

**INFLATION EXPECTATIONS AND THE PHILLIPS CURVE:  
AN ENCOMPASSING FRAMEWORK**

Alexis Maka

Fernando de Holanda Barbosa

**DESAFIOS PARA A AMPLIAÇÃO DA COMPETITIVIDADE DA ECONOMIA  
BRASILEIRA: UMA ABORDAGEM A PARTIR DA ESTRATÉGIA NACIONAL  
DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO**

João Gabriel Pio

Fernando Salgueiro Perobelli

Suzana Quinet de Andrade Bastos

**CORRUPÇÃO E POBREZA NOS MUNICÍPIOS BRASILEIROS**

Lilian Lopes Ribeiro

Jose Weligton Felix Gomes

**O DEFICIT DA PREVIDÊNCIA SOCIAL NO BRASIL:  
SIMULAÇÕES DE REFORMA COM UM MODELO EGC DINÂMICO**

Arthur Simão Pereira da Silva

Alexandre Alves Porsse

Maurício Vaz Lobo Bittencourt

**ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF STATE PUBLIC EXPENDITURE  
IN EDUCATION AND HEALTH: THE BRAZILIAN CASE AFTER  
THE FISCAL RESPONSIBILITY LAW**

Francisco José Silva Tabosa

Pablo Urano de Carvalho Castelar

**IMPACTOS ECONÔMICOS DA PROPOSTA BRASILEIRA NA COP21:  
UMA ABORDAGEM DE EQUILÍBRIO GERAL COMPUTÁVEL**

Marco Paulo Vianna Franco

Micaele Martins de Carvalho

Stélio Coêlho Lombardi Filho

Aline Souza Magalhães

Edson Paulo Domingues



# **pesquisa e planejamento econômico - ppe**

# **ipea**

## Governo Federal

### Ministério do Planejamento e Orçamento

Ministra Simone Nassar Tebet

# ipea

Instituto de Pesquisa  
Econômica Aplicada

Fundação pública vinculada ao Ministério do Planejamento e Orçamento, o Ipea fornece suporte técnico e institucional às ações governamentais – possibilitando a formulação de inúmeras políticas públicas e programas de desenvolvimento brasileiros – e disponibiliza, para a sociedade, pesquisas e estudos realizados por seus técnicos.

#### Presidenta (substituta)

Luciana Mendes Santos Servo

#### Diretor de Desenvolvimento Institucional (substituto)

Sérgio Vinícius Marques do Val Côrtes

#### Diretor de Estudos e Políticas do Estado, das Instituições e da Democracia (substituto)

Bernardo Abreu de Medeiros

#### Diretor de Estudos e Políticas Macroeconômicas (substituto)

Francisco Eduardo de Luna Almeida Santos

#### Diretor de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais (substituto)

Bolívar Pêgo Filho

#### Diretor de Estudos e Políticas Setoriais, de Inovação, Regulação e Infraestrutura (substituto)

Edison Benedito da Silva Filho

#### Diretora de Estudos e Políticas Sociais (substituta)

Ana Luiza Machado de Codes

#### Diretor de Estudos Internacionais (substituto)

Fernando José da Silva Paiva Ribeiro

#### Coordenador-Geral de Imprensa e Comunicação Social

João Cláudio Garcia Rodrigues Lima

Ouvidoria: <http://www.ipea.gov.br/ouvidoria>

URL: <http://www.ipea.gov.br>

## Pesquisa e Planejamento Econômico (PPE)

Publicação quadrimestral com análises teóricas e empíricas sobre uma ampla gama de temas relacionados à economia brasileira. Estabelecida em 1971 sob o título Pesquisa e Planejamento, PPE é publicada em abril, agosto e dezembro.

### CORPO EDITORIAL

#### Editor

Maurício Cortez Reis

#### Coeditores

Marco A. F. H. Cavalcanti

José Gustavo Feres

Danilo Santa Cruz Coelho

#### Membros

Lauro Ramos (Ipea)

Eduardo Fiuza (Ipea)

Alexandre Xavier Ywata de Carvalho (Ipea)

Daniel da Mata (Ipea)

Carlos Viana de Carvalho (PUC-RJ)

Eduardo Rios Neto (Cedeplar-UFMG)

José Raimundo Carvalho (CAEN-UFC)

Marcelo Portugal (UFRGS)

Marco Bonomo (Insper)

Mônica Viegas de Andrade (Cedeplar-UFMG)

Rafael Coutinho Costa Lima (UFPE)

Renata Narita (FEA-USP)

Ricardo Paes de Barros (Insper)

Roberto G. Ellery (UnB)

Sergio Firpo (Insper)

Vladimir Ponczek (EESP-FGV/SP)

© Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – ipea 2023

Pesquisa e Planejamento Econômico v. 1 – n.1 – jun. 1971.

Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 1990 – v. – quadrimestral.

Título anterior: Pesquisa e Planejamento v. 1, n. 1 e 2, 1971

Periodicidade anterior: semestral de 1971–1975.

1. Economia – Pesquisa – Periódicos. 2. Planejamento Econômico – Brasil. I. Brasil. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.

ISSN - 0 100-0551

CDD 330.05  
33(81) (05)

As publicações do Ipea estão disponíveis para download gratuito nos formatos PDF (todas) e EPUB (livros e periódicos). Acesse: <http://www.ipea.gov.br/porta/publicacoes>

As opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e inteira responsabilidade dos autores, não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada ou do Ministério do Planejamento e Orçamento.

É permitida a reprodução deste texto e dos dados nele contidos, desde que citada a fonte. Reproduções para fins comerciais são proibidas.

## SUMÁRIO

### **EXPECTATIVAS DE INFLAÇÃO E A CURVA DE PHILLIPS: UM ARCABOUÇO ABRANGENTE 7**

Alexis Maka

Fernando de Holanda Barbosa

### **DESAFIOS PARA A AMPLIAÇÃO DA COMPETITIVIDADE DA ECONOMIA BRASILEIRA: UMA ABORDAGEM A PARTIR DA ESTRATÉGIA NACIONAL DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO 29**

João Gabriel Pio

Fernando Salgueiro Perobelli

Suzana Quinet de Andrade Bastos

### **CORRUPÇÃO E POBREZA NOS MUNICÍPIOS BRASILEIROS 67**

Lilian Lopes Ribeiro

Jose Weligton Felix Gomes

### **O DEFICIT DA PREVIDÊNCIA SOCIAL NO BRASIL: SIMULAÇÕES DE REFORMA COM UM MODELO EGC DINÂMICO 87**

Arthur Simão Pereira da Silva

Alexandre Alves Porsse

Maurício Vaz Lobo Bittencourt

### **ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DOS GASTOS PÚBLICOS ESTADUAIS EM EDUCAÇÃO E SAÚDE: O CASO BRASILEIRO PÓS-LEI DE RESPONSABILIDADE FISCAL 135**

Francisco José Silva Tabosa

Pablo Urano de Carvalho Castelar

### **IMPACTOS ECONÔMICOS DA PROPOSTA BRASILEIRA NA COP21: UMA ABORDAGEM DE EQUILÍBRIO GERAL COMPUTÁVEL 171**

Marco Paulo Vianna Franco

Micaele Martins de Carvalho

Stélio Coêlho Lombardi Filho

Aline Souza Magalhães

Edson Paulo Domingues



## CONTENTS

### **INFLATION EXPECTATIONS AND THE PHILLIPS CURVE: AN ENCOMPASSING FRAMEWORK      7**

Alexis Maka

Fernando de Holanda Barbosa

### **CHALLENGES FOR EXPANDING THE COMPETITIVENESS OF THE BRAZILIAN ECONOMY: AN APPROACH BASED ON THE NATIONAL STRATEGY FOR SCIENCE, TECHNOLOGY AND INNOVATION      29**

João Gabriel Pio

Fernando Salgueiro Perobelli

Suzana Quinet de Andrade Bastos

### **CORRUPTION AND POVERTY IN BRAZILIAN MUNICIPALITIES      67**

João Gabriel Pio

Fernando Salgueiro Perobelli

Suzana Quinet de Andrade Bastos

Lilian Lopes Ribeiro

Jose Weligton Felix Gomes

### **THE SOCIAL SECURITY REFORM IN BRAZIL: SIMULATIONS WITH A DYNAMIC CGE MODEL      87**

Arthur Simão Pereira da Silva

Alexandre Alves Porsse

Maurício Vaz Lobo Bittencourt

### **ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF STATE PUBLIC EXPENDITURE IN EDUCATION AND HEALTH: THE BRAZILIAN CASE AFTER THE FISCAL RESPONSIBILITY LAW      135**

Francisco José Silva Tabosa

Pablo Urano de Carvalho Castelar

### **ECONOMIC IMPACTS OF THE BRAZILIAN PROPOSAL IN COP21: A COMPUTABLE GENERAL EQUILIBRIUM APPROACH      171**

Marco Paulo Vianna Franco

Micaele Martins de Carvalho

Stélio Coêlho Lombardi Filho

Aline Souza Magalhães

Edson Paulo Domingues



# INFLATION EXPECTATIONS AND THE PHILLIPS CURVE: AN ENCOMPASSING FRAMEWORK<sup>1</sup>

Alexis Maka<sup>2</sup>

Fernando de Holanda Barbosa<sup>3</sup>

This paper contrasts empirically four leading models of inflation dynamics – the Accelerationist Phillips curve (APC), New Keynesian Phillips curve (NKPC), Hybrid Phillips curve (HPC) and Sticky Information Phillips curve (SIPC). We employ an encompassing Phillips curve specification that allows us to derive tests for these models within a single framework. Using the generalized method of moments (GMM) estimator, the evidence suggests that the restrictions implied by the NKPC, HPC, and SIPC are rejected for the period after the Real Plan in Brazil. Only the restrictions implied by the APC are not rejected. However, when we construct confidence regions that are robust to weak instruments, it is not possible to reject any of the Phillips curve specifications, including the NKPC.

**Keywords:** Phillips curves; weak instruments; fully robust confidence regions.

## EXPECTATIVAS DE INFLAÇÃO E A CURVA DE PHILLIPS: UM ARCABOUÇO ABRANGENTE

Este artigo contrasta empiricamente quatro importantes modelos de dinâmica da inflação – a curva de Phillips Aceleracionista (APC), a curva de Phillips Novo Keynesiana (NKPC), a curva de Phillips Híbrida (HPC) e curva de Phillips de Informação Rígida (SIPC). Utilizamos uma especificação abrangente da curva de Phillips que nos permite testar esses modelos dentro de um mesmo arcabouço. Utilizando estimador do método generalizado dos momentos (GMM), a evidência sugere que as restrições decorrentes da NKPC, da HPC e da SIPC são rejeitadas para o período após o Plano Real no Brasil. Apenas as restrições decorrentes da APC não são rejeitadas. Porém, quando construímos regiões de confiança que são robustas ao problema de instrumentos fracos, não é possível rejeitar nenhuma das especificações da curva de Phillips, incluindo a NKPC.

**Palavras-chave:** curvas de Phillips; instrumentos fracos; regiões de confiança totalmente robustas.

**JEL:** E12; E31; E32.

## 1 INTRODUCTION

The Phillips curve has been playing a central role in policymakers' understanding of the macroeconomy and in the formulation of monetary policy. It is not surprising then that empirical challenges in estimating a Phillips curve relationship have been closely intertwined with challenges in conducting monetary policy. Much work has been done, both theoretically and empirically, since Phillips's seminal 1958

---

1. DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/ppe52n1art1>

2. Researcher at the Department of Macroeconomic Policies and Studies of the Institute for Applied Economic Research (Dimac/Ipea). E-mail: <[alexis.maka@ipea.gov.br](mailto:alexis.maka@ipea.gov.br)>.

3. Professor at Getulio Vargas Foundation (FGV). E-mail: <[fernando.holanda@fgv.br](mailto:fernando.holanda@fgv.br)>.

paper. Yet economists have not converged to a widely agreed specification that is satisfactory both from a theoretical and an empirical standpoint.

The empirical evidence shows that inflation tends to be pro-cyclical: periods of above average inflation tend to be associated with above average economic activity. This statistical relationship is known as the Phillips curve. The Phillips curve was perceived in the 1960's as a menu for monetary policymakers: they could choose between high inflation and low unemployment or low inflation and high unemployment. But this interpretation of the Phillips curve assumed that the relationship between unemployment and inflation was stable and would not break down when a policymaker attempts to exploit the tradeoff. After Friedman's (1968) paper and the high inflation episodes experienced by many economies in the 1970s, this interpretation of the Phillips curve was discredited. After a period of low inflation in the 1980s and early 1990s, economists again worked on a theoretical framework for the Phillips curve. The New Keynesian Phillips curve (NKPC) provides an interpretation of the short-run inflation-unemployment trade-off by deriving it from an optimizing framework featuring rational expectations and nominal rigidities. This is a structural model, designed to be capable of explaining the behavior of inflation without being subject to the Lucas critique. The NKPC is part of the New Keynesian model which is the workhorse model for monetary analysis. However, to use the NKPC for policy analysis requires it to have a good econometric track record in describing inflation dynamics.

Initial attempts to estimate the NKPC using aggregate time series data for the U.S. were not very successful (Galí and Gertler, 1999): the estimated coefficient on the output gap (proxied by detrended real GDP) was small and often negative in quarterly data. One interpretation for the poor results using a standard output gap measure is that it is a poor proxy for real marginal cost, which according to the theory, would be the appropriate variable. Using the generalized method of moments (GMM) Galí and Gertler report evidence in favor of the New Keynesian Phillips curve when labor's share of income, rather than a standard output gap variable, is used to proxy for real marginal cost. In order to capture the inflation persistence found in the data, Galí and Gertler modify the basic Calvo model of sticky prices to introduce lagged inflation into the Phillips curve, called hybrid Phillips curve. Based on U.S. data and using real marginal cost as the forcing variable, Galí and Gertler conclude that not only the forward-looking behavior is predominant but, given the small estimate of the degree of backwardness, the pure forward-looking model may do a reasonably good job of describing the data. Galí, Gertler and López-Salido (2001) provided evidence on the fit of the NKPC for the Euro area.

As an alternative to the models of sticky prices, Mankiw and Reis (2002) argue that sticky information – the slow dispersion of information about macroeconomic

conditions – can help account for the sluggish adjustment of prices and for the real effects that occur in response to monetary shocks. Kiley (2007) attempted to test the sticky information model of inflation against the sticky price for the United States using maximum-likelihood techniques. He finds that, once hybrid behavior is allowed for, hybrid sticky-price models provide a better description of inflation dynamics than a sticky-information model.

Following the steps of Galí and Gertler, several authors have attempted to estimate the hybrid Phillips curve for Brazil employing the GMM to test the empirical fit of the NKPC for Brazil, giving special attention to the relative importance of the backward and forward-looking components of inflation.<sup>4</sup> Areosa and Medeiros (2007) derive and estimate a structural model for inflation in a small open economy. They find the following conclusions:

- the backward-looking component has smaller values than that of a closed economy, between 0.10 and 0.37;
- the forward-looking component shows higher values than that of a closed economy, between 0.63 and 0.81; and
- the impact of the marginal cost, despite being a little irrelevant, is statistically significant.

Mazali and Divino (2010) apply for Brazil the new Keynesian model of Blanchard and Galí (2007) with real wage rigidity and supply shocks. As the estimated coefficients satisfied a set of restrictions imposed by the theoretical model and over-identifying restrictions were not rejected, they concluded that the estimated NKPC adjusted very well to the Brazilian data. Their point estimate of the coefficient of lagged inflation is 0.59 and that of expected inflation is 0.41. Their results showed a negative and statistically significant relationship between inflation and unemployment. Mendonça, Sachsida and Medrano (2012) also based on the specification of Blanchard and Galí, but employing different proxies for inflation and unemployment concluded that the NKPC has difficulty fitting inflation dynamics in Brazil. Medeiros, Portugal and Aragón (2017) based on the hybrid specification of Galí and Gertler concluded that the forward-looking component of inflation is dominant, though its importance has been reduced after 2004. As we will see next, weak instrument issues provide a unifying explanation of the sensitivity of NKPC estimates and of the puzzling disagreement between analyses based on standard inference procedures.

As the popularity and usage of the NKPC has grown, criticisms have been raised with respect to its empirical identifiability. The main issue is that instrumental variables (IV) methods such as GMM are not immune to the presence of weak

---

4. For a survey on the studies about the Phillips curve in the Brazilian economy, see Sachsida (2013).

instruments.<sup>5</sup> Identification difficulties have led to re-examinations of NKPC models, and in particular of the Gali and Gertler NKPC specification. Several authors have argued that Gali and Gertler's results are unreliable because the parameters of the hybrid NKPC are weakly identified and they are estimated using methods that are not robust to identification problems (also known as weak instruments).<sup>6</sup> The weak instruments literature has shown that using conventional inference methods after pretesting for identification is both unreliable and unnecessary. A better approach is to construct confidence regions that are fully robust to weak instruments.<sup>7</sup>

This paper contrasts empirically four leading models of inflation dynamics – the Accelerationist Phillips curve (APC), New Keynesian Phillips curve (NKPC), Hybrid Phillips curve (HPC), and Sticky Information Phillips curve (SIPC). Given that we estimate reduced-form models, the choice of the sample is motivated by the attempt of avoiding the Lucas critique by selecting periods of economic regime stability. There are two main contributions of this paper to the empirical literature that analyses inflation dynamics in Brazil. First, our method of testing Phillips curves is different from the approaches taken by previous studies because it is based on an alternative specification of this curve that encompasses the APC, NKPC, HPC and SIPC. This encompassing specification has the advantage of reducing part of the vast specification uncertainty surrounding the Phillips curve by making it possible to test each of these alternative specifications within a single framework. Second, in order to conduct inference on the parameters of the empirical model we use methods that are robust to the weak instruments problem that arises when the GMM is employed to estimate the Phillips curve. To the best of our knowledge, none of the studies that employed GMM to estimate the NKPC for Brazil employed identification robust methods, making their results unreliable according to the weak instruments literature.

Using conventional GMM, our preliminary results suggest that the NKPC, HPC and SIPC are not consistent with data for Brazil after the Real Plan. Only the APC is consistent with these data. However, when we construct confidence regions that are robust to weak instruments in the sense that identification of the coefficients is not assumed (in contrast to the conventional GMM method, where the validity of tests of estimated coefficients requires the assumption that they are identified), our previous conclusions turn on their head and making it impossible to reject any of the Phillips curve specifications. This happens because conventional GMM confidence regions understate the sampling uncertainty, compared to regions

---

5. Weak instruments arise when the instruments in linear IV regression are weakly correlated with the included endogenous variables. In GMM, more generally, weak instruments correspond to weak identification of some or all of the unknown parameters. If instruments are weak, then the sampling distributions of GMM and IV statistics are in general nonnormal, and standard GMM and IV point estimates, hypothesis tests, and confidence intervals are unreliable.

6. See Ma (2002), Dufour, Khalaf and Kichian (2006), Nason and Smith (2008), Kleibergen and Mavroeidis (2009).

7. See, for example, Stock, Wright and Yogo (2002), Dufour (2003), Andrews and Stock (2005).

that are robust to weak instruments. The results do not depend on the choice of the forcing variable (output gap or marginal cost) in the Phillips curve equation.

The paper is organized as follows. Section 2 reviews briefly the history of the Phillips curve. Section 3 presents the encompassing Phillips curve (EPC) and shows how different Phillips curve specifications considered in the literature can be seen as special cases of the EPC. Section 4 extends the EPC to the open economy. Section 5 tests for Brazil the restrictions implied by different Phillips curve specifications on a quarterly sample from 1996 to 2015. Section 6 discusses the issue of weak instruments and presents two approaches used to deal with it. Finally, section 7 brings some concluding remarks.

## 2 AN OVERVIEW OF THE PHILLIPS CURVE

In a seminal paper, Phillips (1958) showed that there was a negative and relatively stable relationship between nominal wage inflation and unemployment in the United Kingdom over the previous century. This relationship was found to work well for price inflation and for other economies, receiving the name of Phillips curve. It became a key part of the standard Keynesian textbook model of the 1960s and as Keynesian economists saw it, the Phillips curve provided an exploitable trade-off between inflation and unemployment: policymakers could use demand management policies to increase output and decrease unemployment, but this could only be done at the expense of higher inflation. The Phillips curve relationship can be represented as

$$\pi_t = \alpha - \gamma u_t,$$

in which  $\pi_t$  is inflation,  $u_t$  is the unemployment rate, and  $\gamma > 0$ .

The theoretical foundations of these early formulations were not completely sound, with a particular weak point being their treatment of how expectations entered wage and price setting. This weakness was thoroughly criticized in the seminal contributions of Phelps (1967; 1968) and Friedman (1968). Friedman predicted that attempts to keep unemployment low at the expense of higher inflation would just result in higher inflation expectations. Thus, the economy would not be able to sustain the low unemployment and would end up with higher inflation. In the Friedman-Phelps framework, then, there is no permanent trade-off between the level of inflation and the unemployment rate. However, to the extent that agents' expectations were slow to catch up with reality, a policymaker could keep unemployment below the natural rate by constantly boosting the inflation rate. For this reason, the Friedman-Phelps characterization of the inflation process also came to be known as the "accelerationist hypothesis" since an acceleration in prices would occur should policymakers attempt to permanently keep unemployment below

its natural rate. Phelps assumed that inflation expectations evolved over time as a result of actual past experience – that is, that expectations were formed adaptively.<sup>8</sup>

Friedman argued that the correct formulation of the inflation-unemployment tradeoff was a Phillips curve of the form:

$$\pi_t = E_{t-1} \pi_t - \gamma(u_t - \bar{u}),$$

in which inflation,  $\pi_t$ , is negatively correlated with deviations of the unemployment rate from its natural rate  $\bar{u}$  ( $\gamma > 0$ ) and where the entire curve is shifted up or down one-for-one with changes in the rate of inflation that agents expected at time  $t-1$  to prevail at time  $t$ ,  $E_{t-1} \pi_t$ . A common variant of this equation replaces  $u_t - \bar{u}$  with the gap between actual and potential output,  $y_t - \bar{y} \equiv x_t$ . There is a long tradition in applied work that assumes backward-looking expectations: expected inflation is determined by past inflation. In the special case in which  $E_{t-1} \pi_t = \pi_{t-1}$ , the Phillips curve becomes

$$\pi_t = \pi_{t-1} - \gamma(u_t - \bar{u}).$$

This so-called accelerationist Phillips – curve in which the acceleration of prices is related to unemployment – embodied two critical innovations in the literature. First, it eliminated the long-run trade-off between inflation and unemployment that was inherent in the original Phillips curve model. Second, it began to emphasize the importance of expectations in the price-setting process, a change that was to have dramatic implications on the evolution of inflation models.

