

Sobre os efeitos agregados e distributivos da tributação do carbono em Portugal

Zeina Hasna
University of Cambridge

Nuno Lourenço
Banco de Portugal

Cezar Santos
Banco de Portugal,
FGV EPGE e CEPR

Julho 2022

Resumo

Com base no modelo desenvolvido por Cavalcanti *et al.* (2021), quantificam-se os efeitos agregados e distributivos de um imposto sobre o carbono em Portugal. A tributação do carbono induz alterações nos preços relativos e reafetação de fatores produtivos, incluindo o trabalho. Na análise, estima-se o imposto sobre o carbono necessário para que Portugal cumpra o objetivo inicial do Acordo de Paris de uma redução das emissões de 30 a 40%. Este imposto custa à economia portuguesa, no máximo, 1,7% do PIB. Como as metas preconizadas no Acordo de Paris têm sido revistas ao longo do tempo, também se considera o caso do imposto sobre o carbono necessário para que Portugal atinja uma redução de 70% das emissões, que se situa em 80,4%. A análise aponta para efeitos assimétricos entre setores e indivíduos; os trabalhadores com vantagem comparativa nos setores de energia poluente que não se realocam registam as maiores perdas de bem-estar. (JEL: E13, H23, J24.)

1. Introdução

As alterações climáticas são desencadeadas por uma elevada concentração de dióxido de carbono e outros gases de efeito de estufa (GEE) na atmosfera e constituem indubitavelmente a maior externalidade negativa global do mundo. Além de afetarem os ecossistemas em todo o mundo, causam o aquecimento global, a subida do nível do mar ou eventos climáticos extremos mais frequentes. Os seus efeitos económicos são duradouros e heterogéneos entre geografias e estão rodeados de elevada incerteza.

O Acordo de Paris de 2015 preparou o terreno para a resposta internacional às alterações climáticas, levando várias partes a adotar políticas para limitar o aquecimento global a bem abaixo de 2, posteriormente revisto para 1,5 graus Celsius em comparação

Agradecimentos: Os autores agradecem ao editor e a um *referee* anónimo pelos comentários. Estão igualmente gratos a Lucena Vieira pela ajuda com os dados. As opiniões expressas neste artigo são da exclusiva responsabilidade dos autores e não refletem necessariamente as opiniões do Banco de Portugal ou do Eurosistema. Quaisquer erros e omissões são da exclusiva responsabilidade dos autores.

E-mail: zh274@cam.ac.uk; nalourenco@bportugal.pt; cezarsantos.econ@gmail.com

com os níveis pré-industriais. Assim, os países subscritores apresentaram os seus planos de ação climática conhecidos como contribuições nacionalmente determinadas (CNDs), onde comunicaram as ações pretendidas para reduzir as emissões de GEE. Portugal não foi exceção. Como tal, foi delineada uma estratégia de longo prazo para atingir a neutralidade carbónica até 2050, que consistiu na identificação dos principais vetores de descarbonização em todos os setores, as opções de política e as trajetórias de redução de emissões para alcançar esse objetivo em diferentes cenários socioeconómicos.¹

Atualmente, há consenso científico de que as temperaturas a nível global estão a subir e também é quase unânime que os governos estão na raiz da transição para uma economia de baixo carbono. De facto, uma das prescrições de política para combater as alterações climáticas é conhecida há mais de um século, desde o trabalho de Pigou (1920). Ao impor um imposto sobre as emissões de GEE na fonte que deve ser igual ao dano marginal total pelo qual o poluidor não está a pagar, criam-se incentivos para os produtores tornarem as suas atividades menos intensivas em carbono. Uma segunda prescrição de política para a mitigação das alterações climáticas que se baseia no trabalho de Coase (1960) assenta na implementação de licenças de emissão transacionáveis (por exemplo, o mercado de emissões de carbono da União Europeia). Como o dióxido de carbono se espalha rapidamente na atmosfera, os danos causados pela queima de combustíveis fósseis são idênticos, independentemente de onde ocorra a poluição.

Neste artigo, investigam-se os efeitos agregados e distributivos de uma política de mitigação das alterações climáticas em Portugal, em particular de um imposto sobre as emissões de GEE, inspirado na linha de investigação que destaca a eficácia da tributação do carbono na redução das emissões (ver, por exemplo, Golosov *et al.* (2014), Hassler *et al.* (2018) e Hassler *et al.* (2021)). O imposto sobre o carbono induz uma alteração dos preços relativos que se propaga ao resto da economia e leva à reafetação setorial de fatores produtivos, em particular do trabalho. Para tal, recorre-se ao modelo apresentado em Cavalcanti *et al.* (2021) que combina a heterogeneidade na distribuição das aptidões dos trabalhadores e a composição setorial da economia.

Nas análises efetuadas, avaliam-se os impactos económicos da introdução de um imposto sobre o carbono para os produtores de energia "poluente".² As estimativas com base no modelo sugerem que para que Portugal cumpra os objetivos do Acordo de Paris de uma redução de 35 e 70% nas emissões seja necessário um imposto sobre o carbono de 32,9 e 80,4%, respetivamente.³ Os resultados mostram que o imposto sobre o carbono é um instrumento eficaz para Portugal reduzir as suas emissões e atingir

1. Ver <https://descarbonizar2050.apambiente.pt/documentos/> para uma visão geral dos documentos divulgados na sequência do Acordo de Paris.

2. Os setores de energia "poluente" referem-se aos setores de petróleo, carvão e gás natural, enquanto o setor "não poluente" se refere ao setor da energia renovável.

3. Na seu objetivo inicial, Portugal comprometeu-se a reduzir as emissões em 30 a 40% até 2030, abaixo dos níveis de 2005. Posteriormente, Portugal assumiu uma meta de redução de 65 a 75% até 2040, abaixo dos níveis de 2005. Desta forma, consideram-se os pontos médios desses intervalos na análise, respetivamente, 35 e 70%. Ver <https://files.dre.pt/1s/2020/07/13300/0000200158.pdf> para mais detalhes.

as metas climáticas preconizadas no Acordo de Paris. Para além disso, os efeitos do imposto dependem da sua magnitude e da forma como as receitas orçamentais são usadas para financiar a atividade económica. Por exemplo, estima-se que um imposto sobre o carbono de 32,9% (80,4%) custe à economia portuguesa, no máximo, 1,7% (7,5%) do PIB, que corresponde ao cenário mais desfavorável em que o governo não usa as suas receitas orçamentais para financiar a economia. Além disso, o imposto sobre o carbono tem efeitos distributivos expressivos ao nível setorial e dos indivíduos. Os resultados evidenciam efeitos assimétricos entre setores e indivíduos; trabalhadores com vantagem comparativa em setores de energia poluente que não se realocam registam a maior perda de bem-estar.

A parte remanescente deste artigo está estruturada da seguinte forma. A Secção 2 descreve o modelo. A Secção 3 detalha os resultados agregados e a Secção 4 apresenta os resultados setoriais e ao nível dos indivíduos para os cenários de política considerados. A Secção 5 conclui.

