,8	2
47 Índia	968	1862	894	4,2	6,7	92,4	3
57 Rússia	1354	1325	-30	5,9	4,8	-2,2	4
18 Japão	1058	1065	7	4,6	3,8	0,7	5
11 Alemanha	610	583	-27	2,7	2,1	-4,5	6
19 Coréia do Sul	442	560	118	1,9	2,0	26,8	7
58 Arábia Saudita	251	492	240	1,1	1,8	95,7	8
4 Canadá	459	455	-4	2,0	1,6	-0,9	9
48 Indonésia	304	440	136	1,3	1,6	44,8	10
60 África do Sul	345	384	38	1,5	1,4	11,1	11
38 Brasil	251	365	114	1,1	1,3	45,2	12
23 México	354	364	10	1,5	1,3	2,9	13
1 Austrália	344	348	5	1,5	1,3	1,3	14

Fonte: Cálculos da pesquisa com base nos dados da Organisation for Economic Co-operation and Development (2020).

Tabela 3. Continuação...

País	Emissões totais (milhões de toneladas)			Participação nas emissões (%)			Rank Emissões 2015	
	2005	2015	Variação	2005	2015	Variação		
35	Reino Unido	420	307	-113	1,8	1,1	-26,9	15
34	Turquia	183	277	94	0,8	1,0	51,5	16
61	Taiwan	253	254	0	1,1	0,9	0,1	17
62	Tailândia	192	245	53	0,8	0,9	27,5	18
17	Itália	341	237	-103	1,5	0,9	-30,4	19
27	Polônia	254	227	-27	1,1	0,8	-10,5	20

Fonte: Cálculos da pesquisa com base nos dados da Organisation for Economic Co-operation and Development (2020).

A classificação dos maiores poluidores mundiais em termos de emissões em valores absolutos indica o tamanho da responsabilidade de cada país. No entanto, a comparação desses valores não permite mensurar e comparar a sustentabilidade de seus sistemas produtivos. Os indicadores de sustentabilidade podem ser obtidos pela relação entre emissões de dióxido de carbono per capita ou unidade do Produto Interno Bruto, o que torna possível a comparação entre países de diferentes dimensões demográficas e econômicas. Para o presente estudo, utilizou-se o segundo indicador.

4.2 Agronegócio e emissões de dióxido de carbono

A Tabela 4 apresenta os resultados agregados do dimensionamento em termos de geração de PIB e emissões de dióxido de carbono por queima de combustíveis fósseis do setor produtivo. Pode-se notar que o PIB do agronegócio no ano de 2005 era de cerca de seis trilhões de dólares em valores correntes e participava com 13,6% do PIB mundial, passando para cerca de onze trilhões de dólares em 2015 e aumentando sua participação para 15,3%. Em relação às emissões, o agronegócio gerou aproximadamente dois bilhões de toneladas de dióxido de carbono no ano de 2005, com participação de 8,5% nas emissões totais. As emissões do agronegócio aumentaram cerca de 166 milhões de toneladas entre 2005 e 2015, porém, a participação no total diminuiu para 7,6%. Os agregados Insumos (I), Agropecuária (II), Indústria (III) e Serviços (IV) apresentaram modificações na participação nos totais do PIB e emissões do agronegócio.

Os resultados da Tabela 1 mostram que o agregado (II) aumentou sua participação no PIB do Agronegócio de 21,3% para 24,6% no período, e os agregados (III) e (IV), juntos, diminuíram a participação de 70,7% para 64,8%. Isto indica a modificação na composição da renda com benefício para os produtores rurais. Os insumos aumentaram as emissões de dióxido de carbono em 134 milhões de toneladas, a agropecuária aumentou em 31 milhões, a agroindústria diminuiu 81 milhões e os serviços aumentaram em 83 milhões de toneladas. Considerando as emissões de dióxido de carbono por unidade da renda (PIB), tem-se que o setor produtivo apresentava a geração de 501 toneladas por um milhão de dólares correntes no ano de 2005 enquanto o agronegócio apresentava o valor de 311 toneladas. No ano de 2015, os valores foram de 191 para o agronegócio e 385 para o setor produtivo mundial.

Os resultados mostram sua sustentabilidade ambiental e econômica, pois a produção do agronegócio possui capacidade de geração de poluição menor que o sistema produtivo como um todo apesar de a participação na economia (PIB) apresentar aumento no mesmo período. Não é possível comparar o indicador entre os anos de 2005 e 2015 porque os valores monetários são nominais.