In the decade following the publication of the Phelps and Friedman papers, the notion that the accelerationist view of the inflation process was correct gained wider acceptance. Several factors contributed to this attitude. The first, of course, was the strength of the theoretical arguments themselves. Second, it became apparent by the mid-1970s that the inflation-unemployment tradeoff implied by the short-run Phillips curve had shifted. Finally, it became easier to find that the lags of inflation in empirical Phillips curves summed to one. In addition, the important contribution of “supply shocks” to price acceleration in the early 1970s led to food, energy, and/or import prices receiving special treatment in empirical descriptions of inflation. What emerged in this period, therefore, was a benchmark econometric model of inflation of the form:

$$\pi_t = \alpha - \gamma u_t + B(L)\pi_{t-1} + \lambda z_t + \varepsilon_t,$$

in which  $B(L)$  is the distributed lag operator with  $B(1) = 1$ ,  $z_t$  denotes a vector of supply shocks, and  $\varepsilon_t$  is an error term. In this specification, then, inflation dynamics are determined by three sources: real activity (as summarized by the unemployment rate), supply shocks, and “inertia” (as captured by the lagged inflation terms). For this reason, it is sometimes called the “triangle model”.

8. In Phelps (1967), the appeal to adaptive expectations is explicit. The term is not used by Friedman (1968), who provides an informal discussion of a gradual adjustment process.

Taken literally, the characterization of inflation dynamics that the triangle model provides carries important implications for the conduct of macroeconomic policy. To the extent that lagged inflation captures true inertia in the price-setting process (resulting, for instance, from how expectations are formulated), the model implies that rapid reductions in inflation can only be produced at the cost of a substantial increase in unemployment. Hence, the model points to a gradualist approach as providing the best way to effect a large reduction in inflation. In addition, policymakers must be mindful of the presence of long time lags between macroeconomic shocks (including policy actions) and their full effects on inflation. Thus, this framework provides a strong argument in support of preemptive action to head off the full effect of an inflationary shock.

The introduction of rational expectations into the modeling of economic dynamics had a significant influence on the development of macroeconomic theory from the mid-1970s onwards. The “demise” of the traditional Phillips curve, and the sense that it was due to inadequate modeling of expectations, was a major impetus for the rational expectations school led by Robert Lucas and Thomas Sargent. Lucas and Sargent also rejected the “accelerationist” reformulation of the Phillips curve because it relied on the assumption of adaptive expectations, which do not allow for the idea that agents process information in an optimal manner. In addition to being more precise about expectations formation, this school of economists relied more heavily on neoclassical “microfoundations” for macroeconomic models. Often, as well as rejecting the Phillips curve, these economists also questioned the whole basis for Keynesian economics, i.e. the assumption that monetary policy could systematically affect output even in the short-run.

The principal response of Keynesian economists to these theoretical critiques has been to attempt to build models that incorporate rational expectations and that provide a microeconomic justification for monetary policy having, at least, short-run effects. To explain why monetary policy might have effects on the economy, one needs a theory of why inflation is not just determined by some nominal anchor such as the money supply. The most common microeconomic rationale put forward has been sticky prices. With sticky prices, an increase in the money stock can produce a short-run increase in real spending power and thus can boost real output. Many academic economists have become convinced that certain theoretical new Keynesian models can provide a good description of the empirical inflation process. In part, this development stemmed from the realization that a number of popular new Keynesian models of price-setting each implied a sort of Phillips curve relationship, known as the NKPC:

$$\pi_t = \beta E_t \pi_{t+1} + \lambda x_t,$$

in which  $x_t$  is a measure of output gap.

In these models inflation is determined in a completely forward-looking manner. The idea that there is considerable inertia in inflation and hence that it is difficult to reduce inflation quickly, does not hold in this framework – indeed, according to the NKPC, there is no “intrinsic” inertia in inflation, in the sense that there is no structural dependence of inflation on its own lagged values. Thus, the NKPC has very different implications for monetary policy. This model implies that there is no need for gradualist policies to reduce inflation. According to the NKPC, low inflation can be achieved immediately by the central bank announcing (and the public believing) that it is committing itself to eliminating positive output gaps in the future.

Many estimates of the NKPC find that lagged inflation helps to explain current inflation. Galí and Gertler (1999) consider augmenting the NKPC with a backward-looking element that is motivated by the presence of some firms that follow a simple rule of thumb in setting prices. Christiano, Eichenbaum and Evans (2005) derive a similar specification under the assumption that price-setters who are unable to reset prices instead index their prices to the last period inflation rate. All of these variants imply a so-called HPC of the form

$$\pi_t = \gamma_b \pi_{t-1} + \lambda_f E_t \pi_{t+1} + \kappa x_t.$$

The model of Mankiw and Reis (2002) was pioneer in the literature on sticky information. According to it, a Phillips curve with this rigidity is an adequate representation of the structural relationship between inflation and the real side of the economy. The model assumes that acquiring information is costly, and as a result information about macroeconomic conditions diffuses slowly through the population. Specifically, Mankiw and Reis assume that in each period a fraction of firms acquires complete (perfect) information about the current state of the economy, and these firm set prices optimally based on this information. The remaining firms continue to set prices based on outdated information. Mankiw and Reis posit that what matters now for current inflation is not current expectations about future economic conditions, but past expectations about current economic conditions. Because information constraints can apply to all economic agents, the sticky information model potentially provides a unifying framework for explaining the inertial behavior of different macroeconomic variables.

### 3 PHILLIPS CURVE: AN ENCOMPASSING SPECIFICATION

The Encompassing Phillips Curve (EPC) – a model of inflation dynamics that encompasses the NKPC, APC, HPC and SIPC as special cases – takes the following form:

$$\Delta \pi_t = \alpha_1 \Delta \pi_{t-1} + \alpha_2 \Delta \pi_{t-2} + \beta_0 \Delta x_t + \gamma_1 \Delta x_{t-1} + \delta_1 \pi_{t-1} + \varepsilon_t, \quad (1)$$

in which  $\pi$  is the inflation rate,  $x$  is a measure of inflation pressure (usually the output gap or, alternatively, the marginal cost),  $\Delta z_t \equiv z_t - z_{t-1}$  is the rate of change of variable  $z$  and  $\varepsilon_t$  is an error term that can be correlated with the explanatory variables. This encompassing specification implies that the change of inflation depends on its lagged values, the change of the output gap (marginal cost), the lagged level of output gap (marginal cost) and the lagged level of the inflation rate. If the coefficient of this last variable is different from zero there is a long-run level trade-off between inflation and output gap (marginal cost).<sup>9</sup>

Let us show how each model is embedded in equation (1). For the case in which expected inflation depends on past inflation (we assume that expected inflation is the average of the last three periods), the APC is given by

$$\pi_t = \omega_1 \pi_{t-1} + \omega_2 \pi_{t-2} + \omega_3 \pi_{t-3} + \kappa_0 x_t + \kappa_1 x_{t-1} + \varepsilon_t, \sum_{i=1}^3 \omega_i = 1, \kappa_0 + \kappa_1 > 0.$$

This equation can be rewritten as

$$\Delta \pi_t = -(1 - \omega_1) \Delta \pi_{t-1} - (1 - \omega_1 - \omega_2) \Delta \pi_{t-2} + \kappa_0 \Delta x_t + \kappa_1 \Delta x_{t-1} + \varepsilon_t.$$

This specification is a particular case of equation (1) when:

$$\alpha_1 = -(1 - \omega_1) < 0, \alpha_2 = -(1 - \omega_1 - \omega_2) < 0, \beta_0 = \kappa_0 > 0, \gamma_1 = \kappa_1 > 0, \delta_1 = 0.$$

The NKPC can be expressed as

$$\pi_t = \beta E_t \pi_{t+1} + \kappa x_t + \varepsilon_t,$$

in which the rate of inflation depends on the rate of inflation that agents expect to prevail at time  $t+1$ , with the information available at time  $t$ . Assuming rational expectations,

$$E_t \pi_{t+1} = \pi_{t+1} + \mu_{t+1},$$

in which  $\mu_{t+1}$  is a white noise error term, the NKPC can be written as

$$\Delta \pi_t = -(\kappa/\beta) x_{t-1} + [(1 - \beta)/\beta] \pi_{t-1} + \eta.$$

The stochastic term  $\eta$  is given by:  $\eta \equiv \mu_t - \varepsilon_{t-1}/\beta$ , which is correlated with lagged inflation. This is a particular case of equation (1) when:

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \beta_0 = 0, \gamma_1 = -\kappa/\beta < 0, \delta_1 = (1 - \beta)/\beta > 0.$$

9. Rudd and Whelan (2006) reports reduced form regressions for  $\Delta \pi_t$  using the specification of equation (1). They have found negative coefficients on the lagged changes in inflation and positive coefficients for output gap and labor share. The coefficient of labor share is not significant. The main goal of Rudd and Whelan (2006) paper was to assess the empirical performance of HPC for the US inflation. They did not propose using equation (1) as a framework to test all Phillips curves specifications, which is our goal in this paper.

The HPC specification assumes that the inflation rate depends on the past inflation rate, the expected inflation rate for the next period and an inflation pressure variable according to:<sup>10</sup>

$$\pi_t = \gamma_b \pi_{t-1} + \gamma_f E_t \pi_{t+1} + \kappa x_t + \varepsilon_t.$$

We assume rational expectations, as with the NKPC, and after some algebra we obtain

$$\Delta \pi_t = \frac{\gamma_b}{\gamma_f} \Delta \pi_{t-1} - \frac{\kappa}{\gamma_f} x_{t-1} + \frac{(1 - \gamma_b - \gamma_f)}{\gamma_f} \pi_{t-1} + \xi,$$

in which  $\xi \equiv \mu_t - \varepsilon_{t-1}/\gamma_f$ , which is correlated with both lagged inflation and lagged change of inflation. This is a particular case of equation (1) when

$$\alpha_1 = \gamma_b/\gamma_f > 0, \alpha_2 = \beta_0 = 0, \gamma_1 = -\kappa/\gamma_f < 0, \delta_1 = (1 - \gamma_b - \gamma_f)/\gamma_f \geq 0.$$

The SIPC derived by Mankiw and Reis (2002) is given by<sup>11</sup>

$$\pi_t = \sum_{j=0}^{\infty} (1 - \lambda)^j E_{t-1-j} (\pi_t + \alpha \Delta x_t) + \frac{\alpha \lambda}{(1 - \lambda)} x_t + \varepsilon_t.$$

Inflation depends on the current output gap and on a geometric sum of past expectations of current inflation and output growth relative to potential. Assuming rational expectations and using the lag operator  $LE_{t-1} = E_{t-1-j}$  we obtain, after some algebra, the following expression for the acceleration of inflation

$$\Delta \pi_t = \frac{\alpha \lambda (2 - \lambda)}{(1 - \lambda)^2} \Delta x_t + \frac{\alpha \lambda^2}{(1 - \lambda)^2} x_{t-1} + \varsigma,$$

in which  $\varsigma \equiv [1/(1-\lambda)][\varepsilon_t - (1-\lambda)\varepsilon_{t-1} + (\pi_t - E_t \pi_t)]$ . Thus, the change of inflation depends on the change of output gap (marginal cost) and its lagged level. This expression is a particular case of equation (1) when

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \delta_1 = 0, \beta_0 = \alpha \lambda (2 - \lambda) / (1 - \lambda)^2 > 0, \gamma_1 = \alpha \lambda^2 / (1 - \lambda) > 0.$$

The EPC provides a simple set-up to test competing specifications of the Phillips curve. Table 1 shows the signs of the coefficients of the EPC resulting from each Phillips curve model considered. For example, suppose that one estimates equation (1) and finds out that  $\beta_0 > 0, \gamma_1 > 0$ , and  $\delta_1 = 0$ . Then, based on this information one can reject both the NKPC and HPC, but not the APC or SIPC.

10. Woodford (2003, p. 568) specifies an hybrid Phillips curve in the presence of habit persistence, that takes the form:  $\pi_t = \beta E_t \pi_{t+1} + \kappa[(x_t - \delta x_{t-1}) - \beta \delta E_t(x_{t+1} - \delta x_t)] + u_t$ . This can be written as an EPC when:  $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$ ,  $\beta_0 = \kappa \delta$ ,  $\beta_1 = -\kappa \delta / \beta$ ,  $\gamma_1 = \kappa(1 - \delta)(1 - \beta \delta) / \beta$ . Notice that a lagged change of output (marginal cost) was added as an explanatory variable. The error term of this specification is given by:  $\mu_t + \kappa \delta u_t - u_{t-1} / \beta$ .

11. We follow the same notation used in their paper.

If in addition one has that  $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$ , then the only model consistent with data would be the SIPC.

TABLE 1  
Model typology

|      | Model parameters |            |           |            |            |
|------|------------------|------------|-----------|------------|------------|
|      | $\alpha_1$       | $\alpha_2$ | $\beta_0$ | $\gamma_1$ | $\delta_1$ |
| APC  | -                | -          | +         | +          | 0          |
| NKPC | 0                | 0          | 0         | -          | +          |
| HPC  | +                | 0          | 0         | -          | + or 0     |
| SIPC | 0                | 0          | +         | +          | 0          |

Authors' elaboration.

#### 4 AN ENCOMPASSING PHILLIPS CURVE FOR THE OPEN ECONOMY

The exchange rate is important in the study of inflation dynamics in open economies because it allows additional channels for the transmission of monetary policy. In an open economy, the real exchange rate will affect the relative price between domestic and foreign goods, which, in turn, will affect both domestic and foreign demand for domestic goods, and hence contribute to the aggregate-demand channel for the transmission of monetary policy. There is also a direct exchange rate channel for the transmission of monetary policy to inflation, in that the exchange rate affects domestic currency prices of imported final goods, which enter the consumer price index (CPI) and hence CPI inflation. Finally, there is an additional exchange rate channel to inflation: the exchange rate will affect the domestic currency prices of imported intermediate inputs, affecting the cost of domestically produced goods and hence domestic inflation (inflation in the prices of domestically produced goods).

We extend the EPC (equation 1) by including the level of the real exchange rate gap ( $q_t$ ) in order to capture the importance of the exchange rate for inflation dynamics in an open economy:<sup>12</sup>

$$\Delta\pi_t = \alpha_1\Delta\pi_{t-1} + \alpha_2\Delta\pi_{t-2} + \beta_0\Delta x_t + \gamma_1x_{t-1} + \delta_1\pi_{t-1} + \zeta_0q_t + \varepsilon_t. \quad (2)$$

We call equation (2) the Encompassing Phillips curve for the Open Economy (EPCOE). Table 2 contains the implications of each Phillips curve to the signs of the coefficients of the EPCOE. Notice that the coefficient of the real exchange rate gap does not affect the model typology.

12. The level term of the real exchange rate gap can be interpreted as capturing the presence of intermediate imported goods as in McCallum and Nelson (2000). In the standard NK model, in which imports are treated as a final consumer good, inflation depends on changes of the real exchange gap. Alternative ways of introducing the real exchange rate gap in the EPCOE, like using its change ( $\Delta q_t$ ) instead of its level ( $q_t$ ), or combining both, do not change our conclusions.

TABLE 2  
Model typology for the open economy

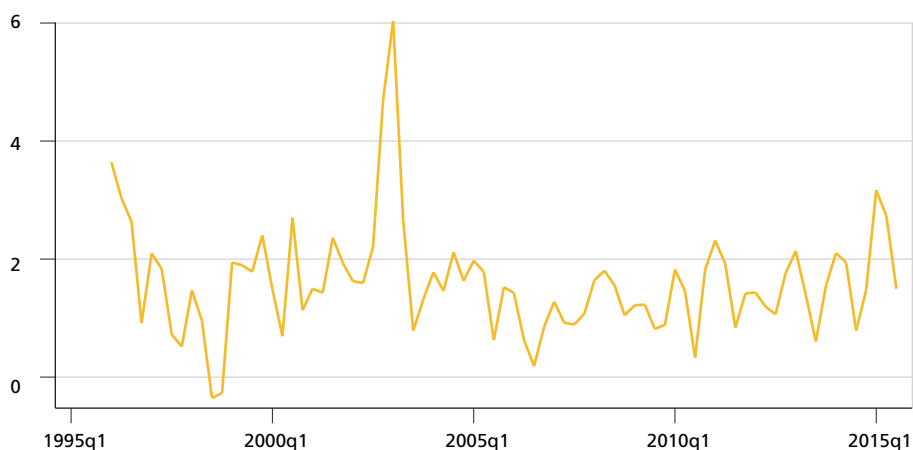
|      | Model parameters |            |           |            |            |           |
|------|------------------|------------|-----------|------------|------------|-----------|
|      | $\alpha_1$       | $\alpha_2$ | $\beta_0$ | $\gamma_1$ | $\delta_1$ | $\zeta_0$ |
| APC  | -                | -          | +         | +          | 0          | -, 0 or + |
| NKPC | 0                | 0          | 0         | -          | +          | -, 0 or + |
| HPC  | +                | 0          | 0         | -          | + or 0     | -, 0 or + |
| SIPC | 0                | 0          | +         | +          | 0          | -, 0 or + |

Authors' elaboration.

## 5 EMPIRICAL EVIDENCE: BRAZIL (1996Q1-2015Q3)

The sample goes from 1996Q1 to 2015Q3, the period following the real plan. Figures 1 to 3 plot the inflation rate, the output gap, and the real exchange rate gap.<sup>13,14</sup>

FIGURE 1  
Inflation

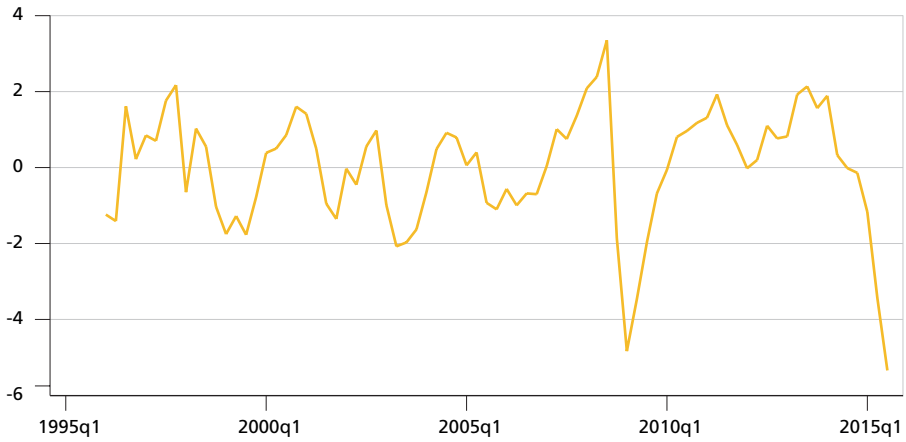


Authors' elaboration.

13. We used the Hodrick-Prescott (H-P) filter to construct our measure output gap and exchange rate gap. It is extensively employed in the literature and it represents a relatively uncontroversial way to detrend time series – see, however, Hamilton (2018). We re-did all of our GMM analyses using both log-linear detrending as well as log-quadratic detrending of the GDP and obtained results that were very similar to those that we report.

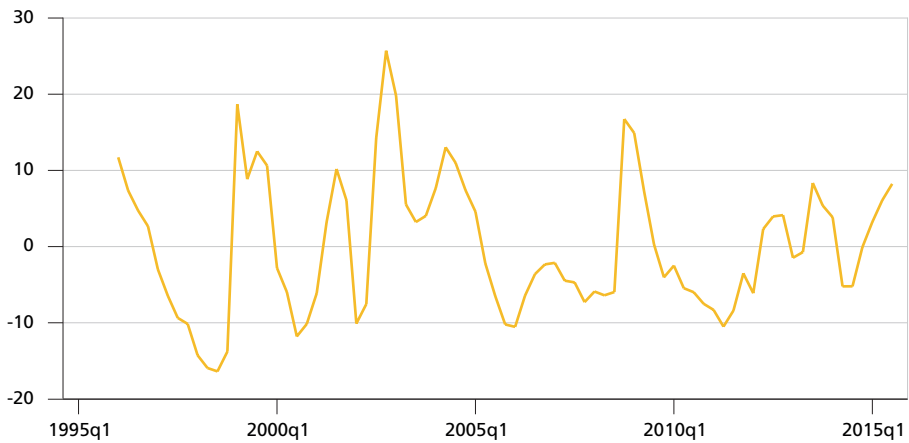
14. The data appendix (appendix A) gives details on the definitions of the variables employed in the estimations.

FIGURE 2  
Output GAP



Authors' elaboration.

FIGURE 3  
Real exchange rate GAP



Authors' elaboration.