2. Modelo

Os cenários de política analisados assentam no modelo multissetorial desenvolvido por Cavalcanti *et al.* (2021), em que a distribuição das aptidões dos trabalhadores é combinada com a composição setorial da economia. Como em Hsieh *et al.* (2019), a escolha da ocupação laboral é determinada endogenamente, assim como a acumulação de capital humano. Considera-se também que os indivíduos vivem durante dois períodos. No primeiro período, os indivíduos tomam em consideração as suas produtividades setoriais específicas para escolher o setor em que trabalham e o seu investimento em capital humano.⁴ No segundo período, os indivíduos trabalham e consomem. O lado da produção da economia consiste em setores produtores de bens intermédios diferenciados, incluindo quatro tipos de energia: petróleo, carvão, gás natural e energia renovável. Existe também um setor de produção do bem final. Nos cenários considerados, introduz-se um imposto sobre o carbono aos produtores de energia poluente, o que, por sua vez, afeta os seus preços. Dadas as conexões intersetoriais na economia, estas alterações nos preços relativos induzem a reafetação de fatores produtivos entre setores, incluindo o trabalho. O mecanismo do modelo é descrito a seguir.

2.1. Famílias

Os indivíduos trabalham em cada um dos J setores de bens intermédios e são dotados de duas unidades de tempo: uma unidade quando são "jovens", que é alocada entre lazer e escolaridade; e uma unidade quando são "velhos" e fornecem a sua mão de obra de forma inelástica a um dos setores de bens intermédios. Considera-se também que há um *continuum* de medida de um desses indivíduos.

4. Aptidão, talento, vantagem comparativa e produtividade são usados de forma permutável ao longo do artigo.

Cada indivíduo obtém utilidade do consumo, c , e do lazer, $1 - s$, através da seguinte função:

$$U = c^\gamma(1 - s), \quad \gamma > 0,$$

onde s designa o tempo despendido em escolaridade no primeiro período de vida e γ controla o peso relativo do consumo na utilidade do indivíduo.

O capital humano para o setor j depende do tempo letivo, s , e dos recursos escolares (por exemplo, propinas), e , e é dado por:

$$h_j(s, e) = s^{\varphi_j} e^\eta.$$

A elasticidade do capital humano em relação ao tempo é específica de cada setor, φ_j , de modo que diferentes setores têm diferentes retornos de escolaridade.

O rendimento do trabalho do indivíduo é dado pelo produto entre o salário por unidade de eficiência no setor j , w_j , a sua aptidão idiossincrática, z_j , e o seu capital humano adquirido para o setor j , $h(s, e)$:

$$I = w_j z_j h_j(s, e).$$

Os indivíduos repartem o seu rendimento entre consumo, c , e gastos em recursos escolares, e :

$$c = w_j z_j h_j(s, e) - e.$$

Dada uma escolha ocupacional, o salário e o talento idiossincrático, z_j , o problema de maximização da utilidade do indivíduo é dado por:

$$U_j(w_j, z_j) = \max_{c, s, e} c^\gamma(1 - s) \quad \text{sujeito a } c = w_j z_j h_j(s, e) - e. \quad (1)$$

A solução deste problema é a seguinte:

$$s_j^* = \frac{1}{1 + \frac{1-\eta}{\gamma\varphi_j}}, \quad (2)$$

$$e_j^*(z_j) = [\eta w_j z_j (s_j^*)^{\varphi_j}]^{\frac{1}{1-\eta}}. \quad (3)$$

Após a substituição das equações (2) e (3) em (1), a utilidade indireta do indivíduo é dada por:

$$U_j^* = \left[w_j z_j s_j^{\varphi_j} (1 - s_j)^{\frac{1-\eta}{\gamma}} \eta^\eta (1 - \eta)^{(1-\eta)} \right]^{\frac{\gamma}{1-\eta}}. \quad (4)$$

2.1.1. Aptidões ocupacionais

Assume-se que cada trabalhador é dotado de um vetor de habilidades idiossincráticas $\{z_j\}_{j=1}^J$ deduzido a partir de uma distribuição multivariada de Fréchet, tal que:

$$F(z_1, \dots, z_J) = \exp \left(- \sum_{j=1}^J (z_j)^{-\lambda} \right), \quad \lambda > 1,$$

onde o parâmetro λ mede a dispersão da produtividade individual entre os setores. Se λ for pequeno, as habilidades dos trabalhadores são mais dispersas e, portanto, é necessária uma variação maior nos salários para que os trabalhadores sejam realocados entre setores e vice-versa. No entanto, se λ for mais elevado, as habilidades são menos dispersas e as escolhas ocupacionais dos trabalhadores são mais sensíveis às alterações nos salários, o que facilita a reafetação entre setores.

2.1.2. Escolha ocupacional

As habilidades heterogêneas dos trabalhadores interagem com as componentes endógenas da utilidade de um indivíduo em (4) e levam à auto-seleção. Assim, os trabalhadores alocam a sua mão de obra ao setor que lhes oferece os maiores retornos relativos, dado o seu vetor de aptidão, ou seja, a maior utilidade $\max_j \{U_j\}$.

A proporção de trabalhadores em cada setor pode ser calculada usando as propriedades da distribuição de Fréchet, dada a regra de decisão por trás da escolha ocupacional dos trabalhadores (ver Cavalcanti *et al.* (2021) para detalhes). A escolha ocupacional de cada trabalhador é determinada pelos retornos *relativos* em vez dos retornos *absolutos*. Ao calcular a oferta de trabalho para cada setor, podem calcular-se as unidades de eficiência de trabalho fornecida (ou seja, a oferta de mão de obra efetiva) em cada setor.

A qualidade média do trabalhador em cada setor pode ser calculada através do rácio entre as unidades de eficiência de mão de obra fornecidas e as unidades de mão de obra fornecidas. A qualidade média está, portanto, inversamente relacionada com a expressão do fator produtivo trabalho em cada setor, o que captura um efeito de seleção.

2.2. Produção

Como mencionado anteriormente, a economia consiste em J setores de bens intermédios e um setor do bem final. Estes são descritos a seguir.

2.2.1. Bens intermédios

O lado da produção da economia é semelhante aos modelos de comércio internacional como em Eaton e Kortum (2002). Consideram-se J setores, cada um produzindo um bem intermédio diferenciado. Entre estes, há quatro setores de energia (petróleo, carvão, gás natural e energia renovável), dos quais os três primeiros são poluentes. O quarto setor é o setor de energia limpa. A tecnologia para produzir cada bem intermédio $j \in \{1, 2, \dots, J\}$ é representada por uma função de Cobb-Douglas com retornos constantes à escala:

$$Y_j = L_j^{\beta_j} \prod_{k=1}^J x_{jk}^{\nu_{jk}}, \quad \beta_j, \nu_{jk} \in [0, 1]; \quad e \quad \beta_j + \sum_{k=1}^J \nu_{jk} = 1,$$

onde L_j corresponde à mão de obra efetiva e β_j designa a elasticidade da produção em relação ao fator produtivo trabalho no setor j . A variável x_{jk} denota a quantidade de inputs k utilizada na produção do bem j . O parâmetro ν_{jk} determina a importância

relativa do bem k na produção do setor j . A literatura existente mostra que a inclusão de conexões intersetoriais permite uma análise mais detalhada dos efeitos de equilíbrio geral da introdução de um imposto sobre o carbono (Jones 2011; Acemoglu *et al.* 2012; King *et al.* 2019).

