

Tributação do Carbono e Competitividade Internacional: Desafios e Perspectivas na Regulação do Comércio Global

Carbon Taxation and International Competitiveness: Challenges and Perspectives in Global Trade Regulation

José Adércio Leite Sampaio

Pós-Doutor em Direito. Professor da PUC-Minas e da DCH-Escola de Direito.
Procurador Regional da República. *E-mail*: joseadercio@gmail.com.

Recebido em: 17-2-2025 – Aprovado em: 19-4-2025
<https://doi.org/10.46801/2595-7155.14.4.2025.2708>

Resumo

A precificação do carbono visa internalizar os custos ambientais das emissões de gases de efeito estufa (GEE) e incentivar a transição para uma economia de baixo carbono. A tributação é um dos principais instrumentos de precificação, impondo um custo direto sobre as emissões. Embora possa estimular adoção de tecnologias mais limpas, ela enfrenta sérios desafios como os impactos regressivos e a fuga de carbono. Para mitigar esses efeitos, os ajustes de fronteira para o carbono (BCAs) garantem que bens importados enfrentem custos ambientais equivalentes. No entanto, eles enfrentam desafios técnicos, jurídicos e econômicos. A sua adoção requer justificativas que se coadunem com as normas do comércio internacional e sejam baseadas em critérios objetivos e transparentes. Tecnologias como *blockchain* podem ser usadas tanto para melhorar a transparência quanto para auxiliar na identificação e fiscalização de práticas protecionistas. Este estudo analisa os impactos e desafios dessas políticas, destacando que seu sucesso depende da adoção de um modelo regulatório adequado e da cooperação internacional para garantir, ao mesmo tempo, justiça tributária e redução das emissões dos GEE em escala global.

Palavras-chave: tributação do carbono, ajuste de carbono na fronteira (BCA), fuga de carbono, política climática.

Abstract

Carbon pricing aims to internalize the environmental costs of greenhouse gas (GHG) emissions and encourage the transition to a low-carbon economy. Taxation is one of the main pricing instruments, imposing a direct cost on emissions. Although it can stimulate the adoption of cleaner technologies, it faces significant challenges such as regressive impacts and carbon leakage. To mitigate these effects, border carbon adjustments (BCAs) ensure that impor-

ted goods face equivalent environmental costs. However, they encounter technical, legal, and economic challenges. Their adoption requires justifications that align with international trade norms and are based on objective and transparent criteria. Technologies such as blockchain can be used to enhance transparency and assist in identifying and monitoring protectionist practices. This study analyzes the impacts and challenges of these policies, highlighting that their success depends on adopting an appropriate regulatory model and international cooperation to ensure both tax fairness and the reduction of GHG emissions on a global scale.

Keywords: carbon taxation, border carbon adjustment (BCA), carbon leakage, climate policy.

1. Introdução

A crise climática impõe desafios significativos às economias globais, exigindo políticas públicas e instrumentos regulatórios que conciliem crescimento econômico e sustentabilidade ambiental. A emissão de gases de efeito estufa (GEE), principal causa do aquecimento global, gera externalidades negativas que não são plenamente incorporadas aos preços de mercado. Como resposta a essa falha de mercado, a precificação do carbono foi pensada como um mecanismo supostamente eficaz para internalizar os custos ambientais das emissões, tornando-as um fator econômico relevante nas decisões de produção e consumo. Ao atribuir um valor financeiro às emissões de dióxido de carbono (CO₂) e de outros GEEs, a precificação do carbono busca incentivar a adoção de tecnologias limpas, promover a eficiência energética e direcionar investimentos para setores de baixo carbono.

Entre os instrumentos disponíveis para a precificação, a tributação do carbono tem sido adotada para impor um custo direto sobre emissões de GEE ou sobre combustíveis fósseis, elevando seus preços e incentivando a transição para fontes energéticas menos poluentes. Modelos de sucesso, como o imposto sobre carbono da Suécia, demonstram que esse mecanismo pode reduzir significativamente a geração daqueles gases sem comprometer o crescimento econômico. No entanto, sua adoção enfrenta desafios relacionados à aceitação política, impactos distributivos e risco de realocação produtiva para países com regulações ambientais mais brandas, fenômeno conhecido como fuga de carbono (*carbon leakage*).

Diante do risco de fuga de carbono, os ajustes de carbono na fronteira – ou como são mais conhecidos em inglês, *border carbon adjustments*, simplesmente BCAs – têm sido vistos como uma alternativa para equilibrar a competitividade das indústrias domésticas e evitar a transferência de emissões para outras jurisdições. Esse mecanismo consiste na aplicação de tarifas ou ajustes tributários sobre bens importados com base na quantidade de carbono embutido em sua produção. A União Europeia tem liderado esse movimento com a implementação do Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM), destinado a garantir que produtos im-

portados estejam sujeitos a uma precificação de carbono equivalente àquela aplicada às mercadorias produzidas internamente. Outras economias, como Estados Unidos e Canadá, avaliam medidas semelhantes para proteger suas indústrias e mitigar os impactos da precificação do carbono sobre a competitividade global.

No entanto, o emprego desses mecanismos enfrenta obstáculos jurídicos, técnicos e econômicos. Do ponto de vista do direito internacional, ajustes na fronteira podem ser interpretados como barreiras comerciais disfarçadas, contrariando princípios da Organização Mundial do Comércio (OMC). Além disso, a complexidade na medição das emissões incorporadas nos produtos, a necessidade de um monitoramento rigoroso para evitar manipulações e a resistência de setores industriais são desafios que exigem soluções inovadoras e bem estruturadas.

Este artigo realiza uma análise da tributação do carbono e dos ajustes na fronteira, considerando seus fundamentos econômicos, os desafios regulatórios e os impactos sobre a competitividade global. Adota-se uma abordagem baseada em revisão bibliográfica e análise comparativa de experiências internacionais, avaliando casos concretos de implementação da precificação do carbono em diferentes países. Além disso, discute-se o potencial das novas tecnologias, como *blockchain* e inteligência artificial, para aprimorar a rastreabilidade das emissões e garantir maior transparência e eficiência na aplicação desses mecanismos.

2. Tributação do carbono: conceitos e aplicação prática

A tributação do carbono consiste na imposição de um custo econômico sobre a emissão de GEE, normalmente expresso em dólares ou euros por tonelada de dióxido de carbono equivalente (CO₂e)¹. Esse tributo pode incidir de duas formas principais: diretamente sobre as emissões ou sobre combustíveis fósseis, conforme seu teor de carbono.

A Suécia é frequentemente citada como um caso bem-sucedido de tributação do carbono. Desde 1991, o país implementou um *carbon tax* progressivo, atualmente fixado em aproximadamente US\$ 130 por tonelada de CO₂e. Esse modelo levou a uma redução significativa das emissões sem comprometer o crescimento econômico. Outros países, como Canadá e Finlândia, também adotaram esquemas semelhantes.

No entanto, a tributação do carbono enfrenta desafios. Críticos argumentam que, caso mal desenhada, essa medida pode ter efeitos regressivos, onerando desproporcionalmente consumidores de baixa renda². Além disso, setores indus-

¹ BARANZINI, Andrea; GOLDEMBERG, José; SPECK, Stefan. *A future for carbon taxes: an ecological economic perspective*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2000.

² TIMILSINA, Govinda R. Carbon taxes. *Journal of Economic Literature*, v. 60, n. 4, p. 1456-1502, 2022.

triais intensivos em carbono podem deslocar suas operações para países sem esse tipo de tributação, um fenômeno conhecido como fuga de carbono³.

3. A fuga de carbono

A fuga de carbono representa um desafio significativo para políticas climáticas eficazes, pois pode minar os esforços de descarbonização e deslocar as emissões de gases de efeito estufa para regiões com regulamentação ambiental mais frouxa. Esse fenômeno ocorre por meio de dois canais principais: o mercado de combustíveis fósseis e a competitividade industrial⁴.