Our empirical analysis starts with the EPCOE (equation 2). When the EPCOE has forward-looking elements as in the case of the NKPC and HPC, the error term becomes a function of  $\varepsilon_{t-1}$ , which makes the error term correlated with  $\pi_{t-1}$  and  $\Delta\pi_t$ , by construction. A solution to the endogeneity problem lies in the use of GMM estimators. In this article we use the continuously updated (CU) GMM estimator whose estimates are independent of any normalization applied to the data. Table 3 reports CU-GMM estimates of the open-economy EPCOE on

the 1996Q1-2015Q3 sample. According to table 3 the coefficients of both lagged inflation acceleration terms are negative within the 95% confidence interval, while the coefficients of the change in output gap and the output gap lag are positive. The coefficient of the inflation lag is not significantly different from zero. Using equation (2) and comparing the signs of tables 2 and 3 we observe that none of the restrictions implied by the NKPC are verified. Only two restrictions implied by the HPC are valid ( $\alpha_1 > 0$  and  $\delta_1 = 0$ ). Three of the restrictions implied by the SIPC are accepted ( $\beta_0, \gamma_1 > 0$  and  $\delta_1 = 0$ ) and two are not ( $\alpha_1, \alpha_2 = 0$ ). All restrictions implied by the APC are accepted with the exception of the sign of the coefficient of  $\Delta\pi_{t-1}$ , which according to table 2 should be negative ( $\alpha_1 < 0$ ). However, it is possible to show that the APC model is consistent with  $\alpha_1 > 0$  and  $\alpha_2 < 0$ . Consider the APC given by

$$\pi_t = (1 + \omega_1)\pi_{t-1} + \omega_2\pi_{t-2} + \omega_3\pi_{t-3} + \kappa_0x_t + \kappa_1x_{t-1} + \varepsilon_t,$$

in which  $(1 + \omega_1) + \omega_2 + \omega_3 = 1$  and  $\omega_1, \omega_3 > 0$ .

In this model the coefficient of  $\pi_{t-1}$  is an overshooting mechanism that allows a cyclical fluctuation in inflation in its dynamic adjustment toward the equilibrium, in the spirit of Friedman (1971). This equation can be rewritten as

$$\Delta\pi_t = w_1\Delta\pi_{t-1} - w_3\Delta\pi_{t-2} + \kappa_0\Delta x_t + \kappa_1x_{t-1} + \varepsilon_t,$$

since  $(1 + \omega_1) + \omega_2 + \omega_3 = 1$ ,  $\omega_1, \omega_3 > 0 \Rightarrow \omega_2 < 0$ .

Therefore, all restrictions implied by the APC are accepted ( $\alpha_1 > 0, \alpha_2 < 0, \beta_0, \gamma_1 > 0$  and  $\delta_1 = 0$ ). We conclude that only the APC model appears to be consistent with inflation dynamics in Brazil from 1996Q1 to 2015Q3.

TABLE 3  
Open-economy encompassing Phillips curve: GMM estimates

| Dependent variable: $\Delta\pi_t$                                                           |             |                |         |                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------|---------|-------------------------|
| Estimation method: CU-GMM                                                                   |             |                |         |                         |
| sample: 1996Q1-2015Q3                                                                       |             |                |         |                         |
| Variable                                                                                    | Coefficient | Standard error | P-value | 95% confidence interval |
| $\Delta\pi_{t-1}$                                                                           | 0.278       | 0.101          | 0.006   | [0.079, 0.476]          |
| $\Delta\pi_{t-2}$                                                                           | -0.508      | 0.087          | 0.000   | [-0.680, -0.336]        |
| $\Delta x_t$                                                                                | 0.204       | 0.095          | 0.033   | [0.016, 0.391]          |
| $x_{t-1}$                                                                                   | 0.135       | 0.055          | 0.014   | [0.027, 0.243]          |
| $\pi_{t-1}$                                                                                 | -0.027      | 0.045          | 0.548   | [-0.116, 0.061]         |
| $q_t$                                                                                       | 0.029       | 0.008          | 0.000   | [0.013, 0.045]          |
| Hansen J statistic (overidentification test of all instruments): 2.533                      |             |                |         |                         |
| Chi-sq(2) P-value = 0.281                                                                   |             |                |         |                         |
| Instrumented variables: $\pi_{t-1}, \Delta\pi_{t-1}, \Delta x_t$                            |             |                |         |                         |
| Included instruments: $\Delta\pi_{t-2}, x_{t-1}, q_t$                                       |             |                |         |                         |
| Excluded instruments: $\pi_{t-2}, \Delta\pi_{t-3}, \Delta x_{t-1}, \Delta x_{t-3}, x_{t-3}$ |             |                |         |                         |

Authors' elaboration.

Given that the Brazilian economic policy changed in January 1999, when the exchange rate was allowed to float and additionally inflation targeting was implemented in June 1999, we tested the stability of our results by re-estimating the EPCOE for different subsamples starting after 1999Q3 and found out that our conclusions remain unchanged.

6 WEAK INSTRUMENTS

However, in order to be valid, the set of instruments chosen must satisfy two statistical conditions. First, each instrument must be uncorrelated with the error term (instrument exogeneity). Second, an instrument must be highly correlated with that portion of the endogenous regressors that cannot be explained by the other instruments (instrument relevance). When the instruments are only weakly correlated with the endogenous regressors, we have what is known as weak instruments or weak identification. Weak instruments pose considerable challenges to inference with GMM methods. If instruments are weak, then the sampling distributions of GMM statistics are in general nonnormal, and standard GMM point estimates, hypothesis tests, and confidence intervals are unreliable.

6.1 Approaches to inference with weak instruments: detecting weak instruments

One approach to dealing with weak instruments is to conduct tests of underidentification and weak identification (Baum, Schaffer and Stillman, 2007). The first diagnostic tool for assessing the strength of identification is based on a Lagrange-Multiplier (LM) test for underidentification using the Kleibergen and Paap (2006) rk statistic, see table 4. We cannot reject the hypothesis that the model is underidentified. The second set of diagnostics are based on the Stock and Yogo (2005) characterization of weak instruments using the Kleibergen-Paap Wald statistic, see table 5.<sup>15</sup> As the test statistic is less than the critical value tabulated by Stock and Yogo, we do not reject the hypothesis that the instruments used are weak.

TABLE 4  
Underidentification test

|                                        |
|----------------------------------------|
| Underidentification test               |
| Kleibergen-Paap rk LM statistic: 4.851 |
| Chi-sq(3) P-value = 0.183              |
| (underidentified)                      |

Authors' elaboration.

15. The Kleibergen-Paap Wald statistic correspond to the heteroskedasticity-robust multivariate analogue to the first-stage F statistic.

TABLE 5  
Weak identification test

|                                          |
|------------------------------------------|
| Weak identification test                 |
| Kleibergen-Paap rk Wald statistic: 5.018 |
| (equation is weakly identified)          |

Authors’ elaboration.

6.2 Approaches to inference with weak instruments: fully robust confidence regions

In order to conduct inference on the parameters of the EPCOE we use methods that are robust to weak instruments in the sense that identification of the coefficients is not assumed. This is in contrast to the conventional IV/GMM method, where the validity of tests on estimated coefficients requires the assumption that they are identified. We construct fully robust confidence regions by inverting the conditional likelihood ratio (CLR) test of Moreira (2003). Moreira’s test overcomes the distortions of standard tests by adjusting the critical values for hypothesis tests from sample to sample so that, for given data, the critical values used yield a correct significance level. Thus, his critical values are “conditioned” on the data in hand, not constant. The projection-based confidence regions are obtained by grid search over the parameter space and are centered around the point estimates from the continuous-updated GMM estimator, with width set as a multiple of the Wald confidence interval.<sup>16</sup>

Table 6 shows the projection-based CLR confidence sets for the baseline EPCOE model where there are three endogenous regressors ( $\pi_{t-1}, \Delta\pi_{t-1}$  and  $\Delta x_t$ ) and two exogenous regressors  $\Delta\pi_{t-2}$  and  $x_{t-1}$ . Figures 4 to 6 display the scatter plots for the 2 – dimension confidence regions.<sup>17</sup> The results are consistent both with the view that price setting is purely backward-looking, as well as with the view that forward-looking expectations are very important in price setting. Furthermore, we do not reject the NKPC, in contrast with the findings of the previous approach, which is not robust to weak instruments.

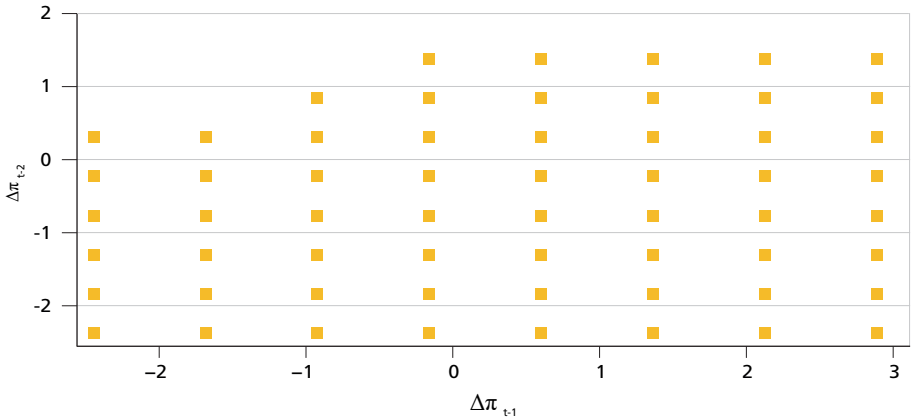
16. To construct the fully robust confidence regions we employ the Stata routine weakiv that can estimate models with any number of endogenous regressors (Finlay, Magnusson and Schaffer, 2013).  
17. The confidence regions are estimated over  $8^5 = 32768$  grid points.

TABLE 6  
Projection-based inference

| 95% CLR Confidence Set |                |
|------------------------|----------------|
| $\Delta\pi_{t-1}$      | [-2.446,2.887] |
| $\Delta\pi_{t-2}$      | [-2.378,1.377] |
| $\Delta x_t$           | [-2.444,2.946] |
| $x_{t-1}$              | [-.976,1.385]  |
| $\pi_{t-1}$            | [-1.070,1.011] |

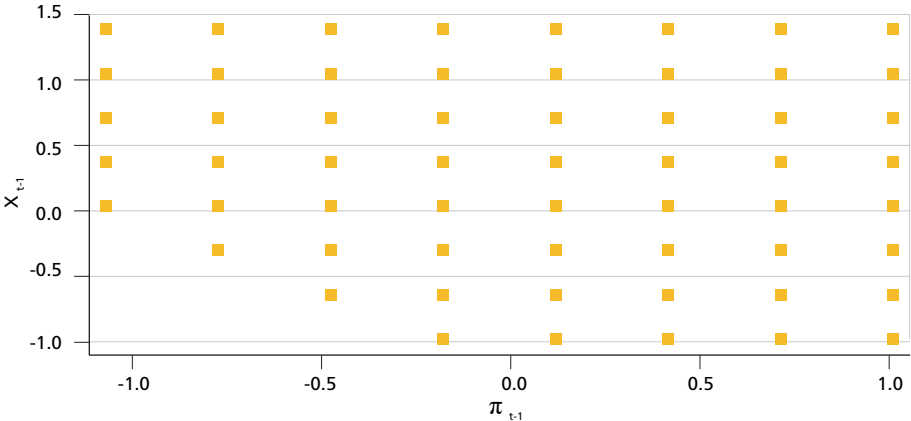
Authors’ elaboration.

FIGURE 4  
CLR robust confidence region for  $\Delta\pi_{t-1}$  and  $\Delta\pi_{t-2}$



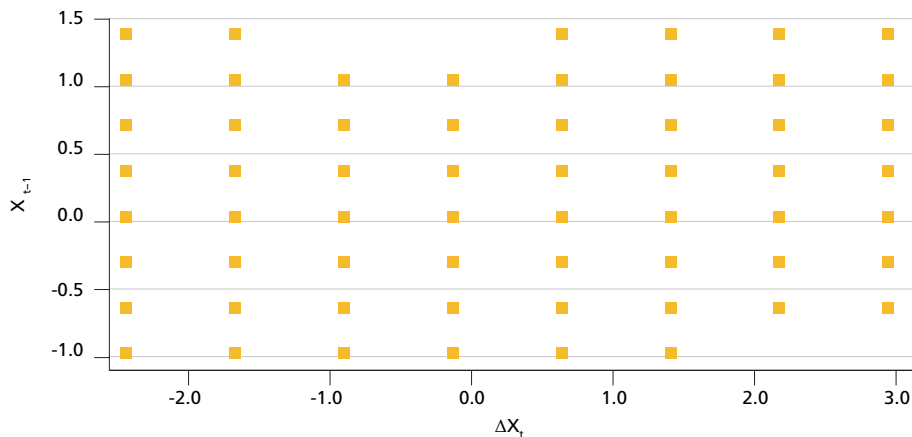
Authors’ elaboration.

FIGURE 5  
CLR robust confidence region for  $\pi_{t-1}$  and  $x_{t-1}$



Authors’ elaboration.

FIGURE 6

CLR robust confidence region for  $\Delta x_t$  and  $x_{t-1}$ 

Authors' elaboration.

## 7 CONCLUDING REMARKS

In this paper, we analyzed the empirical evidence on the role of expectations in the Phillips curve using a flexible empirical approach. Our goal was to provide a clear understanding of the role of expectations that integrates across the different specifications in the literature.

Using the GMM estimator, the evidence suggests that the restrictions implied by the NKPC, HPC, and SIPC are rejected for the period after the Real Plan in Brazil. Only the restrictions implied by the APC are not rejected. However, when we construct confidence regions that are robust to weak instruments, it is not possible to reject any of the Phillips curve specifications, including the NKPC.

Using identification robust methods, we found large confidence sets for the encompassing Phillips curve parameters, which suggests that they are weakly identified. In this context, standard inference methods are unreliable and seemingly innocuous specification changes lead to big differences in point estimates. These confidence regions were constructed using projection-based methods, which are very conservative, especially when many dimensions of the structural parameter vector are projected out. To the best of our knowledge, there is currently no alternative way of making fully robust inference to weak instruments having more than one endogenous variable, as in our case. As pointed out by Mikusheva (2010), this seems extremely difficult to do. Nonetheless, we hope that this becomes a topic of research for those working at the frontier of inference with weak instruments.

We were unable to pin down the role of expectations in the inflation process sufficiently accurately for the results to be useful for policy analysis. The evidence is consistent both with the view that expectations are forward-looking, as well as with the opposite view that they are backward-looking.

The NKPC continues to be a key building block of modern macroeconomic models. But measuring the effect of expected, future inflation on current inflation can be problematic because of weak instruments. Future research on this key response would be valuable because such forward-looking effects continue to have implications for the design of good monetary policy.

## REFERENCES

- ANDREWS, D.; STOCK, J. **Inference with weak instruments**. Cambridge, United Kingdom: NBER, Aug. 2005. (Technical Working Paper Series, n. 313).
- AREOSA, W.; MEDEIROS, M. Inflation dynamics in Brazil: the case of a small open economy. **Brazilian Review of Econometrics**, v. 27, n. 1, p. 131-166, May 2007.
- BAUM, C. F.; SCHAFFER, M. E.; STILLMAN, S. Enhanced routines for instrumental variables/generalized method of moments estimation and testing. **The Stata Journal: promoting communications on statistics and Stata**, v. 7, n. 4, p. 465-506, Dec. 2007.
- BLANCHARD, O.; GALÍ, J. Real wage rigidities and the new Keynesian model. **Journal of Money, Credit and Banking**, v. 39, s. 1, p. 35-66, Feb. 2007.
- CHRISTIANO, L. J.; EICHENBAUM, M.; EVANS, C. L. Nominal rigidities and the dynamic effects of a shock to monetary policy. **Journal of Political Economy**, v. 113, n. 1, p. 1-45, Feb. 2005.
- DUFOUR, J.-M. Identification, weak instruments, and statistical inference in econometrics. **Canadian Journal of Economics**, v. 36, n. 4, p. 767-808, Nov. 2003.
- DUFOUR, J.-M.; KHALAF, L.; KICHIAN, M. Inflation dynamics and the new Keynesian Phillips curve: an identification robust econometric analysis. **Journal of Economic Dynamics and Control**, v. 30, n. 9-10, p. 1707-1727, Sept.-Oct. 2006.
- FINLAY, K.; MAGNUSSON, L.; SCHAFFER, M. E. **WEAKIV**: Stata module to perform weak-instrument-robust tests and confidence intervals for instrumental-variable (IV) estimation of linear, probit and tobit models. Boston: Boston College Department of Economics, 2013. Retrieved from: <<https://bit.ly/3TVEBbo>>.
- FRIEDMAN, M. The role of monetary policy. **American Economic Review**, v. 58, n. 1, p. 1-17, Mar. 1968.
- \_\_\_\_\_. (Ed.). **A theoretical framework for monetary analysis**. Cambridge, United Kingdom: NBER, 1971.

GALÍ, J.; GERTLER, M. Inflation dynamics: a structural econometric analysis. **Journal of Monetary Economics**, v. 44, n. 2, p. 195-222, Oct. 1999.

GALÍ, J.; GERTLER, M.; LÓPEZ-SALIDO, D. European inflation dynamics. **European Economic Review**, v. 45, n. 7, p. 1237-1270, June 2001.

HAMILTON, J. Why you should never use the Hodrick-Prescott filter. **Review of Economics and Statistics**, v. 100, n. 5, p. 831-843, Dec. 2018.

KILEY, M. T. A quantitative comparison of sticky-price and sticky-information models of price setting. **Journal of Money, Credit and Banking**, v. 39, s. 1, p. 101-125, Feb. 2007.

KLEIBERGEN, F.; MAVROEIDIS, S. Weak instrument robust tests in GMM and the new Keynesian Phillips curve. **Journal of Business & Economic Statistics**, v. 27, n. 3, p. 293-311, July 2009.

KLEIBERGEN, F.; PAAP, R. Generalized reduced rank tests using the singular value decomposition. **Journal of Econometrics**, v. 133, n. 1, p. 97-126, July 2006.

MA, A. GMM estimation of the new Phillips curve. **Economics Letters**, v. 76, n. 3, p. 411-417, Aug. 2002.

MANKIW, N. G.; REIS, R. Sticky information vs. sticky prices: a proposal to replace the new Keynesian Phillips curve. **Quarterly Journal of Economics**, v. 117, n. 4, p. 1295-1328, Nov. 2002.

MAZALI, A.; DIVINO, J. Real wage rigidity and the new Phillips curve: the Brazilian case. **Revista Brasileira de Economia**, v. 64, n. 3, p. 291-306, July-Sept. 2010.

MCCALLUM, B.; NELSON, E. Monetary policy for an open economy: an alternative framework with optimising agents and sticky prices. **Oxford Review of Economic Policy**, v. 16, n. 4, p. 74-91, 2000.

MEDEIROS, G.; PORTUGAL, M.; ARAGÓN, E. Instabilidades na curva de Phillips Novo-Keynesiana: um estudo empírico para o Brasil. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, v. 47, n. 1, p. 45-76, abr. 2017.

MENDONÇA, M.; SACHSIDA, A.; MEDRANO, L. Inflação *versus* desemprego: novas evidências para o Brasil. **Economia Aplicada**, v. 16, n. 3, p. 471-494, 2012.

MIKUSHEVA, A. Robust confidence sets in the presence of weak instruments. **Journal of Econometrics**, v. 157, n. 2, p. 236-247, Aug. 2010.

MOREIRA, M. J. Conditional likelihood test for structural models. **Econometrica**, v. 71, n. 4, p. 1027-1048, July 2003.

NASON, J. M.; SMITH, G. W. T. Identifying the new Keynesian Phillips curve. **Journal of Applied Econometrics**, v. 23, n. 5, p. 525-551, Aug. 2008.

PHELPS, E. S. Phillips curves, expectations of inflation and optimal unemployment over time. **Economica**, v. 34, n. 135, p. 254-281, Aug. 1967.

\_\_\_\_\_. Money-wage dynamics and labor-market equilibrium. **Journal of Political Economy**, v. 76, n. 4, p. 678-711, July-Aug. 1968.

PHILLIPS, A. W. The relation between unemployment and the rate of change of money wage rates in the United Kingdom, 1861-1957. **Economica**, v. 25, n. 100, p. 283-299, Nov. 1958.

RUDD, J.; WHELAN, K. Can rational expectations sticky-price models explain inflation dynamics?. **American Economic Review**, v. 96, n. 1, p. 303-320, Mar. 2006.

SACHSIDA, A. Inflação, desemprego e choques cambiais: uma revisão da literatura sobre a curva de Phillips no Brasil. **Revista Brasileira de Economia**, v. 67 n. 4, p. 549-559, out.-dez. 2013.

STOCK, J.; YOGO, M. Testing for weak instruments in linear IV regression. In: ANDREWS, D. W. K.; STOCK, J. H. (Ed.). **Identification and inference for econometric models: essays in honor of Thomas Rothenberg**. New York: Cambridge University Press, 2005. p. 80-108.

STOCK, J.; WRIGHT, J. YOGO, M. A survey of weak instruments and weak identification in generalized method of moments. **Journal of Business & Economic Statistics**, v. 20, n. 4, p. 518-530, 2002.

WOODFORD, M. (Ed.). **Interest and prices: foundations of a theory of monetary policy**. Princeton: Princeton University Press, 2003.

#### COMPLEMENTARY BIBLIOGRAPHY

BAUM, C. F.; SCHAFFER, M. E.; STILLMAN, S. Instrumental variables and GMM: estimation and testing. **The Stata Journal: promoting communications on statistics and Stata**, v. 3, n. 1, p. 1-31, Mar. 2003.

