capítulo 5

**Cenários de referência para as emissões de CO2 com origem na queima de combustíveis fósseis e produção de cimento: emissões globais,**

**os seis maiores emitentes e Portugal**

José m. Belbute

Departamento de economia, universidade de Évora, Portugal CeFAGe, Portugal.

email: jbelbute@uevora.pt

Alfredo m. Pereira

Departamento de economia, William & mary, Williamsburg, vA 23187, usA. email: ampere@wm.edu

resumo

neste capítulo fornecemos previsões de referência para as emissões de Co2 resultantes da queima de combustíveis fósseis — sólidos, líquidos, gás — e da produção de cimento para o planeta, para os seis maiores emitentes e para Portugal com base numa abordagem ARFimA e utilizando dados anuais de 1950 a 2017. o nosso objectivo central consiste em comparar o nosso cenário de referência ARFimA com as metas do iPCC (2018), de modo a determinar o esforço de polí- tica adicional que será necessário para atingir a neutralidade carbónica até 2050. em geral, os nossos resultados sugerem que a inércia subjacente ao cenário de referência é, por si só, insuficiente para gerar uma trajectória de emissões de Co2 que alcan- çasse esse objectivo. Para além disso, as nossas projecções sustentam a alegação do relatório do iPCC (2018) de que são necessários esforços activos de política adicio- nais. Por fim, a presença nos dados de memória longa com reversão à média sugere que as políticas devem ser persistentes para garantir que essas reduções nas emissões de Co2 também sejam permanentes

# Introdução

o objectivo geral deste capítulo consiste em fornecer projecções de referência para as emissões de Co2 para o planeta, para o grupo de seis países mais poluentes (responsáveis por cerca de 68,2% das emissões globais) e para Portugal. Conside- raremos as emissões com origem na queima dos principais combustíveis fósseis

* combustíveis sólidos, combustíveis líquidos e gás — e na produção de cimen- to. o nosso objectivo final consiste em calcular os esforços de política que serão necessários para concretizar as metas do intergovernmental Panel on Climate Change (iPCC) no sentido de atingir a neutralidade carbónica em 2050. o cál- culo desse esforço será conseguido pela comparação entre as nossas projecções de referência com as metas para as emissões do iPCC e o Roteiro para a neutralida- de Carbónica [RnC2050(2019)], para o caso português.

existem fortes evidências científicas que confirmam o aquecimento do sistema climático do planeta, com aumento da temperatura da atmosfera e dos oceanos, elevação do nível do mar, derretimento do gelo, entre outras coisas, cujas causas mais prováveis são o aumento da concentração de emis- sões antropogénicas de gases de efeito estufa na atmosfera [ver, por exemplo, iPCC (2014)].

Recentemente, o iPCC [ver iPCC (2018)] apontou que o limitar o aquecimento global a 1,5° C exigiria transições «rápidas e de longo prazo» na superfície terrestre, na energia, na indústria, nos edifícios, nos transportes e nas cidades. Além disso, as emissões antropogénicas líquidas globais de Co2

precisariam cair cerca de 45% em relação aos níveis de 2010 até 2030, atin-

gindo «zero líquido» por volta de 2050.

identificar o cenário de referência adequado é um primeiro passo crítico para determinar a extensão dos esforços de política necessários para atingir

qualquer meta para as emissões e, assim, determinar os custos envolvidos no cumprimento de tais metas. existem duas questões políticas fundamentais na abordagem a esta temática. A primeira questão trata de identificar quais serão as emissões em 2030 e 2050 sob um cenário de referência ou de base. De acordo com a definição do iPCC, o cenário de referência é aquele que assume que nenhuma política ou medida de mitigação além daquelas que já estão em vigor e/ou legisladas ou planeadas para implementação. A segunda questão, como corolário da primeira, consiste na determinação da dimensão dos esforços adicionais de política necessários para cumprir as metas de emis- sões associadas àqueles objectivos.

# Metodologia

em geral, a especificação de um cenário de referência requer a projecção da trajectória temporal das emissões de Co2 que reflictam as tendências demográ- ficas existentes, tendências prospectivas para processos industriais e de energia, para os sectores de serviços, residencial, transporte e resíduos, bem como os compromissos de política em curso. esta abordagem convencional para estabe- lecer cenários de referência, no entanto, apresenta um grande número de hipó- teses de trabalho e um grande grau de arbitrariedade nas suas especificações, que acaba por ofuscar a informação relevante que pretende fornecer.

este estudo utiliza uma abordagem «Autoregressive Fractionally integra- ted moving Average [ARFimA], para gerar previsões de referência para as

emissões mundiais de Co2, dos seis maiores países emissores (representando 68,2% das emissões globais) e de Portugal, com base numa análise economé- trica e estatística abrangente das diferentes séries temporais, num quadro em

que se reconhece a possível presença de memória. Consequentemente, as nos- sas previsões baseiam-se estritamente nos fundamentos estatísticos dos proces- sos estocásticos que caracterizam as séries temporais das emissões de Co2 que

iremos usar e implicitamente assumem que as tendências observadas continua-

rão no futuro. Deste modo, as nossas previsões fornecem o cenário de referên- cia mais fundamental para a previsão das emissões de Co2 [ver Belbute e Pereira (2015)]. Para além disso, assumimos que os padrões temporais das

emissões de Co2 estão sujeitos a um grande grau de inércia devido aos padrões de consumo e às tecnologias de produção, o que justifica o uso de uma meto- dologia especialmente focada na dinâmica de longo prazo.

existe, actualmente, já uma extensa literatura sobre a temática da integra- ção fraccionária que vai muito para além da dicotomia estacionário/não esta- cionário por considerar a possibilidade de que as variáveis possam seguir um processo de memória longa [ver, entre outros, Diebold e Rudebusch (1991), lo (1991) sowell (1992) e Palma (2007)]. essa dependência de longo prazo é caracterizada por uma função de autocovariância decrescente hiperbolicamen- te e por uma densidade espectral que se aproxima do infinito conforme a fre- quência tende a zero [ver, entre outros, Baillie (1996), Diebold e Rudedusch (1989) e Delgado e Robinson (1994)]. A intensidade deste fenómeno pode ser medida por um parâmetro de diferenciação, que inclui os casos de estaciona- ridade e de não estacionaridade como casos particulares.

memória longa neste contexto significa especificamente que existe uma dependência significativa entre observações bastante afastadas no tempo. numa perspectiva de política económica, os efeitos dos choques são tempo- rários, mas duradouros. Daqui decorre que a única forma de alcançar efeitos permanentes consiste na adopção de políticas também elas permanentes.