Tabela 4. Produto Interno Bruto (PIB) e emissões de dióxido de carbono por queima de combustíveis fósseis do agronegócio e setor produtivo mundial. Agregados: Insumos (I), Agropecuária (II), Indústria (III) e Serviços (IV). Valores do PIB em bilhões de dólares correntes e emissões em milhões de toneladas anuais.

Ano	Variável	Agregados				Agronegócio	Total do setor produtivo	Participação do agronegócio (%)	Emissões por unidade de renda ^(a)	
		I	II	III	IV				Agronegócio	Setor produtivo
2005	PIB	503	1334	1944	2478	6259	45895	13,6	311	501
	Emissões	337	505	688	414	1945	23009	8,5		
2015	PIB	1172	2719	3142	4029	11062	72325	15,3	191	385
	Emissões	471	536	607	497	2111	27835	7,6		

^(a) Valores em toneladas de dióxido de carbono por um milhão de dólares do PIB correntes no ano. Fonte: Cálculos da pesquisa com base nos dados da Organisation for Economic Co-operation and Development (2020).

Os valores obtidos mostram que ocorreu aumento das emissões mundiais, mas, apesar do aumento da participação do agronegócio na economia, sua participação nas emissões diminuiu em termos percentuais. Isto indica que ele apresenta maior sustentabilidade que outras cadeias produtivas. Porém, a análise e as conclusões sobre os resultados agregados para o mundo podem não indicar generalizações para os 64 países do estudo individualmente, pois eles podem apresentar diferentes características do agronegócio, e sua evolução pode ter trajetória específica. Portanto, é importante a avaliação dos resultados desagregados para identificar a evolução dos países e principais poluidores.

A Figura 4 mostra a evolução da participação do agronegócio na economia dos países em termos de PIB e emissões de dióxido de carbono pela queima de combustíveis fósseis do setor produtivo. Observa-se que a participação em emissões (linha azul) é menor que a participação em PIB (linha vermelha) para a maior parte dos 64 países em análise, revelando que o agronegócio é menos poluente que a média das outras cadeias produtivas.

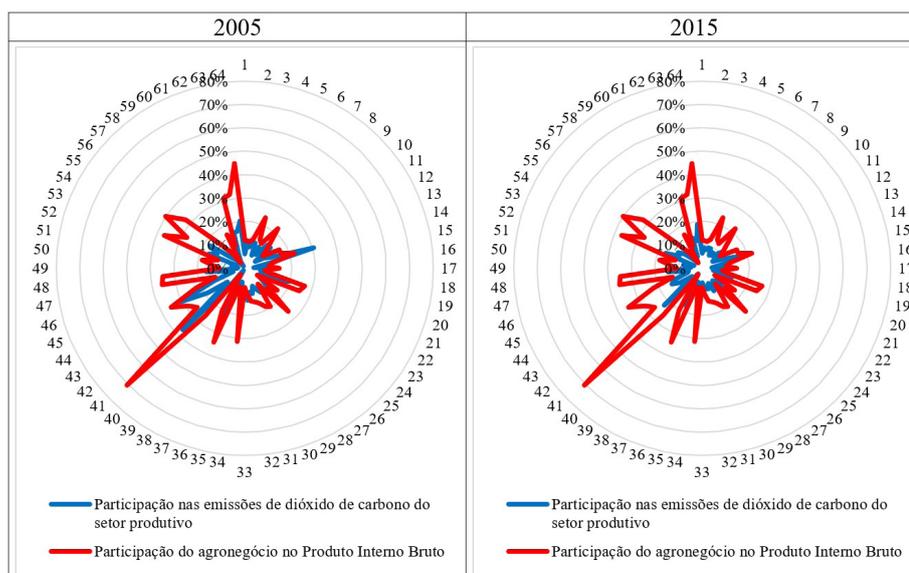


Figura 4. Participação do agronegócio no PIB e emissões de dióxido de carbono por queima de combustíveis fósseis do setor produtivo dos países. Fonte: Cálculos da pesquisa com base nos dados da Organisation for Economic Co-operation and Development (2020).