GORDON, R. J. **The Phillips curve is alive and well: inflation and the Nairu during the slow recovery**. Cambridge, United Kingdom: NBER, Aug. 2013. (Working Paper, n. 19390).

MAVROEIDIS, S.; PLAGBORG-MØLLER, M.; STOCK, J. H. Empirical evidence on inflation expectations in the new Keynesian Phillips curve. **Journal of Economic Literature**, v. 52, n. 1, p. 124-188, Mar. 2014.

NASON, J. M.; SMITH, G. W. The new Keynesian Phillips curve: lessons from single-equation econometric estimation. **Economic Quarterly**, v. 94, n. 4, p. 361-395, 2008.

## APPENDIX A

## DATA APPENDIX

- 1) The inflation rate ( $\pi_t$ ) is measured as the quarter-to-quarter change in the Consumer Price Index (IPCA), where the quarterly inflation rates are calculated by arithmetic averaging of the monthly series.
- 2) The output gap ( $x_t$ ) is given by 100 times the log of the quarterly real gross domestic product (GDP) seasonally adjusted, detrended by the Hodrick-Prescott (HP) filter.
- 3) The real exchange rate gap ( $q_t$ ) is calculated as 100 times the log of the arithmetic average of monthly indexes of real effective exchange rates, detrended by the HP filter.

Originais submetidos em: ago. 2018.

Última versão recebida em: jul. 2019.

Aprovada em: jul. 2019.

# DESAFIOS PARA A AMPLIAÇÃO DA COMPETITIVIDADE DA ECONOMIA BRASILEIRA: UMA ABORDAGEM A PARTIR DA ESTRATÉGIA NACIONAL DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO<sup>1</sup>

João Gabriel Pio<sup>2</sup>

Fernando Salgueiro Perobelli<sup>3</sup>

Suzana Quinet de Andrade Bastos<sup>4</sup>

O principal objetivo deste trabalho é conferir uma avaliação quantitativa dos possíveis resultados de políticas de incentivo ao desenvolvimento tecnológico. Especificamente, pretende-se analisar os desdobramentos macroeconômicos e setoriais da Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2016-2022. Tal avaliação foi realizada mediante simulação com um modelo de equilíbrio geral computável (EGC), o Brazilian Intersectoral Model with Gross Domestic Expenditure on R&D (BIM-GERD), calibrado para o Brasil para 2011. Os principais resultados indicam que o aumento de estoque de capital de *knowledge*, adquiridos por meio do estímulo à inovação, produzem resultados positivos de longo prazo sobre o sistema produtivo brasileiro, especialmente com o aumento do domínio do mercado local.

**Palavras-chave:** investimento em P&D; capital *knowledge*; modelo EGC.

## CHALLENGES FOR EXPANDING THE COMPETITIVENESS OF THE BRAZILIAN ECONOMY: AN APPROACH BASED ON THE NATIONAL STRATEGY FOR SCIENCE, TECHNOLOGY AND INNOVATION

The main objective of this work is to provide a quantitative assessment of the possible results of policies to encourage technological development. Specifically, it is intended to analyze the macroeconomic and sectoral developments of the National Strategy for Science, Technology and Innovation 2016-2022. Such evaluation was carried out through simulation with a computable general equilibrium model, Brazilian Intersectoral Model with Gross Domestic Expenditure on R&D (BIM-GERD), calibrated for Brazil for 2011. The main results indicate that the increase in the knowledge capital stock, acquired through stimulating innovation, produces positive long-term results on the Brazilian productive system, especially with the increase in the domination of the local market.

**Keywords:** R&D investment; capital knowledge; CGE model.

**JEL:** O32; O33; R15.

---

1. DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/ppe52n1art2>

2. Economista-chefe na Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais (FIEMG); e pesquisador do Laboratório de Análises Territoriais e Setoriais (Lates). *E-mail:* <jpiogabriel@gmail.com>.

3. Professor titular do Departamento de Economia da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF); professor permanente do Programa de Pós-Graduação em Economia da (PPGE)/UFJF; e bolsista de produtividade no Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). *E-mail:* <fernando.perobelli@ufjf.edu.br>.

4. Professora titular do Departamento de Economia da UFJF; professora permanente do PPGE/UFJF; e bolsista de produtividade no CNPq. *E-mail:* <quinet.bastos@ufjf.edu.br>.

## 1 INTRODUÇÃO

Com o enfraquecimento da demanda externa por *commodities* e com a queda de competitividade do setor industrial brasileiro, políticas de incentivo ao desenvolvimento tecnológico, que possuísem o objetivo de impulsionar a produtividade, foram um dos principais pontos abordados pelo governo federal no período 2008-2016.

Embora a preocupação em relação à produtividade tenha se intensificado a partir de meados de 2008 devido à situação econômica do país, uma série de medidas legislativas para o desenvolvimento tecnológico foi realizada no início dos anos 2000, tais como a Lei da Inovação (Brasil, 2004) e a Lei do Bem (Brasil, 2005), ambas objetivando estimular a realização de pesquisa e desenvolvimento (P&D) e promover a inovação. Como resultado das medidas, no período 2000-2017, o dispêndio nacional em P&D passou de US\$ 16,6 bilhões (1,05% do produto interno bruto – PIB) para US\$ 41,1 bilhões (1,26% do PIB).<sup>5</sup> De acordo com OECD (2019), o avanço obtido nesse período coloca o Brasil como um dos países que mais realiza P&D por meio de incentivos fiscais no mundo, superando países desenvolvidos, como Espanha, Alemanha e Finlândia.

No entanto, embora o país tenha aumentado seu nível de dispêndio em P&D no período 2000-2017, os efeitos sobre a produtividade não foram obtidos. Considerando a produtividade dos Estados Unidos como referência e comparando, em termos relativos, com alguns países da América Latina (Argentina, Chile e México) e da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OCDE (Itália, Japão e Reino Unido) no período 2000-2019, constata-se que o Brasil está em uma posição bem inferior. Enquanto Argentina, Chile e México apresentaram percentuais de produtividade de 42,5%, 43,5% e 40,0%, respectivamente, e Itália, Japão e Reino Unido possuem percentuais na ordem de 88,7%, 62,2% e 77,7%, a produtividade média do Brasil é de 24,5%.<sup>6</sup>

Tendo em vista que apenas medidas legislativas de incentivo à realização de P&D não são suficientes para alavancar a produtividade, o governo federal realizou parcerias com diferentes órgãos e instituições públicas e privadas para a elaboração e execução de projetos federais. Entre os planos e programas lançados, destacam-se: o Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação 2007-2010; o Plano Brasil Maior 2011-2014; e a Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (ENCTI) 2012-2015, todos visando garantir que o país consiga promover a inovação para obter ganhos de competitividade e crescimento econômico sustentável.

5. Os dados foram obtidos por meio do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) e estão em bilhões de dólares correntes em paridade do poder de compra (PPC).

6. Os dados foram obtidos por meio do *The Conference Board Total Economy Database* e referem-se à produtividade do trabalho. Disponível em: <<https://bit.ly/3qBOi1m>>. Acesso em: 25 jul. 2020.

Nesse contexto, foi lançada, em 2016, a ENCTI 2016-2022, que tem a finalidade de promover a inovação e o aumento de produtividade em setores estratégicos da economia brasileira. Esse alvo intenciona ser alcançado por meio de um conjunto de orientações e metas específicas presentes nessa estratégia as quais envolvem a intensificação da realização de P&D, a criação de estruturas institucionais e a formação de recursos humanos (Brasil, 2016).

Porém, ainda que a ENCTI 2016-2022 represente um avanço, no sentido de definir um conjunto de estratégias que incorporem o estabelecimento de uma estrutura institucional, a ausência de uma análise quantitativa impossibilita que questões fundamentais – por exemplo, políticas complementares, elaboração e reavaliação das metas e perspectivas macroeconômicas e setoriais de longo prazo – sejam abordadas e realizadas.

Dado o exposto, este artigo intenciona conferir uma avaliação quantitativa dos possíveis resultados macroeconômicos e setoriais decorrentes da implementação da ENCTI 2016-2022. A hipótese adotada é que o aumento do estoque de capital *knowledge* setorial obtido via estímulos da ENCTI gera efeitos em todo o sistema produtivo, principalmente devido aos efeitos de transbordamento do desenvolvimento tecnológico. Tal avaliação será realizada por meio da investigação das relações de interdependência setorial, via matriz de insumo-produto, e mediante simulações com modelo de equilíbrio geral computável (EGC).

Cabe destacar que as inovações promovidas pela ENCTI, e que serão avaliadas, referem-se às inovações e mudanças tecnológicas em processos, isto é, à implementação de um método de produção ou distribuição novo ou significativamente melhorado, o que inclui mudanças em técnicas, equipamentos e/ou *softwares*. Nesse tipo de inovação, busca-se reduzir os custos de produção e comercialização e melhorar a qualidade do produto através da maximização da eficiência dos meios disponíveis e por meio da criação de capital de conhecimento (Mortensen *et al.*, 2005).

Além desta introdução, este artigo está organizado em mais seis seções. A seção 2 traz as principais diretrizes e metas da ENCTI 2016-2022. A seção 3 faz uma breve revisão da literatura acerca da temática produtividade e políticas de desenvolvimento tecnológico. A seção 4 detalha a estratégia metodológica do modelo Brazilian Intersectoral Model with Gross Domestic Expenditure on R&D (BIM-GERD) e a análise descritiva da base de dados. A seção 5 apresenta a estruturação do exercício de simulação e os mecanismos de causalidade. A seção 6 expõe e discute os resultados. Por último, a seção 7 faz as considerações finais deste estudo.

## 2 A ENCTI 2016-2022

A ENCTI é um programa do governo federal que busca estabelecer diretrizes de médio e longo prazo para implementação de políticas na área da ciência, tecnologia e

inovação (CT&I). Em seu arcabouço, a estratégia busca: posicionar o Brasil entre os países com maior desenvolvimento em CT&I; aprimorar as condições institucionais para aumentar a produtividade a partir da inovação; reduzir assimetrias regionais na produção e no acesso à CT&I; desenvolver soluções inovadoras para a inclusão produtiva e social; e fortalecer as bases para a promoção do desenvolvimento sustentável (Brasil, 2016).

A estruturação da ENCTI é direcionada pelo Sistema Nacional de Ciência Tecnologia e Inovação (SNCTI), que engloba o aparato institucional necessário para a criação de um ambiente propício ao desenvolvimento de novas tecnologias. De forma geral, os desafios apontados pela ENCTI focam na mobilização dos recursos, atores e instrumentos que compõem o SNCTI. Portanto, a estrutura da ENCTI para incentivar o desenvolvimento tecnológico e ampliar a produtividade e competitividade nacional é sustentada por cinco pilares fundamentais: i) pesquisa; ii) infraestrutura; iii) financiamento; iv) recursos humanos; e v) inovação.

A partir da estruturação do SNCTI, a ENCTI elege os programas prioritários que envolvem as cadeias mais importantes para impulsionar a economia brasileira. A escolha dessas áreas tem como base as oportunidades que o país dispõe de conhecimento, infraestrutura e setores, as quais precisam ser adensadas para o alcance da sua inserção internacional (Brasil, 2016). Assim, cabe destacar, a seguir, algumas ações acerca das áreas estratégicas.

- 1) O desenvolvimento de tecnologia nos setores *aeroespacial e defesa* tem o propósito de promover a capacidade do país para utilizar os recursos e as técnicas aeroespaciais na solução de problemas, tendo sua ênfase no setor de telecomunicações, bem como direcionar a P&D para o desenvolvimento de produtos e sistemas militares e civis.
- 2) A área de *água* visa direcionar recursos em P&D para o desenvolvimento de tecnologias relacionadas a questões hídricas do Brasil.
- 3) O setor de *alimentos* tem o objetivo de ampliar os investimentos em P&D agropecuários para elevar a competitividade e garantir a liderança do agronegócio brasileiro na produção e distribuição de alimentos.
- 4) Para *biomas e bioeconomia*, o objetivo é direcionar P&D para o desenvolvimento de novas tecnologias a partir da biodiversidade disponível no país.
- 5) *Ciências e tecnologias sociais* compreende a criação tecnológica e a busca por soluções para inclusão social e melhoria na qualidade de vida dos indivíduos.
- 6) A área de *clima* tem o desafio de fomentar o desenvolvimento de novas tecnologias de baixo carbono e energias mais limpas, contribuindo para

a redução de poluentes. Além disso, visa à criação de tecnologias que permitam maior compreensão de fatores relacionados à mudança climática.

- 7) A área de *economia e sociedade digital* é caracterizada pelo setor de *tecnologia da informação e comunicação (TIC)* e tem como estratégia o estímulo de produção e desenvolvimento tecnológico de *software, hardware* e sistemas, semicondutores, microeletrônica e infraestrutura de tecnologia da informação (TI). O principal objetivo é fortalecer o setor nacional de TIC e sua cadeia produtiva, com vistas ao aumento de conteúdo local, da competitividade e da participação nos mercados nacional e internacional.
- 8) A área de *energia* envolve o desenvolvimento de tecnologias nos setores de petróleo e gás, energia elétrica e de biocombustíveis. O propósito fundamental é fomentar a pesquisa, o desenvolvimento tecnológico e a inovação nas cadeias produtivas de energia, visando estimular a competitividade e aumentar a diversificação da matriz energética.
- 9) O eixo da área de *minerais estratégicos* compreende o setor de mineração. O principal objetivo aqui é a ampliação de P&D, com vistas a agregação de valor, aumento de competitividade e redução da dependência externa desses recursos.
- 10) A área *nuclear* tem o objetivo de ampliar a realização de P&D para o desenvolvimento de técnicas que auxiliem no tratamento médico e hospitalar, além de contribuir para a matriz energética do país.
- 11) A área de *saúde* envolve um amplo conjunto de atividades que apresentam uma importância estratégica para o país. Entre as atividades, o desenvolvimento de *fármacos e químicos* se destaca tanto por sua relevância econômica como por sua importância no domínio de novas tecnologias. Dessa forma, o principal objetivo para a área de saúde é fortalecer e ampliar a indústria nacional produtora de fármacos e de outros produtos e equipamentos para a saúde, de modo a aumentar o acesso da população brasileira às tecnologias de diagnóstico e terapia.
- 12) Por fim, a área de *tecnologias convergentes e habilitadoras* concentra os setores denominados *fronteiras para inovação*, pois esses direcionam sua produção para o desenvolvimento de tecnologia de ponta no campo da nanotecnologia, biotecnologia e biodiversidade. O objetivo central da ENCTI nesses setores é estimular a produção de bens intensivos em conhecimento, de modo a proporcionar o aumento de produtividade e competitividade da indústria nacional.

A ENCTI estabelece indicadores cujos acompanhamento e avaliação permitem diagnosticar a implementação das ações propostas. Entre os indicadores, destacam-se, na tabela 1, aumentar o dispêndio nacional em P&D em relação ao PIB para 2%, sendo 1% realizado pelo setor privado, e elevar o número de pesquisadores por 1 milhão de habitantes para 3 mil até 2022.

**TABELA 1**  
**Indicadores da ENCTI**

| Indicadores                                                                                                                | Anteriores à ENCTI <sup>1</sup> | Posteriores à ENCTI <sup>2</sup> | Meta até 2022 | Fonte  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------|--------|
| Dispêndio nacional em P&D em relação ao PIB (%)                                                                            | 1,34 (2015)                     | 1,26 (2017)                      | 2,0           | MCTI   |
| Dispêndio empresarial em P&D em relação ao PIB (%)                                                                         | 0,6 (2015)                      | 0,6 (2017)                       | 1,0           | MCTI   |
| Dispêndio público em P&D em relação ao PIB (%)                                                                             | 0,70 (2015)                     | 0,63 (2017)                      | 1,0           | MCTI   |
| Dispêndio governamental federal em P&D em relação ao PIB (%)                                                               | 0,45 (2015)                     | 0,39 (2017)                      | 0,8           | MCTI   |
| Taxa de inovação das empresas (%)                                                                                          | 36<br>(2012-2014)               | 33,6<br>(2015-2017)              | 50,0          | Pintec |
| Número de empresas que fazem P&D contínuo                                                                                  | 5.658 (2014)                    | 5.974 (2017)                     | 10.000        | Pintec |
| Proporção de empresas inovadoras que utilizam ao menos um dos diferentes instrumentos de apoio à inovação nas empresas (%) | 39,9<br>(2012-2014)             | 26,7<br>(2015-2017)              | 40,0          | Pintec |
| Número de técnicos e pesquisadores ocupados em P&D nas empresas                                                            | 105.452 (2014)                  | 88.689 (2017)                    | 120.000       | Pintec |
| Proporção de concluintes de cursos de graduação nas engenharias em relação ao total de graduados em todas as áreas (%)     | 9,21 (2015)                     | 12,92 (2018)                     | 12,0          | Inep   |
| Número de pesquisadores por 1 milhão de habitantes                                                                         | 893 (2014)                      | 973 (2016)                       | 3.000         | MCTI   |

Fonte: Brasil (2016).

Elaboração dos autores.

Notas: <sup>1</sup> Indicadores anteriores à implementação da ENCTI 2016-2022.

<sup>2</sup> Indicadores disponíveis no período de vigência da ENCTI 2016-2022.

Obs.: MCTI – Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação; Pintec – Pesquisa de Inovação Tecnológica; e Inep – Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira.

Embora a ENCTI defina ações favoráveis ao desenvolvimento de novas tecnologias, a maior parte dos indicadores apresentou retração no período de vigência do programa. Por exemplo, o dispêndio nacional em P&D em relação ao PIB, em 2015, foi de 1,34% e, em 2017, caiu para 1,26%; e o percentual de empresas inovadoras que utilizam instrumentos de apoio à inovação foi de 39,9%, no período 2012-2014, e retraiu para 29,2%, no período 2015-2017. Os únicos indicadores que melhoraram estão ligados à educação e ao número de pesquisadores por 1 milhão de habitantes.

A queda no desempenho econômico brasileiro a partir de 2015 explica, em parte, a retratação dos indicadores estabelecidos pela ENCTI. Entretanto, a atividade inovativa é um dos principais elementos para a ampliação da produtividade e a obtenção de crescimento a longo prazo. Portanto, esta pesquisa, além de fornecer uma avaliação quantitativa dos possíveis resultados macroeconômicos e setoriais em decorrência da implementação da ENCTI 2016-2022, reforça a importância das políticas destinadas ao desenvolvimento tecnológico como uma estratégia para a obtenção de um crescimento econômico sustentável a longo prazo.

### **3 P&D: PRODUTIVIDADE E POLÍTICAS DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO**

A literatura empírica sobre investimentos em conhecimento e produtividade é extensa e envolve discussões setoriais e nacionais. Griliches (1979) foi um dos pioneiros na tentativa de mensurar os retornos do investimento em P&D e os transbordamentos tecnológicos por meio de uma estrutura de insumo-produto. De acordo com o autor, a atividade de P&D é importante para o crescimento da produtividade econômica, e a compreensão da estrutura dos dados de P&D é fundamental para a obtenção correta dos efeitos da P&D na dinâmica produtiva.

Utilizando uma abordagem econométrica, vários trabalhos mostraram que a atividade de P&D tem efeito significativo e positivo no crescimento do produto, porém com elasticidades estimadas diferentes para setores e países. Nesse sentido, o CBO (2005) analisou 25 pesquisas aplicadas para Estados Unidos, França, Japão, Taiwan e onze países da OCDE. Os resultados apontaram que a elasticidade da produtividade para P&D varia entre 0,03 e 0,56, dependendo dos setores e países considerados. Ortega-Argilés (2013), ao investigar cinquenta estudos aplicados para países desenvolvidos, concluiu que as elasticidades entre P&D e produtividade variaram de 0,007 a 0,37, novamente, dependendo dos setores e países.

No que diz respeito aos países da América Latina, em geral, os resultados diferem dos aplicados para economias desenvolvidas. Crespi e Zuniga (2012), ao observarem a relação entre inovação e produtividade do trabalho para seis países da América Latina – a saber, Argentina, Chile, Colômbia, Costa Rica, Panamá e Uruguai –, encontraram que a elasticidade varia entre 0,24 para Argentina e 1,95 para a Colômbia. De modo geral, os resultados são maiores que os obtidos para países desenvolvidos e, de acordo com os autores, a maior heterogeneidade e magnitude dos efeitos da atividade inovativa ocorre devido às práticas de inovação dos países desenvolvidos serem mais homogêneas e estarem em um estágio de desenvolvimento tecnológico maior em relação aos países em desenvolvimento.

Para o Brasil, De Negri, Esteves e Freitas (2007) identificaram que as empresas que recebem incentivos do governo para realização em P&D são impactadas em média 1,02 na condução de inovações de processos. De Negri, Cavalcante e Jacinto (2014), por sua vez, indicam que aumentos no estoque de P&D impactam a produtividade em média 0,063.

Apesar dos avanços econométricos, quando o objetivo é analisar o efeito de políticas destinadas aos desenvolvimentos tecnológicos, essa estratégia metodológica é pouco eficiente. Isso porque tal estratégia não incorpora os efeitos *feedbacks* de alterações na produtividade, não permite variações no preço relativo, não captura efeitos de substituição em determinados mercados e não reconhece os canais diretos e indiretos que afetam a produção e o consumo no sistema econômico.

Para investigar os efeitos de políticas de desenvolvimento tecnológico, muitos estudos utilizam os modelos EGC baseados na teoria do crescimento endógeno de Romer (1989), que associa capital do conhecimento e investimento em P&D como capazes de afetar a produtividade e a produção de uma economia.