A empresa representativa do setor de bens intermédios j escolhe mão de obra L_j e inputs intermédios $\{x_{jk}\}_{k=1}^J$ para maximizar:

$$\pi_j = \max_{L_j, x_{jk}} \left\{ P_j L_j^{\beta_j} \prod_{k=1}^J x_{jk}^{\nu_{jk}} - w_j L_j - \sum_{k=1}^J P_k x_{jk} \right\}, \quad (5)$$

onde P_j é o preço do bem intermédio j e w_j é o salário pago no setor j . Os inputs são remunerados de acordo com seus produtos marginais, tal que:

$$\beta_j P_j L_j^{\beta_j - 1} \prod_{k=1}^J x_{jk}^{\nu_{jk}} = w_j,$$

$$\nu_{jk} P_j L_j^{\beta_j} x_{jk}^{\nu_{jk} - 1} \prod_{s \neq k} x_{js}^{\nu_{js}} = P_k, \quad \forall x_{jk}, k \in \{1, 2, \dots, J\}.$$

2.2.2. Bem final

O bem final, Y_f , é produzido através de uma função de produção usando bens intermédios diferenciados, $\{Y_j^F\}_{j=1}^J$, de acordo com o seguinte agregador:

$$Y_f = \prod_{j=1}^J (Y_j^F)^{\sigma_j}, \quad \sigma_j \in [0,1) \text{ e } \sum_{j=1}^J \sigma_j = 1.$$

Considera-se que o bem final é o bem numerário, ou seja, $P_f = 1$. O problema de otimização da empresa representativa no setor do bem final consiste em escolher cada input $\{Y_j^F\}_{j=1}^J$ para maximizar:

$$\pi_f = \max_{Y_j} \left\{ \prod_{j=1}^J (Y_j^F)^{\sigma_j} - \sum_j P_j Y_j^F \right\}, \quad (6)$$

e a procura ótima para cada input satisfaz:

$$Y_j^F = \sigma_j \frac{Y_f}{P_j}, \quad \forall j \in \{1, 2, \dots, J\}.$$

2.3. Equilíbrio

O equilíbrio competitivo estacionário consiste em escolhas individuais $\{c, s, e\}$, escolhas individuais de ocupação, unidades de eficiência do fator produtivo trabalho em cada setor $\{L_j\}_{j=1}^J$, bens intermédios $\{Y_j^F\}_{j=1}^J$, bem final Y_f , salários $\{w_j\}_{j=1}^J$ e preços dos bens intermédios $\{P_j\}_{j=1}^J$. Na economia, os indivíduos maximizam a sua utilidade

e fornecem mão de obra ao setor que lhes providencia o salário mais elevado de acordo com as suas aptidões. As empresas que produzem bens intermédios e a empresa representativa do bem final maximizam o lucro. Por fim, todos os mercados estão em equilíbrio.

2.4. Tributação do carbono

O imposto sobre o carbono afeta os preços dos bens energéticos, principalmente dos mais poluentes. Assim, o fardo do imposto sobre o preço de cada tipo de energia dependerá do conteúdo carbónico desse tipo de energia. Seguindo o trabalho de Golosov *et al.* (2014) e de Hassler *et al.* (2018), os quatro inputs energéticos são distinguidos de acordo com o seu conteúdo carbónico (intensidade das emissões de carbono para a atmosfera). Denote-se este conteúdo por g_j , tal que $g_j \in [0, 1]$. A energia renovável (como eólica e solar) não está associada a nenhuma externalidade climática, portanto $g_{\text{energia renovável}} = 0$. A taxa de imposto sobre o carbono para cada tipo de energia é dada por $\tau_j = \tau g_j, \forall j$. Note-se que $\tau_{\text{energia renovável}} = 0$, já que $g_{\text{energia renovável}} = 0$.

O imposto sobre o carbono é introduzido como um imposto sobre as vendas para cada tipo de energia j , de modo que os lucros no tipo de energia j , na presença do imposto, sejam dados por:

$$\pi_j = (1 - \tau_j)P_j Y_j - w_j L_j - \sum_{k=1}^J P_k x_{jk}.$$

Nos cenários de política consideram-se diferentes mecanismos de distribuição de receita provenientes do imposto sobre o carbono e ajustam-se as condições de equilíbrio de acordo. Por exemplo, num cenário contrafactual usam-se as receitas orçamentais provenientes dos setores de energia poluente para subsidiar o setor de energia renovável. Nesse cenário, o subsídio verde é concebido de modo que o imposto sobre o carbono seja neutro em termos de receita (ou seja, $\sum_{j=1}^J \tau_j P_j Y_j = 0$), o que implica que $\tau_{\text{energia renovável}} < 0$.

Os parâmetros do modelo são disciplinados com microdados detalhados para Portugal. Alguns desses parâmetros podem ser obtidos diretamente a partir dos dados (por exemplo, a importância relativa de cada input na produção de bens intermédios). Outros são estimados para reproduzir momentos-chave dos dados. Por exemplo, os pesos da despesa no bem final (σ_j) são estimados para reproduzir o valor acrescentado bruto setorial. Os retornos da escolaridade no setor j (φ_j) são calibrados para reproduzir os salários relativos médios, enquanto a dispersão de produtividades (λ) é calibrada para obter o coeficiente de variação dos salários. No Apêndice apresenta-se uma discussão detalhada das fontes de dados usadas e da forma como os parâmetros do modelo são estimados.

3. Efeitos agregados do imposto sobre o carbono

No que se segue, avalia-se como a economia reage a uma política de mitigação das alterações climáticas, através da introdução de um imposto sobre o carbono para

os produtores de energia poluente. Na análise, são considerados quatro mecanismos diferentes de distribuição de receita orçamental, onde estas:

- 1) não são usadas para financiar nenhuma atividade económica ("Gastos não produtivos");
- 2) são usadas para subsidiar a produção de energia renovável, por exemplo projetos de energia eólica ("Subsídio à produção de energia renovável");
- 3) são usadas para financiar todos os setores da economia não poluentes ("Gastos em setores não poluentes") ou;
- 4) são usadas para financiar gastos em educação nos setores não poluentes da economia ("Subsídio à educação").⁵

Os subsídios nos mecanismos 2 a 4 são desenhados de forma que o orçamento do governo se equilibre.

As emissões não afetam a produção nem o consumo, ou seja, o modelo não considera as emissões como uma externalidade (à semelhança de King *et al.* (2019)). Na análise, adota-se uma abordagem positiva em vez de normativa, no sentido de que o objetivo não é definir a política ótima, mas sim compreender os efeitos agregados e distributivos da introdução de um imposto sobre o carbono para reduzir as emissões de acordo com as metas climáticas do Acordo de Paris.

Consideram-se dois casos em que se aumenta a taxa de imposto dos setores de produção de energia petrolífera, carvão e gás natural de $\tau = 0\%$ para $\tau = 32,9\%$ e de $\tau = 0\%$ para $\tau = 80,4\%$.⁶ No compromisso original do Acordo de Paris, as CNDs definidas por Portugal estabeleciam uma meta de redução de emissões de 30 a 40% até 2030, abaixo dos níveis de 2005. Uma taxa de imposto de 32,9% resulta no ponto médio desse intervalo (uma redução de 35%). Como as CNDs foram ajustadas ao longo do tempo, também se considera uma redução de emissões de 70%, para a qual é necessária uma taxa de imposto de 80,4%.

Os principais resultados agregados das análises são apresentados no Quadro 1. O painel A mostra os resultados para as emissões (totais e fósseis), PIB, consumo e bem-estar da introdução de um imposto sobre o carbono de 32,9%.⁷ O painel B exibe os resultados para uma taxa de imposto de 80,4%. O bem-estar inclui tudo o que os indivíduos valorizam, ou seja, consumo e lazer e é medido por uma variação equivalente de consumo de adicionar uma taxa de carbono em relação ao cenário base. Os resultados para os diferentes mecanismos de distribuição de receita orçamental são detalhados.