A Figura 5 apresenta dados de emissões de dióxido de carbono do agronegócio dos principais países poluidores. A lista dos vinte maiores poluidores apresenta países desenvolvidos e em desenvolvimento, com predominância do segundo grupo. Os destaques são para China e Estados Unidos, que também são os maiores poluidores em termos totais (setor produtivo), e apresentam a indústria como o agregado do agronegócio que tem a maior parte das emissões de dióxido de carbono. A classificação dos maiores poluidores em valores totais do setor produtivo foi utilizada para a ordem de apresentação dos países na Figura 5, porém, nota-se que a classificação para os maiores poluidores do agronegócio não é igual. Brasil e Indonésia apresentam o agronegócio com maiores valores de emissões de carbono do que a Alemanha, apesar deste último apresentar valor total maior (setor produtivo).

A Figura 6 mostra a participação dos agregados nas emissões de dióxido de carbono do agronegócio dos principais países poluidores. Os resultados indicam variações das participações dos agregados nas emissões entre os países. China, Estados Unidos, Japão, Indonésia, Alemanha e Reino Unido apresentam cerca de 60% das emissões do agronegócio da indústria e serviços. Índia, Canadá, África do Sul, México, Brasil, Tailândia e Polônia apresentaram a agropecuária como o agregado com maior participação nas emissões do agronegócio. Isto mostra que as estruturas produtivas dos países, que incluem as relações intersetoriais e a geração de energia, são diferentes e geram impactos distintos sobre emissões. Além disso, é importante levar em conta o nível de industrialização diferenciado entre eles. Os resultados são importantes para cada país identificar qual agregado do agronegócio é o principal responsável pela maior parte das emissões e incentivar a adoção de tecnologias de produção mais limpas para a redução de emissões.

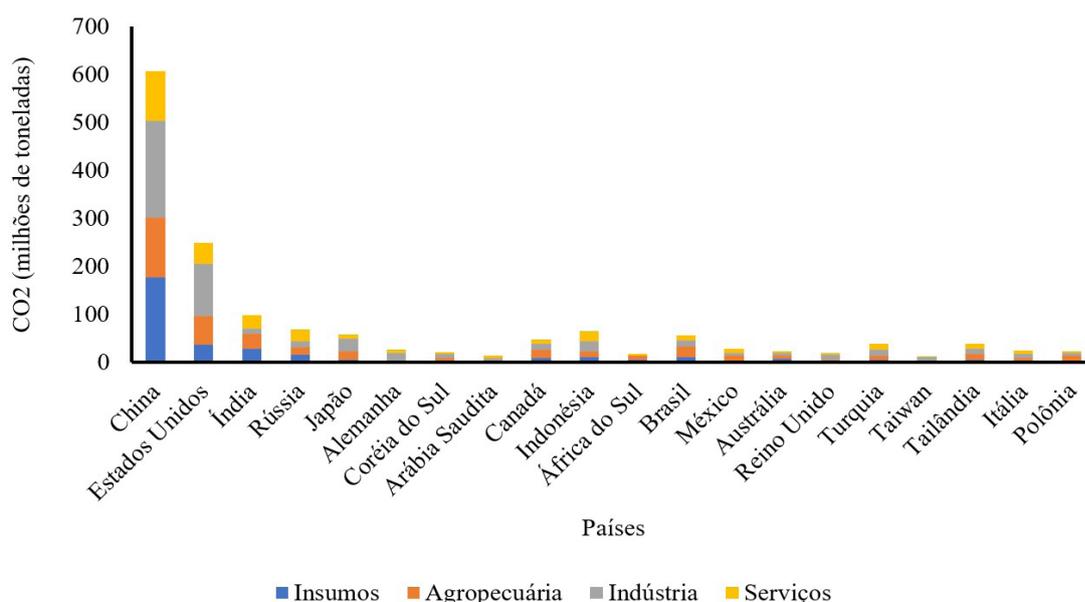


Figura 5. Maiores poluidores do agronegócio no ano de 2015 em emissões de dióxido de carbono (milhões de toneladas anuais). Fonte: Cálculos da pesquisa com base nos dados da Organisation for Economic Co-operation and Development (2020)