No final da década de 1990, Diao *et al.* (1996) propuseram um modelo EGC que incorporasse P&D, com base na teoria do crescimento endógeno, para avaliar o efeito de incentivos em P&D no crescimento das economias do Leste Asiático. Esse trabalho foi pioneiro e serviu de base para o desenvolvimento de outros – por exemplo, Ghosh (2007), Zürn *et al.* (2007), Bor *et al.* (2010) e Křístková (2013) –, que, além de introduzirem a P&D, analisaram outros aspectos, como produtividade, crescimento econômico e mudança climática.

Ghosh (2007) analisou os efeitos de subsídios diretos de P&D sobre a produtividade total dos fatores (PTF) e o crescimento econômico canadense a partir de um modelo EGC que especifica a realização de P&D como um dos fatores que afetam a quantidade de variedade de capital. Zürn *et al.* (2007), por sua vez, analisaram os impactos econômicos de subsídios diretos aos insumos de conhecimento nos países-membros da União Europeia utilizando um modelo dinâmico, em que o capital de conhecimento é caracterizado como um insumo primário na função de produção.

Bor *et al.* (2010), ao analisarem os impactos do investimento público em P&D sobre a economia de Taiwan, dividiram o estoque de capital de P&D em público e privado, sendo esse afetado por políticas destinadas à atividade inovativa.

Křístková (2013) utilizou um modelo EGC que incorpora os efeitos do capital de conhecimento sobre o crescimento econômico da República Tcheca; nesse modelo, o autor distingue a estrutura de produção dos setores de P&D entre a atividade privada e pública.

Em geral, a modelagem de EGC para avaliar os efeitos de políticas tecnológicas explicita o estoque de capital do conhecimento como um fator primário adicional, de forma que distúrbios nessa variável, que ocorrem devido à atividade de P&D, impactem a produtividade e o desempenho da economia. Outrossim, a necessidade de separar os efeitos do capital de conhecimento dos demais fatores primários ocorre para não generalizar ou superestimar setorialmente os impactos sobre a economia. Assim, quando o objetivo é avaliar uma política tecnológica específica, a não separação do capital de conhecimento por setores pode levar a distorções nos resultados da análise. Essa é a principal vantagem dessa estrutura metodológica e, também, é a estratégia utilizada para avaliar o efeito da ENCTI sobre a economia brasileira.

#### 4 ESTRATÉGIA METODOLÓGICA E BASE DE DADOS

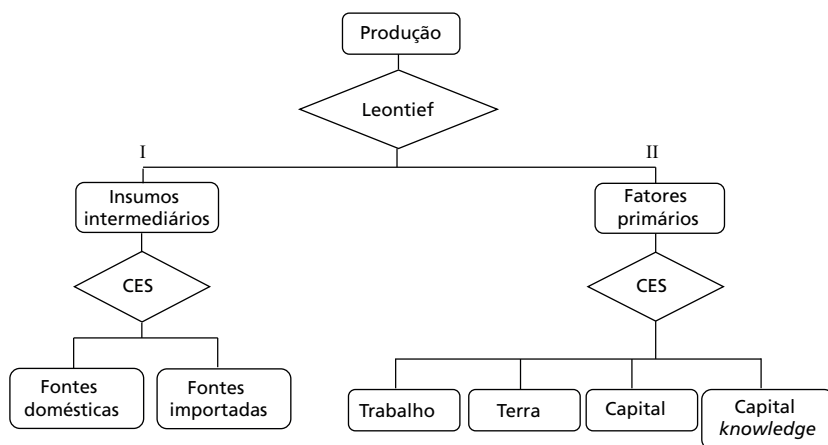
A estrutura teórica do modelo BIM-GERD segue os pressupostos de uma estrutura-padrão de equilíbrio geral Arrow-Debreu, uma vez que as equações de demanda e oferta para os setores são derivadas de soluções para problemas de otimização, o que especifica o comportamento dos agentes com base na teoria de microeconomia neoclássica.

Desse modo, o sistema de equações é construído em conjuntos de blocos que compõem o núcleo central no modelo. Esses blocos descrevem o comportamento de seis grupos de agentes: i) produtores; ii) investidores, que determinam a criação do capital; iii) investidores em P&D, que destinam a criação do capital *knowledge*; iv) familiares; v) governos; e vi) consumidor externo (exportações). Ademais, o modelo também reconhece quatro fatores de produção: trabalho, capital, terra e capital *knowledge*.

A figura 1 apresenta a estrutura aninhada da tecnologia de produção do modelo BIM-GERD. Tal figura é dividida em duas partes: a parte I refere-se à estrutura de substituição entre bens domésticos e importados; e a parte II corresponde à estrutura de substituição de insumos primários, na qual é inserido um novo fator, o capital *knowledge*.

No primeiro nível da estrutura aninhada, é adotada a hipótese de combinação fixa, determinada por uma tecnologia Leontief entre os insumos utilizados no processo de produção. No segundo nível, há a possibilidade de substituição entre os insumos intermediários produzidos domesticamente e importados. Além disso, existe a possibilidade de substituição entre os fatores primários. Todas as substituições de insumos e fatores primários são realizadas por meio de uma função de elasticidade de substituição constante (CES).

FIGURA 1  
Estrutura aninhada de tecnologia de produção



Fonte: King (2012).  
Elaboração dos autores.

A estrutura de tecnologia de produção mostra que, à medida que o estoque de capital *knowledge* aumenta, a quantidade necessária de insumos primários para produzir o mesmo volume de bens diminui; ou ainda, é possível aumentar a produção com a utilização de proporções menores de trabalho, capital e terra. Esse fenômeno é denominado como *aumento de produtividade*. Dessa forma, após um choque exógeno no estoque de capital *knowledge*, será possível observar os aumentos na eficiência produtiva e no percentual transferido via efeito transbordamento.<sup>7</sup>

#### 4.1 Base de dados e análise descritiva

O modelo BIM-GERD está desagregado para 62 setores e 91 produtos da economia brasileira. A base de dados parte de uma estrutura de insumo-produto que, nesse caso, mostra a relação produto *versus* setor. Cabe pontuar que a construção da base de dados se fez por meio do Sistema de Contas Nacionais (SCN) de 2011.<sup>8</sup> Para incluir a especificação de investimento em P&D e a formação de capital *knowledge*, utilizou-se a aproximação de Terleckyj.<sup>9</sup> Os dados de P&D foram obtidos por meio da Pintec, que dispõe de dados segundo a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) 2.0. Além disso, utilizaram-se dados da Agricultural Science and Technology Indicators (Asti) referentes à quantidade de P&D realizada por esse setor no Brasil.

7. No apêndice A, são apresentadas as equações da estrutura de produção do modelo.

8. A base de dados foi construída no Lates da UFJF. Disponível em: <<https://bit.ly/3BCnggv>>.

9. A aproximação de Terleckyj foi desenvolvida por Terleckyj (1974) com o objetivo de analisar os efeitos da P&D na produtividade. Informações sobre o processo de extração e especificação destas no modelo BIM-GERD podem ser obtidas em Pio, Perobelli e Gomes (2016).

O quadro 1 mostra a estrutura da base de dados com a especificação do investimento em P&D e capital *knowledge*. O primeiro quadrante aponta as transações intermediárias de compra e venda de insumos. O segundo representa a demanda final, composta por investimento, famílias, governo, investimento em P&D, exportação e estoques. Por fim, no terceiro quadrante, é exibido o valor adicionado formado por trabalho, capital, terra e capital *knowledge*.

QUADRO 1  
Matriz base de dados com investimento em P&D e capital *knowledge*

|           | Sector (1)                        | Sector (2) | Sector (3) | ... | Sector (i) | Investimento               | Famílias | Governo | Investimento em P&D | Exportação | Estoque | Total |
|-----------|-----------------------------------|------------|------------|-----|------------|----------------------------|----------|---------|---------------------|------------|---------|-------|
| C(1)      | I quadrante consumo intermediário |            |            |     |            | II quadrante demanda final |          |         |                     |            |         |       |
| C(2)      |                                   |            |            |     |            |                            |          |         |                     |            |         |       |
| C(3)      |                                   |            |            |     |            |                            |          |         |                     |            |         |       |
| ...       |                                   |            |            |     |            |                            |          |         |                     |            |         |       |
| C(i)      |                                   |            |            |     |            |                            |          |         |                     |            |         |       |
| Trabalho  | III quadrante valor adicionado    |            |            |     |            |                            |          |         |                     |            |         |       |
| Capital   |                                   |            |            |     |            |                            |          |         |                     |            |         |       |
| Knowledge |                                   |            |            |     |            |                            |          |         |                     |            |         |       |
| Total     |                                   |            |            |     |            |                            |          |         |                     |            |         |       |

Fonte: Zürn *et al.* (2007, p. 13).  
Elaboração dos autores.

O quadro 2 destaca os dezoito setores identificados na matriz insumo-produto que correspondem às doze áreas estratégicas definidas pela ENCTI.

## QUADRO 2

## Setores da matriz insumo-produto correspondentes às áreas estratégicas na ENCTI

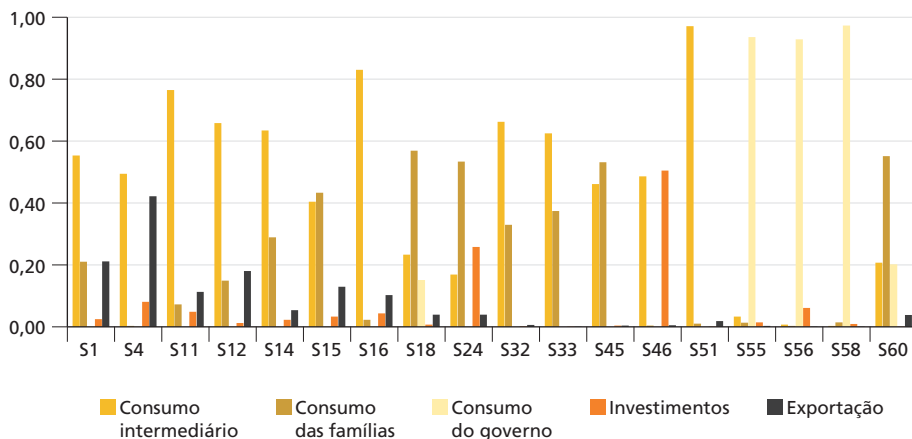
| Setores |                                                         | Áreas ENCTI                            |
|---------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| S45     | Telecomunicações                                        | Aeroespacial e defesa                  |
| S55     | Administração pública, defesa e seguridade social       |                                        |
| S33     | Água, esgoto e gestão de resíduos                       | Água                                   |
| S1      | Agricultura e outros                                    | Alimentos                              |
| S11     | Fabricação de produtos da madeira                       | Biomassas e bioeconomia                |
| S12     | Fabricação de celulose, papel e produtos de papel       |                                        |
| S56     | Educação pública                                        | Ciências e tecnologias sociais         |
| S60     | Atividades artísticas, criativas e de espetáculos       |                                        |
| S24     | Fabricação de equipamentos de informática e eletrônicos | Economia e sociedade digital           |
| S46     | Desenvolvimento de sistemas e serviços de informação    |                                        |
| S14     | Refino de petróleo e coquerias                          | Energia e clima                        |
| S15     | Fabricação de biocombustíveis                           |                                        |
| S32     | Energia elétrica, gás natural e outras utilidades       |                                        |
| S4      | Indústrias extrativas                                   | Minerais estratégicos                  |
| S58     | Saúde pública                                           | Saúde e nuclear                        |
| S16     | Fabricação de produtos químicos                         |                                        |
| S18     | Fabricação e produção de farmoquímicos e farmacêuticos  |                                        |
| S51     | Atividades profissionais, científicas e técnicas        | Tecnologias convergentes/habilitadoras |

Elaboração dos autores.

O gráfico 1 apresenta a participação setorial nas vendas totais do setor para cada uma das formas de uso identificadas no banco de dados: consumo intermediário; investimentos; consumo das famílias; exportações; e consumo do governo. De modo geral, os setores prioritários da ENCTI concentram suas vendas, principalmente, no consumo intermediário e no consumo das famílias com mais de 80% do total de vendas. As exceções são dos setores S1 e S4, os quais destinam uma parcela significativa de sua produção para a exportação, com 76% e 50%, respectivamente; o setor S46, com 50% das vendas direcionadas ao investimento, e os setores S55, S56 e S58, com mais de 90% no consumo do governo.

GRÁFICO 1

**Participação de cada forma de uso nas vendas setoriais**  
(Em %)



Elaboração dos autores.

Os setores com maior destaque para o fornecimento de insumos primários, ou seja, aqueles cuja produção se destina ao consumo intermediário e que representa mais de 70% da sua produção total, são S11 e S16. Para o consumo das famílias, por sua vez, destacam-se os setores S18, S24 e S60, com 57%, 53% e 55%, respectivamente.

A tabela 2 apresenta os resultados dos índices de ligação e da estatística de variabilidade.<sup>10</sup> Entre os setores, cinco são essenciais para a economia – a saber: S12, S14, S16, S32, S45 e S51 – isto é, possuem forte encadeamento tanto para trás quanto para frente, o que significa que contribuem acima da média para o crescimento econômico. Além disso, possuem alta sensibilidade para dispersão, o que indica que o número de setores afetados pelas vendas de insumos desses setores é elevado. Ademais, os setores S11 e S15 possuem forte encadeamento para trás e alto poder de dispersão, o que significa que maior será o número de setores atingidos por variações em suas demandas finais. Já os setores S1 e S4, como esperado, possuem forte encadeamento para frente, isto é, sofrem um aumento acima da média, dada uma variação na demanda final de todos os setores da economia. Os demais setores, no entanto, não apresentam forte encadeamento para trás nem para frente.

10. Discussão detalhada sobre a construção dos índices para essa base de dados pode ser encontrada em Betarelli Junior, Perobelli e Vale (2015).

**TABELA 2**  
**Índices de encadeamento e de graus de ligações dos setores econômicos<sup>1</sup>**

| Setores |                                                        | Índice de Rasmussen-Hirschman |      |                            |    | Estatística de variabilidade |      |
|---------|--------------------------------------------------------|-------------------------------|------|----------------------------|----|------------------------------|------|
|         |                                                        | Uj                            | Ui   | Classificação <sup>2</sup> |    | Vj                           | Vi   |
| S1      | Agricultura e outros                                   | 0,95                          | 1,47 | -                          | FL | 4,92                         | 3,53 |
| S4      | Indústrias extrativas                                  | 0,87                          | 1,90 | -                          | FL | 5,41                         | 2,70 |
| S11     | Fabricação de produtos da madeira                      | 1,08                          | 0,77 | BL                         | -  | 4,72                         | 6,60 |
| S12     | Fabricação de celulose, papel e produtos de papel      | 1,17                          | 1,09 | Setor-chave                | -  | 4,49                         | 4,80 |
| S14     | Refino de petróleo e coquerias                         | 1,29                          | 2,09 | Setor-chave                | -  | 4,69                         | 2,77 |
| S15     | Fabricação de biocombustíveis                          | 1,32                          | 0,66 | BL                         | -  | 3,73                         | 6,84 |
| S16     | Fabricação de produtos químicos                        | 1,10                          | 2,03 | Setor-chave                | -  | 4,91                         | 2,71 |
| S18     | Fabricação e produção de farmoquímicos e farmacêuticos | 0,93                          | 0,63 | -                          | -  | 4,84                         | 7,15 |
| S24     | Fabricação de equipamento de informática e eletrônicos | 0,92                          | 0,68 | -                          | -  | 5,16                         | 6,93 |
| S32     | Energia elétrica, gás natural e outras utilidades      | 1,02                          | 1,64 | Setor-chave                | -  | 5,70                         | 3,51 |
| S33     | Água, esgoto e gestão de resíduos                      | 0,92                          | 0,81 | -                          | -  | 4,93                         | 5,57 |
| S45     | Telecomunicações                                       | 1,05                          | 1,10 | Setor-chave                | -  | 5,07                         | 4,77 |
| S46     | Desenvolvimento de sistemas e serviços de informação   | 0,79                          | 0,88 | -                          | -  | 5,96                         | 5,32 |
| S51     | Atividades profissionais, científicas e técnicas       | 1,14                          | 1,18 | Setor-chave                | -  | 4,33                         | 3,91 |
| S55     | Administração pública, defesa e seguridade social      | 0,81                          | 0,73 | -                          | -  | 5,56                         | 6,16 |
| S56     | Educação pública                                       | 0,73                          | 0,57 | -                          | -  | 6,09                         | 7,80 |
| S58     | Saúde pública                                          | 0,86                          | 0,57 | -                          | -  | 5,20                         | 7,86 |
| S60     | Atividades artísticas, criativas e de espetáculos      | 0,89                          | 0,66 | -                          | -  | 5,13                         | 6,98 |

Elaboração dos autores.

Notas: <sup>1</sup>  $U_j$  é o índice de ligação para trás e  $U_i$ , o índice de ligação para frente.  $V_j$  refere-se a poder de dispersão e  $V_i$ , a sensibilidade de dispersão.

<sup>2</sup>  $U_j > 1$  corresponde a forte encadeamento para trás (BL);  $U_i > 1$  equivale a forte encadeamento para frente (FL); e  $U_j > 1$  e  $U_i > 1$  representa o setor-chave.

## 5 ESTRATÉGIA DE SIMULAÇÃO E EFEITO SISTÊMICO

O modelo BIM-GERD, em sua versão condensada, contém 9.066 variáveis e 7.014 equações. Portanto, é necessário exogenizar 2.052 variáveis. Assim, o fechamento utilizado para avaliação da política da ENCTI é de longo prazo. Nesse caso, as hipóteses adotadas permitem que o equilíbrio de estado estacionário seja alcançado, uma vez que o estoque de capital e o salário real são endógenos para responder aos mecanismos de propagação sistêmica definidos no modelo, ou seja, propiciam que a força de trabalho e o capital se aloquem entre os setores da economia. Como o propósito deste estudo é analisar os efeitos da mudança do estoque de capital

*knowledge* na economia, essa variável é considerada exógena, de modo a permitir que choques exógenos possam ser realizados a partir dessa variável.

A utilização do fechamento de longo prazo se justifica pelo fato dos investimentos em P&D não produzirem efeitos no curto prazo, pois as mudanças relevantes requerem um determinado período de tempo. Sendo assim, o exercício de simulação implementado consiste no aumento do estoque de capital *knowledge* dos setores da economia brasileira, que pode ocorrer devido ao aumento dos investimentos em P&D e ou por meio da ampliação da capacidade de absorção tecnológica, que no caso deste trabalho se justifica pela implementação da ENCTI.

Nos resultados dos exercícios de simulação, são analisados os seguintes aspectos: i) os efeitos econômicos da mudança do estoque de capital *knowledge* nos setores da economia brasileira; ii) os efeitos dessa variação na produtividade dos setores; iii) os efeitos sobre o nível de exportação agregado e setorial; e iv) os transbordamentos tecnológicos intersetoriais da economia.

Com o objetivo de realizar uma simulação que permita esboçar possíveis efeitos dos incentivos da política da ENCTI, foram construídos dois cenários, nos quais se assume que os setores que receberam o estímulo atingiram determinado nível de estoque de capital *knowledge*. Portanto, assumiu-se que os setores atingiram o nível necessário de capacidade de absorção tecnológica devido aos incentivos da ENCTI, que é capaz de gerar aumentos no estoque capital *knowledge*.

Nesse sentido, na primeira estratégia de simulação, utilizou-se a meta estabelecida pela ENCTI como base, a qual define o percentual de P&D que será atingido em 2022 como sendo 1% em relação ao produto do setor privado. A partir desse objetivo, a aproximação de Terleckyj foi usada para capturar a quantidade de capital *knowledge* adquirida com esse percentual de P&D realizado. Posteriormente, realizaram-se choques exógenos com o percentual necessário para atingir o novo nível de capital *knowledge*. Essa estratégia permite identificar as possíveis consequências de um resultado considerado bem-sucedido pela ENCTI, bem como analisar os principais efeitos sistêmicos na economia em termos agregados e setoriais.

Visando identificar os setores que são capazes de impulsionar a economia de forma mais eficiente e os que possuem maiores efeitos de encadeamentos, na segunda estratégia de simulação, realizou-se um choque de 1% em todos os setores indicado pela ENCTI de forma sequencial. Assim, de modo diferente da estratégia indicada anteriormente, na qual o choque é realizado de forma simultânea em todos os setores, nesse caso, o choque é realizado de maneira individual e de forma consecutiva em cada setor. A tabela 3 resume o procedimento adotado.