A dicotomia tradicional entre estacionaridade e não estacionariedade sugeriria que os efeitos das políticas transitórias têm duração curta (caso estacionário) ou permanentes (caso não estacionário). esta abordagem mais rígida tende a levar a implicações políticas erróneas, seja pela identificação de efeitos de curta duração, onde os efeitos podem realmente ser duradouros, seja pela identificação de efeitos permanentes, quando os efeitos podem na verdade significar reversão para a média. Consequentemente, as proprieda-

des de integração fraccionário das emissões de Co2 têm implicações políticas importantes para a especificação de cenários de referência de longo prazo para as emissões.

em termos de projecções de emissões de Co2, a nossa abordagem usa apenas a informação incluída no processo estocástico subjacente aos dados num contexto no qual as políticas existentes permanecem invariáveis. o

nosso quadro metodológico deve ser compreendido também no contexto do debate actual sobre qual a *benchmark* que deve ser usado para avaliar os

esforços de política e monitorizar o cumprimento dos objectivos associados, por exemplo, aos objectivos de Desenvolvimento sustentável da onu ou aos diferentes objectivos de descarbonização da economia. De facto, as nos- sas projecções ARFimA reflectem as emissões de Co2 que existiriam numa data futura, na ausência das metas e não o valor observado num determinado ano, como foi o caso com as metas do Protocolo de Quioto e, mais recente- mente, com o Acordo de Paris [ver markandaya *et al.* (2019)].

Ainda do ponto de vista metodológico, importa notar que no âmbito da estimação dos modelos ARFimA procedemos à análise da precisão das previsões dos modelos estimados. os nossos resultados sugerem que obti- vemos excelentes previsões *in-sample* para cada uma das oito séries tempo- rais das emissões de Co2 usadas neste estudo, em todos os indicadores

usados na análise (nomeadamente o mAPe e estatística u). na verdade,

mais de 94% do erro de previsão nas variáveis agregadas de Co2 deste estudo não é sistemático [vide Belbute & Pereira, 2020a) e Belbute &

Pereira, 2020b), e Belbute & Pereira, 2021)]. uma vez estabelecido e asse- gurado um bom desempenho com os estimadores ARFimA dos valores previstos em contexto *in-sample*, usamos esses estimadores para gerar as previsões das emissões de Co2 até 2050, ou seja *out-of-sample* para todas as

oito séries temporais.

# Descrição e análise dos dados

neste estudo usamos dados anuais para as emissões agregadas de Co2 globais, dos seis países mais poluidores, e de Portugal, para o período entre 1950 e 2017. os dados até 2014 foram obtidos no Carbon-Dioxide infor- mation Analysis Centre [ver Boden *et. al.* (2017)]. este conjunto de dados contém informações que remontam a 1870. no entanto, neste estudo opta- mos por trabalhar apenas com os dados a partir de 1950, dadas as profundas mudanças estruturais ocorridas após a segunda Guerra mundial. Por sua vez, os dados para 2015-2017 foram obtidos a partir dos inventários de emissões nacionais recolhidos pelas nações unidas [ver unFCCn (2018)] e relatados pelo Global Carbon Atlas (2019).

As emissões de Co2 usadas neste trabalho são a soma de cinco compo- nentes: emissões da queima de combustíveis fósseis — sólidos, líquidos, gás, e queima de gás — e emissões resultantes da produção de cimento. os dados não consideram as emissões do uso da terra, nem das mudanças no uso da terra e silvicultura. todas as variáveis são medidas em milhões de toneladas métricas de carbono por ano (mt, doravante), e foram convertidas em uni- dades de dióxido de carbono multiplicando os dados originais por 3,664, o rácio entre os dois pesos atómicos.

*Emissões Globais*

A tabela 1 apresenta os dados das emissões globais de Co2. Ao longo do período de amostragem, as emissões mundiais de Co2 aumentaram de forma consistente. no entanto, podemos identificar dois períodos distintos. entre 1950 e 1980, as emissões globais cresceram a uma taxa média anual de 4,1%, atingindo 19 628,1 mt em 1979. mais recentemente, a taxa média de crescimento anual caiu para 1,7%. em 2017, as emissões atingiram seu valor mais alto, de 36 767 mt, um valor que está 10% acima dos níveis de 2001.

**tabela 1.** emissões globais de Co2

|  |  |
| --- | --- |
| **Emissões de CO2** | **Percentagem das emissões totais (%)** |
| **Anos** | **Mt** | **Décadas** | **Sólidos** | **Líquidos** | **Gás** | **Produção de Cimento** | **Queima de Gás** |
| **1950** | 5 972.32 | **1950-1959** | 60,2 | 29,7 | 7,3 | 1,4 | 1,5 |
| **1960** | 9 412.82 | **1960-1969** | 46,9 | 38,9 | 10,6 | 1,9 | 1,8 |
| **1970** | 14 850.19 | **1970-1979** | 35,7 | 47,2 | 12,9 | 2,1 | 2,1 |
| **1980** | 19 422.86 | **1980-1989** | 39,4 | 42,1 | 15,1 | 2,4 | 1,0 |
| **1990** | 22 255.14 | **1990-1999** | 36,9 | 41,3 | 18,1 | 3,0 | 0,6 |
| **2000** | 24 669.71 | **2000-2009** | 38,1 | 38,5 | 18,7 | 4,0 | 0,7 |
| **2010** | 33 444.99 | **2010-2017** | 41,4 | 33,6 | 18,8 | 5,5 | 0,7 |
| **2017** | 36 767.15 | **2017** | 39,6 | 34,4 | 19,6 | 5,7 | 0,7 |
| **1950-2017** |  | **1950-2017** | 38,9 | 37,7 | 17,9 | 3.2 | 1,0 |

A combustão de combustíveis sólidos foi a fonte dominante de emissões de Co2 durante as duas primeiras décadas do nosso período de amostra,

contribuindo em média com cerca de 53,5% das emissões totais. em 2017, porém, esse número era de apenas 39,6% das emissões totais. Durante o período da amostra, as emissões com origem da queima de combustíveis fósseis foi, em média, 38,9% das emissões totais.

A combustão de combustíveis líquidos representou, em média, 37,7% das emissões totais de Co2 no período da amostra. essa participação passou de 29,7% na década de 1950 para 47,2% na década de 1970. Desde 1980,

porém, diminuiu chegando a 34,4% em 2017.

A combustão do gás representou 17,9% das emissões totais no período da amostra. na década de 1950 eram 7,3% das emissões e aumentaram para 12,9% na década de 1970. nas décadas subsequentes, a importância relativa dessas emissões aumentou continuamente, embora em um ritmo mais lento. em 2017, atingiram o seu maior valor com 19,6% das emissões totais.

As emissões de Co2 da produção de cimento representam 3,2% das emissões totais durante o período de amostragem. A participação relativa das emissões da produção de cimento mostrou um padrão de aumento persisten-

te, atingindo 5,7% em 2017. Por fim, as emissões de Co2 da queima de gás representam 1,0% das emissões totais durante o período de amostra. Após a década de 1980, a participação relativa das emissões de Co2 da queima de

gás diminuiu para 0,7% em 2017.