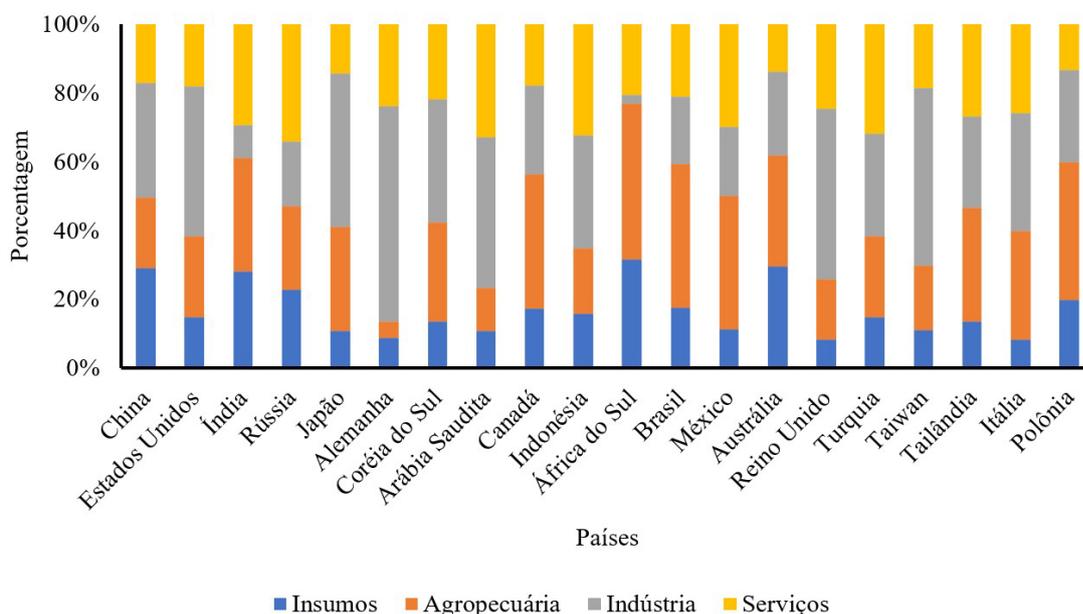


Figura 6. Participação dos agregados do agronegócio nas emissões no ano de 2015 em emissões de dióxido de carbono (milhões de toneladas anuais). Fonte: Cálculos da pesquisa com base nos dados da Organisation for Economic Co-operation and Development (2020).

4.3 Indicadores de sustentabilidade

A identificação dos maiores poluidores estabelece responsabilidades diferenciadas por sua maior participação nas emissões do agronegócio, porém, a tendência é que sejam proporcionais ao tamanho da economia. No entanto, a dinâmica das emissões ao longo do tempo e a capacidade de geração de dióxido de carbono por unidade do PIB dos países são indicadores de sustentabilidade. Os dois indicadores de sustentabilidade estimados se referem à geração de dióxido de carbono por unidade do PIB do agronegócio e à comparação da taxa de variação das emissões deste e do setor produtivo do país em análise.

A geração de dióxido de carbono por queima de combustíveis fósseis do agronegócio e do setor produtivo dos países em toneladas por milhão de dólares correntes no período de análise está ilustrada na Figura 7. Pode-se notar a grande variação dos valores com destaque para Vietnã (64), África do Sul (60) e Rússia (57). O agronegócio nestes países gerava mais de 400 toneladas de dióxido de carbono por um milhão de dólares correntes do PIB em 2015, porém, os mesmos países apresentaram valores acima de 800 toneladas para o setor produtivo. A lista de países com alto potencial de emissões por unidade de renda não possui os maiores poluidores em valores absolutos: China e Estados Unidos.

A geração de dióxido de carbono está diretamente relacionada ao nível tecnológico e origem da energia fornecida aos processos produtivos. Portanto, altos valores de emissões por unidade de renda mostram que os países devem se esforçar em desenvolver tecnologias de produção mais limpas e mudanças na matriz de energia. A Figura 7 torna possível a análise comparativa visual das emissões por unidade da renda entre o agronegócio e o setor produtivo dos países, e os resultados mostraram que a maior parte dos países apresenta o agronegócio com valores relativamente menores quando comparado com o sistema produtivo como um todo (maior sustentabilidade).