**TABELA 3**  
**Implementação simulação<sup>1</sup>**

| Setores                                                      | P&D 1% do produto | Capital <i>knowledge</i> inicial | Capital <i>knowledge</i> com P&D 1% do produto <sup>1</sup> | Choque realizado (%) <sup>2</sup> |
|--------------------------------------------------------------|-------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Agricultura e outros (S1)                                    | 2.757,4           | 366,2                            | 703,8                                                       | 92,2                              |
| Indústrias extrativas (S4)                                   | 3.093,9           | 448,1                            | 868,6                                                       | 93,8                              |
| Fabricação de produtos da madeira (S11)                      | 354,9             | 37,7                             | 104,9                                                       | 178,3                             |
| Fabricação de celulose, papel e produtos de papel (S12)      | 853,7             | 191,8                            | 339,7                                                       | 77,1                              |
| Refino de petróleo e coquearias (S14)                        | 1.814,0           | 2.367,3                          | 3.467,4                                                     | 46,5                              |
| Fabricação de biocombustíveis (S15)                          | 3.117,6           | 202,7                            | 310,3                                                       | 53,1                              |
| Fabricação de produtos químicos (S16)                        | 2.960,0           | 589,1                            | 1.284,2                                                     | 118,0                             |
| Fabricação e produção de farmaquímicos e farmacêuticos (S18) | 685,1             | 175,3                            | 221,8                                                       | 26,5                              |
| Fabricação de equipamentos de informática, eletrônicos (S24) | 488,4             | 721,6                            | 838,8                                                       | 16,2                              |
| Energia elétrica, gás natural e outras utilidades (S32)      | 2.736,8           | 770,8                            | 1.484,6                                                     | 92,6                              |
| Água, esgoto e gestão de resíduos (S33)                      | 779,2             | 89,1                             | 168,3                                                       | 88,8                              |
| Telecomunicações (S45)                                       | 2.083,5           | 571,7                            | 931,1                                                       | 62,9                              |
| Desenvolvimento de sistemas e serviços de informação (S46)   | 1.263,3           | 154,7                            | 180,1                                                       | 16,4                              |
| Atividades profissionais, científicas e técnicas (S51)       | 1.626,8           | 119,3                            | 148,0                                                       | 24,0                              |
| Administração pública, defesa e seguridade social (S55)      | 4.889,4           | 849,9                            | 1.242,6                                                     | 46,2                              |
| Educação pública (S56)                                       | 1.792,9           | 210,1                            | 276,6                                                       | 31,7                              |
| Saúde pública (S58)                                          | 1.111,4           | 287,2                            | 311,7                                                       | 8,5                               |
| Atividades artísticas, criativas e de espetáculos (S60)      | 294,8             | 40,9                             | 96,0                                                        | 134,9                             |

Elaboração dos autores.

Notas: <sup>1</sup> Aproximação de Terleckyj utilizada para obter o valor correspondente.

<sup>2</sup> Diferença percentual entre o estoque de capital *knowledge* inicial e o final.

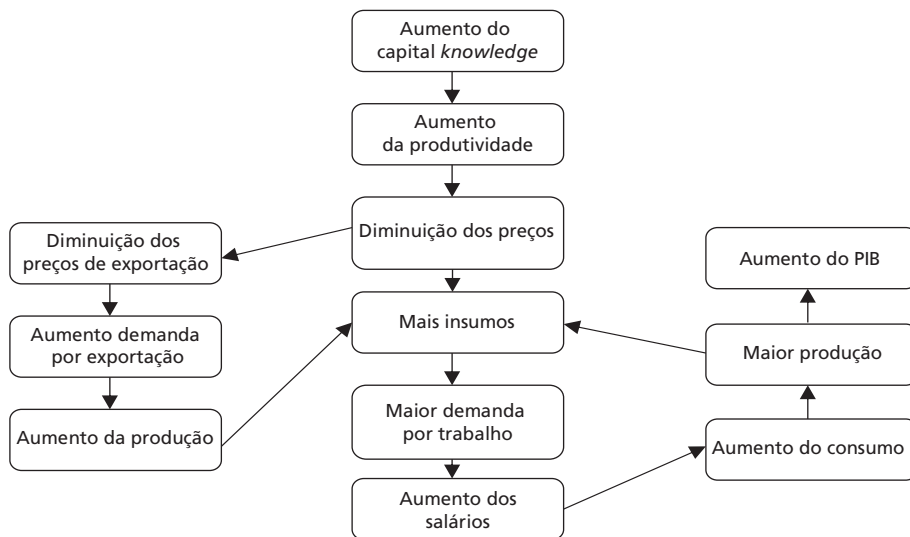
Cabe destacar que a construção dos cenários permite traçar os possíveis desdobramentos da ENCTI e identificar os principais setores capazes de impulsionar a economia via estímulo tecnológico. Dessa forma, os objetivos definidos pela ENCTI, especificados na seção 2, fazem com que o cenário estruturado seja passível de ser alcançado, isto é, torna-o factível.

### 5.1 Efeitos sistêmicos nas relações causais

A descrição do efeito sistêmico segue as especificações descritas por Pio, Perobelli e Gomes (2016). O modelo BIM-GERD, ao incorporar uma especificação detalhada do investimento em P&D e em formação de capital *knowledge*, permite identificar os efeitos sistêmicos em decorrência de modificações na produtividade. Dessa forma, espera-se que os setores que apresentem aumento (ou declínio) do estoque de capital *knowledge* elevem (ou diminuam) seu nível de atividade econômica. A figura 2 mostra essas relações.

FIGURA 2

**Relações causais dos mecanismos de funcionamento do modelo após uma variação no estoque de capital *knowledge***



Fonte: King (2012).  
Elaboração dos autores.

O principal efeito do aumento no estoque de capital *knowledge* sobre o sistema econômico ocorre por meio da redução da necessidade de utilização de fatores primários (capital mais trabalho mais terra) para produzir a mesma quantidade de bens, isto é, ocorre um aumento na produtividade dos setores. Como pode ser observado na figura 2, após um choque positivo no estoque de capital *knowledge* setorial, ocorre uma redução do nível de preço na economia. Isso leva a um aumento da demanda por exportação e, conseqüentemente, a uma elevação do nível de atividade econômica. Ademais, o nível de produção tende a deslocar a demanda por trabalho que, por sua vez, proporciona um maior nível de renda para as famílias, resultando em aumento no consumo. Todos esses efeitos contribuem para o aumento do PIB da economia.

## 6 RESULTADOS

### 6.1 Resultados da simulação 1

Na tabela 4, são apresentados os resultados macroeconômicos de longo prazo da simulação 1. Diante do efeito sistêmico, o aumento do estoque de capital *knowledge* provoca redução no nível de preços da economia, com destaque para a redução nos preços do investimento em P&D, consumidor e exportação. Além disso, o efeito do choque exógeno provoca elevações na remuneração agregada do trabalho e redução

no custo do capital. Como consequência, ocorrem aumentos no nível de atividade econômica, induzidos pelo aumento do consumo e pela elevação do volume de exportação. O resultado geral de longo prazo implica um maior nível de PIB e salário real, o que provoca uma variação equivalente totalizada em R\$ 2.733,93.

**TABELA 4**  
**Resultados agregados de longo prazo**

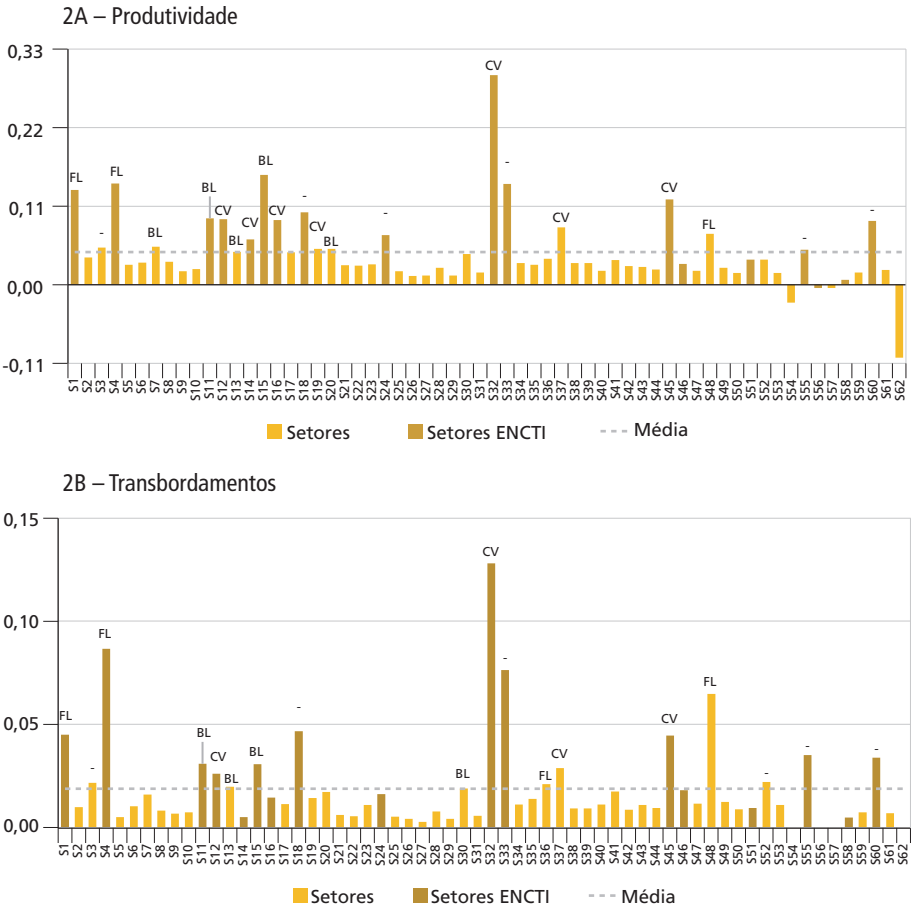
| Variáveis                                   | Valor    |
|---------------------------------------------|----------|
| Preços                                      |          |
| Índice de preços de investimento (%)        | -0,080   |
| Índice de preços de investimento em P&D (%) | -0,273   |
| Índice de preços do consumidor (%)          | -0,146   |
| Índice de preços da demanda do governo (%)  | -0,039   |
| Índice de preços das exportações (%)        | -0,202   |
| Índice de preços do PIB (%)                 | -0,139   |
| Fatores primários                           |          |
| Remuneração agregada do capital (%)         | -0,035   |
| Remuneração agregada do capital (%)         | -7,161   |
| Remuneração agregada do trabalho (%)        | 0,102    |
| Remuneração agregada da terra (%)           | 0,483    |
| Estoque de capital agregado (%)             | 0,045    |
| Demanda agregada                            |          |
| Consumo real agregado das famílias (%)      | 0,103    |
| Investimento real agregado (%)              | 0,045    |
| Investimento em P&D real agregado (%)       | 0,000    |
| Demanda real agregada do governo (%)        | 0,103    |
| Volume de exportações (%)                   | 0,226    |
| Outros indicadores agregados                |          |
| PIB real (%)                                | 0,114    |
| Salário real (%)                            | 0,249    |
| Variação equivalente (R\$ milhões)          | 2.733,93 |

Elaboração dos autores.

Os resultados setoriais são os mais importantes na análise de EGC, uma vez que permitem avaliar os efeitos do choque exógeno considerando as interdependências setoriais. O gráfico 2 apresenta os resultados das simulações sobre a produtividade e os transbordamentos intersetoriais. O efeito do aumento do estoque de capital *knowledge* sobre a produtividade está associado à redução na utilização dos fatores primários para produzir o mesmo volume de produção. Por conseguinte, os setores que obtiveram maior incremento na produtividade foram os que receberam o

choque exógeno, com destaque para os setores de energia elétrica, gás natural e outras utilidades – S32 (0,3%); fabricação de biocombustíveis – S15 (0,2%); e indústrias extrativas – S4 (0,14%), que alcançaram os maiores resultados.

GRÁFICO 2  
Resultados de longo prazo da variação do estoque de capital *knowledge*, produtividade e transbordamentos  
(Em %)



Elaboração dos autores.  
Obs.: BL – forte encadeamento para trás; FL – forte encadeamento para frente; e CV – setor-chave.

De modo geral, todos os setores obtiveram aumentos em sua produtividade, exceto o setor de serviços domésticos (S62), que é intensivo em trabalho, cabendo pontuar também que o aumento da remuneração desse fator afeta diretamente sua produtividade. Isso ocorre devido ao grau de interdependência dos setores que receberam o choque. Conforme Griliches (1979), os efeitos do aumento do

estoque capital *knowledge* não se restringem apenas aos setores que atingiram tal incremento, pois ocorrem transbordamentos, e a magnitude destes depende do grau de interdependência setorial da economia. Como destacado na análise descritiva dos dados (tabela 1), os setores prioritários da ENCTI são, em sua maior parte, setores fundamentais ou que possuem fortes encadeamentos; isso conduz a um maior efeito sistêmico na economia.

O resultado desse apontamento é evidenciado pelos efeitos transbordamentos apresentados no gráfico 2.<sup>11</sup> Os setores com transbordamentos acima da média concentram-se nos setores prioritários da ENCTI, com destaque para energia elétrica, gás natural e outras utilidades – S32 (0,13%); indústrias extrativas – S4 (0,1%); e água, esgoto e gestão de resíduos – S33 (0,1%). Ressalta-se que, entre os setores não prioritários da ENCTI, atividades imobiliárias (S48) e transporte terrestre (S37) obtiveram os maiores resultados nos transbordamentos e na produtividade. Ao analisar os índices de ligação desses setores, obteve-se que o setor de atividades imobiliárias (S48) tem um forte encadeamento para frente e o setor de transporte terrestre (S37) é essencial na economia. Isso indica que esses são setores com elevada interdependência setorial, que se beneficiam das relações intersetoriais.

O gráfico 3 apresenta os resultados sobre o nível de atividade econômica. É possível observar que todos os setores ampliaram suas produções, exceto o setor S62. Os setores prioritários da ENCTI, como esperado, obtiveram os maiores níveis, com destaque para agricultura – S1 (0,30%); indústria extrativas – S4 (0,24%); refino de petróleo e coquerias – S14 (0,40%); fabricação de biocombustíveis – S15 (1,30%); e fabricação de produtos químicos – S16 (0,33%). Três setores dos não pertencentes à ENCTI obtiveram resultado acima da média no nível de atividade, são eles: fabricação de produtos de borracha e de material plástico – S19; transporte terrestre – S37; e alugueis não imobiliários e gestão de ativos de propriedade intelectual – S52.

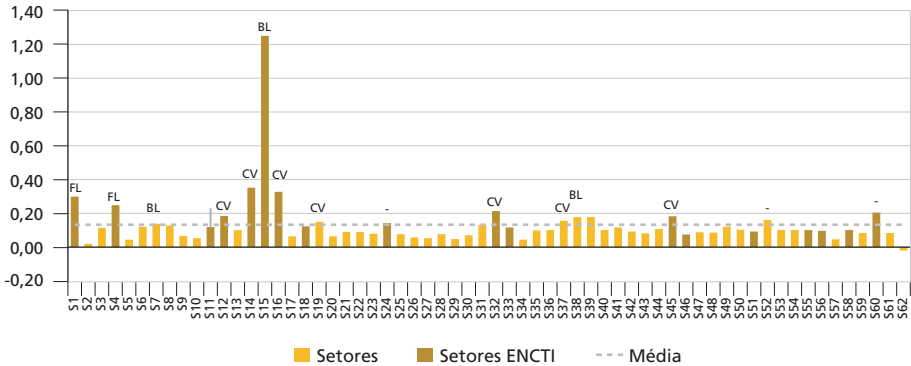
Embora todos os setores tenham aumentado seu nível de atividade produtiva, ao analisar a parcela destinada à exportação (gráfico 3), constata-se que poucos setores obtiveram um resultado de fato expressivo no mercado exportador. Entre os prioritários da ENCTI, os setores de agricultura – S1 (0,13%) e indústria extrativas – S4 (0,10%) são os originalmente exportadores da economia brasileira, e os que emergiram, em termos de exportação. Fabricação de celulose, papel e produtos de papel – S12 (0,20%); fabricação de biocombustíveis – S15 (0,12%); e fabricação de produtos químicos – S16 (0,30%) são os setores que obtiveram os melhores desempenhos no mercado internacional.

---

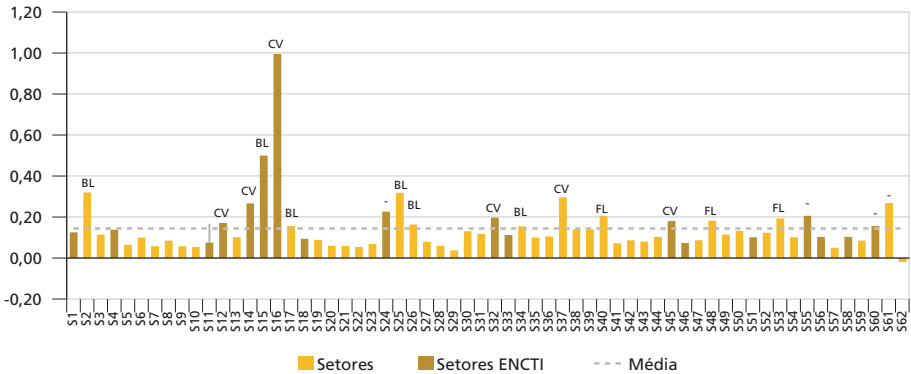
11. O efeito transbordamento adotado refere-se à quantidade de capital de outros setores incorporado da produção de um setor, ocorrido nas transações intersetoriais.

GRÁFICO 3  
Resultados de longo prazo sobre o nível de atividade, a parcela de mercado local e a parcela de exportação  
(Em %)

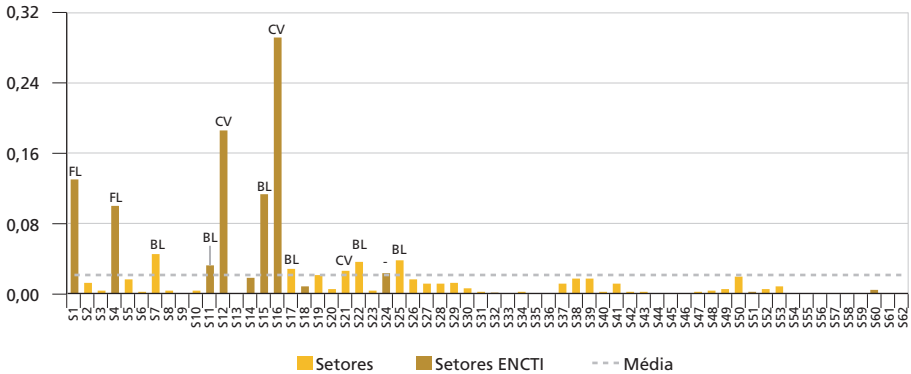
3A – Nível de atividade



3B – Mercado local



3C – Exportação



Elaboração dos autores.  
Obs.: BL – forte encadeamento para trás; FL – forte encadeamento para frente; e CV – setor-chave.

Ainda que não tenham recebido um choque exógeno no estoque de capital *knowledge*, a maior parte dos setores não prioritários da ENCTI ampliou suas parcelas de exportação, com resultados acima da média para os setores de fabricação de fumo – S07 (0,05%); metalurgia de metais não ferrosos e fundição de metais – S22 (0,04%); e fabricação de máquinas e equipamentos elétricos – S25 (0,04%). Isso indica que o grau de interdependência setorial contribui, em parte, para os transbordamentos tecnológicos, elevando o nível de produtividade e competitividade dos setores da economia brasileira.

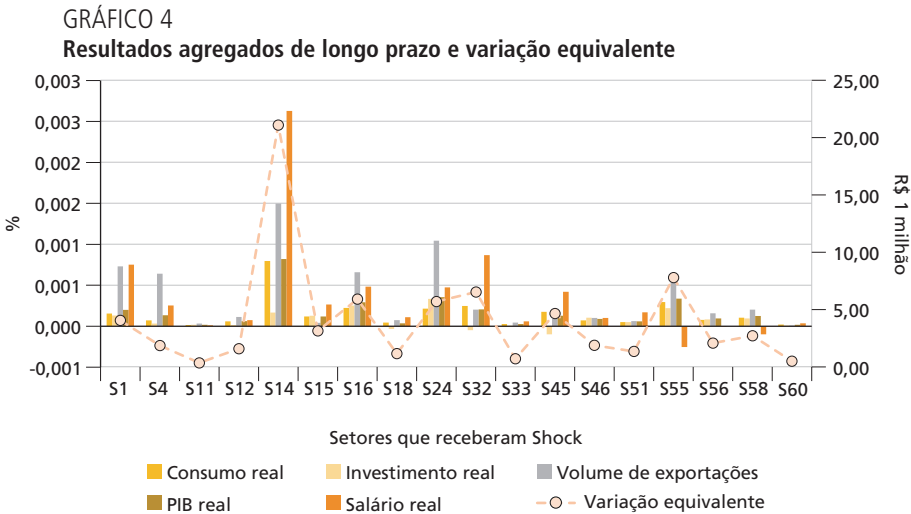
Por fim, embora o aumento da produtividade tenha elevado o nível de competitividade, resultando em uma inserção no mercado externo, a maior parte do aumento do nível de atividade produtiva foi direcionada para atender ao mercado local. Observando o gráfico 3, é possível constatar que todos os setores ampliaram seu domínio no mercado local, com destaque, novamente, para os setores de refino de petróleo e coquerias – S14 (0,3%); fabricação de biocombustíveis – S15 (0,5%); e fabricação de produtos químicos – S16 (1,0%), dos prioritários da ENCTI. Dos setores não prioritários da ENCTI, destacam-se: pecuária – S2 (0,32%); fabricação de máquinas e equipamentos elétricos – S25 (1,11%); e transporte terrestre – S37 (0,73%).

Como resultado geral da simulação, observa-se que o aumento do estoque de capital *knowledge* nos setores prioritários da ENCTI produz efeitos positivos em todo o sistema econômico. Isso ocorre porque esses setores possuem forte encadeamento setorial, o que amplia os resultados sobre a produtividade movidos pelo efeito transbordamento. Como consequência, a longo prazo, os setores da economia brasileira encontram-se com maior nível de produtividade e competitividade, o que produz efeitos positivos sobre os indicadores de bem-estar, PIB, salário real e variação equivalente.