O primeiro refere-se ao impacto da redução da demanda por combustíveis fósseis nos países que adotam a precificação do carbono, o que pode levar à queda dos preços globais dessas *commodities*, incentivando seu consumo em países sem políticas climáticas restritivas⁵. O segundo canal está relacionado à realocação da produção de setores intensivos em carbono para regiões onde os custos ambientais são menores, o que pode comprometer a eficácia das políticas ambientais em escala global⁶.

A fuga de carbono pelo mercado de combustíveis ocorre porque a diminuição da demanda por petróleo, carvão e gás natural nos países que adotam restrições ambientais pode reduzir os preços no mercado internacional. Essa redução pode aumentar a competitividade desses combustíveis em países onde não há mecanismos de precificação de carbono, levando a um aumento na sua utilização e, conseqüentemente, nas emissões globais.

A precificação de carbono e seus impactos na redução das emissões globais são amplamente debatidos na literatura econômica. Alguns estudos indicam que, em determinados cenários, o deslocamento da demanda para países sem políticas climáticas rígidas pode resultar em um aumento líquido de emissões globais, fenômeno conhecido como *carbon leakage*⁷. Esse risco é particularmente relevante

³ FISCHER, Carolyn; FOX, Alan K. Comparing policies to combat emissions leakage: border carbon adjustments versus rebates. *Journal of Environmental Economics and management*, v. 64, n. 2, p. 199-216, 2012.

⁴ BÖHRINGER, Christoph; FISCHER, Carolyn; ROSENDAHL, Knut E.; RUTHERFORD Thomas F. Potential impacts and challenges of border carbon adjustments. *Nature Climate Change*, v. 12, n. 1, p. 22-29, 2022.

⁵ GERLAGH, Reyer; KUIK, Onno. Spill or leak? Carbon leakage with international technology spillovers: a CGE analysis. *Energy Economics*, v. 45, p. 381-388, 2014. BÖHRINGER, Christoph; FISCHER, Carolyn; ROSENDAHL, Knut E.; RUTHERFORD Thomas F. Potential impacts and challenges of border carbon adjustments. *Nature Climate Change*, v. 12, n. 1, p. 22-29, 2022.

⁶ BRANGER, Frédéric; QUIRION, Philippe. Would border carbon adjustments prevent carbon leakage and heavy industry competitiveness losses? Insights from a meta-analysis of recent economic studies. *Ecological Economics*, v. 99, p. 29-39, 2014. FISCHER, Carolyn; FOX, Alan K. Comparing policies to combat emissions leakage: border carbon adjustments versus rebates. *Journal of Environmental Economics and management*, v. 64, n. 2, p. 199-216, 2012.

⁷ CLORA, Francesco; YU, Wusheng. GHG emissions, trade balance, and carbon leakage: Insights

em mercados interligados, onde produtores de combustíveis fósseis ajustam a oferta de acordo com variações da demanda global, o que pode compensar parte das reduções obtidas por países que adotam precificação de carbono. Além disso, a competitividade comercial pode ser afetada, especialmente quando países com políticas climáticas mais rígidas perdem participação de mercado para nações que não implementam mecanismos de precificação⁸.

O segundo canal de fuga de carbono, relacionado à competitividade industrial, ocorre quando indústrias intensivas em emissões migram para regiões onde não há custos regulatórios associados ao carbono. Setores como siderurgia, cimento, química e refinarias são particularmente vulneráveis a esse efeito, pois seus custos de produção são altamente sensíveis às variações nos preços da energia e à introdução de impostos ou cotas sobre emissões⁹.

A realocação da produção pode gerar um impacto econômico adverso para países que adotam políticas climáticas ambiciosas, resultando na perda de empregos e na redução da atividade industrial¹⁰. Esse efeito também pode levar a um paradoxo ambiental: enquanto um país reduz suas emissões internas, ele indiretamente estimula um aumento nas emissões em outro país, tornando o efeito líquido da política potencialmente insignificante ou até negativo¹¹.

A magnitude da fuga de carbono varia de acordo com a estrutura dos mercados, a elasticidade da demanda por combustíveis fósseis e a capacidade dos países de mitigarem esses impactos. Para pequenos países abertos à economia

from modeling thirty-one European decarbonization pathways towards 2050. *Energy Economics*, v. 113, p. 106240, 2022.

⁸ PAN, Jingjing; CROSS, Jamie L.; ZOU, Xiaomin; ZHANG, Bo. To tax or to trade? A global review of carbon emissions reduction strategies. *Energy Strategy Reviews*, v. 55, p. 101508, 2024. Disponível em: 10.1016/j.esr.2023.101508. Acesso em: 20 jan. 2025. PAN, Ling; CHEN, Haoran; DU, Zhi-qiang. The rebound effect of fossil fuel demand and carbon leakage in large economies. *Energy Economics*, v. 123, p. 106789, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0140988324001553>.

⁹ BÖHRINGER, Christoph; FISCHER, Carolyn; ROSENDAHL, Knut E.; RUTHERFORD Thomas F. Potential impacts and challenges of border carbon adjustments. *Nature Climate Change*, v. 12, n. 1, p. 22-29, 2022.

¹⁰ REINAUD, Julia. *Issues behind competitiveness and carbon leakage: focus on heavy industry*. Paris: International Energy Agency, 2009. DEGIRMENCI, Tunahan; AYDIN, Mehmet. The effects of environmental taxes on environmental pollution and unemployment: a panel co integration analysis on the validity of double dividend hypothesis for selected African countries. *International Journal of Finance & Economics*, v. 28, n. 3, p. 2231-2238, 2023. CASTELLANOS, Kenneth; HEUTEL, Garth. Unemployment, labor mobility, and climate policy. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, v. 11, n. 1, p. 1-40, 2024.

¹¹ BRANGER, Frédéric; QUIRION, Philippe. Would border carbon adjustments prevent carbon leakage and heavy industry competitiveness losses? Insights from a meta-analysis of recent economic studies. *Ecological Economics*, v. 99, p. 29-39, 2014. VERDE, Stefano F. The impact of the EU emissions trading system on competitiveness and carbon leakage: the econometric evidence. *Journal of Economic Surveys*, v. 34, n. 2, p. 320-343, 2020.

global, a fuga de carbono pode reduzir significativamente os benefícios de políticas climáticas unilaterais¹². Modelos computáveis de equilíbrio geral indicam que a taxa de fuga de carbono pode variar entre 5% e 30%, dependendo do grau de diferenciação dos produtos e da existência de mecanismos compensatórios, como subsídios à inovação ou ajustes na fronteira de carbono¹³.

4. O border carbon adjustment (BCA)

O *border carbon adjustment* (BCA), ou ajuste de fronteira para o carbono, pode ser definido como um instrumento de política fiscal e climática que impõe tributo ou tarifas sobre bens importados com base na intensidade de carbono incorporada em sua produção. Seu objetivo principal é mitigar a “fuga de carbono”¹⁴.

O BCA visa, primeiramente, equilibrar a competitividade das indústrias domésticas ao impor custos similares aos produtos estrangeiros que não estão sujeitos a uma precificação de carbono equivalente no país exportador. Dessa forma, atua como um complemento aos mercados de carbono nacionais ou impostos sobre emissões, evitando desvantagens competitivas para setores intensivos em energia e emissões¹⁵.

Além de seu papel na proteção da indústria doméstica, o BCA também serve como um mecanismo para a harmonização da precificação do carbono em escala global. Em vez de ser apenas uma barreira comercial para produtos de países com regulamentação climática mais branda, ele pode funcionar como um incentivo para que essas nações adotem suas próprias políticas de precificação de carbono. Em um modelo bem estruturado, os exportadores que já adotam tributos sobre carbono ou participam de mercados de emissões podem receber isenções ou créditos para evitar a dupla tributação, promovendo uma convergência regulatória entre diferentes jurisdições¹⁶.

¹² GREEN, Jessica F. Does carbon pricing reduce emissions? A review of ex-post analyses. *Environmental Research Letters*, v. 16, n. 4, p. 43004, 2021. Disponível em: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/abdae9?utm_campaign=erl_usage&utm_medium=email&utm_source=internal_list&utm_id=24291&Campaign+Owner=Hazel+Rowland&utm_campaign=-24291-54702&utm_content=ERL%20article&utm_term=&utm_medium=email&utm_source=iop. Acesso em: 3 fev. 2025.