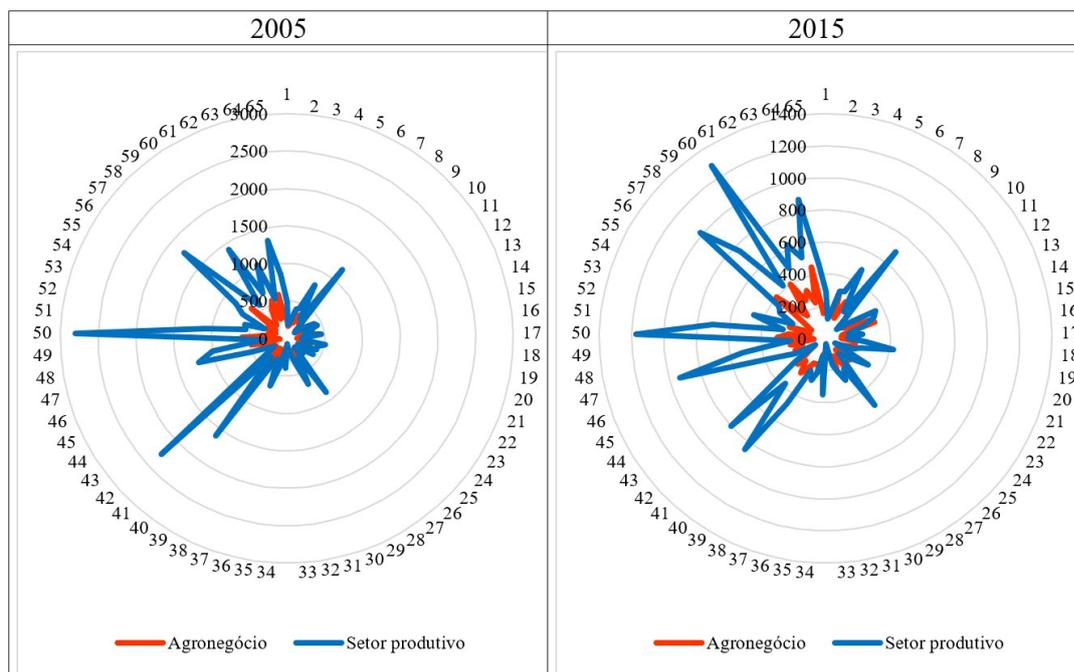


Figura 7. Emissões de dióxido de carbono pela queima de combustíveis fósseis em toneladas por milhão de dólares do Produto Interno Bruto do Agronegócio e do setor produtivo dos países do estudo. Fonte: Cálculos da pesquisa com base nos dados da Organisation for Economic Co-operation and Development (2020).

Os resultados para a estimativa do PIB do Agronegócio mundial e dos países selecionados, assim como os percentuais de participação na economia global, são próximos daqueles obtidos por Sesso Filho et al. (2022). Considerando a sustentabilidade do agronegócio, na maior parte dos países ele se mostrou capaz de aumentar a produção com menor valor de emissões por unidade de renda em relação à média da economia. Sesso Filho et al. (2019) e Bajan & Mrówczyńska-Kamińska (2020) analisaram as emissões de dióxido de carbono do agronegócio, mas com métodos de mensuração diferentes. O presente estudo obteve 13,6% de participação do agronegócio na economia mundial e 15,3% no ano de 2015, valores próximos dos 15% obtidos por Sesso Filho et al. (2019) para o ano de 2009. As conclusões do presente estudo estão de acordo com Bajan & Mrówczyńska-Kamińska (2020), pois o agronegócio pode aumentar sua participação com um indicador de emissões por unidade de renda (PIB) menor que a média da economia. Além disso, o estudo desenvolvido mostrou que existe tendência de queda da participação dele no total de emissões concomitantemente ao aumento na participação no PIB do país, característica encontrada mesmo em países em desenvolvimento como China, Índia, Brasil e México.

A Tabela 5 apresenta os indicadores de sustentabilidade do agronegócio: emissões de dióxido de carbono por unidade de renda (PIB) e o comparativo das variações de emissões entre agronegócio e setor produtivo dos maiores poluidores em valor absoluto. A capacidade de geração de poluição dos países varia entre 96 toneladas de dióxido de carbono por um milhão de dólares correntes de 2015 (Itália) até 403 toneladas (África do Sul).