5. Nos cenários "Gastos produtivos" e "Subsídio à educação", o subsídio aplica-se a todos os setores não poluentes, que incluem os 14 bens intermédios não energéticos e o setor de energia renovável.

6. A inclusão de um imposto sobre o valor acrescentado de 32,9% (80,4%) traduz-se num imposto $\tau_{\text{petróleo}} = 27,8\%$ (68%) sobre as vendas de petróleo, $\tau_{\text{carvão}} = 23,6\%$ (57,6%) nas vendas de carvão e $\tau_{\text{gás natural}} = 24,1\%$ (59%) nas vendas de gás natural ajustando para o conteúdo carbónico de cada tipo de energia. Esta taxa de imposto equivale a 53 (129,5) euros por tonelada de CO₂ em Portugal.

7. As emissões totais na economia incluem emissões de setores de combustíveis fósseis e emissões de setores não energéticos. Os efeitos sobre o PIB e o consumo são efeitos de "longo prazo". Note-se também que não há dinâmica no modelo, ou seja, as comparações são feitas entre dois equilíbrios estacionários.

Painel A: imposto sobre o carbono de 32,9%					
Cenário	Emissões totais	Emissões fósseis	PIB	Consumo	Equiv. Cons.
Gastos não produtivos	-35,0	-37,7	-1,7	-4,0	-3,3
Subsídio à produção de energia renovável	-26,2	-28,4	-0,9	-0,9	-1,0
Gastos em setores não poluentes	-33,6	-36,3	-1,5	-1,5	-0,7
Subsídio à educação	-35,0	-37,7	0,4	-2,0	-1,1
Painel B: imposto sobre o carbono de 80,4%					
Cenário	Emissões totais	Emissões fósseis	PIB	Consumo	Equiv. Cons.
Gastos não produtivos	-70,0	-75,5	-7,5	-11,6	-10,7
Subsídio à produção de energia renovável	-61,8	-66,8	-5,8	-5,8	-6,6
Gastos em setores não poluentes	-68,8	-74,4	-7,1	-7,1	-6,0
Subsídio à educação	-70,0	-75,5	-4,1	-8,4	-7,1

QUADRO 1. Efeitos do imposto sobre o carbono para diferentes mecanismos de distribuição de receita (variação %).

Por construção, o modelo gera uma redução de 35% nas emissões totais (Painel A) no cenário "Gastos não produtivos". Como os setores de energia poluente são mais intensivos em carbono do que as restantes atividades, a queda nas emissões fósseis é maior (37,7%). A desagregação das emissões por tipo de combustível fóssil é apresentada no Quadro 2. À medida que a energia se torna mais cara, a economia contrai e o PIB cai 1,7%. Com o imposto, realocação de recursos e queda na produção, o bem-estar agregado diminui.

Painel A: imposto sobre o carbono de 32,9%							
Cenário	$\Delta\%$ emissões petróleo	$\Delta\%$ emissões carvão	$\Delta\%$ emissões gás natural	$\Delta\%$ emissões energia renovável	$\Delta\%$ emissões não energéticas	$\Delta\%$ emissões fósseis totais	$\Delta\%$ emissões totais
Gastos não produtivos	-32,3	-51,0	-43,3	-	-2,0	-37,7	-35,0
Subsídio à produção de energia renovável	-28,6	-28,4	-27,5	-	-0,4	-28,4	-26,2
Gastos em setores não poluentes	-31,0	-49,4	-41,5	-	-0,3	-36,3	-33,6
Subsídio à educação	-32,3	-51,0	-43,3	-	-2,0	-37,7	-35,0
Painel B: imposto sobre o carbono de 80,4%							
Cenário	$\Delta\%$ emissões petróleo	$\Delta\%$ emissões carvão	$\Delta\%$ emissões gás natural	$\Delta\%$ emissões energia renovável	$\Delta\%$ emissões não energéticas	$\Delta\%$ emissões fósseis totais	$\Delta\%$ emissões totais
Gastos não produtivos	-71,7	-85,9	-78,2	-	-3,8	-75,5	-70,0
Subsídio à produção de energia renovável	-68,8	-63,6	-63,1	-	-0,8	-66,8	-61,8
Gastos em setores não poluentes	-70,7	-84,8	-76,8	-	-0,6	-74,4	-68,8
Subsídio à educação	-71,7	-85,9	-78,2	-	-3,8	-75,5	-70,0

QUADRO 2. Variação percentual das emissões de CO₂ por tipo de fonte e mecanismo de distribuição de receita.

Se o governo usar a receita do imposto sobre o carbono para subsidiar o setor de produção de energia renovável, a queda do PIB será atenuada para apenas 0,9%. Na verdade, com mais atividade económica, as emissões diminuem menos do que com gastos não produtivos, mesmo com subsídios ao setor renovável. Uma alternativa é subsidiar todos os setores não poluentes ("Gastos em setores não poluentes"). Nesse cenário, a queda do PIB é atenuada em relação ao cenário "Gastos não produtivos", mas as emissões não diminuem tanto.

Quando as receitas orçamentais são utilizadas para financiar subsídios à educação, o PIB de Portugal aumenta 0,4%. Os indivíduos investem mais em educação com essa política, aumentando a sua produtividade e, portanto, a produção agregada.

Os efeitos estimados de um imposto sobre o carbono de 32,9% na produção agregada não são expressivos. Tal acontece porque os setores de energia poluente constituem uma pequena fração do valor acrescentado bruto da economia (ver Quadro B.1 do Apêndice para mais detalhes). O painel B do Quadro 1 também mostra os resultados para uma taxa de imposto mais elevada (80,4%). Os resultados são qualitativamente semelhantes, mas amplificados.⁸ Para alcançar uma redução de 70% nas emissões, estima-se que o PIB diminua no máximo 7,5%. Nesse cenário, as perdas de bem-estar podem ser consideráveis.

3.1. Análise por país

Dado que as economias diferem nas suas estruturas de produção e características da população ativa, é expectável que o impacto dos impostos sobre o carbono varie entre países. Cavalcanti *et al.* (2021) concluem que para os Estados Unidos cumprirem o seu objetivo inicial do Acordo de Paris de redução de 26% das emissões, seria necessário um imposto sobre o carbono de 32,3%, o qual custaria no máximo 0,6% do PIB (Quadro 3). No caso da China, os autores estimam que, para atingir uma meta de redução de emissões semelhante, seria necessário um imposto sobre o carbono de 25,4%, com uma redução de no máximo 1,5% no PIB. Tal deve-se ao facto de a China ser mais dependente de energia poluente do que os Estados Unidos (veja-se Cavalcanti *et al.* (2021) para detalhes).