¹³ LUDENA; Carlos; NETTO, Maria. *Estudos sobre mercado de carbono no Brasil: análise da alocação de permissões*. São Paulo: BID, 2015. THE WORLD BANK. *Carbon pricing in the power sector*. Washington, D.C.: The World Bank, ICAP, IEA, 2024.

¹⁴ FREMSTAD, Anders; PAUL, Mark. The impact of a carbon tax on inequality. *Ecological Economics*, v. 163, p. 88-97, 2019.

¹⁵ MEHLING, Michael A.; VAN ASSELT, Harro; DAS, Kasturi; DROEGE, Susanne; VERKUIKL, Cleo. Designing border carbon adjustments for enhanced climate action. *American Journal of International Law*, v. 113, n. 3, p. 433-481, 2019. BÖHRINGER, Christoph; FISCHER, Carolyn; ROSENDAHL, Knut E.; RUTHERFORD Thomas F. Potential impacts and challenges of border carbon adjustments. *Nature Climate Change*, v. 12, n. 1, p. 22-29, 2022.

¹⁶ BELLORA, Cecilia; FONTAGNÉ, Lionel. EU in search of a Carbon Border Adjustment Mecha-

Esse último aspecto reforça a função do BCA como recurso diplomático para incentivar a adoção de padrões ambientais mais rigorosos ao redor do mundo, garantindo que a redução de emissões ocorra de maneira coordenada e eficaz, sem distorções no comércio internacional¹⁷.

A tributação ou tarifas dos produtos importados toma como base a quantidade de carbono embutido em sua produção, de modo a equivaler ao valor do tributo de carbono aplicado a produtos domésticos. Se um país aplica US\$ 10 por tonelada de CO₂ sobre produtos nacionais, os importados da mesma categoria também pagam esse valor, caso tenham emissões incorporadas equivalentes. Os países que possuam um tributo de carbono próprio podem receber descontos ou isenções, caso demonstrem que já cobram um preço equivalente pelo carbono emitido¹⁸.

Podem-se prever, alternativa ou cumulativamente, reembolsos de impostos sobre carbono para produtos exportados, de modo a garantir que as empresas domésticas consigam competir em mercados internacionais onde não há taxaço sobre emissões¹⁹.

5. A regulamentação do *carbon border adjustment*

Com a necessidade de redução de emissões de gases do efeito estufa e a crescente adoção de tributos sobre carbono e mercados de emissões ao redor do mundo, o BCA tem se mostrado um importante instrumento para garantir que os produtos importados estejam sujeitos a regras semelhantes às impostas sobre bens produzidos domesticamente, evitando distorções competitivas e incentivando uma transição global para economias de baixo carbono. Diversos países ou já o adotam ou avaliam sua adoção.

Na União Europeia, o Regulamento 2023/956 instituiu o Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM), impondo tarifas sobre produtos importados altamente intensivos em carbono, como ferro, aço, cimento, alumínio e fertilizantes. A alíquota é calculada com base no preço do carbono no mercado europeu de emissões (EU ETS), garantindo que as importações não tenham vantagens sobre produtos locais. As empresas exportadoras para a UE precisam declarar as emis-

nism. *Energy Economics*, v. 123, p. 106673, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0140988323001718>. Acesso em: 20 jan. 2025.

¹⁷ KEEN, Michael; PARRY, Ian; ROAF, James. Border carbon adjustments: rationale, design and impact. *Fiscal Studies*, v. 43, n. 3, p. 209-234, 2022.

¹⁸ MEHLING, Michael A.; VAN ASSELT, Harro; DAS, Kasturi; DROEGE, Susanne; VERKUIKL, Cleo. Designing border carbon adjustments for enhanced climate action. *American Journal of International Law*, v. 113, n. 3, p. 433-481, 2019.

¹⁹ FREMSTAD, Anders; PAUL, Mark. The impact of a carbon tax on inequality. *Ecological Economics*, v. 163, p. 88-97, 2019.

sões associadas aos seus produtos. Caso os países de origem não possuam um tributo de carbono equivalente, a tarifa será aplicada²⁰.

Além da União Europeia, outros países e blocos econômicos têm adotado – ou pelo menos cogitam – medidas de ajuste de carbono na fronteira. No Canadá, o governo federal anunciou, em 2022, a intenção de explorar um ajuste de carbono na fronteira, em complemento ao Canadian Output-Based Pricing System (OBPS), um sistema que regula emissões industriais e impõe custos para empresas que ultrapassem seus limites. Em 2023, um relatório oficial avaliou setores vulneráveis, como aço, cimento e fertilizantes, reforçando a necessidade de um BCA para evitar a fuga de carbono e proteger a competitividade da indústria canadense²¹.

No Reino Unido, após o Brexit, autoridades britânicas iniciaram consultas públicas sobre a viabilidade de um BCA próprio, especialmente para os setores de aço e energia. Em dezembro de 2023, o governo britânico confirmou que adotaria seu próprio CBAM a partir de 2027. Embora o CBAM do Reino Unido (UK CBAM) tenha a intenção de desempenhar a mesma função que o CBAM da União Europeia e seja semelhante em muitos aspectos, há várias diferenças importantes. O esquema britânico se propõe a envolver o ferro, o aço, o alumínio, fertilizantes, hidrogênio, cerâmica, vidro e cimento. Portanto, diferente do CBAM da UE, cerâmica e vidro serão incluídos, mas a eletricidade importada não²².

Nos Estados Unidos, o *Clean Competition Act* (CCA), proposto em 2022, prevê a adoção de tarifas sobre produtos importados com base em sua intensidade de carbono, visando proteger indústrias locais que já cumprem regulamentações ambientais mais rigorosas e incentivar a redução global de emissões²³. A proposta visa criar uma vantagem competitiva para as empresas americanas, garantindo que produtos estrangeiros sejam tributados caso sejam mais poluentes do que os equivalentes nacionais²⁴.

²⁰ BELLORA, Cecilia; FONTAGNÉ, Lionel. EU in search of a Carbon Border Adjustment Mechanism. *Energy Economics*, v. 123, p. 106673, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0140988323001718>. Acesso em: 20 jan. 2025.

²¹ CANADA. Department of Finance. *Exploring a canadian carbon border adjustment*. Ottawa: Government of Canada, 2023.

²² AYLETT, Chris; FROGGATT, Antony; XIE, Chengkai. *The United Kingdom's Strategy for carbon border adjustment in a changing global landscape*. London: International Institute for Sustainable Development, 2024.

²³ KOPP, Raymond; PIZER, William; RENNERT, Kevin. *Carbon border adjustments: design elements, options, and policy decisions*. Resources for the Future Report. 2023. Disponível em: https://media.rff.org/documents/Report_23-14.pdf. Acesso em: 3 fev. 2025.

²⁴ SCHOTT, Jeffrey J.; HOGAN, Megan. *Is South Korea vulnerable to EU and US carbon border restrictions?* Peterson Institute for International Economics Policy Brief, 2022. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4175318. Acesso em: 3 fev. 2025. HUFBAUER, Garry C.; SCHOTT, Jeffrey J.; HOGAN, Megan; KIM, Jisun. *EU Carbon Border Adjustment Mechanism faces many challenges*. Peterson Institute for International Economics, 2022. Disponível em:

No entanto, o projeto enfrenta forte resistência de setores industriais e grupos empresariais, que temem aumento dos custos de produção e possíveis retaliações comerciais de parceiros como Canadá e México²⁵. Como os Estados Unidos não possuem um mercado de carbono federal consolidado, a implementação de um BCA pode ser contestada sob regras da Organização Mundial do Comércio (OMC) e do United States-Mexico-Canada Agreement (USMCA), pois os países afetados podem argumentar que a política representa uma barreira comercial disfarçada²⁶.