Tabela 5. Emissões de dióxido de carbono por PIB do agronegócio e variação das emissões de dióxido de carbono por queima de combustíveis fósseis do agronegócio e do setor produtivo

País	Emissões de dióxido de carbono por PIB do agronegócio (toneladas por milhão de dólares correntes)		Variação das emissões 2005-2015 (%)		
	2005	2015	Agronegócio	Setor produtivo	
42	China	806	238	26%	71%
36	Estados Unidos	307	189	-22%	-17%
47	Índia	223	149	54%	92%
57	Rússia	615	400	0%	-2%
18	Japão	177	165	-20%	1%
11	Alemanha	130	113	-16%	-4%
19	Coréia do Sul	335	188	-29%	27%
58	Arábia Saudita	243	248	107%	96%
4	Canadá	354	306	-6%	-1%
48	Indonésia	472	224	32%	45%
60	África do Sul	294	403	55%	11%
38	Brasil	252	171	37%	45%
23	México	210	151	-6%	3%
1	Austrália	253	193	9%	1%
35	Reino Unido	127	99	-18%	-27%
34	Turquia	162	188	70%	51%
61	Taiwan	424	269	-25%	0%
62	Tailândia	544	320	25%	27%
17	Itália	131	96	-27%	-30%
27	Polônia	559	311	-27%	-10%

Fonte: Cálculos da pesquisa com base nos dados da Organisation for Economic Co-operation and Development (2020).

Quanto menores os valores de emissões por unidade do PIB, maior a sustentabilidade do agronegócio do país. Considerando os maiores poluidores mundiais, o agronegócio é mais sustentável na Itália, Reino Unido, Alemanha, Índia, México, Japão e Brasil. Por outro lado, África do Sul, Rússia, Tailândia, Polônia e Canadá apresentam alto custo ambiental de seu agronegócio. O comparativo entre as taxas de variação das emissões do agronegócio e do setor produtivo da economia permite identificar se este é um sistema produtivo mais limpo que a média das atividades econômicas. No caso da China, o setor produtivo aumentou em 71% as emissões de dióxido de carbono no período 2005-2015, mas seu agronegócio aumentou 26% as emissões. No período do estudo, os Estados Unidos diminuíram as emissões do setor produtivo em 17% e, do agronegócio, em 22%, e outros países aumentaram as emissões do agronegócio em valor percentual menor que para o setor produtivo como um todo. O mesmo ocorreu para 13 dos 20 maiores poluidores, o que indica a tendência de diminuição de emissões e participação nas emissões totais na maior parte dos principais países poluidores. As exceções são Rússia, Arábia Saudita, África do Sul, Austrália, Reino Unido, Turquia e Itália. As maiores diminuições de emissões de carbono no agronegócio ocorreram na Coreia do Sul (-29%), Itália e Polônia (-27%) e os maiores aumentos ocorreram na Arábia Saudita (107%) e Turquia (70%).

5 Conclusão

Os resultados da pesquisa indicaram que os cinco maiores poluidores mundiais são China, Estados Unidos, Índia, Rússia e Japão, nesta ordem. Os maiores aumentos percentuais de emissões ocorreram na Arábia Saudita (95,7%), Índia (92,4%), China (70,8%), Turquia (51,5%), Brasil (45,2%)

e Indonésia (44,8%). Por outro lado, as maiores quedas percentuais de emissões ocorreram na Itália (-30,4%), Reino Unido (-26,9%), Estados Unidos (-16,8%), Polônia (-10,5%) e Alemanha (-4,5%).

O PIB do agronegócio no ano de 2005 era de cerca de seis trilhões de dólares em valores correntes e participava em 13,6% do PIB mundial, passando para cerca de onze trilhões de dólares em 2015, aumentando sua participação para 15,3%. O agronegócio gerou aproximadamente dois bilhões de toneladas de dióxido de carbono no ano de 2005, com participação de 8,5% em emissões totais. As emissões aumentaram cerca de 166 milhões de toneladas entre 2005 e 2015, porém, a participação no total diminuiu para 7,6%.

Os valores do indicador de sustentabilidade emissões de dióxido de carbono pela queima de combustíveis fósseis por unidade de renda mostraram que o setor produtivo apresentava a geração de 501 toneladas por um milhão de dólares correntes no ano de 2005 enquanto o agronegócio apresentava o valor de 311 toneladas. No ano de 2015, os valores foram de 191 para o agronegócio e 385 para o setor produtivo mundial. Os valores indicam que o agronegócio mundial possui sustentabilidade ambiental e econômica, pois a produção possui capacidade de geração de poluição menor que o sistema produtivo como um todo. É importante observar que os dados utilizados na pesquisa não incorporam emissões por fatores como mudança do uso da terra e métodos de produção (desmatamento, queimadas, emissão de metano e CO₂ por bovinos e outros). Os resultados do indicador de sustentabilidade emissões por unidade de renda mostraram que, na maior parte dos países, o agronegócio se apresentou capaz de aumentar a produção com menor valor de emissões por unidade de renda em relação à média da economia.