Painel A: imposto sobre o carbono de 23,2%					
Portugal	Emissões totais	Emissões fósseis	PIB	Consumo	Equiv. Cons.
Gastos não produtivos	-26,0	-28,0	-1,0	-2,8	-2,2
Subsídio à produção de energia renovável	-18,6	-20,2	-0,4	-0,4	-0,5
Gastos em setores não poluentes	-24,7	-26,8	-0,9	-0,9	-0,3
Subsídio à educação	-26,0	-28,0	0,6	-1,2	-0,5
Painel B: imposto sobre o carbono de 32,3%					
EUA	Emissões totais	Emissões fósseis	PIB	Consumo	Equiv. Cons.
Gastos não produtivos	-26,0	-26,8	-0,6	-1,7	-1,1
Subsídio à produção de energia renovável	-24,3	-25,0	-0,3	-0,3	-0,3
Gastos em setores não poluentes	-25,3	-26,1	-0,5	-0,5	0,1
Subsídio à educação	-26,0	-26,8	0,4	-0,7	0,1
Painel C: imposto sobre o carbono de 25,4%					
China	Emissões totais	Emissões fósseis	PIB	Consumo	Equiv. Cons.
Gastos não produtivos	-26,0	-27,5	-1,5	-4,7	-3,6
Subsídio à produção de energia renovável	-20,6	-21,8	-0,7	-0,7	-1,2
Gastos em setores não poluentes	-23,4	-24,8	-1,3	-1,3	-0,1
Subsídio à educação	-26,0	-27,5	1,0	-2,2	-1,0

QUADRO 3. Efeitos do imposto sobre o carbono necessário para reduzir em 26% as emissões por país (variação %).

8. O efeito de amplificação de aumentar a taxa de imposto para 80,4% é altamente não linear. Tal resulta da lei dos rendimentos decrescentes, segundo a qual o produto marginal aumenta à medida que a quantidade de fatores produtivos diminui.

Se se aplicar a mesma meta de redução de emissões de 26% a Portugal, constata-se que a economia portuguesa precisaria de um imposto sobre o carbono de 23,2%, o qual custaria no máximo 1% do PIB. Em Portugal, os setores não energéticos contribuem relativamente mais para as emissões nacionais do que nos Estados Unidos e na China. Assim, para atingir a mesma meta de redução de emissões, deve ser implementada em Portugal um imposto sobre o carbono mais baixo.

Refira-se que as perdas de PIB nos Estados Unidos, Portugal e China associadas a uma redução de 26% nas emissões estão em linha com o peso relativo dos setores de energia poluente nas vendas totais de cada economia: 2,4%, 3,3% e 5,1%, respetivamente.

4. Efeitos distributivos do imposto sobre o carbono

Os impostos sobre o carbono têm efeitos distributivos expressivos ao nível setorial e dos indivíduos, que são documentados a seguir.⁹

4.1. Análise setorial

A introdução de um imposto sobre o carbono nos setores de produção de energia a partir do petróleo, carvão e gás natural torna-os mais caros em relação a outros setores. Como consequência, a atividade nesses setores contrai e a procura por trabalho e os salários caem. Os trabalhadores reotimizam as suas decisões ocupacionais e alguns movem-se de setor. O Gráfico 1 mostra as variações da mão de obra por setores em equilíbrio. O emprego nos setores de petróleo, carvão e gás natural cai, com perdas que variam de 20 a 40%, dependendo da forma como as receitas orçamentais são distribuídas. Com o subsídio à produção de energia renovável, os fatores produtivos são realocados dos setores de energia poluente para o setor de energia renovável para igualar os retornos marginais. Tal induz um aumento no emprego neste setor de mais de 30%. Com um subsídio à educação, o capital humano aumenta porque a educação torna-se relativamente mais barata, reforçando o aumento da mão de obra efetiva para os setores não diretamente afetados pelo imposto sobre o carbono.

A escolha ocupacional dos trabalhadores é impulsionada pelas suas aptidões inatas e pelo salário em cada ocupação. Os trabalhadores marginais com produtividade relativamente baixa nos setores de energia poluente são realocados para outros setores da economia. Os trabalhadores com uma vantagem comparativa elevada nos setores de energia poluente permanecem nesses setores, após a alteração de política. Assim, devido a um efeito de seleção, a produtividade média dos trabalhadores nos setores tributados aumenta (ver Gráfico 2). No cenário de subsídio à produção de energia renovável, a

9. Os resultados desta secção são baseados na comparação entre dois equilíbrios estacionários diferentes. Na discussão dos resultados são usados termos como “imóveis” e “dinâmicos” para facilitar a leitura. Mas enfatiza-se que as comparações são feitas entre estados estacionários.

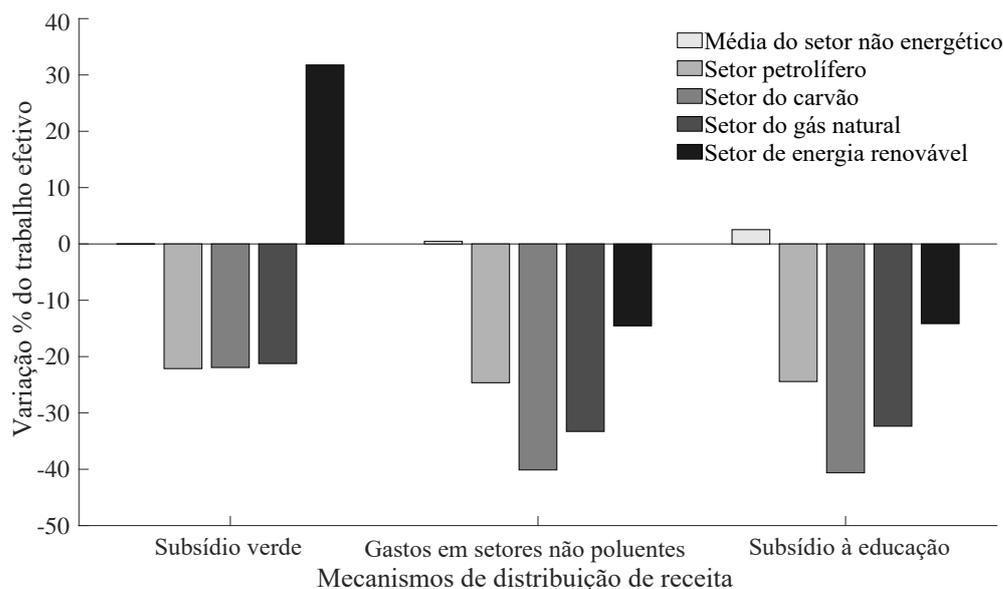


GRÁFICO 1: Variação percentual no trabalho efetivo após o aumento do imposto sobre o carbono de 0% (cenário base) para 32,9%.

produtividade média cai 10% no setor de energia renovável devido à maior prevalência de trabalhadores neste setor, conforme ilustrado no Gráfico 1.¹⁰

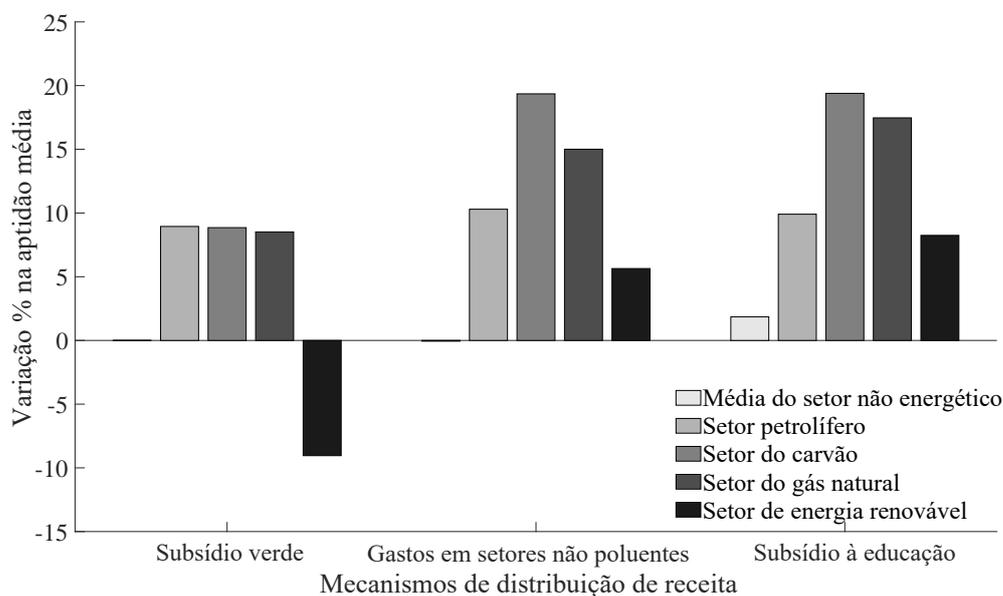


GRÁFICO 2: Variação percentual na produtividade média após o aumento do imposto sobre o carbono de 0% (cenário base) para 32,9%.