Não se podem desconsiderar as dificuldades políticas adicionais. A posição dos países em relação à política ambiental tem oscilado de forma significativa entre os governos, especialmente com as mudanças drásticas implementadas durante a administração Trump de 2017 a 2021, que promoveu a desregulamentação ambiental e retirou o país do Acordo de Paris. Embora o governo Biden tenha reingressado no acordo e anunciado medidas ambiciosas de transição energética, como o *Inflation Reduction Act* de 2022, persiste o risco de que a dependência do consumo doméstico por combustíveis fósseis se projete sobre cadeias internacionais. Dado o tamanho da economia americana, essa demanda reprimida pode deslocar o consumo de carbono para outros países com políticas climáticas menos restritivas, comprometendo os esforços globais de transição para energias renováveis²⁷. O quadro se tem deteriorado com o retorno de Trump para um segundo mandato. Houve nova retirada dos Estados Unidos do Acordo de Paris, por meio da Ordem Executiva 14.162. A Ordem Executiva 14.260 visou bloquear leis estaduais relacionadas ao clima, refletindo um descompromisso com os esforços globais de redução de emissões²⁸. Essas ações, aliadas à promoção da produção do-

<https://www.piie.com/publications/policy-briefs/2022/eu-carbon-border-adjustment-mechanism-faces-many-challenges>. Acesso em: 5 fev. 2025.

²⁵ KOPP, Raymond; PIZER, William; RENNERT, Kevin. *Carbon border adjustments: design elements, options, and policy decisions*. Resources for the Future Report. 2023. Disponível em: https://media.rff.org/documents/Report_23-14.pdf. Acesso em: 3 fev. 2025.

²⁶ SCHOTT, Jeffrey J.; HOGAN, Megan. *Is South Korea vulnerable to EU and US carbon border restrictions?* Peterson Institute for International Economics Policy Brief, 2022. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4175318. Acesso em: 3 fev. 2025.

²⁷ KOPP, Raymond; PIZER, William; RENNERT, Kevin. *Carbon border adjustments: design elements, options, and policy decisions*. Resources for the Future Report. 2023. Disponível em: https://media.rff.org/documents/Report_23-14.pdf. Acesso em: 3 fev. 2025. PAN, Jingjing; CROSS, Jamie L.; ZOU, Xiaomin; ZHANG, Bo. To tax or to trade? A global review of carbon emissions reduction strategies. *Energy Strategy Reviews*, v. 55, p. 101508, 2024. Disponível em: [10.1016/j.esr.2023.101508](https://doi.org/10.1016/j.esr.2023.101508). Acesso em: 20 jan. 2025. PAN, Ling; CHEN, Haoran; DU, Zhiqiang. The rebound effect of fossil fuel demand and carbon leakage in large economies. *Energy Economics*, v. 123, p. 106789, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0140988324001553>.

²⁸ ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA (EUA). Executive Order 14162: Putting America First in International Environmental Agreements. Washington, D.C.: The White House, 2025. Disponível em: <https://www.presidency.ucsb.edu/documents/executive-order-14162-putting-america-first-in>

méstica de combustíveis fósseis e ao desmantelamento de programas federais de pesquisa climática, podem comprometer a integridade dos mercados de carbono e dificultar a cooperação internacional necessária para enfrentar as mudanças climáticas²⁹.

A China lançou em 2021 o Chinese National Carbon Market, que estabelece um sistema de comércio de emissões para setores industriais específicos. Embora o país não tenha adotado oficialmente um BCA, há discussões internas sobre sua viabilidade, especialmente diante do CBAM europeu, que pode impactar significativamente as exportações chinesas³⁰. Japão e Coreia do Sul avaliam a adoção de um BCA para proteger suas indústrias da concorrência internacional e evitar distorções comerciais associadas a mercados sem precificação de carbono. O Japão implementou uma taxa sobre emissões de CO₂ e avança na criação de um mercado de carbono nacional vinculado à GX League, com previsão de funcionamento total até 2026.

A Coreia do Sul instituiu um sistema nacional de comércio de emissões em 2015, conhecido como Korean Emissions Trading System (K-ETS), abrangendo setores de energia, transporte e manufatura. O governo sul-coreano estuda a introdução de um BCA para evitar impactos do sistema de ajuste europeu e proteger a competitividade de suas indústrias. O mecanismo poderia impor tarifas sobre importações de bens intensivos em carbono, mas ainda não há um plano formal de implementação. No entanto, há oposição da indústria pesada, que teme o aumento dos custos, além dos riscos de disputas comerciais com parceiros asiáticos, que podem considerar a medida um protecionismo disfarçado³¹. Pequenas e médias empresas sul-coreanas podem enfrentar dificuldades caso o país decida adotar um BCA, pois o ajuste exigiria uma reestruturação das cadeias de suprimentos e maior transparência na medição das emissões de carbono³².

ternational-environmental-agreements. Acesso em: 21 abr. 2025. ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA (EUA). Executive Order 14260: Protecting American Energy From State Overreach. Washington, D.C.: The White House, 2025. Disponível em: <https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/2025/04/protecting-american-energy-from-state-overreach/>. Acesso em: 21 abr. 2025.

²⁹ MILMAN, Oliver. White House outlines plan to gut NOAA, smother climate research. *The Guardian*, 11 abr. 2025. Disponível em: <https://www.politico.com/news/2025/04/11/white-house-plan-guts-noaa-climate-research-00286408>. Acesso em: 21 abr. 2025.

³⁰ KIM, Minsu. Border carbon adjustment (BCA) and heterogeneous firms trade. *The World Economy*, v. 48, n. 1, p. 90-118, 2025.

³¹ IN, Soh Y.; ZEGAS, Greg; BAEK; Yong J. State-led carbon data value chain development: a case study of the Republic of Korea. *Climate Policy*, p. 1-18, 2024. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14693062.2024.2371385#abstract>. Acesso em: 3 fev. 2025. KIM, Minsu. Border carbon adjustment (BCA) and heterogeneous firms trade. *The World Economy*, v. 48, n. 1, p. 90-118, 2025.

³² MO, Jung Y. Do environmental policy and innovation improve carbon productivity? Evidence from the Korean Emission Trading Scheme. *Energy & Environment*, v. 34, n. 3, p. 445-462, 2023.

Na América Latina, países como Brasil, Chile, Colômbia e México aprovaram a tributação do carbono, mas ainda não implementaram um BCA formal. Esses países estão sendo pressionados por seus parceiros comerciais para compatibilizar suas políticas ambientais a padrões internacionais e internamente haveria pressões a aprofundar tratativas destinadas a minorar o impacto do CBAM europeu sobre suas exportações³³.

A Austrália, que revogou seu imposto sobre carbono em 2014, está reconsiderando mecanismos para regular emissões industriais diante das mudanças no cenário regulatório global. Em 2023, o governo fortaleceu o “Safeguard Mechanism”, que impõe limites obrigatórios de emissões para grandes indústrias. Há estudos sobre a possibilidade de um BCA vinculado a esse sistema, especialmente para proteger setores expostos a concorrência internacional e alinhar a política australiana ao CBAM europeu e às futuras iniciativas dos EUA. No entanto, ainda não há um plano formal de implementação, e a proposta enfrenta desafios políticos e comerciais³⁴.

6. Os problemas do *carbon tax adjustment*

A adoção do *carbon tax adjustment* (CTA) enfrenta dificuldades técnicas, econômicas, políticas e jurídicas que podem comprometer sua efetividade e aceitação no comércio global. Um de seus maiores desafios é a complexidade na determinação das emissões de carbono embutidas em cada produto importado. Setores industriais possuem cadeias produtivas extensas e diversificadas, o que torna a medição das emissões um processo tecnicamente difícil e sujeito a divergências metodológicas. Produtos como aço, alumínio e cimento podem ser fabricados utilizando diferentes fontes de energia e processos industriais, o que resulta em impactos ambientais distintos.

A ausência de um padrão internacional harmonizado para quantificar as emissões incorporadas nas mercadorias dificulta a aplicação equitativa do imposto. Países com regulamentações distintas podem apresentar cálculos divergentes, gerando incerteza regulatória e possíveis disputas comerciais. Além disso, a rastreabilidade do carbono ao longo da cadeia produtiva é um problema técnico, pois fornecedores de insumos podem não divulgar com precisão suas emissões ou utilizar metodologias distintas para medi-las³⁵. Esse problema se agrava no caso

³³ DOMINIONI, Goran; ESTY, Daniel C. Designing effective Border Carbon Adjustment Mechanisms: aligning the global trade and climate change regimes. *Arizona Law Review*, v. 65, p. 1-41, 2023.