Os resultados do estudo são importantes para o direcionamento de políticas agrícolas e da gestão das cadeias produtivas do agronegócio, auxiliando na busca da sustentabilidade econômica, social e ambiental. Novas pesquisas podem abranger maior número de países e variáveis, tais como postos de trabalho e uso da energia, para elaborar novos indicadores de sustentabilidade do agronegócio e possibilitar análises comparativas sem a influência dos valores absolutos de emissões.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Dr. Joaquim José Martins Guilhoto (OECD e USP) pelos comentários e auxílio com a metodologia e o apoio financeiro fornecido pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil (CNPq) para a realização deste trabalho.

Referências

- Afionis, S. (2017). *The European Union in international climate change negotiations* (1. ed.). London: Routledge.
- Bajan, B., & Mrówczyńska-Kamińska, A. (2020). Carbon footprint and environmental performance of agribusiness production in selected countries around the world. *Journal of Cleaner Production*, 276, 1-10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123389>
- Batalha, M. O. (2021). *Gestão agroindustrial* (4. ed., 528 p.). São Paulo: Editora Atlas/Grupo GEN.
- Bodansky, D. (2016). The legal character of the Paris Agreement. *Review of European, Comparative & International Environmental Law*, 25, 142-150. <http://dx.doi.org/10.1111/reel.12154>
- Bueno Rubial, M. (2016). El Acuerdo de París: ¿una nueva idea sobre la arquitectura climática internacional? *Relaciones Internacionales*, 33, 75-95. Recuperado em 11 de fevereiro de

- 2020, de http://www.relacionesinternacionales.info/ojs/index.php?-journal=Relaciones_Internacionales&page=article&op=-view&path%5B%5D=747
- Corazza, R. I., & Bonaccelli, M. B. M. (2013). Ciência, Tecnologia e Inovação para a Sustentabilidade: reflexões em [retro][pers]pectiva. In M. Monteiro, R. B. Dias & C. Campos (Eds.), *Novos horizontes em política científica e tecnológica* (Capítulo V, pp. 101-130). Santo André: Universidade Federal do ABC. Recuperado em 22 de fevereiro de 2021, de <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/103247/1/Novos-horizontes.pdf>
- Davis, J. H., & Goldberg, R. A. (1957). A concept of agribusiness. *Journal of Farm Economics*, 39(4), 1042-1045. Recuperado em 16 de março de 2021, de <https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=uc1.32106006105123>
- Delgado, C. L., Hopkins, J., Kelly, V. A., Hazell, P., Mckenna, A. A., Gruhn, P., Hojjati, B., Sil, H., & Courbois, C. (1998). *Agricultural growth linkages in Sub-Saharan Africa* (154 p.). Washington: International Food Policy Research Institute Washington. <http://dx.doi.org/10.2499/0896291103rr107>
- Esteves, E. G. Z. (2017). *Dinâmica mundial do uso da energia renovável, energia não renovável e da emissão de CO2 por níveis de IDH: 1995 a 2009* (Tese de doutorado). Universidade Estadual de Maringá, Maringá. Recuperado em 5 de abril de 2021, de https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=5013150#
- França, C. I. F., Zapparoli, I. D., & Sesso Filho, U. A. (2018). Zona do Euro: estrutura produtiva e emissões de gases do efeito estufa. *Geosul*, 33, 118-139. <http://dx.doi.org/10.5007/2177-5230.2018v33n67p118>
- Furtuoso, M. C. O., Barros, G. S. C., & Guilhoto, J. J. M. (1998). O produto interno bruto do agronegócio brasileiro. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 36(3), 9-31. Recuperado em 24 de fevereiro de 2021, de <http://www.resr.periodikos.com.br/article/5da373be0e88252d5aba68e2/pdf/resr-36-3-9.pdf>
- Leones, J., Schluter, G., & Goldman, G. (1994). Redefining agriculture in interindustry analysis. *American Journal of Agricultural Economics*, 76(5), 1123-1129. <http://dx.doi.org/10.2307/1243403>
- Mendes, J. T. G., & Padilha, J. B. (2007). *Agronegócio: Uma abordagem econômica* (369 p.). São Paulo: Pearson Prentice Hall.
- Merico, L. F. K. (2002). *Introdução à economia ecológica* (2. ed., 129 p.). Blumenau: EDIFURB.
- Okereke, C., & Coventry, P. (2016). Climate justice and the international regime: before, during, and after Paris. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 7, 834-851. <http://dx.doi.org/10.1002/wcc.419>
- Organisation for Economic Co-operation and Development – OECD. (2020). Recuperado em 13 de janeiro de 2020, de <http://www.OECD.org/sti/ind/inter-country-input-output-tables.htm>
- Perdigão, C., Faião, T. F., Rodrigues, R. L., Esteves, E. G. Z., Sesso Filho, U. A., & Zapparoli, I. D. (2017). Decomposição estrutural das emissões de CO2 do BRIC. *Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos*, 11(3), 293-313. Recuperado em 13 de janeiro de 2020, de <https://revistaaber.org.br/rberu/article/view/192/211>
- Pingali, P. (2007). Agricultural growth and economic development: a view through the globalization lens. *Agricultural Economics*, 37, 1-12. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1574-0862.2007.00231.x>