*Os seis países mais poluentes*

A tabela 2 apresenta informações resumidas sobre as emissões agregadas de Co2. no período amostral, as emissões de Co2 na China aumentaram constantemente de 78 mt em 1950 para 9839 mt em 2017, tornando-a líder mundial em emissões. Actualmente, a China é responsável por 26,8% das emissões mundiais, parcela que aumentou acentuadamente no período da

amostra. Por sua vez, as emissões de Co2 nos euA aumentaram de 2536 mt em 1950 para um pico de 6132 mt em 2005 e diminuíram depois disso. em 2017, os euA contribuíram com 5270mt para as emissões globais. esse número corresponde a 14,3% das emissões mundiais, tornando os euA o segundo maior poluidor. essa participação, no entanto, vem diminuindo continuamente desde a década de 1950, quando atingiu 36,6%.

As emissões de Co2 da ue (28) atingiram o pico em 1979 com 4724mt e diminuíram particularmente depois de 2005. Por outro lado, na Índia, as emissões de Co2 aumentaram

**tabela 2.** emissões de Co2 para os seis países mais emissores

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Décadas** | **Global Mt** | **China** | **USA** | **EU(28)** | **Índia** | **Rússia** | **Japão** | **Resto do Mundo** |

**Percentagem das emissões totais (%)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **1950-1959** | **7,391** | 3,2 | 36,6 | 30,2 | 1,1 | 8,3 | 2,0 | 18,6 |
| **1960-1969** | **11,292** | 4,6 | 29,8 | 28,3 | 1,4 | 10,0 | 3,5 | 22,4 |
| **1970-1979** | **17,141** | 6,4 | 27,0 | 25,2 | 1,4 | 10,4 | 5,1 | 24,4 |
| **1980-1989** | **20,003** | 9,4 | 22,9 | 21,9 | 2,1 | 11,5 | 4,7 | 27,6 |
| **1990-1999** | **23,077** | 13,0 | 23,6 | 18,5 | 3,5 | 8,0 | 5,2 | 28,2 |
| **2000-2009** | **28,613** | 18,6 | 21,1 | 14,9 | 4,3 | 5,6 | 4,4 | 31,0 |
| **2010-2017** | 35,592 | 26,8 | 15,4 | 10,3 | 5,9 | 4,7 | 3,5 | 33,4 |
| **2010** | **33,445** | 25,4 | 17,0 | 11,8 | 5,1 | 5,0 | 3,6 | 32,1 |
| **2017** | **36,767** | 26,8 | 14,3 | 9,6 | 6,7 | 4,6 | 3,3 | 34,7 |

constantemente de 66,7mt em 1950 para 2.467mt em 2017. As emissões da Índia representaram 1,1% do mundo emissões na década de 1950. essa par- ticipação atingiu 6,7% em 2017, tornando a Índia o quarto maior emissor. A Rússia é o quinto maior emissor de Co2, tendo contribuído em 2017 com cerca de 4,6% das emissões mundiais. As emissões aumentaram de 418mt em 1950 para 1.693mt em 2017, com um pico de 2.571mt em

1990. A queda acentuada nas emissões da Rússia na década de 1990 deve-se ao desmembramento da uRss em 1991. Já no Japão, as emissões de Co2 chegaram a 1.205mt em 2017, o que representa 3,3% das emissões mun-

diais e torna o Japão o sexto maior emissor regional de Co2. Finalmente, as emissões de Co2 do resto do mundo aumentaram persistentemente ao longo do período de amostra, de 972mt em 1950 para 12.751mt em 2017.

A participação das emissões do resto do mundo nas emissões mundiais aumentou de 18,6% na década de 1950 para 34,7% em 2017.

*Portugal*

A tabela 3 apresenta o panorama geral dos nossos dados. em Portugal, durante a segunda metade do século XX, as emissões totais de Co2 aumenta- ram a um ritmo constante. essa tendência foi revertida nas últimas duas déca- das com as emissões a diminuir progressivamente até ao final do período amostral. As emissões anuais de Co2 atingiram o pico em 2002 com 66,7 mt. em 2017, as emissões atingiram 50,8 mt, número 20% e 5,6% acima dos níveis de referência de 1990 e 2010, respectivamente. Para perspectivar, as emissões totais de Co2 de Portugal em 2017 representam apenas 1,4% das emissões totais da união europeia e uns meros 0,14% das emissões mundiais. As emissões de Co2 com origem na queima de combustíveis fósseis sólidos representaram, em média, no período da amostra, pouco mais de 18,6% das emis- sões totais. essas emissões atingiram o seu ponto mais baixo em termos relativos na década de 1970 e têm apresentado um aumento relativamente constante desde

então. nos últimos anos da amostra, representaram 22,7% das emissões totais.

A queima de combustíveis líquidos foi a fonte dominante de emissões de Co2 durante o período amostral, contribuindo em média com cerca de 61,4% das emissões totais. nas décadas de 1970 e 80, representavam cerca de

80% do total, número que diminuiu significativamente desde então. nos últimos anos da amostra, representaram 54,9% das emissões.

**tabela 3.** emissões de Co2 para Portugal

|  |  |
| --- | --- |
| **Emissões de CO2** | **Percentagem das emissões totais (%)** |
| **Anos** | **Mt** | **Décadas** | **Sólidos** | **Líquidos** | **Gás** | **Produção de Cimento** |
| **1950** | 5,621 | **1950-1959** | 37,0 | 56,7 | – | 6,3 |
| **1960** | 8,218 | **1960-1969** | 26,2 | 66,6 | – | 7,2 |
| **1970** | 15,246 | **1970-1979** | 9,6 | 81,8 | – | 8,6 |
| **1980** | 26,963 | **1980-1989** | 12,4 | 78,1 | – | 9,5 |
| **1990** | 42,286 | **1990-1999** | 24,5 | 66,3 | 3,3 | 8,2 |
| **2000** | 62,680 | **2000-2009** | 19,9 | 60,6 | 12,3 | 7,2 |
| **2010** | 48,097 | **2010-2017** | 20,9 | 54,9 | 18,9 | 5,3 |
| **2017** | 50,784 | **2017** | 22,5 | 55,1 | 17 | 5,5 |
| **1950-2017** |  | **1950-2017** | 18,4 | 62,4 | 12,7 | 7.1 |

o uso do gás natural desenvolveu-se rapidamente após sua introdução em 1998. Consequentemente, as emissões de Co2 relacionadas aumentaram significativamente. A proporção média do gás nas emissões agregadas para o período de 1998-2017 foi de 12,7%, um contributo que vem aumentando continuamente nas últimas três décadas, chegando a 17% nos últimos anos da amostra.

Por fim, as emissões de Co2 com origem na produção de cimento repre- sentam 7,1% das emissões totais no período da amostra. essas emissões atingiram o pico nas décadas de 1970, 80 e 90. A sua participação relativa nas emissões diminuiu nas últimas duas décadas, chegando a apenas 5,3% nos anos mais recentes da amostra.

# Análise a Nível Global

nesta secção apresentamos os resultados e a respectiva discussão da pro- blemática da avaliação dos custos na escala global, focando a atenção apenas para as emissões agregadas.