³⁴ DEANE, Felicity; MACHARIA, Joseph; MELLICK, Zoe; MAGUIRE, Rowena; MANNION, Jack. *The Safeguard Mechanism: risk versus reward for agriculture*. Queensland University of Technology, 2023. Disponível em: https://eprints.qut.edu.au/246250/1/Final_Project_Report_.pdf. Acesso em: 20 jan. 2025.

³⁵ BELLORA, Cecilia; FONTAGNÉ, Lionel. EU in search of a Carbon Border Adjustment Mecha-

de produtos de alto valor agregado, cujos insumos e componentes podem ser originários de diversos países com regulamentações ambientais diferentes³⁶.

Outro grande desafio é o risco de manipulação de dados e *greenwashing*. Algumas empresas podem tentar maquiagem suas emissões para evitar a tributação ou minimizar seus impactos. O *greenwashing* ocorre quando uma companhia declara um desempenho ambiental melhor do que o real, enganando consumidores e reguladores. Para evitar a tributação, elas também podem terceirizar parte da produção para fornecedores menos transparentes, dificultando a fiscalização e a verificação de dados sobre emissões³⁷.

Além disso, governos de países exportadores podem incentivar suas indústrias a relatarem emissões artificialmente reduzidas para garantir competitividade no mercado internacional. Sem um sistema inteligente e integrado de monitoramento e auditoria independente, o CBA corre o risco de ser ineficaz e de se tornar um mecanismo protecionista, em vez de um instrumento legítimo de precificação do carbono³⁸.

O ajuste aduaneiro também enfrenta forte resistência, especialmente por parte de países exportadores como China, Índia e Rússia. Alega-se que se trata de protecionismo disfarçado, contrariando as regras da Organização Mundial do Comércio (OMC). O Acordo Geral sobre Tarifas e Comércio (GATT) estabelece que medidas tarifárias devem respeitar o princípio da não discriminação, garantindo que produtos importados sejam tratados da mesma forma que os bens produzidos domesticamente³⁹.

No entanto, em seu artigo XX, prevê exceções às obrigações gerais de não discriminação, permitindo a adoção de medidas restritivas ao comércio quando necessárias para proteger a vida ou a saúde humana, animal ou vegetal (alínea *b*), ou para a conservação de recursos naturais esgotáveis (alínea *g*), desde que essas

nism. *Energy Economics*, v. 123, p. 106673, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0140988323001718>. Acesso em: 20 jan. 2025.

³⁶ DEMIRAL, Mehmet; DEMIRAL, Özge. Global value chains participation and trade-embodied net carbon exports in group of seven and emerging seven countries. *Journal of Environmental Management*, v. 347, p. 119027, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479723018157>. Acesso em: 3 fev. 2025.

³⁷ CHEN, Qi; DUAN, Yongrui. Impact of information disclosure on global supply chain greenwashing: is more information transparency always better? *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, v. 178, p. 103288, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1366554523002764>. Acesso em: 3 fev. 2025.

³⁸ DOMINIONI, Goran; ESTY, Daniel C. Designing effective Border Carbon Adjustment Mechanisms: aligning the global trade and climate change regimes. *Arizona Law Review*, v. 65, p. 1-41, 2023.

³⁹ CHAKRABORTY, Debashis; DEY, Oindrila. *Influence of WTO and global dynamics on trade flows: a machine-generated literature overview*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2024.

medidas não sejam aplicadas de forma arbitrária ou discriminatória nem constituam uma restrição disfarçada ao comércio internacional.

A jurisprudência do Órgão de Apelação da OMC, em casos como “US – Gasoline” de 1996, “Brazil – Retreaded Tyres” de 2007 e “US – Shrimp” de 1998, confirma que medidas ambientais podem ser consideradas compatíveis com o GATT, desde que respeitem os requisitos de necessidade, proporcionalidade e ausência de discriminação arbitrária. Um mecanismo de BCA pode ser juridicamente admissível se for fundamentado em dados científicos, tiver aplicabilidade uniforme a produtos nacionais e importados, não sendo utilizado como proteção disfarçada de setores domésticos⁴⁰.

Se o CTA não apresentar justificativas ambientais consistentes, pode ser interpretado como uma barreira comercial injustificada. Muitos países exportadores veem esse mecanismo como uma tentativa de impor custos adicionais às suas indústrias para proteger mercados domésticos da concorrência estrangeira, em vez de um esforço genuíno para reduzir as emissões globais⁴¹.

Há ainda o risco de retaliações comerciais. Países que se sentirem prejudicados por ajustes de carbono podem recorrer à OMC para contestar sua legalidade ou impor tarifas retaliatórias sobre produtos importados, gerando tensões comerciais e dificultando a cooperação internacional para a mitigação das mudanças climáticas⁴².

Além da oposição externa, o ajuste pode encontrar resistência dentro dos próprios países que pretendem adotá-lo. Algumas indústrias domésticas podem temer o aumento nos custos de produção e o impacto negativo sobre sua competitividade global. Setores altamente dependentes de insumos importados com alto teor de carbono, como a indústria automobilística, aeroespacial e de eletrônicos, podem enfrentar custos adicionais significativos, tornando seus produtos mais caros e menos competitivos. Empresas desses setores operam com margens de lucro relativamente baixas e podem ter dificuldade em repassar esses custos para os consumidores, o que pode resultar na redução da produção e na perda de empregos. Além disso, governos podem enfrentar pressões políticas para conce-

⁴⁰ WORLD TRADE ORGANIZATION. Appellate Body Report, Brazil – Measures Affecting Imports of Retreaded Tyres. WT/DS332/AB/R, 3 Dec. 2007. WORLD TRADE ORGANIZATION. Appellate Body Report, United States – Standards for Reformulated and Conventional Gasoline. WT/DS2/AB/R, 29 Apr. 1996. WORLD TRADE ORGANIZATION. Appellate Body Report, United States – Import Prohibition of Certain Shrimp and Shrimp Products. WT/DS58/AB/R, 12 Oct. 1998.

⁴¹ SAKAI, Masahiko; BARRETT, John. Border carbon adjustments: addressing emissions embodied in trade. *Energy Policy*, v. 92, p. 102-110, 2016.

⁴² BELLORA, Cecilia; FONTAGNÉ, Lionel. EU in search of a Carbon Border Adjustment Mechanism. *Energy Economics*, v. 123, p. 106673, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0140988323001718>. Acesso em: 20 jan. 2025.

der isenções ou reduções de tarifas para setores estratégicos, o que comprometeria a eficácia ambiental do mecanismo⁴³.

As dificuldades administrativas de sua operatividade são outro fator crítico. A criação de um sistema de ajuste de carbono requer uma infraestrutura regulatória sofisticada para monitorar, relatar e verificar emissões de produtos importados. Esse processo pode ser oneroso para governos e empresas, além de gerar um ambiente regulatório incerto e suscetível a disputas jurídicas prolongadas. A falta de uma estrutura padronizada pode resultar em inconsistências na aplicação do tributo e tarifas, prejudicando a previsibilidade para os agentes econômicos⁴⁴. Além disso, a necessidade de coordenação internacional para garantir a aplicação uniforme das regras adiciona um grau extra de complexidade ao processo regulatório.

O CBA pode ainda gerar impactos macroeconômicos negativos, dependendo da sua estrutura e da forma como for aplicado. Se os custos adicionais forem muito elevados, podem levar ao aumento dos preços dos bens importados, pressionando a inflação e afetando consumidores finais, especialmente em países que dependem de importações para suprir suas necessidades energéticas e industriais⁴⁵.

A adoção desse mecanismo pode levar à reconfiguração das cadeias globais de suprimentos, com empresas buscando evitar tributos ao deslocar a produção para países que não aplicam o ajuste de carbono. Esse efeito pode gerar distorções no comércio global, levando à formação de blocos comerciais entre países com políticas climáticas semelhantes, enquanto outros adotariam estratégias para evitar a tributação, reduzindo a eficácia do mecanismo⁴⁶.