## 6.2 Resultados da simulação 2

No gráfico 4, são apresentados os resultados agregados de longo prazo, todos em decorrência do choque exógeno sequencial de 1% no estoque de capital *knowledge* em cada setor da ENCTI. Constata-se que o setor de refino de petróleo e coquerias (S14) tem a maior capacidade de estimular os indicadores agregados da economia, com destaque para o salário real (0,003%) e para o volume de exportações (0,001%), resultando em uma modificação no PIB de 0,0015% e uma variação equivalente de R\$ 21,11 milhões. Os setores de agricultura (S1), fabricação de

produtos químicos (S16) e fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos (S24) têm alta capacidade de estimular as exportações. Os setores de agricultura (S1) e energia elétrica, gás natural e outras utilidades (S32) têm capacidade de elevar o salário real.



Elaboração dos autores.

Para a análise setorial, foi considerado o efeito do choque exógeno sobre cinco grupos de setores. Para isso, os 62 setores foram agregados em: agricultura e outros; indústria extrativa; indústria de transformação; serviços industriais de utilidade pública (Siup) *mais* construção; e serviços. O objetivo foi facilitar a interpretação e a apresentação dos resultados.

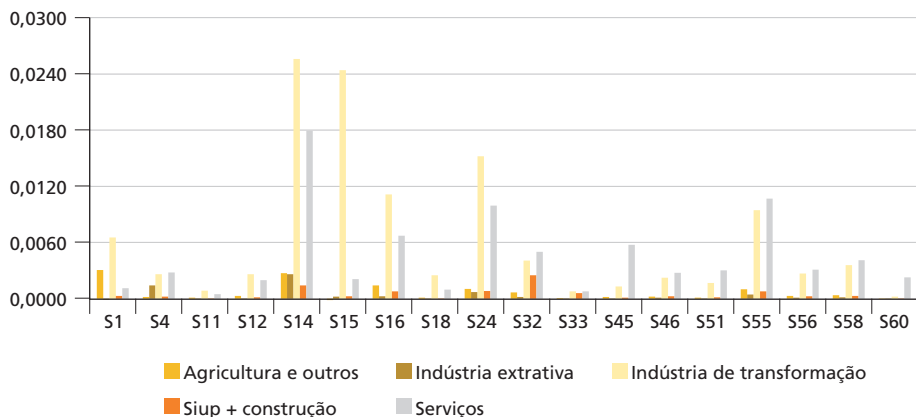
No gráfico 5, observa-se que o setor de refino de petróleo e coquerias (S14) foi o que mais estimulou o nível de atividade na economia, e os grupos *indústria de transformação* (0,026%) e *serviços* (0,018%) tiveram os maiores resultados. Ademais, os setores de fabricação de produtos químicos (S16); fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos (S24); e administração pública, defesa e seguridade social (S55) também têm elevada capacidade de estimular o nível de atividade econômica, principalmente dos grupos *indústria de transformação* e *serviços*.

## GRÁFICO 5

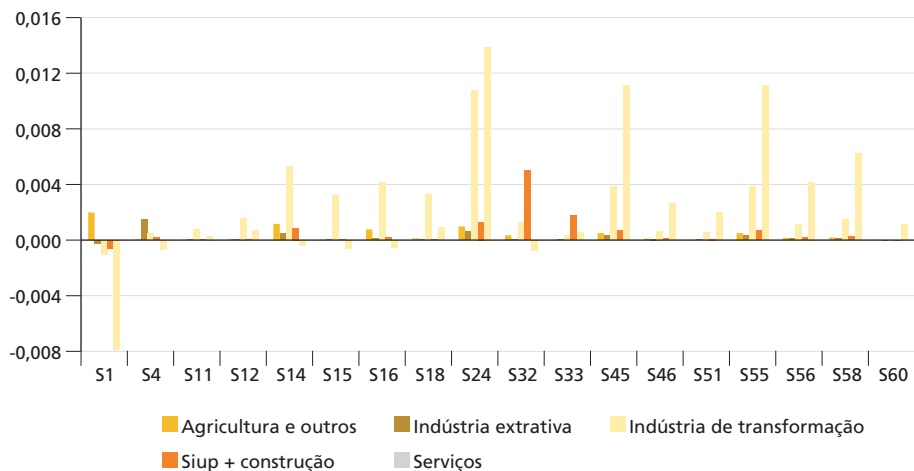
**Resultados de longo prazo da variação do estoque de capital *knowledge*, produtividade e transbordamentos, e setores ENCTI**

(Em %)

## 5A – Nível de atividade



## 5B – Produtividade



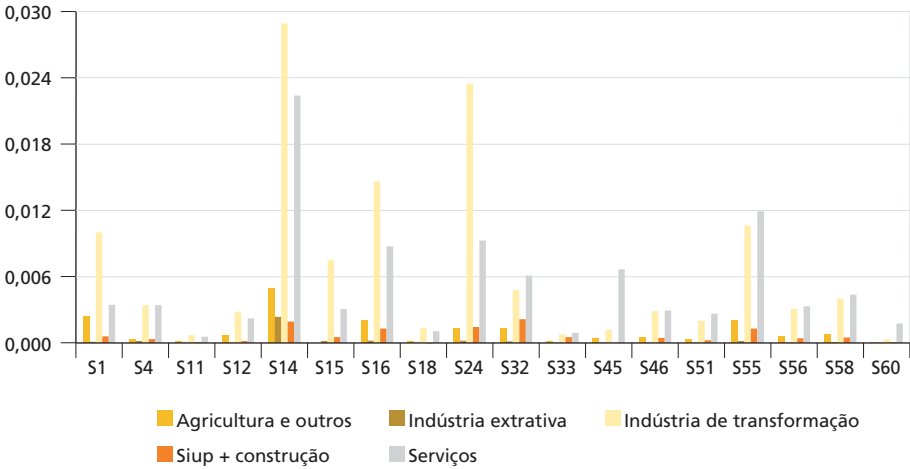
Elaboração dos autores.

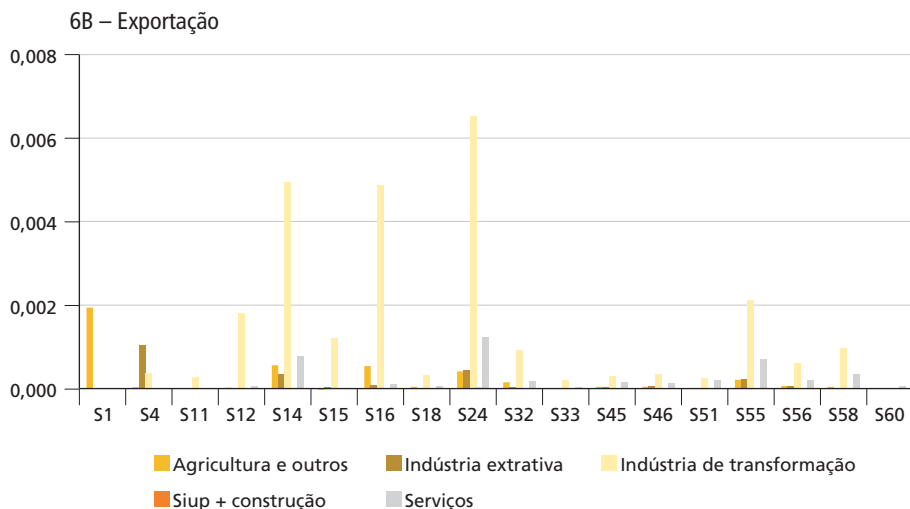
Com relação ao efeito sobre a produtividade, constata-se que os setores de fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos (S24) e administração pública, defesa e seguridade social (S55) são os que mais impulsionam a elevação da produtividade na economia, principalmente nos

grupos *indústria de transformação e serviços*. Cabe destacar que o setor de refino de petróleo e coquerias (S14) é o principal setor a elevar a produtividade da indústria extrativa e energia elétrica, gás natural e outras utilidades (S32) no grupo *Siup mais construção*. Além disso, o choque exógeno no setor S1 provocou a redução da produtividade do grupo *serviços*, resultado que pode ser explicado pela substituição de mão de obra no setor de agricultura.

Os efeitos de encadeamentos sobre a produtividade estão ligados aos transbordamentos tecnológicos, os quais contribuem para uma maior inserção dos setores no mercado local e também no mundial, via aumento da competitividade. No gráfico 6, observa-se que os setores de refino de petróleo e coquerias (S14); fabricação de produtos químicos (S16); fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos (S24); e administração pública, defesa e seguridade social (S55) são os que possuem maior capacidade de estimular a economia na ampliação do mercado local, principalmente nos grupos *indústria de transformação e serviços*.

GRÁFICO 6  
Resultados de longo prazo sobre a parcela de mercado local e parcela de exportações dos setores ENCTI  
(Em %)  
6A – Mercado local





Elaboração dos autores.

Com relação à inserção no mercado internacional, os mesmos setores são os principais responsáveis pela condução da economia ao novo patamar após o choque exógeno – quais sejam, os setores de refino de petróleo e coquerias (S14); fabricação de produtos químicos (S16); fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos (S24); e administração pública, defesa e seguridade social (S55). Porém, apenas o grupo *indústria de transformação* obteve resultados expressivos na parcela de exportação. Além disso, o choque no setor de agricultura (S1) induz, como esperado, a um maior acesso do grupo *agricultura e outros* ao mercado exportador e uma redução dos demais grupos.

Embora os trabalhos empíricos acerca dessa temática não sejam comparáveis diretamente com os resultados obtidos pelas simulações efetuadas neste estudo, é possível que alguns ajudem a compreender pontos específicos dos resultados em questão. Por exemplo, os trabalhos desenvolvidos por Ghosh (2007), Zürn *et al.* (2007), Bor *et al.* (2010) e Křístková (2013) utilizam modelos EGC para avaliar questões relacionadas à temática da inovação e do desenvolvimento tecnológico.

Apesar de os trabalhos supracitados avaliarem o efeito de subsídios para realização de P&D em diferentes países, os resultados sinalizam para a importância de políticas de desenvolvimento tecnológico para o crescimento econômico e, principalmente, para obtenção de incrementos na produtividade. Outros resultados que vão ao encontro dos obtidos nesta pesquisa dizem respeito aos aumentos nas exportações, oriundos

dos ganhos de competitividade, e à modificação da estrutura produtiva, na qual os países passam a produzir produtos mais intensivos em tecnologia.

Ademais, para aplicações no Brasil, trabalhos empíricos que buscam avaliar os efeitos de políticas tecnológicas utilizando modelos EGC são escassos. Entre outras questões, essa foi uma das principais motivações para o desenvolvimento deste estudo. Entretanto, mesmo não utilizando uma estrutura de equilíbrio geral, alguns trabalhos, tais como os de De Negri, Esteves e Freitas (2007) e De Negri, Cavalcante e Jacinto (2014), ajudaram a avaliar e confrontar os resultados obtidos por esta pesquisa.

Outrossim, os trabalhos aplicados para o Brasil, em geral, utilizam uma abordagem econométrica para avaliar os efeitos dos investimentos em P&D sobre a produtividade e o crescimento econômico. Os resultados mostram que a atividade inovativa, por meio da realização de P&D, é um importante canal para a obtenção de incrementos na produtividade, principalmente para os ganhos de eficiência técnica no nível da firma.

Novamente, como já salientado, os resultados de trabalhos empíricos não são comparáveis diretamente aos obtidos pelas simulações expostas neste trabalho. Porém, a maior parte das aplicações que avaliam os efeitos de políticas destinadas à elevação do nível de atividade inovativa mostra resultados positivos para a economia e para o bem-estar de modo geral. Dessarte, além dos resultados apontarem para um efeito geral similar, eles reforçam a importância da criação e da continuidade de políticas de tal natureza.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste artigo foi analisar os possíveis efeitos da ENCTI 2016-2022. Para tal, a primeira etapa de avaliação consistiu em identificar os setores definidos pela ENCTI 2016-2022 e realizar uma análise descritiva por meio de uma matriz insumo-produto. Isso permitiu obter o grau de interdependência setorial do conjunto de setores prioritários, contribuindo para a compreensão dos possíveis desdobramentos da ENCTI.

Por meio das metas definidas na ENCTI, foram criados dois cenários para a realização das simulações com o modelo BIM-GERD. No primeiro cenário, foi implementado um choque no estoque de capital *knowledge* dos setores com base na proposta definida pelo governo. O objetivo foi identificar os efeitos sobre o nível setorial e macroeconômico da economia brasileira mediante a concretização da política. No segundo cenário, realizou-se um choque de 1% nos mesmos setores, porém, de forma sequencial. Nesse, o objetivo foi identificar a capacidade de cada

setor em estimular a economia via aumento de produtividade e transbordamentos tecnológicos. Tais procedimentos tiveram o propósito de preencher uma lacuna da ENCTI 2016-2022 referente à ausência de metas quantitativas, bem como objetivaram conferir o maior nível de precisão (realismo) aos choques na formação de capital *knowledge* implementados no modelo BIM-GERD.

Para o primeiro cenário, o aumento da produtividade setorial induziu a um maior nível de atividade produtiva, sendo parte dessa destinada ao mercado externo. Os setores agricultura e outros (S1); indústria extrativa (S4); fabricação de celulose, papel e produtos de papel (S12); fabricação de biocombustível (S15); e fabricação de produtos químicos (S16) obtiveram as maiores inserções no mercado exportador. Esse resultado mostra que o aumento do estoque de capital *knowledge* foi capaz de induzir a competitividade de tal modo que produtos intensivos em tecnologia passaram a se destacar na pauta de exportação da economia brasileira.

Embora o aumento da produtividade tenha resultado em maior inserção no mercado externo, o efeito predominante se direcionou ao domínio do mercado interno para atender ao maior nível de atividade. Todos os setores da economia brasileira ampliaram de forma significativa sua parcela de mercado local, com destaque, novamente, para os setores intensivos em tecnologia, quais sejam: fabricação de biocombustível (S15) e fabricação de produtos químicos (S16).

Dessa forma, os resultados da primeira simulação apontam para uma maior inserção da economia brasileira no mercado internacional e para o fortalecimento do mercado doméstico. Além disso, no aspecto setorial, a economia brasileira, que é historicamente caracterizada por possuir vantagens comparativas nas exportações de *commodities*, passa a incluir produtos com maior valor agregado em sua pauta de exportações, tais como: fabricação de produtos químicos (S16) e fabricação de máquinas e equipamentos elétricos (S25).

Cabe ressaltar que o setor de fabricação de máquinas e equipamentos elétricos (S25), embora não tenha recebido o choque exógeno no estoque de capital *knowledge*, obteve resultados significativos na parcela de exportação e no mercado interno. Além disso, esse setor possui forte efeito transbordamento, o que mostra que é um setor importante para a difusão do conhecimento na economia brasileira. Dessa forma, a inclusão desse setor na ENCTI pode elevar os resultados da política.

Os resultados para o segundo cenário mostraram que os setores de refino de petróleo e coquerias (S14); fabricação de produtos químicos (S16); e fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos (S24) são os que possuem maior capacidade de estimular o nível de atividade da economia, principalmente quando associados à indústria de transformação. Os setores de

telecomunicações (S45) e administração pública, defesa e seguridade social (S55) têm capacidade acima da média para estimular os setores de serviços. Por fim, em relação à inserção no mercado internacional, os setores de refino de petróleo e coquerias (S14); fabricação de produtos químicos (S160); e fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos (S24) são os que produzem resultados acima da média para essa finalidade.

Como resultado geral das simulações, conclui-se que o aumento do estoque de capital *knowledge*, estimulado pela política da ENCTI 2016-2022, é capaz de ampliar a produtividade dos setores da economia brasileira, conferindo, no longo prazo, maior nível de competitividade, o que produz efeitos positivos no nível do PIB, do salário real e do bem-estar econômico. Por fim, a maior inserção do Brasil no mercado internacional ocorre por meio de uma pauta de exportação mais diversificada, associada a produtos mais intensivos em tecnologia e com maior valor agregado. Esse resultado evidencia a importância da política da ENCTI 2016-2022 como um novo modelo de crescimento baseado na produção de bens de alta intensidade tecnológica e com capacidade de gerar maior nível de renda nacional e bem-estar.

Finalmente, cabe ainda destacar que, embora a ENCTI defina metas para elevar alguns indicadores de atividade inovativa, a maior parte dos indicadores tem apresentado retração, conforme destacado na seção 2. Possivelmente, isso se deve aos problemas econômicos ocorridos no período. Entretanto, como exposto nos resultados desta pesquisa, os efeitos da ENCTI a longo prazo têm potencial de gerar ganhos positivos para a economia. Portanto, os formuladores de políticas devem se atentar à importância de estratégias como as definidas pela ENCTI, a fim de promover um crescimento econômico sustentável a longo prazo.

## REFERÊNCIAS

- BETARELLI JUNIOR, A. A.; PEROBELLI, F. S.; VALE, V. A. **Estimação da matriz de insumo-produto de 2011 e análise do sistema produtivo brasileiro**. Juiz de Fora: UFJF, 2015. (Texto para Discussão, n. 001).
- BRASIL. Lei nº 10.973, de 2 de dezembro de 2004. Dispõe sobre incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 3 dez. 2004. Disponível em: <<https://bit.ly/3dc9mZa>>. Acesso em: 7 maio 2017.

\_\_\_\_\_. Lei nº 11.196, de 21 de novembro de 2005. Institui o Regime Especial de Tributação para a Plataforma de Exportação de Serviços de Tecnologia da Informação (Repes), o Regime Especial de Aquisição de Bens de Capital para Empresas Exportadoras (Recap) e o Programa de Inclusão Digital; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 22 nov. 2005. Disponível em: <<https://bit.ly/3Dk6SCL>>. Acesso em: 7 maio 2017.

\_\_\_\_\_. Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação e Comunicações. **Estratégia nacional de ciência, tecnologia e inovação 2016-2022**. Brasília: MCTIC, 2016. Disponível em: <<https://bit.ly/3BDEsCo>>. Acesso em: 10 abr. 2017.

BOR, Y. J. *et al.* A dynamic general equilibrium model for public R&D investment in Taiwan. **Economic Modelling**, v. 27, n. 1, p. 171-183, Jan. 2010.

CBO – CONGRESSIONAL BUDGET OFFICE. **R&D and productivity growth: a background paper**. Washington: CBO, June 2005. Disponível em: <<https://bit.ly/3DjdtNP>>. Acesso em: 7 set. 2020.

CRESPI, G.; ZUNIGA, P. Innovation and productivity: evidence from six Latin American countries. **World Development**, v. 40, n. 2, p. 273-290, Feb. 2012.

DE NEGRI, F.; CAVALCANTE, L.; JACINTO, P. Inovação, P&D e produtividade na indústria brasileira. **Boletim Radar**, n. 34, p. 19-25, ago. 2014.

DE NEGRI, J. A.; ESTEVES, L.; FREITAS, F. **Knowledge production and firm growth in Brazil**. Curitiba: UFPR, 2007. (Texto para Discussão, n. 5).

DIAO, X. *et al.* **A dynamic CGE model: an application of R&D-based endogenous growth model theory**. Saint Paul: University of Minnesota, May, 1996. (Bulletin, n. 1).

GHOSH, M. R&D Policies and Endogenous Growth: a dynamic general equilibrium analysis of the case for Canada. **Review of development economics**, v. 11, n. 1, p. 187-203, Feb. 2007.

GRILICHES, Z. Issues in assessing the contribution of research and development to productivity growth. **The Bell Journal of Economics**, v. 10, n. 1, p. 92-116, 1979.

KING, A. **Economy-wide impacts of industry policy**. Wellington: New Zealand Treasury, Sept. 2012. (New Zealand Treasury Working Paper, n. 5).

KŘÍSTKOVÁ, Z. Analysis of private RD effects in a CGE model with capital varieties: The case of the Czech Republic. **Czech Journal of Food Sciences**, v. 63, n. 3, p. 262-287, 2013.

MORTENSEN, P. S. *et al.* **Oslo manual-guidelines for collecting and interpreting innovation data**: proposed guidelines for collecting and interpreting innovation data. Paris: OECD Publishing, 2005.

OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **R&D tax incentives**: Brazil, 2019. Paris: OECD Publishing, 2019. Disponível em: <<https://bit.ly/3DnImAK>>. Acesso em: 25 jul. 2020.

ORTEGA-ARGILÉS, R. R&D, knowledge, economic growth and the transatlantic productivity gap. *In*: GIARRATANI, F.; HEWINGS, G. J. D.; MCCANN, P. (Ed.). **Handbook of industry studies and economic geography**. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2013. p. 271-302.

PIO, J.; PEROBELLI, F.; GOMES, A. Impacts of expenditures on research and development on the Brazilian economy: a CGE approach. *In*: ANNUAL CONFERENCE ON GLOBAL ECONOMIC ANALYSIS, 19., 2016, Washington. **Proceedings...** Washington: GTAP, 2016. Disponível em: <<https://bit.ly/3BDocRT>>. Acesso em: 26 fev. 2017.

ROMER, P. M. **Human capital and growth**: theory and evidence. Cambridge: NBER, Nov. 1989. (Working Paper, n. 3173).

TERLECKYJ, N. E. **Effects of R&D on the productivity growth of industries**: an exploratory study. Washington: National Planning Association, 1974. (National Planning Association Report, n. 140).

ZÜRN, M. *et al.* R&D investment and knowledge input in a technology oriented CGE model. *In*: ECOMOD CONFERENCE ON ENERGY AND ENVIRONMENTAL MODELLING, 2007, Moscow. **Proceedings...** Moscow: EcoMod, 2007. Disponível em: <<https://bit.ly/3RIKZBc>>. Acesso em: 10 abr. 2016.

#### BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

AGHION, P.; HOWITT, P. A model of growth through creative destruction. **Econometrica**, v. 60, n. 2, p. 323-351, Mar. 1992.

CERULLI, G.; POTI, B. Measuring intersectoral knowledge spillovers: an application of sensitivity analysis to Italy. **Economic Systems Research**, v. 21, n. 4, p. 409-436, 2009.