10. Por uma questão de espaço, os resultados para $\tau = 80,4\%$ não são apresentados, mas estão disponíveis mediante pedido. Os efeitos entre setores e mecanismos de distribuição de receita orçamental são qualitativamente semelhantes, mas amplificados.

4.2. Análise ao nível do indivíduo

A seguir avaliam-se os efeitos distributivos ao nível dos indivíduos na sequência da introdução do imposto sobre o carbono. Os trabalhadores são divididos em quatro categorias: (i) aqueles que permanecem nos setores de energia não poluente; (ii) aqueles que se realocam dos setores de energia não poluente; (iii) aqueles que permanecem em setores de energia poluente; e (iv) aqueles que se realocam dos setores de energia poluente. Posteriormente, analisam-se as implicações para o seu bem-estar, após a implementação da política. Conforme referido anteriormente, o bem-estar é medido pela variação equivalente de consumo da introdução do imposto sobre carbono em relação ao cenário base.

Painel A: imposto sobre o carbono de 32,9%								
	Gastos não produtivos		Subsídio à produção de energia renovável		Gastos em setores não poluentes		Subsídio à educação	
	EC (%)	EPA (%)	EC (%)	EPA (%)	EC (%)	EPA (%)	EC (%)	EPA (%)
Setores não poluentes, imóveis	-3,5	98,7	-0,3	98,8	-1,0	98,9	-1,3	98,7
Setores não poluentes, dinâmicos	-3,3	0,4	3,2	0,3	-0,7	0,3	-1,1	0,4
Setores poluentes, imóveis	-16,8	0,5	-9,7	0,6	-14,5	0,5	-14,9	0,5
Setores poluentes, dinâmicos	-9,7	0,3	-5,2	0,2	-7,3	0,3	-7,6	0,3
Agregado	-3,3	100,0	-1,0	100,0	-0,7	100,0	-1,1	100,0

Painel B: imposto sobre o carbono de 80,4%								
	Gastos não produtivos		Subsídio à produção de energia renovável		Gastos em setores não poluentes		Subsídio à educação	
	EC (%)	EPA (%)	EC (%)	EPA (%)	EC (%)	EPA (%)	EC (%)	EPA (%)
Setores não poluentes, imóveis	-11,1	98,4	-5,2	98,4	-6,5	98,7	-7,6	98,4
Setores não poluentes, dinâmicos	-10,7	0,8	1,2	0,8	-6,0	0,5	-7,1	0,8
Setores poluentes, imóveis	-41,8	0,2	-30,3	0,3	-38,6	0,2	-39,4	0,2
Setores poluentes, dinâmicos	-23,4	0,6	-17,0	0,6	-19,3	0,6	-20,3	0,6
Agregado	-10,7	100,0	-6,6	100,0	-6,0	100,0	-7,1	100,0

QUADRO 4. Análise de bem-estar. | EC designa variação equivalente de consumo; EPA refere-se à expressão na população ativa.

O Quadro 4 mostra que os trabalhadores que permanecem nos setores de energia poluente (petróleo, carvão e gás natural) registam as maiores perdas de bem-estar. Tome-se o Painel A como exemplo. No cenário de gastos não produtivos, o bem-estar dos trabalhadores que permanecem nos setores poluentes diminui 16,8%. Esta perda é quase duas vezes maior do que a dos que conseguiram mudar dos setores poluentes (9,7%) e quase cinco vezes a perda dos trabalhadores dos setores de energia não poluente (imóveis e dinâmicos). No entanto, estes trabalhadores mais afetados representam menos de 0,5% da população ativa portuguesa. Esta diminuição do bem-estar é explicada pela redução da procura de trabalho e dos salários nos setores tributados. Devido aos efeitos de equilíbrio geral, a reafetação de mão de obra também ocorre nos setores não poluentes.

Perante um imposto sobre carbono mais elevado (Painel B), os trabalhadores que permanecem nos setores poluentes são mais prejudicados e sofrem perdas de bem-estar que variam de 30 a 42%, em comparação com a perda de bem-estar de 17 a 23% dos trabalhadores que conseguiram realocar-se dos setores poluentes e -11 a 1,2% por trabalhadores não pertencentes aos setores de energia poluente. Assim, os trabalhadores com vantagem comparativa na produção de energia poluente continuam a ser os mais prejudicados, mas constituem agora apenas 0,2% da população ativa portuguesa.

5. Considerações finais

À medida que os efeitos económicos das alterações climáticas se materializam, os governos enfrentam uma pressão crescente para adotarem políticas ambientais mais agressivas. Na verdade, os custos de uma ação tardia podem ser substanciais. Neste artigo, quantificam-se os efeitos agregados e distributivos do imposto sobre o carbono necessário para que Portugal cumpra os compromissos assumidos no Acordo de Paris.

Estima-se que seja necessário um imposto sobre o carbono de 32,9% para que Portugal cumpra a objetivo inicialmente estabelecido no Acordo de Paris de 35% de redução de emissões. Este imposto sobre o carbono custa à economia portuguesa, no cenário mais desfavorável, 1,7% do PIB, no caso em que o governo não usa as suas receitas orçamentais para financiar a economia. Apesar do impacto relativamente pequeno no PIB e no bem-estar, os impostos sobre o carbono têm efeitos distributivos expressivos ao nível setorial e dos indivíduos. Os trabalhadores com vantagem comparativa em setores de energia poluente que não se realocam sofrem uma perda de bem-estar cinco vezes maior do que a dos trabalhadores em setores não poluentes, mas constituem menos de 0,5% da população ativa.

Como as CNDs têm sido ajustadas ao longo do tempo, também se calcula o imposto sobre o carbono necessário para que Portugal alcance uma redução de 70% nas emissões. Os resultados sugerem um imposto sobre o carbono de 80,4%, com efeitos qualitativamente semelhantes aos que levam a uma redução de 35% das emissões, mas amplificados. Neste caso, os trabalhadores com vantagem comparativa na produção de energia poluente registam a maior perda de bem-estar, mas constituem agora apenas 0,2% da população ativa portuguesa.

Embora a análise deste estudo se tenha focado em Portugal, os resultados aqui descritos podem ser facilmente replicados para outras economias, a fim de informar as respostas de política. Tal é de grande interesse, dado que as políticas de mitigação das alterações climáticas têm efeitos heterogéneos entre indivíduos, setores e geografias.