7. As justificativas e superações dos desafios do *carbon tax adjustment*

A adoção dos *border carbon adjustments* (BCAs) é forma de promoção da justiça fiscal e de garantia de competitividade no comércio global, pois impede que empresas de países com regulamentações ambientais mais rigorosas sejam prejudicadas por concorrentes que operam em mercados sem tributos sobre carbono.

⁴³ REINAUD, Julia. *Issues behind competitiveness and carbon leakage: focus on heavy industry*. Paris: International Energy Agency, 2009.

⁴⁴ FISCHER, Carolyn; FOX, Alan K. Comparing policies to combat emissions leakage: border carbon adjustments versus rebates. *Journal of Environmental Economics and management*, v. 64, n. 2, p. 199-216, 2012.

⁴⁵ HUFBAUER, Garry C.; SCHOTT, Jeffrey J.; HOGAN, Megan; KIM, Jisun. *EU Carbon Border Adjustment Mechanism faces many challenges*. Peterson Institute for International Economics, 2022. Disponível em: <https://www.piie.com/publications/policy-briefs/2022/eu-carbon-border-adjustment-mechanism-faces-many-challenges>. Acesso em: 5 fev. 2025.

⁴⁶ BÖHRINGER, Christoph; FISCHER, Carolyn; ROSENDAHL, Knut E.; RUTHERFORD Thomas F. Potential impacts and challenges of border carbon adjustments. *Nature Climate Change*, v. 12, n. 1, p. 22-29, 2022.

Evita-se ou pelo menos reduz-se, assim, o risco de desindustrialização e de perda de competitividade das empresas que atuam em lugares onde existe a tributação sobre o carbono⁴⁷. Como seria previsível, a precificação de carbono pode aumentar os custos de produção de setores intensivos em emissões, como aço, cimento, alumínio e produtos químicos, tornando-os menos competitivos em comparação com concorrentes estrangeiros sem políticas semelhantes⁴⁸. Ao impor ajustes na fronteira, os BCAs garantem que importadores enfrentem os mesmos encargos que os produtores domésticos, reduzindo as vantagens competitivas decorrentes da ausência de regulação ambiental.

Além de proteger as indústrias domésticas, os BCAs podem incentivar países exportadores a adotarem precificação de carbono para evitar a taxação na entrada de seus produtos em mercados regulados. Assim, os BCAs acabam servindo de estímulo para a convergência de políticas climáticas globais e a criação de um piso de precificação de carbono internacionalmente aceito⁴⁹.

As dificuldades legais, notadamente de compatibilidade às normas do GATT, podem ser superadas com a estruturação adequada e justificativas convincentes do BCA. Se um país aplicar sobre importações um ajuste de carbono excessivo ou arbitrário, sem base científica consistente sobre as emissões embutidas nesses produtos, ele poderá ser processado no sistema de resolução de disputas da OMC⁵⁰. A transparência na metodologia de cálculo do ajuste, portanto, é essencial para sua aceitação no comércio internacional. Caso seja imposto um tributo sobre produtos importados com base em estimativas genéricas ou sem um método claro de quantificação das emissões reais, ele poderá ser acusado de subjetividade e discriminação comercial⁵¹.

Claro está que o sistema deve estar fundamentado nas diretrizes de organizações internacionais como a OMC e do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). Notadamente em relação à OMC, os países devem se-

⁴⁷ BELLORA, Cecilia; FONTAGNÉ, Lionel. EU in search of a Carbon Border Adjustment Mechanism. *Energy Economics*, v. 123, p. 106673, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0140988323001718>. Acesso em: 20 jan. 2025.

⁴⁸ KEEN, Michael; PARRY, Ian; ROAF, James. Border carbon adjustments: rationale, design and impact. *Fiscal Studies*, v. 43, n. 3, p. 209-234, 2022.

⁴⁹ BÖHRINGER, Christoph; FISCHER, Carolyn; ROSENDAHL, Knut E.; RUTHERFORD Thomas F. Potential impacts and challenges of border carbon adjustments. *Nature Climate Change*, v. 12, n. 1, p. 22-29, 2022. ZOPOUNIDIS, Constantin; ATSALAKIS, George. Sustainability and climate risk: the economic case for carbon pricing. *Journal of Risk and Financial Management*, v. 16, n. 1, p. 32, 2023.

⁵⁰ SAKAI, Masahiko; BARRETT, John. Border carbon adjustments: addressing emissions embodied in trade. *Energy Policy*, v. 92, p. 102-110, 2016.

⁵¹ DOMINIONI, Goran; ESTY, Daniel C. Designing effective Border Carbon Adjustment Mechanisms: aligning the global trade and climate change regimes. *Arizona Law Review*, v. 65, p. 1-41, 2023.

guir três princípios fundamentais do comércio internacional: a não discriminação, a proporcionalidade e a transparência. Portanto, para que um ajuste de carbono atenda a esses princípios, os BCAs devem: (a) ser aplicados a todas as empresas, domésticas e estrangeiras, de maneira equitativa, sem favorecer indústrias nacionais; (b) refletir unicamente o custo ambiental da produção, sem adicionar tarifas extras que possam ser interpretadas como barreiras comerciais; e (c) utilizar metodologias científicas claras para quantificar as emissões embutidas nos bens importados⁵².

O Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) europeu procurou atender a esses requisitos. Exige-se que importadores relatem as emissões incorporadas nos produtos, com base em metodologias científicas internacionalmente aceitas, e permite que empresas de países estrangeiros que já possuem um imposto sobre carbono equivalente solicitem isenção do ajuste⁵³.

O CBA pode ser pensado e desenvolvido para prevenir ou reduzir o risco de manipulação de dados e *greenwashing* com o emprego da tecnologia *blockchain*, a padronização internacional da medição de emissões, o monitoramento e a auditoria independente para verificar a precisão dos dados. A *blockchain* permite registrar cada transação de carbono de forma imutável, reduzindo o risco de fraudes e manipulação de dados. Esse sistema descentralizado garante transparência e possibilita auditorias em tempo real. Além disso, a *blockchain* pode ser combinada com contratos inteligentes para automatizar a verificação de conformidade com as regras do ajuste, evitando discrepâncias entre os relatórios de emissões das empresas e os dados coletados por autoridades reguladoras.

A padronização dos critérios de medição de emissões de carbono é outra providência importante. A falta de uma metodologia única para calcular as emissões associadas a diferentes produtos tem sido um dos principais desafios do CBAM europeu, pois permite que empresas utilizem diferentes critérios para relatar suas pegadas de carbono. O desenvolvimento de um sistema padronizado de verificação, combinado com um registro público acessível de emissões, pode reduzir as divergências metodológicas e impedir que empresas manipulem dados para evitar a tributação.

⁵² KAREČKAITĚ, E. *Addressing climate change through unilateral action: compatibility of the EU's Carbon Border Adjustment Mechanism with WTO rules*. Lund University, Faculty of Law, 2020. Disponível em: <https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/9012961>. Acesso em: 20 jan. 2025.

⁵³ MEHLING, Michael A.; VAN ASSELT, Harro; DAS, Kasturi; DROEGE, Susanne; VERKUIKL, Cleo. Designing border carbon adjustments for enhanced climate action. *American Journal of International Law*, v. 113, n. 3, p. 433-481, 2019. BELLORA, Cecilia; FONTAGNÉ, Lionel. EU in search of a Carbon Border Adjustment Mechanism. *Energy Economics*, v. 123, p. 106673, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0140988323001718>. Acesso em: 20 jan. 2025.

As auditorias independentes são também fundamentais no processo. As empresas que alegam emissões reduzidas devem ser submetidas a auditorias rigorosas conduzidas por terceiros independentes, garantindo que os dados divulgados correspondam à realidade. Tais auditorias devem seguir padrões internacionalmente reconhecidos, como os protocolos do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) e as normas da International Organization for Standardization (ISO) sobre pegada de carbono.