*Resultados*

na fig. 1 apresentamos os resultados do exercício de projecção das emis- sões globais de Co2, gerado pela estimação do modelo ARFimA, enquanto que a tabela 4 mostra os esforços de política necessários para cumprir as novas metas do iPCC, implícitas nas previsões ARFimA.

os nossos resultados sugerem que as emissões globais continuarão a aumentar até cerda de 2034, altura em que atingem um pico no valor de 37.623 mt, que compara com o valor observado das emissões globais em 2010 (33.445 mt). A partir deste momento, será de esperar uma redução das emissões globais, mas a uma taxa ainda muito suave, de tal modo que em 2050 o montante de emissões globais é ainda superior ao nível observado de 2010. na verdade, os níveis projectados pelo modelo ARFimA para as emis- sões em 2030 e 2050 são 12,4% e 11,1% acima do nível de referência de 2010, respectivamente.

 

* 1. b)

fig. 1: Cenário de referência para as emissões globais de Co2 e metas do iPCC(2018)

**nota:** o gráfico a) apresenta as previsões geradas pela estimação do modelo ARFimA das emissões

(linha a tracejado). A tracejado apresentam-se as bandas inferior e superior do intervalo de confiança de 95%. o gráfico b) apresenta o custo da concretização da neutralidade carbónica em 2050 associa- da às metas estabelecidas pelo iPCC2018 (linha a negro), tendo como referência as projecções do modelo ARFimA (linha a cinza).

segundo as metas do iPCC, e tendo como referência o valor observado das emissões globais de 2010, as emissões globais de Co2 teriam de diminuir

15.050 mt (ou 45%) até 2030 e mais 12.476 mt (ou 40,1%) entre 2030 e

2050. Consequentemente, a meta total de redução acumulada até 2050 para atingir a neutralidade carbónica irá exigir uma redução de 85,1% nas emis- sões em relação aos níveis de 2010.

A comparação entre as metas para as emissões globais de Co2 do iPCC (2018) e as nossas projecções no cenário de referência ARFimA é da maior importância. uma vez que as nossas projecções captam a toda a informação

estatísticas relevante incluída na amostra, as nossas projeções fornecem o cenário de referência fundamental para avaliar o esforço líquido de política necessárias para atingir a neutralidade carbónica em 2050.

A fim de cumprir a meta do iPCC para 2030, é necessário um esforço políti- co que reduza 57,4% das emissões em relação aos níveis de 2010. Destes, 12,4% correspondem ao esforço extra devido à inércia do sistema natural de emissões de

Co2 que é necessário compensar. Por sua vez, para que a meta de 2050 seja atin- gida, é necessário um esforço adicional de 97,4% das emissões de 2010. Daqui decorre que os esforços da política de descarbonização não são apenas muito gran-

des, mas são também maiores do que o sugerido pelas metas do iPCC (2018).

Finalmente, o cenário de referência ARFimA também antecipa elevados esforços de política para atingir a neutralidade carbónica em 2050, mas de

uma amplitude que claramente excede os esforços de política já antecipados pelas metas do iPCC (2019)

*Discussão e Conclusões*

os nossos resultados empíricos sugerem que as emissões de Co2 são processos fraccionários integrados, pelo que as emissões de Co2 apresentam memória longa. Consequentemente, os efeitos dos choques de política ten- dem a dissipar-se a uma taxa hiperbólica lenta.

Por outro lado, a presença de memória longa nas emissões de Co2 impli- ca que qualquer choque de política terá efeitos temporários, embora mais duradouros do que o sugerido pelas análises tradicionais de estacionariedade. no entanto, este resultado tem também como implicação que o esforço da política terá de ser persistente de modo a produzir efeitos igualmente persis- tentes. isso é particularmente relevante no âmbito das estratégias internacio- nais para alcançar a neutralidade de carbono em 2050, onde se afigura crucial promover mudanças permanentes no comportamento das famílias e das empresas.

**tabela 4**. Reduções nas emissões globais de Co2 relativamente ao valor de 2010(%)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **2030** | **2050** |
| metas do IPCC (2018) | -45,0 | -85,1 |
| esforço de política com o cenário ARFimA de referência | -57,4 | -97,4 |

De acordo com nossas projecções, as emissões mundiais de Co2 atingi- rão o pico em 2034 e diminuirão lentamente a partir de então. no entanto, as emissões em 2050 estarão ainda 11,1% acima dos níveis de 2010.

o nosso trabalho avalia os esforços de política necessários para descarbo- nizar a economia mundial pela diferença entre as reduções de emissões de Co2 necessárias para atingir as metas nominais do iPCC(2018) e a evolução

das emissões medidas pelas projecções subjacentes ao modelo ARFimA.

A tabela 4 apresenta os nossos resultados para as emissões globais em 2030 e em 2050. os nossos resultados sugerem que para atingir as metas do iPCC, são necessários esforços de política adicionais que promovam a redu- ção das emissões em 57,4% e em 97,4% relativamente aos níveis de emissões de 2010, até 2030 e 2050, respectivamente. Consequentemente, os esforços de política necessários são muito consideráveis e maiores do que os sugeridos pelas próprias metas do iPCC.

Acresce que os esforços de política necessários para alcançar a neutralidade de carbono até 2050 não são apenas elevados. Com efeito os nossos resultados sugerem que a intensidade dos esforços deve ocorrer mais cedo do que as pro- jecções do iPCC. na verdade, cerca de 60% das reduções necessárias devem ser alcançadas na próxima década e apenas 40% nas próximas duas décadas. em contraste, as metas do iPCC, consideradas isoladamente, parecem implicar uma parcela de esforços de cerca de 52,9% na próxima década.

# O Caso dos Países Mais Poluentes

o objectivo desta secção consiste em fornecer projecções de referência para as emissões de Co2 agregadas para os seis maiores emissores regionais

— China, euA, união europeia, Índia, Rússia e Japão, bem como para o

Resto do mundo.

*Resultados*

A fig. 2 apresenta os resultados resumidos relativos aos níveis de referên- cia de 2010. o nosso exercício permite identificar dois grupos de países em termos do padrão intertemporal das emissões agregadas de Co2 projectadas até 2050. Para o primeiro grupo, as emissões estão sempre a aumentar ou atingem o seu pico algures entre 2018 e 2050. este grupo inclui a China, a Índia e o resto do mundo, que, por si só, respondem por 68,2% das emissões totais em 2017. o segundo grupo, projecta a queda das emissões ao longo do horizonte de previsão. este grupo inclui os euA, a ue (28), a Rússia e o Japão e é responsável pelos restantes 31,8% das emissões mundiais.

a) Global b) China

 

c) euA d) eu(28)

 

e) Índia f ) Rússia

 

g) Japão h) Rdm

 

fig. 2: Cenário de referência para as emissões de Co2 para os países mais poluentes

mais especificamente, para o primeiro grupo de países, para a China, prevemos que as emissões de Co2 atinjam um pico em 2034 em 10 248 mt. os níveis de emissões previstos em 2030 e 2050 são 20,2% e 18,3% acima do nível de referência de 2010, respectivamente. Para o resto do mundo, os números projectados são semelhantes, muito embora as emissões mostrem uma tendência de aumento permanente. especificamente, os níveis previstos de emissões em 2030 e 2050 são 21,4% e 24,9% acima do nível de referên- cia de 2010, respectivamente. Por sua vez, projectamos emissões para a Índia sempre acima dos níveis de referência de 2010 e cada vez mais.