Referências

- Acemoglu, D., V. M. Carvalho, A. Ozdaglar, e A. Tahbaz-Salehi (2012). "The network origins of aggregate fluctuations." *Econometrica*, 80(5), 1977–2016.
- Cavalcanti, T., Z. Hasna, e C. Santos (2021). "Climate Change Mitigation Policies: Aggregate and Distributional Effects." Cambridge Working Papers in Economics CWPE2122, University of Cambridge.
- Coase, R. H. (1960). "The problem of social cost." *Journal of Law and Economics*, 3, 1–44.
- Eaton, J. e S. Kortum (2002). "Technology, geography, and trade." *Econometrica*, 70(5), 1741–1779.
- Garg, A., K. Kazunari, e T. Pulles (2006). "IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories." Disponível em <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>.
- Golosov, M., J. Hassler, P. Krusell, e A. Tsyvinski (2014). "Optimal taxes on fossil fuel in general equilibrium." *Econometrica*, 82(1), 41–88.
- Hassler, J., P. Krusell, e C. Olovsson (2018). "The consequences of uncertainty: climate sensitivity and economic sensitivity to the climate." *Annual Review of Economics*, 10, 189–205.
- Hassler, J., P. Krusell, e C. Olovsson (2021). "Suboptimal climate policy." *Journal of the European Economic Association*, 19(6), 2895–2928.
- Hsieh, C-T., E. Hurst, C. I. Jones, e P. J. Klenow (2019). "The allocation of talent and US economic growth." *Econometrica*, 87(5), 1439–1474.
- Jones, C. I. (2011). "Misallocation, economic growth, and input-output economics." Working Paper 16742, National Bureau of Economic Research.
- King, M., B. Tarbush, e A. Teytelboym (2019). "Targeted carbon tax reforms." *European Economic Review*, 119, 526–547.
- Pigou, A. C. (1920). *The Economics of Welfare*. London: Macmillan & Co.

Apêndice A: Dados e calibração

Esta secção descreve as fontes de dados usadas na calibração do modelo para avaliar os efeitos agregados e distributivos da tributação do carbono. O Quadro A.1 enumera as duas principais fontes de dados utilizadas: o World Input-Output Database (WIOD) e o Labour Force Survey (LFS). Na análise, também se recorre à informação dos World Development Indicators (WDI).

Dados	Ano	Fonte
Matriz de Input-Output	2014	WIOD
Contas Ambientais	2009	WIOD
Emissões de CO ₂	2009	WIOD
Taxa de atividade por setor	2014	WIOD
Remunerações por setor	2014	WIOD
Salários	2019	LFS
Nível de escolaridade por setor	2019	LFS
Despesa pública em educação (% do PIB)	2018	WDI
Taxa de atividade total (%)	2018	LFS

QUADRO A.1. Fontes dos dados.

Apesar de alguns dos parâmetros do modelo serem conhecidos (por exemplo, a importância de cada input na produção de bens intermédios), outros são estimados internamente para reproduzir momentos-chave dos dados. O Quadro A.2 detalha todos os parâmetros do modelo.

Parâmetro	Parâmetros calibrados externamente	Fonte dos dados
J	Número de setores	WIOD
ν_{jk}	Elasticidades intersectoriais	WIOD
β_j^L	Elasticidade da produção em relação ao trabalho	WIOD
$g_{\text{petróleo}} = 84,6\%$	Intensidade carbónica do petróleo	Golosov <i>et al.</i> (2014)
$g_{\text{carvão}} = 71,6\%$	Intensidade carbónica do carvão	Golosov <i>et al.</i> (2014)
$g_{\text{gás natural}} = 73,4\%$	Intensidade carbónica do gás natural	Garg <i>et al.</i> (2006)
$g_{\text{energia renovável}} = 0\%$	Intensidade carbónica da energia renovável	Golosov <i>et al.</i> (2014)
γ	Peso do consumo na função de utilidade	Estimativa Minceriana usando dados do LFS
η	Despesa em educação (% PIB)	WDI
	Parâmetros calibrados internamente	Momento(s) reproduzido(s)
σ_j	Peso da despesa no bem final	Valor acrescentado setorial usando dados da WIOD
φ_j	Retornos da escolaridade no setor j	Salários relativos médios usando dados da WIOD
λ	Parâmetro da dispersão de Fréchet	Coeficiente de variação dos salários usando dados do LFS

QUADRO A.2. Lista de parâmetros.

Calibração Externa. Para definir valores para J , β_j e ν_{jk} , usam-se os dados da WIOD. Trata-se de uma base de dados abrangente que contém matrizes de input-output nacionais, dados sobre as taxas de atividade por setor, remunerações do trabalho e contas ambientais. Para calcular ν_{jk} e definir $\beta_j = 1 - \sum_{k=1}^J \nu_{jk}$ usam-se dados sobre as vendas intersectoriais. Em primeiro lugar, colapsam-se os 35 setores nas matrizes da WIOD para a classificação de nível superior da International Standard Industrial Classification (ISIC) Rev. 4, conforme descrito na primeira coluna do Quadro A.3. Em segundo lugar, esses 21 setores são agregados nos 15 setores disponíveis na base de dados do LFS. Como se pretende tributar os setores produtores de energia poluente na

economia, é criado um setor agregado de energia, através da fusão dos setores "Indústria extrativa" e "Eletricidade" (segunda coluna do Quadro A.3). Em terceiro lugar, o setor agregado de energia (Energia total: B, D) é dividido em produção de petróleo, carvão, gás natural e energia renovável com base no mix de input de energia de cada um dos setores intermédios, de acordo com as contas ambientais da WIOD sobre uso de energia por setor e tipo de energia. Tal resulta em 18 setores de bens intermédios. Por uma questão de espaço, os 18 setores não estão incluídos no Quadro A.3.

Setores (J = 21) ISIC Rev. 4: Agregação de nível superior	Setores (J = 15) Agregação com base no LFS
A Agricultura, caça, silvicultura e pesca	A Agricultura, caça, silvicultura e pesca
B Indústria extrativa	C Indústria transformadora
C Indústria transformadora	E Distribuição de água
D Eletricidade, gás, vapor, água quente e fria e ar frio	F Construção
E Captação, tratamento e distribuição de água; saneamento, gestão de resíduos e despoluição	G Comércio por grosso e a retalho
F Construção	H, J Transportes, armazenagem e comunicações
G Comércio por grosso e a retalho; reparação de veículos automóveis e motociclos	I Alojamento, restauração e similares
H Transportes e armazenagem	K Atividades financeiras e de seguros
I Alojamento, restauração e similares	L, M, N Atividades imobiliárias, de consultoria e alugueres
J Informação e comunicação	O Administração pública e defesa
K Atividades financeiras e de seguros	P Educação
L Atividades imobiliárias	Q Atividades de saúde humana e apoio social
M Atividades de consultoria, científicas, técnicas e similares	R, S, U Atividades artísticas e outras atividades de serviços
N Atividades administrativas e dos serviços de apoio	T Atividades das famílias empregadoras
O Administração pública e defesa; segurança social obrigatória	B, D Energia total
P Educação	
Q Atividades de saúde humana e apoio social	
R Atividades artísticas, de espetáculos e recreativas	
S Outras atividades de serviços	
T Atividades das famílias empregadoras; bens indiferenciados - e atividades de produção das famílias para uso próprio	
U Atividades dos organismos internacionais e outras instituições extra-territoriais	

QUADRO A.3. Setores de bens intermédios.

De seguida, calcula-se a matriz de input-output ν que representa as elasticidades intersetoriais, de modo que cada entrada ν_{jk} :

$$\nu_{jk} = \frac{\text{Input do setor } k \text{ para o setor } j}{\text{Vendas do setor } j}$$

β_j^L é calculada recorrendo à propriedade de rendimentos constantes à escala da função de produção, tal que $\beta_j^L + \sum_{k=1}^J \nu_{jk} = 1$.