A rastreabilidade do carbono também pode ser fortalecida por meio de sistemas interligados de monitoramento e verificação, o *monitoring, reporting and verification* (MRV). O uso de inteligência artificial e aprendizado de máquina pode complementar a *blockchain* para identificar discrepâncias nos dados e melhorar a detecção de fraudes. Sistemas automatizados de verificação cruzam informações de múltiplas fontes para assegurar a integridade dos registros de carbono⁵⁴.

Esses expedientes ajudam também a superar os óbices administrativos, apontados pelos críticos do sistema, além de contribuírem para evitar os impactos macroeconômicos negativos e sobre as cadeias de suprimento. Há, como se nota, a necessidade de cooperação internacional. A ausência de um consenso global sobre as métricas e mecanismos de compensação pode resultar em disputas comerciais infundáveis. Por isso, recomenda-se que a regulamentação desses ajustes esteja alinhada com diretrizes de organizações internacionais como a Organização Mundial do Comércio (OMC) e o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). A criação de um banco de dados global padronizado sobre emissões de carbono e processos produtivos pode facilitar essa integração, garantindo maior previsibilidade para os agentes econômicos e reduzindo barreiras comerciais indevidas⁵⁵.

8. Considerações finais

A precificação do carbono, por meio da tributação, tem se consolidado como um instrumento importante nas políticas ambientais e econômicas voltadas à mitigação das mudanças climáticas. A adoção de tributos sobre emissões de gases de efeito estufa (GEE) busca internalizar os custos ambientais das atividades produtivas, incentivando a adoção de tecnologias menos poluentes e promovendo a transição para uma economia de baixo carbono. No entanto, o sucesso dessas iniciativas depende de uma estrutura regulatória adequada, capaz de equilibrar eficiência ambiental e viabilidade econômica.

⁵⁴ GOPAL, Sucharita; PITTS, Josh. *The FinTech Revolution: bridging geospatial data science, AI, and sustainability*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2025.

⁵⁵ GOPAL, Sucharita; PITTS, Josh. *The FinTech Revolution: bridging geospatial data science, AI, and sustainability*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2025.

A tributação do carbono tem demonstrado efeitos positivos na redução das emissões em países como Suécia, Canadá e Finlândia. Entretanto, um dos principais desafios enfrentados por esse meio de precificação é o risco de fuga de carbono. A fuga de carbono pode ocorrer por dois canais principais: a redução da demanda por combustíveis fósseis, que pode provocar queda nos preços globais e incentivar seu consumo em países sem políticas restritivas; e a transferência da produção de setores intensivos em emissões para regiões sem taxaço sobre o carbono.

Modelos econômicos indicam que a taxa de fuga pode variar entre 5% e 30%, dependendo da elasticidade da demanda e da existência de medidas compensatórias. A eficácia da tributação do carbono, portanto, está diretamente relacionada à adoção de estratégias que mitiguem esses efeitos adversos, tais como incentivos à inovação tecnológica e ajustes na fronteira para equalizar os custos ambientais dos bens importados e nacionais.

O *border carbon adjustment* (BCA) tem sido apresentado como uma resposta aos desafios impostos pela fuga de carbono, visando garantir que produtos importados estejam sujeitos a uma precificação compatível com aquela aplicada às mercadorias produzidas domesticamente. O Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) da União Europeia se destaca como uma das iniciativas mais ambiciosas nesse campo, impondo tarifas sobre produtos com alta intensidade carbônica, como ferro, aço, cimento e alumínio. Esse modelo visa tanto proteger a competitividade das indústrias locais quanto incentivar outros países a adotarem medidas semelhantes de precificação do carbono, promovendo uma convergência regulatória em escala global.

A criação de mecanismos de ajuste na fronteira, contudo, enfrenta desafios jurídicos e diplomáticos. Críticos argumentam que tais medidas podem ser interpretadas como barreiras comerciais disfarçadas, contrariando princípios do Acordo Geral sobre Tarifas e Comércio (GATT) da Organização Mundial do Comércio (OMC). Para evitar retaliações e garantir a legitimidade desses instrumentos, é essencial que os ajustes sejam implementados com transparência, baseados em metodologias científicas rigorosas e acompanhados de mecanismos de isenção para países que já aplicam tributos equivalentes sobre emissões.

Além dos desafios regulatórios, a aplicação prática do BCA exige a criação de sistemas sofisticados de monitoramento, verificação e auditoria de emissões embutidas nos produtos. A complexidade das cadeias produtivas e a ausência de um padrão internacional harmonizado para quantificação de emissões dificultam a implementação de um ajuste de carbono efetivo. Tecnologias como *blockchain* e inteligência artificial têm sido sugeridas como ferramentas para garantir a rastreabilidade e transparência dos dados, reduzindo o risco de manipulação e *greenwashing*.

Os impactos macroeconômicos da precificação do carbono e do BCA também devem ser considerados. A elevação dos custos de produção pode afetar a competitividade de setores industriais estratégicos e gerar pressões inflacionárias, especialmente em países com alta dependência de importações de bens intensivos em carbono. Estudos econômicos indicam que políticas de reciclagem de receitas, como a destinação da arrecadação para subsídios à inovação ou para a redução de tributos sobre trabalho e investimento, podem mitigar esses efeitos adversos, tornando a transição para uma economia de baixo carbono mais equilibrada e socialmente aceitável.

A precificação do carbono, aliada a mecanismos de ajuste na fronteira, portanto, apresenta-se como um caminho promissor para compatibilizar crescimento econômico e sustentabilidade ambiental. No entanto, sua eficácia depende de um desenho regulatório cuidadoso, que minimize distorções comerciais, reduza impactos distributivos e promova um ambiente de cooperação internacional. O avanço na harmonização de metodologias de mensuração de emissões e a criação de mecanismos transparentes de governança são passos fundamentais para garantir que essas políticas contribuam de forma efetiva para a mitigação das mudanças climáticas em escala global.

Referências bibliográficas

- AYLETT, Chris; FROGGATT, Antony; XIE, Chengkai. *The United Kingdom's Strategy for carbon border adjustment in a changing global landscape*. London: International Institute for Sustainable Development, 2024. BARANZINI, Andrea; GOLDEMBERG, José; SPECK, Stefan. *A future for carbon taxes: an ecological economic perspective*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2000.
- BELLORA, Cecília; FONTAGNÉ, Lionel. EU in search of a Carbon Border Adjustment Mechanism. *Energy Economics*, v. 123, p. 106673, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0140988323001718>. Acesso em: 20 jan. 2025.
- BÖHRINGER, Christoph; FISCHER, Carolyn; ROSENDAHL, Knut E.; RUTHERFORD Thomas F. Potential impacts and challenges of border carbon adjustments. *Nature Climate Change*, v. 12, n. 1, p. 22-29, 2022.
- BRANGER, Frédéric; QUIRION, Philippe. Would border carbon adjustments prevent carbon leakage and heavy industry competitiveness losses? Insights from a meta-analysis of recent economic studies. *Ecological Economics*, v. 99, p. 29-39, 2014.
- CANDA. Department of Finance. *Exploring a canadian carbon border adjustment*. Ottawa: Government of Canada, 2023.
- CASTELLANOS, Kenneth; HEUTEL, Garth. Unemployment, labor mobility, and climate policy. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, v. 11, n. 1, p. 1-40, 2024.