**tabela 5.** Reduções nas emissões de Co2, nos países mais oluentes, relativamente a 2010 (%)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **2030** | **2050** |
| metas do iPCC (2018) | -45,0 | -8,.0 |

esforço de política com o cenário ARFimA de referência

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Global | -57.4 | -97.4 |
| China | -65,2 | -105,2 |
| euA | -35,2 | -75,1 |
| eu (28) | -25,5 | -65,8 |
| Índia | -115,7 | -156,0 |
| Rússia | -34,3 | -74,3 |
| Japão | -36,5 | -76,7 |
| Rdm | -71,4 | -111,4 |

em 2030 e 2050, o fluxo de emissões está, respectivamente, 53,7% e 83,4% acima do nível de 2010. Consequentemente, a Índia destaca-se como um país para o qual as emissões projectadas mostram um padrão de aumento acentuado.

Quanto ao segundo grupo de países, para os euA projectamos emissões de Co2 em 9,8% e 14,7% abaixo dos níveis de emissões de 2010 até 2030 e 2050. Para a Rússia, as emissões são projectadas em 10,7% e 18,8% abaixo dos

níveis de 2010 em 2030 e 2050, respectivamente, enquanto para o Japão as emissões projectadas serão 8,5% e 18,0% abaixo do nível de 2010. Por último, para a ue (28), os valores são 19,5% e 27,5% abaixo do nível de 2010, res- pectivamente. nesse sentido, a ue (28) destaca-se como uma região que apre- senta um padrão de descarbonização um pouco mais acelerado.

a) Global b) China

 

c) euA d) eu(28)

 

e) Índia f ) Rússia

 

1. Japão h) Rdm

 

fig. 3: Projecções ARFimA *versus* metas do iPCC para os países mais poluentes

A tabela 5 mostra o esforço político necessário para cumprir as novas metas do iPCC e atingir a neutralidade de carbono até 2050. A primeira coluna apresenta o esforço total necessário para atingir a meta intermediária do iPCC para 2030, enquanto a segunda coluna exibe o esforço total neces- sário até 2050 para atingir a neutralidade carbónica. A diferença entre as previsões ARFimA e os números do iPCC na primeira linha, portanto, mede o esforço adicional/reduzido implícito nas previsões ARFimA para atingir as metas do iPCC. na Figura 3, fornecemos uma visão panorâmica das duas trajetórias relevantes.

naturalmente que os resultados que apresentamos para as emissões glo- bais ocultam realidades muito diferentes. na verdade, para as regiões como China, resto do mundo e Índia, a tarefa que têm pela frente é muito maior do que as projecções para as emissões globais do iPCC indicam, enquanto para os demais países o oposto é verdadeiro.

Para a China, um esforço de política que reduza as emissões agregadas de Co2 em 65,2% dos níveis de 2010 até 2030 é o necessário para cumprir as metas do iPCC. Contudo, até 2050, é necessária uma redução de emissões equivalente a 105,2% das emissões de 2010. este resultado sugere que, para a China, o esforço de política é ligeiramente maior (e também ligeiramente mais antecipado) do que o esforço. uma situação semelhante, tanto qualita- tiva quanto quantitativamente, também se aplica ao Rdm. isso significa que os esforços de política necessários para atingir os objectivos do iPCC nesses dois blocos estão muito próximos do padrão mundial.

o caso da Índia, no entanto, merece um olhar mais atento, pois os esfor- ços de política necessários para atingir as metas de emissões de Co2 do iPCC são muito mais pronunciados. em 2030, esses esforços de política teriam de

reduzir 115,7% do nível de emissões no ano de referência, 2010, enquanto em 2050 a redução teria de ser de 156%, relativamente a 2010. Daqui decor- re que os esforços da política de descarbonização que a Índia enfrenta são gigantescos e severos, mas também drasticamente antecipados, uma vez que cerca de 76% dos esforços políticos teriam de ocorrer até 2030.

no outro grupo estão os euA, a ue (28), a Rússia e o Japão, para os quais a inércia do sistema de emissões sugere que os esforços de política necessários

para promover a descarbonização. em particular, para a ue (28), os nossos resultados sugerem que seriam necessários esforços de política que reduzissem 25,5% e 65,8% nas emissões agregadas em relação aos níveis de 2010 até 2030 e 2050, respectivamente. Para além disso, a inércia do sistema natural de emis- sões de Co2 é substancialmente menor. Dito de outro modo, os esforços polí-

ticos são claramente menos antecipados do que os padrões mundiais, pois

apenas cerca de 45% dos esforços políticos teriam de ocorrer antes de 2030. no caso da ue (28), os esforços políticos necessários são menos pronunciados e menos antecipados do que nas outras três regiões. na verdade, para estes países, os esforços de política que têm de realizar até 2030 representam menos de 45% do que o exigido pelas metas do iPCC para as emissões globais.

Para os demais países deste grupo, os mesmos padrões qualitativos se aplicam, embora exijam um esforço político um pouco mais forte. Para os euA, Rússia e Japão, os esforços de política necessários para atingir as metas do iPCC 2030 são pouco mais de um terço das emissões de 2010: 35,2%, 34,3% e 36,5%, respectivamente. em 2050, serão cerca de três quartos das emissões de 2010: 75,1%, 74,3% e 76,7%, respectivamente.

*Discussão e Conclusões*

em geral, as nossas projecções sugerem que as emissões da China, Índia e do resto do mundo mostram um padrão claro de aumento das emissões até 2050. Para a China, as emissões atingirão o pico por volta de 2034, enquan- to para a Índia e o resto do mundo atingirão o pico após o nosso horizonte de previsão. inversamente, nas demais regiões, euA, ue (28), Rússia e Japão, as projecções mostram um padrão decrescente de emissões. Destes, a ue (28) consegue reduções das emissões mais substanciais.

significativamente, os nossos resultados sugerem claramente que a inér- cia subjacente dos sistemas de emissões é insuficiente para gerar uma trajec- tória de emissões consistente com a meta intermediária do iPCC para 2030 e mesmo com a meta de neutralidade de carbono até 2050. na verdade, eles sugerem exactamente o contrário: as nossas projecções indicam que, na maioria doa casos, as emissões de Co2 até 2030 e 2050 se encontrarão cada

vez mais acima dos níveis de 2010.

os nossos resultados sugerem ainda que as políticas de descarbonização da economia até 2050 deviam ser ajustadas considerando as características específicas a nível regional. Dadas as diferenças na inércia das emissões nas diferentes regiões, uma abordagem indiferenciada pode não ser a melhor solução. mais especificamente, os nossos resultados fornecem pistas sobre a contribuição necessária de cada região/país analisado para cumprir as metas do iPCC. na verdade, a contribuição das quatro regiões — euA, ue (28), Rússia e Japão —, cujas trajectórias de emissões estão a diminuir represen- tam 33,9% das emissões mundiais, mas dado o padrão previsível para as suas emissões até 2030, devem contribuir com 20,0% das reduções de emissões necessárias até 2030. o oposto é verdadeiro para China, Índia e resto do mundo, para quem o cumprimento das metas do iPCC até 2030 significará uma redução de 28,9% e 10,3% e 39,9% das emissões totais, respectivamen- te, enquanto eles representam 26,8%, 5,8% e 33,4% das emissões. nesse sentido, o comércio de reduções de emissões entre essas regiões pode ser uma estratégia razoável e, eventualmente, óptima.