Com os dados das contas ambientais sobre as emissões de CO₂ por setor e tipo de energia calcula-se o efeito dos impostos sobre as emissões. Note-se que o modelo não considera os efeitos de feedback das emissões na economia. Para disciplinar a magnitude do imposto sobre o carbono, calcula-se a variação das emissões de CO₂.

O conteúdo carbónico setorial, g_j , tem por base o trabalho de Golosov *et al.* (2014): $g_{\text{petróleo}} = 0,846$ e $g_{\text{carvão}} = 0,716$. A metodologia usada neste trabalho é replicada para obter $g_{\text{gás natural}} = 0,734$ usando estimativas de Garg *et al.* (2006).

Para calibrar η e γ segue-se o trabalho de Hsieh *et al.* (2019). A partir da informação dos WDI, calcula-se η , que corresponde à despesa pública em educação (em percentagem do PIB) normalizada pela taxa de atividade. Para calibrar γ , consideram-se os salários médios no setor j , $\bar{w}_j = w_j E[h_j z_j] = (1 - s) \frac{-1}{\gamma} \eta^{\frac{\eta}{1-\eta}} \Gamma(1 - \frac{1}{\lambda} \frac{1}{1-\eta})$. Com base nos microdados do LFS para Portugal, calculam-se os anos médios de escolaridade divididos por uma dotação de tempo pré-trabalho de 25 anos, \bar{s} , e estima-se o retorno Minceriano da escolaridade para os diferentes setores, ξ , a partir de uma regressão logarítmica dos salários médios na escolaridade média entre os setores. Com \bar{s} e ξ , calcula-se $\gamma = \frac{1}{\xi(1-\bar{s})}$. Os valores para η e γ são 0,080 e 0,645, respetivamente.

Calibração Interna. Os restantes parâmetros σ_j , φ_j e λ são disciplinados estimando o modelo e reproduzindo determinados momentos dos dados. Em particular, calibra-se o peso da despesa σ_j de modo que a importância relativa do valor acrescentado setorial no modelo reproduza a dos dados (Quadro A.4).

Setor	VA _j (%)	σ_j
1. Agricultura, caça, silvicultura e pesca	2,3	0,020
2. Indústria transformadora	13,2	0,231
3. Distribuição de água	1,2	0,007
4. Construção	4,5	0,066
5. Comércio por grosso e a retalho	14,7	0,097
6. Transportes, armazenagem e comunicações	8,2	0,056
7. Alojamento, restauração e similares	5,1	0,070
8. Atividades financeiras e de seguros	5,2	0,036
9. Atividades imobiliárias, de consultoria e de alugueres	19,6	0,119
10. Administração pública e defesa	7,9	0,091
11. Educação	6,2	0,063
12. Atividades de saúde humana e apoio social	6,0	0,087
13. Atividades artísticas e outras atividades de serviços	2,1	0,029
14. Atividades das famílias empregadoras	0,8	0,007
15. Produção de energia petrolífera	1,4	0,010
16. Produção de energia de carvão	0,1	0,000
17. Produção de energia a gás natural	0,2	0,001
18. Produção de energia renovável	1,2	0,008

QUADRO A.4. Setores de bens intermédios: Valor acrescentado e peso da despesa no bem final.

Para estimar φ_j e λ segue-se a metodologia apresentada em Hsieh *et al.* (2019). φ_j é estimado usando dados do WIOD sobre o número de pessoas ocupadas e remunerações para calcular o salário médio em cada setor. Tal resulta nos salários setoriais relativos, que determinam os valores relativos de φ_j . Para estimar os valores absolutos de φ_j , considera-se o rácio dos salários médios em relação à Agricultura. Calcula-se a escolaridade média na Agricultura, s_{Agri} , e de seguida usa-se a equação (2) para calcular φ_{Agri} . Como tal, definem-se os restantes φ_j reproduzindo o rácio de cada salário setorial em relação à Agricultura.¹¹ Os dados referentes aos rácios relativos dos salários sectoriais e os valores de φ são apresentados no Quadro A.5.

11. Dada a falta de informações sobre os setores de energia individuais, reproduz-se o rácio do salário médio no setor de energia agregado em relação à Agricultura.

Setor	$\frac{w_j}{w_{Agri}}$	φ_j
1. Agricultura, caça, silvicultura e pesca	1,0	0,580
2. Indústria transformadora	1,8	0,740
3. Distribuição de água	2,0	1,968
4. Construção	1,8	1,073
5. Comércio por grosso e a retalho	1,8	0,694
6. Transportes, armazenagem e comunicações	3,1	1,770
7. Alojamento, restauração e similares	1,7	0,934
8. Atividades financeiras e de seguros	5,1	3,583
9. Atividades imobiliárias, de consultoria e de alugueres	2,0	0,727
10. Administração pública e defesa	3,4	2,044
11. Educação	2,9	1,815
12. Atividades de saúde humana e apoio social	2,4	1,400
13. Atividades artísticas e outras atividades de serviços	2,0	1,599
14. Atividades das famílias empregadoras	1,0	0,852
15. Energia (média ponderada pela EPA)	3,7	3,698

QUADRO A.5. Salários relativos por setor e elasticidade setorial da acumulação de capital humano em relação aos anos de escolaridade.

Por fim, para estimar λ , recorre-se aos microdados sobre salários individuais para estimar a distribuição de resíduos de uma regressão seccional do logaritmo do salário em variáveis binárias idade-indústria. De seguida, reproduz-se o coeficiente de variação dos salários residuais setoriais. O valor estimado do parâmetro de Fréchet e a estimativa do modelo do coeficiente de variação dos salários são 3,915 e 0,247, respetivamente.

Apêndice B: Estatísticas adicionais

Setor	Vendas (%)	VA _j (%)	Cons. Int. (%)	EPA (%)
1. Agricultura, caça, silvicultura e pesca	2,6	2,3	2,7	11,3
2. Indústria transformadora	26,1	13,2	38,2	15,3
3. Distribuição de água	1,3	1,2	1,4	0,9
4. Construção	5,9	4,5	7,3	6,3
5. Comércio por grosso e a retalho	11,5	14,7	8,5	14,7
6. Transportes, armazenagem e comunicações	9,5	8,2	10,4	5,2
7. Alojamento, restauração e similares	4,4	5,1	3,5	6,0
8. Atividades financeiras e de seguros	4,7	5,2	4,3	1,9
9. Atividades imobiliárias, de consultoria e de alugueres	12,9	19,6	6,5	10,8
10. Administração pública e defesa	5,4	7,9	3,0	6,4
11. Educação	3,5	6,2	1,0	6,8
12. Atividades de saúde humana e apoio social	5,0	6,0	4,0	7,7
13. Atividades artísticas e outras atividades de serviços	1,9	2,1	1,7	3,3
14. Atividades das famílias empregadoras	0,4	0,8	0,0	2,9
15. Produção de energia petrolífera	2,1	1,4	2,8	0,2
16. Produção de energia de carvão	0,5	0,1	0,9	0,0
17. Produção de energia a gás natural	0,7	0,2	1,2	0,1
18. Produção de energia renovável	1,7	1,2	2,3	0,2

QUADRO B.1. Desagregação setorial da produção, valor acrescentado (VA), consumos intermédios e expressão na população ativa (EPA) no caso sem imposto.