- Pompermayer Sesso, P., Amâncio-Vieira, S. F., Zapparoli, I. D., & Sesso Filho, U. A. (2020). Structural decomposition of variations of carbon dioxide emissions for the United States, the European Union and BRIC. *Journal of Cleaner Production*, 252, 1-11. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119761>
- Reardon, T., & Barret, C. (2000). Agroindustrialization, Globalization, and International Development: an overview of issues, patterns, and determinants. *Agricultural Economics*, 23, 195-205. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1574-0862.2000.tb00272.x>
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin 3rd, F. S., Lambin, E. F., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., de Wit, C. A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R. W., Fabry, V. J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P., & Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461(7263), 472-475. <http://dx.doi.org/10.1038/461472a>
- Sesso Filho, U. A., Borges, L. T., Pompermayer Sesso, P., Alves Brene, P. R., & Domenes Zapparoli, I. (2019). Geração de renda, emprego e emissões atmosféricas no agronegócio: um estudo para quarenta países. *Revista de Economia e Agronegócio*, 17(1), 30-55. <http://dx.doi.org/10.25070/rea.v17i1.7902>
- Sesso Filho, U. A., Borges, L. T., Sesso, P. P., Brene, P. R. A., & Esteves, E. G. Z. (2022). Mensuração do complexo agroindustrial no mundo: comparativo entre países. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 60(1), e235345. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.235345>
- Souza, A. M., Zapparoli, I. D., & Sesso Filho, U. A. (2015). Estrutura produtiva do Brasil, Rússia, Índia e China (BRIC) e seus impactos nas emissões de dióxido de carbono (CO2). *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 34, 25-48. <http://dx.doi.org/10.5380/dma.v34i0.37800>
- Souza, M. C. O., & Corazza, R. I. (2017). Do Protocolo Kyoto ao Acordo de Paris: uma análise das mudanças no regime climático global a partir do estudo da evolução de perfis de emissões de gases de efeito estufa. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 42, 52-80. <http://dx.doi.org/10.5380/dma.v42i0.51298>
- Thomas, J. M., & Callan, S. J. (2016). *Economia ambiental: aplicações, políticas e teoria*. São Paulo, SP: Cengage Learning.
- <eref>United Nations Climate Change – UN Climate Change. (2021). Parties & observers. Bonn. Recuperado em 16 de março de 2021, de <https://unfccc.int/parties-observers></eref>
- Van Bellen, H. M. (2006). *Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa* (2. ed.). Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 256 p.
- Viola, E. (2010). A dinâmica das potências climáticas e o Acordo de Copenhague. *Boletim da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica*, 23-24, 16-22. Recuperado em 15 de março de 2021, de http://ecoeco.org.br/wp-content/uploads/2018/08/boletim_Ecoeco_23_24.pdf
- Zapparoli, I. D., Souza, A. M., Sesso Filho, U. A., Brene, P. R. A., & Camara, M. R. G. (2018). Análise dos transbordamentos nas emissões de dióxido de carbono: Brasil, Rússia, Índia e China - BRIC. *Revista Economica do Nordeste*, 49(1), 149-164. Recuperado em 16 de março de 2021, de <https://www.bnb.gov.br/revista/index.php/ren/article/viewFile/555/707>

Recebido: Novembro 24, 2021.

Aceito: Abril 22, 2022.

JEL Classification: Q13, C67, N50