# O Caso de Portugal

nas últimas três décadas, Portugal tem implementado políticas alinhadas com as orientações e metas internacionais para as alterações climáticas, nomea- damente a estratégia da união europeia para as alterações climáticas, o Proto- colo de Quioto e, mais recentemente, o Acordo de Paris e a inclusão das novas metas do iPCC (2018) no Roteiro para a neutralidade do Carbono, divulgado como um Resolução do Conselho de ministros Português de Julho de 2019 [ver, por exemplo, o Quadro estratégico for Climate Policy, QePiC 2030 (2015) e o Roadmap for Carbon neutrality, RnC2050 (2019)].

Como resultado desse esforço de política, observamos que a introdução do gás natural, a opção estratégica em favor das fontes renováveis de energia, o estímulo à eficiência energética e a participação no european union emis- sions trading scheme. esses esforços de política contribuíram para a conclu- são bem-sucedida do primeiro período de objectivos de conformidade do Protocolo de Quioto e para a redução das emissões observada desde 2002.

*Resultados*

tal como anteriormente, usámos os estimadores do modelo ARFimA para gerar os valores de referência das emissões agregadas de Co2 até 2050, para Portugal. os resultados são apresentados na Figura 4 e, na tabela 6, apresenta- mos os resultados resumidos relativos às emissões de referência de 2010.

As emissões agregadas de Co2 em Portugal estão projectadas para dimi- nuir de 50,8 mt em 2017 para 39,7 mt em 2050. os nossos resultados sugerem que em 2030 e 2050 as emissões agregadas de Co2 sejam cerca de 6,9% e 17,5% abaixo do nível de referência de 2010 (48,1 mt), respectiva- mente. Consequentemente, as reduções projectadas nas emissões são mais pronunciadas até 2030 -— uma redução anual média de cerca de 0,46 mt, e visivelmente mais lenta nas próximas duas décadas — uma redução média anual de 0,26 mt.

As metas de emissões do iPCC2018 foram aplicadas e adoptadas em termos muito gerais ao caso português no RnC2050 (2019), que estabelece o quadro estratégico das políticas públicas em Portugal visando a neutralida- de de carbono em 2050. na realidade, o RnC2050 (2019) não define metas específicas para 2030 e 2050, mas fornece intervalos de confiança com base em três cenários alternativos. especificamente, o RnC2050 (2019) aponta para 2030 o intervalo [-45%, -55%] para a redução das emissões agregadas e de [-85%, - 90%] para atingir a neutralidade de carbono em 2050, ambos em relação a 2005 e assumindo um determinado intervalo para os valores dos sumidouros de carbono. no nosso estudo, aplicamos os pontos médios desses intervalos aos valores de emissões de Co2 de combustíveis fósseis e

produção de cimento em 2005 para obter as metas RnC2050 implícitas

para 2030 e 2050. em seguida, alterámos o ano base de 2005 para 2010 para facilitar as comparações. De acordo com esses cálculos, as metas do RnC2050 representam uma redução de 32,2 %% nas emissões até 2030, enquanto que a neutralidade de carbono até 2050 exige uma redução de 83,0%, ambos em relação aos níveis de 2010. em última análise, o RnC2050 (2019) projecta um nível de emissões até 2050 em linha com as directrizes do iPCC 2018, muito embora em 2030 a redução projectada seja ligeira- mente inferior às directrizes do iPCC.

As metas de política do iPCC2018 e do RnC2050 são apresentadas nas linhas 1 e 2 da tabela 6. De acordo com os objectivos do iPCC, as emissões de Co2 em Portugal teriam de diminuir 21,6 mt ou, de forma equivalente, 45% das emissões de 2010 até 2030 e mais 18,3 mt (ou a mais 38% dos níveis de 2010), entre 2030 e 2050. A redução total acumulada até 2050 é de 39,9cmt, o que corresponde a uma redução de 83% em relação a 2010. Dada a nossa discussão anterior, e sem perda de generalidade, podemos afir- mar que as metas do RnC2050 para 2050 são as mesmas do iPCC(2018). A trajectória projectada de redução das emissões no cenário do RnC2050, no entanto, é ligeiramente menos antecipada, já que requer uma redução de 32,2% em 2030 em relação aos valores de 2010.

Da maior importância é a comparação dessas metas de política com o nosso cenário de referência. A linha 3 da tabela 6 indica que o efeito da inércia estimado pelas projecções do modelo ARFimA é responsável pela redução de 6,9% das emissões até 2030 e de 10,5% entre este ano e 2050, com uma redução acumulada total de 17,5%. isto implica que a inércia do sistema português de emissões também está longe de ser suficiente para gerar a trajectória de emissões de Co2 necessária para atingir os objectivos do

iPCC rumo à neutralidade de carbono até 2050.

tal como nos dois casos anteriores, a comparação entre as nossas previ- sões no cenário de referência ARFimA das emissões de Co2 e as metas de política do iPCC e RnC2050 dão-nos a dimensão dos esforços de política

necessários para que o País consiga atingir a neutralidade carbónica em 2050. essa informação é fornecida nas linhas 4 e 5 da tabela 6. A linha 4 da tabe- la 6 indica que será necessário um esforço de política que retire 38,1% dos 45% necessários para cumprir a meta de médio prazo do iPCC em 2030. os 6,9% restantes são obtidos por meio da inércia do sistema de emissões. Até 2050, a manutenção de uma agenda política consistente com o objectivo geral de redução de 82,3% das emissões exigirá um esforço político adicional de 27,4% em relação aos níveis de emissão de 2030, enquanto a inércia será responsável pela redução dos 10,6% restantes das emissões neste ano. Assim, a inércia do sistema levará a apenas à redução de 17,5% do total da meta de redução de emissões necessária até 2050 e os esforços restantes (-65,5%) terão de vir de políticas deliberadas de descarbonização.