- CHAKRABORTY, Debashis; DEY, Oindrila. *Influence of WTO and global dynamics on trade flows: a machine-generated literature overview*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2024.
- CHEN, Qi; DUAN, Yongrui. Impact of information disclosure on global supply chain greenwashing: is more information transparency always better? *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, v. 178, p. 103288, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1366554523002764>. Acesso em: 3 fev. 2025.
- CLORA, Francesco; YU, Wusheng. GHG emissions, trade balance, and carbon leakage: Insights from modeling thirty-one European decarbonization pathways towards 2050. *Energy Economics*, v. 113, p. 106240, 2022.
- DEANE, Felicity; MACHARIA, Joseph; MELLICK, Zoe; MAGUIRE, Rowena; MANNION, Jack. *The Safeguard Mechanism: risk versus reward for agriculture*. Queensland University of Technology, 2023. Disponível em: https://eprints.qut.edu.au/246250/1/Final_Project_Report_.pdf. Acesso em: 20 jan. 2025.
- DEGIRMENCI, Tunahan; AYDIN, Mehmet. The effects of environmental taxes on environmental pollution and unemployment: a panel co integration analysis on the validity of double dividend hypothesis for selected African countries. *International Journal of Finance & Economics*, v. 28, n. 3, p. 2231-2238, 2023.
- DEMIRAL, Mehmet; DEMIRAL, Özge. Global value chains participation and trade-embodied net carbon exports in group of seven and emerging seven countries. *Journal of Environmental Management*, v. 347, p. 119027, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479723018157>. Acesso em: 3 fev. 2025.
- DOMINIONI, Goran; ESTY, Daniel C. Designing effective Border Carbon Adjustment Mechanisms: aligning the global trade and climate change regimes. *Arizona Law Review*, v. 65, p. 1-41, 2023.
- ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA (EUA). Executive Order 14162: Putting America First in International Environmental Agreements. Washington, D.C.: The White House, 2025a. Disponível em: <https://www.presidency.ucsb.edu/documents/executive-order-14162-putting-america-first-international-environmental-agreements>. Acesso em: 21 abr. 2025.
- ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA (EUA). Executive Order 14260: Protecting American Energy From State Overreach. Washington, D.C.: The White House, 2025b. Disponível em: <https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/2025/04/protecting-american-energy-from-state-overreach/>. Acesso em: 21 abr. 2025.
- FISCHER, Carolyn; FOX, Alan K. Comparing policies to combat emissions leakage: border carbon adjustments versus rebates. *Journal of Environmental Economics and Management*, v. 64, n. 2, p. 199-216, 2012.

- FREMSTAD, Anders; PAUL, Mark. The impact of a carbon tax on inequality. *Ecological Economics*, v. 163, p. 88-97, 2019.
- GERLAGH, Reyer; KUIK, Onno. Spill or leak? Carbon leakage with international technology spillovers: a CGE analysis. *Energy Economics*, v. 45, p. 381-388, 2014.
- GOPAL, Sucharita; PITTS, Josh. *The FinTech Revolution: bridging geospatial data science, AI, and sustainability*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2025.
- GREEN, Jessica F. Does carbon pricing reduce emissions? A review of ex-post analyses. *Environmental Research Letters*, v. 16, n. 4, p. 43004, 2021. Disponível em: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/abdae9?utm_campaign=erl_usage&utm_medium=email&utm_source=internal_list&utm_id=24291&Campaign+Owner=Hazel+Rowland&utm_campaign=-24291-54702&utm_content=ERL%20article&utm_term=&utm_medium=email&utm_source=iop. Acesso em: 3 fev. 2025.
- HUFBAUER, Garry C.; SCHOTT, Jeffrey J.; HOGAN, Megan; KIM, Jisun. *EU Carbon Border Adjustment Mechanism faces many challenges*. Peterson Institute for International Economics, 2022. Disponível em: <https://www.piie.com/publications/policy-briefs/2022/eu-carbon-border-adjustment-mechanism-faces-many-challenges>. Acesso em: 5 fev. 2025.
- IN, Soh Y.; ZEGAS, Greg; BAEK; Yong J. State-led carbon data value chain development: a case study of the Republic of Korea. *Climate Policy*, p. 1-18, 2024. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14693062.2024.2371385#abstract>. Acesso em: 3 fev. 2025.
- KAREČKAITĚ, E. *Addressing climate change through unilateral action: compatibility of the EU's Carbon Border Adjustment Mechanism with WTO rules*. Lund University, Faculty of Law, 2020. Disponível em: <https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/9012961>. Acesso em: 20 jan. 2025.
- KEEN, Michael; PARRY, Ian; ROAF, James. Border carbon adjustments: rationale, design and impact. *Fiscal Studies*, v. 43, n. 3, p. 209-234, 2022.
- KIM, Minsu. Border carbon adjustment (BCA) and heterogeneous firms trade. *The World Economy*, v. 48, n. 1, p. 90-118, 2025.
- KOPP, Raymond; PIZER, William; RENNERT, Kevin. *Carbon border adjustments: design elements, options, and policy decisions*. Resources for the Future Report. 2023. Disponível em: https://media.rff.org/documents/Report_23-14.pdf. Acesso em: 3 fev. 2025.
- KOPP, Raymond; PIZER, William; RENNERT, Kevin. *Carbon border adjustments in the United States: design possibilities and issues*. Washington, D.C.: Resources for the Future, 2023.
- LUDENA; Carlos; NETTO, Maria. *Estudos sobre mercado de carbono no Brasil: análise da alocação de permissões*. São Paulo: BID, 2015.

- MEHLING, Michael A.; VAN ASSELT, Harro; DAS, Kasturi; DROEGE, Susanne; VERKUIKL, Cleo. Designing border carbon adjustments for enhanced climate action. *American Journal of International Law*, v. 113, n. 3, p. 433-481, 2019.
- MILMAN, Oliver. White House outlines plan to gut NOAA, smother climate research. *The Guardian*, 11 abr. 2025. Disponível em: <https://www.politico.com/news/2025/04/11/white-house-plan-guts-noaa-climate-research-00286408>. Acesso em: 21 abr. 2025.
- MO, Jung Y. Do environmental policy and innovation improve carbon productivity? Evidence from the Korean Emission Trading Scheme. *Energy & Environment*, v. 34, n. 3, p. 445-462, 2023.
- PAN, Jingjing; CROSS, Jamie L.; ZOU, Xiaomin; ZHANG, Bo. To tax or to trade? A global review of carbon emissions reduction strategies. *Energy Strategy Reviews*, v. 55, p. 101508, 2024. Disponível em: 10.1016/j.esr.2023.101508. Acesso em: 20 jan. 2025.
- PAN, Ling; CHEN, Haoran; DU, Zhiqiang. The rebound effect of fossil fuel demand and carbon leakage in large economies. *Energy Economics*, v. 123, p. 106789, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0140988324001553>.
- REINAUD, Julia. *Issues behind competitiveness and carbon leakage: focus on heavy industry*. Paris: International Energy Agency, 2009.
- SAKAI, Masahiko; BARRETT, John. Border carbon adjustments: addressing emissions embodied in trade. *Energy Policy*, v. 92, p. 102-110, 2016.
- SCHOTT, Jeffrey J.; HOGAN, Megan. *Is South Korea vulnerable to EU and US carbon border restrictions?* Peterson Institute for International Economics Policy Brief, 2022. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4175318. Acesso em: 3 fev. 2025.
- STAVINS, Robert N. *Carbon taxes vs. cap and trade: theory and practice*. Cambridge: Harvard Project on Climate Agreements, 2019.
- THE WORLD BANK. *Carbon pricing in the power sector*. Washington, D.C.: The World Bank, ICAP, IEA, 2024.
- TIMILSINA, Govinda R. Carbon taxes. *Journal of Economic Literature*, v. 60, n. 4, p. 1456-1502, 2022.
- VERDE, Stefano F. The impact of the EU emissions trading system on competitiveness and carbon leakage: the econometric evidence. *Journal of Economic Surveys*, v. 34, n. 2, p. 320-343, 2020.
- WORLD TRADE ORGANIZATION. Appellate Body Report, Brazil – Measures Affecting Imports of Retreaded Tyres. WT/DS332/AB/R, 3 Dec. 2007.
- WORLD TRADE ORGANIZATION. Appellate Body Report, United States – Standards for Reformulated and Conventional Gasoline. WT/DS2/AB/R, 29 Apr. 1996.

WORLD TRADE ORGANIZATION. Appellate Body Report, United States – Import Prohibition of Certain Shrimp and Shrimp Products. WT/DS58/AB/R, 12 Oct. 1998.

ZHANG, Zhongxiang. Competitiveness and leakage concerns and border carbon adjustments. *Energy Economics*, v. 34, p. S515-S524, 2012.

ZOPOUNIDIS, Constantin; ATSALAKIS, George. Sustainability and climate risk: the economic case for carbon pricing. *Journal of Risk and Financial Management*, v. 16, n. 1, p. 32, 2023.