* 1. b)

 

fig. 4: Cenário de referência para as emissões de Co2 e metas do iPCC(2018) em Portugal

nota: o gráfico a) apresenta as previsões geradas pela estimação do modelo ARFimA da emissões (linha a tracejado). A tracejado apresentam-se as bandas inferior e superior do intervalo de confiança de 95%. o gráfico b) apresenta o custo da concretização da neutralidade carbónica em 2050 associa- da às metas estabelecidas pelo iPCC2018 (linha a negro) e pelo RnC2050, tendo ambos como refe- rência as projecções do modelo ARFimA (linha a cinza).

os nossos resultados sugerem ainda que, para cumprir as metas de médio prazo do RnC2050 (2019) em 2030, é necessário um esforço de política que leve a uma redução das emissões de Co2 de 32,2% em relação aos níveis de 2010. Destes, 25,3% correspondem ao esforço incremental sobre a meta intermédia do RnC2050, devido à inércia do sistema de emis- sões. Alcançar a neutralidade de carbono até 2050 exigirá uma redução extra

das emissões de Co2 de 50,5% em relação aos níveis de 2010, 40,2% dos quais provenientes de políticas deliberadas de descarbonização, e os restantes 10,6% serão alcançados através da inércia do sistema de emissões.

Finalmente, também deve ser observado que as novas directrizes do iPCC impõem um esforço político mais rigoroso até 2030 — uma redução média anual de 2,5% nas emissões do que nos vinte anos subsequentes — o que cor- responde a uma redução média anual de 1,9% nas emissões. o oposto ocorre no RnC2050. esta é uma implicação directa de duas metas diferentes para 2030 combinadas, mas apenas uma mesma meta para 2050 nos dois casos.

tabela 6. Reduções nas emissões de Co2 em Portugal relativamente ao valor de 2010 (%)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 2030 | **2050** |
| incremento desde 2030 | total |
| (1) metas de política do iPCC (2018) | -45,0% | -38,0% | -83,0% |
| (2) metas de política implícitas no RnC2050 | -32,2% | -50,8% | -83,0% |
| (2019) |  |  |  |
| (3) ARFimA *model* | -6,9% | -10,6% | -17,5% |

esforço de política com o cenário ARFimA de referência

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| (4) iPCC (2018) *targets* (1)-(3) -38,1(5) RnC2050 (2019) *targets* (2)-(3) -25,3 | -27,4%-40,2 | -65,5%-65,5% |

*Discussão e Conclusões*

os nossos resultados para Portugal sugerem que os esforços políticos necessários para atingir a descarbonização são muito exigentes e antecipados se as metas do iPCC2018 forem estritamente adoptadas, uma vez que, em média, exigem a redução em 65,5% das emissões de 2010, até 2030.

os esforços políticos para a descarbonização da economia portuguesa devem incluir necessariamente mudanças importantes, tais como uma elimi- nação abrangente dos subsídios generalizados aos combustíveis fósseis; a elimi- nação das grandes distorções de mercado presentes nos preços da electricidade; descontinuação da produção de electricidade a carvão; promoção contínua da produção de electricidade a partir de fontes renováveis; a promoção de medi- das de eficiência energética abundantes e prontamente disponíveis. em última análise, eles exigirão o estabelecimento de um preço significativo de emissões de carbono — seja por meio de tributação de carbono ou de mercados de comércio de emissões.

significativamente, o recentemente anunciado encerramento forçado das duas principais centrais eléctricas a carvão do país (Pego e sines) é um passo importante na direcção certa, visto que estas duas centrais são respon-

sáveis por cerca de 19% das emissões. Além disso, esta é uma mudança permanente, o tipo de mudança necessária à luz da memória de longo prazo dos sistemas de emissões. Ainda assim, a descontinuação das duas centrais levará à redução nas emissões que é inferior a 25% das reduções totais que consideramos serem necessárias de acordo com nossas projecções.

# Súmario e Notas Finais

este trabalho apresenta projecções de referência para as emissões de Co2 com origem na queima de combustíveis fósseis e na produção de cimento à escala planetária, para os seis maiores emitentes e para Portugal, fazendo uso de uma metodologia que reconhece a presença de memória longa nas emis-

sões de Co2.

os nossos resultados têm implicações políticas importantes. em primeiro lugar, as nossas projecções de referência de emissões capturam o efeito de inér- cia subjacente às emissões de Co2. esse exercício permite avaliar os esforços de

política necessários para atingir a neutralidade carbónica em 2050.

trivialmente, os resultados confirmam que a inércia subjacente do cenário de referência é, por si só, insuficiente para gerar uma trajectória de emissões de

Co2 que alcançaria a neutralidade de carbono até 2050 e, em particular, as metas intermediárias do iPCC. Consequentemente, mas não surpreendente- mente, as nossas previsões sustentam a alegação do relatório do iPCC (2018)

de que são necessários e cruciais esforços de política activos, adicionais e deli- berados para atingir as metas desejáveis para os níveis de emissões.

em segundo lugar, a presença de memória longa nos dados sobre as emis- sões implica que qualquer choque de política terá efeitos temporários, embora sejam mais duradouros do que o sugerido pela análise tradicional de estaciona- riedade. A propriedade de *reversão para a média* das nossas estimativas, entre- tanto, implica que o esforço de política deve ser persistente para produzir efeitos igualmente persistentes. isso é particularmente relevante no quadro das estratégias nacionais e globais para alcançar a neutralidade de carbono em 2050, onde será crucial promover mudanças permanentes de comportamento e não apenas soluções de curto prazo.

Finalmente, os esforços políticos necessários para atingir a descarboniza- ção são muito exigentes e antecipados dado que as metas do iPCC2018 exigem, em média, uma redução nas emissões até 2030 equivalente a cerca de 60% tendo em conta os níveis de referência de 2010.

Do ponto de vista global, os impactos económicos e sociais das mudanças climáticas — na produtividade, recursos hídricos, transporte, produção e con- sumo de energia, migrações, turismo e lazer, infra-estruturas, capacidade de produção de alimentos, bem-estar e saúde pública, biodiversidade e até estabi- lidade política — estão ainda longe de ser totalmente identificados e muito menos internalizados na tomada de decisões de política [ver tol (2018)]. os nossos resultados contribuem para fortalecer a ideia da necessidade de definir e implementar políticas de transição, adaptação e mitigação das alterações climá- ticas, nomeadamente na esfera da energia, consistentes com a meta de neutrali- dade de carbono em 2050, totalmente alinhadas tanto com os objectivos do Acordo de Paris quanto com os objectivos de Desenvolvimento sustentável das nações unidas. essas políticas são urgentes, gigantescas e antecipáveis dado que mais de 2/3 dos esforços de redução das emissões de Co2 terão de ocorrer até

2030 para que as metas do iPCC sejam realizáveis, com ou sem Covid-19.

os nossos resultados sugerem ainda que as políticas de descarbonização da economia até 2050 devam ser ajustadas considerando as características específicas de cada um dos diferentes componentes regionais das emissões

agregadas de Co2. Dadas as diferenças na inércia das emissões nas diferentes regiões, uma abordagem indiferenciada pode não ser a melhor solução. mais especificamente, os nossos resultados fornecem pistas sobre a contribuição

necessária de cada região/país analisado para cumprir as metas do iPCC. na verdade, a contribuição das quatro regiões — euA, ue (28), Rússia

e Japão —, cujas trajectórias de emissões estão a diminuir representam 33,9% das emissões mundiais, mas devem contribuir com apenas 20,0% das reduções de emissões necessárias até 2030 . o oposto é verdadeiro para Chi- na, Índia e resto do mundo, para quem o cumprimento das metas do iPCC até 2030 significará uma redução de 28,9% e 10,3% e 39,9% das emissões

totais, respectivamente, enquanto eles representam 26,8%, 5,8% e 33,4% das emissões. nesse sentido, o comércio de reduções de emissões entre essas regiões pode ser uma estratégia ótima.

no caso de Portugal os nossos resultados sugerem que os esforços polí- ticos necessários para atingir a descarbonização são muito exigentes e anteci- pados se as metas do iPCC2018 forem estritamente adoptadas, uma vez que exigem uma redução, até 2030, de 65,5% do volume total de emissões que é necessário reduzir até 2050, para atingir a neutralidade carbónica.

muitas vezes fomos confrontados com a pergunta sobre se o esforço que o país vem realizando há já mais de vinte anos, vale a pena, tendo em conta a insignificância do nosso volume de emissões quando comparado com a dimensão do esforço global necessário para atingir a neutralidade carbónica em 2050.

o argumento é tentador. Desde logo porque remete para uma evidência inatacável: as emissões não têm fronteiras, pelo que os efeitos esperados das alterações climáticas em Portugal não dependem das emissões nacionais, mas antes das emissões globais. no entanto, a participação do país no esforço de limitação/redução e mitigação dos efeitos das alterações climáticas é um cla- ro sinal de compromisso assim como uma oportunidade para participar no processo de criação, valoração e difusão do conhecimento.

Para concluir, a relevância da aplicação da nossa metodologia não é paroquial. na verdade, a necessidade de identificar um cenário de referência significativo para as emissões é universal. A avaliação prospectiva da política de mitigação requererá sempre a identificação de um cenário de referência para as emissões, para identificar o momento e a magnitude dos esforços de política e para a avaliação da sua eficácia. A definição de uma *benchmark* significativa será melhor alcançada identificando um cenário de referência que reflicta o valor de emissões que existiriam numa data futura, na ausência de quaisquer metas e de políticas de redução das emissões, ao invés de um qualquer valor observado, num determinado ano [ver, por exemplo, mar- kandya, ( 2019)].

o método apresentado neste trabalho tem a vantagem de gerar tal cená- rio de referência que reflecte a presença de memória de longo prazo do siste- ma de emissões. Considerar a memória de longo prazo do sistema é fundamental não apenas para a formulação das previsões de referência mais precisas, mas também para o entendimento da natureza da resposta do siste- ma de emissões a grandes choques sistémicos.

naturalmente, o nosso método de identificação do cenário de referência e, concomitantemente, os esforços da política para atingir as metas de emis- são necessárias não é isento de limitações. em primeiro lugar, ao focar na inércia do passado, a nossa abordagem pode não captar algumas das dinâmi- cas que promovam uma maior consciência ambiental e promovam a adopção de comportamentos mais conscientes com o meio ambiente. A nossa meto- dologia sugere, entretanto, que o grande fosso entre os padrões de emissões actuais e as metas de emissões futuras é altamente improvável que seja supe- rado sem esforços políticos claros, deliberados, abrangentes e substanciais. Como tal, identificar o momento e a magnitude desses esforços de política requer uma atualização frequente das previsões de referência à luz da dispo- nibilidade de novos dados e da implementação de novas políticas.

# Referências

Baillie, R. (1996). «long-memory Processes and Fractional integration in econometrics», *Journal of Econometrics* 73, 5-9.

Belbute, J., & A. Pereira (2020 a). «Reference forecasts for Co2 emissions from fossil-fuel combustion and cement production in Portugal,» *Energy Policy*, 144 [doi 10.1016/j.enpol.2020.111642].

Belbute, J., & A. Pereira (2020 b). «ARFimA Reference Forecasts for Worldwide Co2 emissions and the need for large and Frontloaded Decarbonization Policies» *Journal of Economics and Public Finance, 6 (4)*, 41-57. [doi:10.22158/jepf.v6n4p41]

Belbute, J., & A. Pereira (2021). «ARFimA Reference Forecasts for Worldwide Co2 emissions and the national Dimension of the Policy efforts to meet iPCC targets» *Journal of Economic Deve- lopment,* forthcoming.

Boden, t.A., G. marland, & R. J. Andres. (2017). «Global, Regional, and national Fossil-Fuel Co2 emissions,» *Carbon Dioxide Information Analysis Center*, oak Ridge national laboratory, u.s.

Department of energy, oak Ridge, tenn., usA. Doi: 10.3334/CDiAC/00001\_v2017.

Delgado, m., & P. Robinson (1994). «new methods for the Analysis of long-memory time-series: Application to spanish inflation», *Journal of Forecasting,* 13, 94-107.

Diebold, F. and G. Rudebusch (1991). «on the Power of Dickey-Fuller tests Against Fractional Alternatives,» *Economics Letters* 35, 155-160.

Diebold, F., & G. Rudebusch (1989). «long memory and Persistence in Aggregate output», *Journal of Monetary Economics*, 24, pp. 189-209.

iPCC (2018). «Global Warming of 1.5°C. An iPCC special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable develo- pment, and efforts to eradicate poverty», masson-Delmotte, v., P. Zhai, H.-o. Pörtner, D. Roberts, J. skea, P.R. shukla, A. Pirani, W. moufouma-okia, C. Péan, R. Pidcock, s. Connors,

J.B.R. matthews, Y. Chen, X. Zhou, m.i. Gomis, e. lonnoy, t. maycock, m. tignor, and t. Waterfield (eds.).

iPCC (2014), «Climate Change 2014: synthesis Report», Contribution of Working Groups i, ii and iii to the *Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing team, R.K. Pachauri and l.A. meyer (eds.)]. iPCC, Geneva, switzerland, 151 pp.

lo, A.W. (1991). «long term memory in stock market prices», *Econometrica* 59, 1279-1313. markandya, A. (2019). «the Role of natural Capital in meeting the sDGs», Presentation to the 24th

Annual Conference of the european Association of environmental and Resource economists, Policy session: economics and sustainable Developments Goals, manchester, June.

Palma, W. (2007). *Long-Memory Time Series: Theory and Methods*, Wiley series in Probability and

statistics.

RnC2050 (2019). Resolução do Conselho de ministros n.º 107/2019, *Diário da República*, 123, de 1 de Julho.

sowell, F. (1992). «modeling long-Run Behavior with the Fractional ARimA model», *Journal of Monetary Economics*, 29, 277-302.