DIETZENBACHER, E.; LOS, B. Externalities of R&D expenditures. **Economic Systems Research**, v. 14, n. 4, p. 407-425, 2002.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa de Inovação 2011**. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

JAFFE, A. B. Technological opportunity and spillovers of R & D: evidence from firms' patents, profits, and market value. **The American Economic Review**, v. 76, n. 5, p. 984-1001, Dec. 1986.

KOO, J. Technology spillovers, agglomeration, and regional economic development. **Journal of Planning Literature**, v. 20, n. 2, p. 99-115, Nov. 2005.

SCHERER, F. M. Inter-industry technology flows and productivity growth. **The Review of Economics and Statistics**, v. 64, n. 4, p. 627-634, Nov. 1982.

SEGERSTROM, P.; ANANT, T.; DINOPOULOS, E. A Schumpeterian model of the product life cycle. **The American Economic Review**, v. 80, n. 5, p. 1077-1091, Dec. 1990.

WING, I. S. **Induced technical change in computable general equilibrium models for climate-change policy analysis**. 2001. 352 f. Thesis (Doctoral Degree) – Engineering Systems Division, Massachusetts Institute of Technology, 2001.

WOLFF, E. N. Spillovers, linkages and technical change. **Economic Systems Research**, v. 9, n. 1, p. 9-23, 1997.

## APÊNDICE A

### 1 ESTRUTURA DE PRODUÇÃO

A função de produção no modelo Brazilian Intersectoral Model with Gross Domestic Expenditure on R&D (BIM-GERD) segue uma estrutura aninhada, conforme usualmente é utilizado em um modelo de equilíbrio geral computável (EGC). As equações a seguir resumem a decisão de produção.

$$\frac{Z_i}{A_0} = g(X_i, Q_v) = \min[A_{i1}X_{i1}, \dots, A_{in}X_{in}; Q_v]. \quad (\text{A.1})$$

A combinação de insumos intermediários,  $X_{ij}$ , importados ( $Imp_i$ ) e domésticos ( $Dom_i$ ) é dada por uma função elasticidade de substituição constante (CES),

$$X_{ij} = [aDom^{-\rho} + (1 - a)Imp^{-\rho}]^{-\frac{1}{\rho}}, \quad (0 \leq a \leq 1), \quad (\text{A.2})$$

em que  $a$  é o parâmetro que representa a parcela de insumos e  $\rho$  ( $-1 < \rho < \infty$ ) é o parâmetro de substituição.

Dessa forma, os bens finais,  $Z$ , são produzidos com a combinação dos insumos intermediários ( $X_{ij}$ ) e do composto de insumos primários ( $Q_v$ ) por meio da decisão de minimização de custos (Leontief). O composto de fatores primários é definido por uma função CES dada por

$$Q_v = [A_l L^{-\rho_v} + A_k K^{-\rho_v} + A_t T^{-\rho_v} + A_h H^{-\rho_v}]^{-\frac{1}{\rho_v}}, \quad (\text{A.3})$$

em que  $Q_v$  é composto pelos insumos primários terra ( $T$ ), capital ( $K$ ), trabalho ( $L$ ) e capital *knowledge* ( $H$ ). O parâmetro  $A_0$  é um termo de mudança técnica Hicks-neutro; ( $A_{i1}, \dots, A_{in}$ ) e ( $A_l, A_k, A_t$  e  $A_h$ ) indicam os coeficientes de produto por unidade de insumo e os parâmetros de parcela de fatores, respectivamente.  $\rho_v$  ( $-1 < \rho_v < \infty$ ) é o parâmetro de substituição do composto de fatores. A figura 1 mostra a estrutura aninhada da tecnologia de produção do modelo BIM-GERD.

### 2 MUDANÇA TECNOLÓGICA

Na equação (4), o parâmetro  $\alpha_{v_{A_i}}$  representa a fração necessária do valor adicionado para produzir o produto final de cada setor. À medida que esse parâmetro decresce, o valor adicionado necessário para produzir a mesma quantidade de produto é menor (Hong *et al.* 2014).

$$VA_i = \alpha_{v_{A_i}} Z_i. \quad (\text{A.4})$$

Parte do aprendizado dos setores acontece no processo de compra e venda de insumos intermediários, o qual permite que os setores tenham acesso à tecnologia desenvolvida por outros. Isto é, à medida que as empresas transbordam conhecimento, parte do capital *knowledge* desenvolvido é transferido para outros setores nas transações intersetoriais. Esse efeito é capturado pela equação (5).

$$spl(i) = [H_{outros}(i)]. \quad (A.5)$$

$$H_{outros}(i) = \sum_{j \neq i} intindwt(j, i)H(j). \quad (A.6)$$

O coeficiente *spl* corresponde à parcela de capital *knowledge* de outros setores ( $H_{outros}$ ) que está incorporada nos insumos intermediários usados na produção do setor. O transbordamento é ponderado pelo parâmetro  $intindwt(j, i)$ , que é definido como a relação entre a quantidade de insumos intermediários comprados de um setor e o total de insumos utilizados na produção.

### 3 CALIBRAÇÃO E PARÂMETROS

A construção da base de dados do modelo BIM-GERD segue uma especificação insumo-produto e foi estimada com base nas contas nacionais de 2011 (MIP2011) por Betarelli Junior, Perobelli e Vale (2015). Para calibragem dos fluxos básicos (BAS), foram utilizadas as tabelas de oferta e demanda da produção nacional a preços básicos e de produtos importados, presentes na MIP2011. Já o fluxo de investimento (BAS2) por atividade econômica é determinado pelo excedente operacional bruto. As tabelas auxiliares da MIP2011 possibilitaram a estimação da matriz de margens (MAR) em quatro categorias: comércio e reparo de veículos; comércio por atacado e varejo; transporte terrestre de carga; e transporte aquaviário. Os coeficientes de impostos (TAX) são calculados a partir dos tipos de impostos: Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI); Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS); e outros impostos menos os subsídios (Betarelli Junior, Perobelli e Vale, 2015).

Para os fatores de produção, o trabalho (V1LAB) é definido pelos salários e pelas contribuições efetivas; o capital (V1CAP) é composto pelo excedente operacional bruto; e, para a terra (V1LND), tem-se a estrutura dos gastos de arrendamento da terra do Censo Agropecuário 2006 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os impostos sobre a produção (V1PTX) são os impostos líquidos. Os outros custos (V1OCT) são obtidos de forma residual e abrangem os pagamentos municipais, o custo da permanência de estoque, entre outros (Betarelli Junior, Perobelli e Vale, 2015). A estrutura da base de dados é apresentada na figura A.1.

Além da calibragem dos coeficientes do modelo, uma série de parâmetros comportamentais deve ser utilizada no sistema de equações. Esses, por sua vez, são obtidos de diversas fontes da literatura. As elasticidades de Armington, referentes à substituição entre insumos doméstico e importados, são calibradas a partir de Tourinho, Kume e Pedroso (2007). O parâmetro de Frisch é igual a -1,94 e foi estimado por Almeida (2011). Os trabalhos de Domingues (2002) e Domingues *et al.* (2007) são a base da definição da elasticidade-preço das exportações e de substituição entre os fatores primários, respectivamente. Por fim, a elasticidade de gastos das famílias são estimativas de Hoffman (2010) – Betarelli Junior, Perobelli e Vale (2015).

FIGURA A.1  
Base de dados do modelo EGC (BIM-GERD)

|                   |                     | Matriz de Absorção |                                                                                                                                     |          |            |         |                    |                     |
|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------|---------|--------------------|---------------------|
|                   |                     | 1                  | 2                                                                                                                                   | 3        | 4          | 5       | 6                  | 7                   |
|                   |                     | Produtores         | Investidores                                                                                                                        | Famílias | Exportação | Governo | Mudança de estoque | Investimento em P&D |
|                   |                     | ← 1 →              | ← 1 →                                                                                                                               | ← 1 →    | ← 1 →      | ← 1 →   | ← 1 →              | ← 1 →               |
|                   | Tamanho             |                    |                                                                                                                                     |          |            |         |                    |                     |
| Fluxos básicos    | ↑<br>C x S<br>↓     | V1BAS              | V2BAS                                                                                                                               | V3BAS    | V4BAS      | V5BAS   | V6BAS              | V7BAS               |
| Margens           | ↑<br>C x S x M<br>↓ | V1MAR              | V2MAR                                                                                                                               | V3MAR    | V4MAR      | V5MAR   | n/d                | n/d                 |
| Impostos          | ↑<br>C x S<br>↓     | V1TAX              | V2TAX                                                                                                                               | V3TAX    | V4TAX      | V5TAX   | n/d                | n/d                 |
| Trabalho          | ↑<br>O<br>↓         | V1LAB              | C = Número de produtos (91)<br>I = Número de setores (62)<br><br>S = 2: Domestico, importado<br>O = Número de tipos de ocupação (1) |          |            |         |                    |                     |
| Capital           | ↑<br>1<br>↓         | V1CAP              |                                                                                                                                     |          |            |         |                    |                     |
| Capital knowledge | ↑<br>1<br>↓         | V1KNW              |                                                                                                                                     |          |            |         |                    |                     |
| Terra             | ↑<br>1<br>↓         | V1LND              | M = Número de produtos usados como margens (4)                                                                                      |          |            |         |                    |                     |
| Imposto produção  | ↑<br>1<br>↓         | V1PTX              |                                                                                                                                     |          |            |         |                    |                     |
| Outros custos     | ↑<br>1<br>↓         | V1OCT              |                                                                                                                                     |          |            |         |                    |                     |

Tamanho

↑  
C  
↓

Matriz de produção

← 1  
→  
Produção

Imposto de importação

← 1  
→  
Votar

Fonte: Betarelli Junior, Perobelli e Vale (2015).  
Elaboração dos autores.  
Obs.: n/d – não disponível.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. N. de. **Elasticidades renda e preços**: análise do consumo familiar a partir dos dados da POF 2008-2009. São Paulo: Nereus, 2011. (Texto para Discussão, n. 4).
- BETARELLI JUNIOR, A. A.; PEROBELLI, F. S.; VALE, V. A. **Estimação da matriz de insumo-produto de 2011 e análise do sistema produtivo brasileiro**. Juiz de Fora: UFJF, 2015. (Texto para Discussão, n. 001).
- DOMINGUES, E. P. **Dimensão regional e setorial da integração brasileira na Área de Livre Comércio das Américas**. 2002. 222 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- DOMINGUES, E. P. *et al.* Redução das desigualdades regionais no Brasil: os impactos de investimentos de transporte rodoviário. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 25., 2007, Recife. **Anais...** Recife: Anpec, 2007.
- HOFFMANN, R. Estimativas das elasticidades-renda de várias categorias de despesa e de consumo, especialmente alimentos, no Brasil, com base na POF 2008-2009. **Economia Aplicada**, v. 57, n. 2, p. 49-62, jul.-dez. 2010.
- HONG, C. *et al.* Validation of an R&D-based computable general equilibrium model. **Economic Modelling**, v. 42, p. 454-463, Oct. 2014.
- TOURINHO, O. A. F.; KUME, H.; PEDROSO, A. C. D. S. Elasticidades de Armington para o Brasil: 1986-2002. **Revista Brasileira de Economia**, v. 61, n. 2, p. 245-267, abr.-jun. 2007.

## APÊNDICE B

**QUADRO B.1**  
**Agregação dos grupos de setores**

| Grupo de setores           | Ordem | Setores                                                                      |
|----------------------------|-------|------------------------------------------------------------------------------|
| Agropecuária               | S1    | Agricultura                                                                  |
|                            | S2    | Pecuária                                                                     |
|                            | S3    | Produção florestal, pesca e aquicultura                                      |
| Indústrias extrativas      | S4    | Indústrias extrativas                                                        |
| Indústria de transformação | S5    | Produção de alimentos                                                        |
|                            | S6    | Fabricação de bebidas                                                        |
|                            | S7    | Fabricação de fumo                                                           |
|                            | S8    | Fabricação de produtos têxteis                                               |
|                            | S9    | Confecção de artefatos do vestuário e acessórios                             |
|                            | S10   | Fabricação de calçados e de artefatos de couro                               |
|                            | S11   | Fabricação de produtos da madeira                                            |
|                            | S12   | Fabricação de celulose, papel e produtos de papel                            |
|                            | S13   | Impressão e reprodução de gravações                                          |
|                            | S14   | Refino de petróleo e coqueiras                                               |
|                            | S15   | Fabricação de biocombustíveis                                                |
|                            | S16   | Fabricação de produtos químicos                                              |
|                            | S17   | Fabricação de produtos de limpeza, cosméticos/perfumaria e higiene pessoal   |
|                            | S18   | Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos                         |
|                            | S19   | Fabricação de produtos de borracha e de material plástico                    |
|                            | S20   | Fabricação de produtos de minerais não metálicos                             |
|                            | S21   | Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura     |
|                            | S22   | Metalurgia de metais não ferrosos e a fundição de metais                     |
|                            | S23   | Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos              |
|                            | S24   | Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos    |
|                            | S25   | Fabricação de máquinas e equipamentos elétricos                              |
|                            | S26   | Fabricação de máquinas e equipamentos mecânicos                              |
|                            | S27   | Fabricação de automóveis, caminhões e ônibus, exceto peças                   |
|                            | S28   | Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores                   |
|                            | S29   | Fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores |
|                            | S30   | Fabricação de móveis e de produtos de indústrias diversas                    |
|                            | S31   | Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos                |

(Continua)

(Continuação)

| Grupo de setores                                                 | Ordem | Setores                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Serviços industriais de utilidade pública (Siup) mais construção | S32   | Energia elétrica, gás natural e outras utilidades                                                |
|                                                                  | S33   | Água, esgoto e gestão de resíduos                                                                |
|                                                                  | S34   | Construção                                                                                       |
| Serviços                                                         | S35   | Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas                                      |
|                                                                  | S36   | Comércio por atacado e a varejo, exceto veículos automotores                                     |
|                                                                  | S37   | Transporte terrestre                                                                             |
|                                                                  | S38   | Transporte aquaviário                                                                            |
|                                                                  | S39   | Transporte aéreo                                                                                 |
|                                                                  | S40   | Armazenamento, atividades auxiliares dos transportes e correio                                   |
|                                                                  | S41   | Alojamento                                                                                       |
|                                                                  | S42   | Alimentação                                                                                      |
|                                                                  | S43   | Edição e edição integrada à impressão                                                            |
|                                                                  | S44   | Atividades de televisão, rádio, cinema e gravação/edição de som e imagem                         |
|                                                                  | S45   | Telecomunicações                                                                                 |
|                                                                  | S46   | Desenvolvimento de sistemas e outros serviços de informação                                      |
|                                                                  | S47   | Intermediação financeira, seguros e previdência complementar                                     |
|                                                                  | S48   | Atividades imobiliárias                                                                          |
|                                                                  | S49   | Atividades jurídicas, contábeis, consultoria e sedes de empresas                                 |
|                                                                  | S50   | Serviços de arquitetura, engenharia, testes/análises técnicas e pesquisa e desenvolvimento (P&D) |
|                                                                  | S51   | Outras atividades profissionais, científicas e técnicas                                          |
|                                                                  | S52   | Aluguéis não imobiliários e gestão de ativos de propriedade intelectual                          |
|                                                                  | S53   | Outras atividades administrativas e serviços complementares                                      |
|                                                                  | S54   | Atividades de vigilância, segurança e investigação                                               |
|                                                                  | S55   | Administração pública, defesa e seguridade social                                                |
|                                                                  | S56   | Educação pública                                                                                 |
|                                                                  | S57   | Educação privada                                                                                 |
|                                                                  | S58   | Saúde pública                                                                                    |
|                                                                  | S59   | Saúde privada                                                                                    |
|                                                                  | S60   | Atividades artísticas, criativas e de espetáculos                                                |
|                                                                  | S61   | Organizações associativas e outros serviços pessoais                                             |
|                                                                  | S62   | Serviços domésticos                                                                              |

Elaboração dos autores.

Originais submetidos em: nov. 2017.

Última versão recebida em: dez. 2020.

Aprovada em: dez. 2020.

# CORRUPÇÃO E POBREZA NOS MUNICÍPIOS BRASILEIROS<sup>1</sup>

Lilian Lopes Ribeiro<sup>2</sup>

Jose Weligton Felix Gomes<sup>3</sup>

O artigo analisa, por meio de um modelo de dados em painel, o impacto da corrupção na pobreza dos municípios no Brasil entre 2005 e 2016, considerando, como indicador de pobreza, o Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal (IFDM) e, como indicador de corrupção, o número de processos investigados e julgados, relacionados à tal prática, extraídos da Controladoria-Geral da União (CGU). Entre os resultados obtidos, constatou-se que quanto maior a ocorrência de práticas corruptas nos municípios, menores são as chances de uma elevação no IFDM e, por conseguinte, de diminuição dos níveis de pobreza. Diante das evidências apresentadas neste estudo, sugere-se a implantação de medidas rígidas de controle à corrupção a fim de evitar desperdício de recursos públicos direcionados à erradicação da pobreza.

**Palavras-chave:** corrupção; pobreza; Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal; IFDM.

## CORRUPTION AND POVERTY IN BRAZILIAN MUNICIPALITIES

The article analyzes, through a panel data model, the impact of corruption on the poverty of municipalities in Brazil between 2005 and 2016, considering the Firjan Municipal Development Index (IFDM) as a poverty indicator and as an indicator of corruption the number of lawsuits, tried and investigated extracted from the Comptroller General of the Union (CGU). Among the results, it was found that the higher the occurrence of corrupt practices in the municipalities, the lower the chances of an increase in the IFDM index and, therefore, a decrease in poverty levels. Given the evidence presented in this study, it is suggested that strict anti-corruption measures be implemented to avoid wasting public resources aimed at eradicating poverty.

**Keywords:** corruption; poverty; Firjan Municipal Development Index; IFDM.

**JEL:** I31.

## 1 INTRODUÇÃO

O Banco Mundial considera a corrupção governamental como um dos principais obstáculos ao desenvolvimento econômico e social, sobretudo dos países em desenvolvimento. Ildir e Iscan (2015) e Lewis (2017) ressaltam que a corrupção prejudica a alocação dos gastos públicos destinados, principalmente, à oferta de serviços básicos aos mais pobres, como: educação, saúde, saneamento e habitação.

Lewis (2017) argumenta que a corrupção é uma prática recorrente e endêmica em muitos países da África, da Ásia e também da América Latina, visto que, na maioria das vezes, é caracterizada como uma atividade de alto retorno e baixo risco

---

1. DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/ppe52n1art3>

2. Professora da Universidade Federal do Ceará (UFC) – *campus* Sobral. E-mail: <liadiniz-21@hotmail.com>.

3. Professor da UFC – *campus* Sobral; e pesquisador no Programa de Pós-Graduação em Economia (CAEN) da UFC. E-mail: <weligtongomes@ufc.br>.

para quem a pratica. São países em que, segundo Carballo (2010), as altas taxas de corrupção costumam coexistir com altas taxas de pobreza.

No *ranking* dos países menos corruptos em 2018, com base no Índice de Percepção da Corrupção (IPC) da Transparência Internacional (TI),<sup>4</sup> o Brasil ocupa a 105ª posição de um total de 180 países. Esse é o pior resultado do país desde 2012 e representa a terceira queda anual consecutiva, ficando atrás de países como Colômbia e Argentina e de vários países africanos em que, de acordo com Ogboru e Abimiku (2015), a prática da corrupção é culturalmente forte, como Gana, Senegal e Ruanda.

Nas últimas décadas, sobretudo a partir da divulgação do primeiro IPC em 1995, inúmeros pesquisadores têm-se dedicado a estudar a relação entre corrupção e pobreza. Entre esses estudos, tem-se como precursores os trabalhos de Buscaglia (1999), Gupta, Davoodi e Alonso-Terme (1998), Kaufmann, Kraay e Zoido-Lobaton (1999) e Chetwynd, Chetwynd e Spector (2003). Não obstante, embora no Brasil existam várias pesquisas sobre a corrupção, praticamente não há estudos que analisem os efeitos do tema para a pobreza, tampouco em nível municipal. Essa é, portanto, uma importante motivação deste estudo.

Outra motivação repousa no entendimento de que o conhecimento empírico do quão prejudicial possam ser as práticas de corrupção na pobreza dos municípios brasileiros pode colaborar para um melhor direcionamento de políticas públicas do governo no âmbito da geração de renda, educação e saúde, sobretudo para aqueles com maior privação. Ressalta-se também que este estudo se diferencia dos demais já realizados para outros países por utilizar um índice de corrupção mais objetivo que o IPC, amplamente adotado nos estudos afins, induzindo esta pesquisa a resultados mais fidedignos e robustos comparados aos já existentes.

Diante dessas assertivas, o objetivo deste artigo é analisar o efeito da corrupção na pobreza dos municípios brasileiros entre 2005 e 2016, por meio de um modelo de dados em painel e considerando, como indicador de pobreza, o Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal (IFDM) da Federação das Indústrias do Rio de Janeiro (Firjan) e, como indicador de corrupção, o número de processos investigados e julgados disponibilizado pela Controladoria-Geral da União (CGU).

Além da introdução, o artigo apresenta mais quatro seções. A segunda apresenta uma revisão da literatura sobre a corrupção, enfatizando breves fatos históricos, seus conceitos e tipos, indicadores usados, seus efeitos colaterais e sua relação com a pobreza explicada com base no modelo econômico e no modelo de governança. Na terceira seção tem-se a descrição da construção do índice de corrupção e das demais variáveis utilizadas na pesquisa, além da formalização do modelo econométrico utilizado. A quarta, por sua vez, apresenta os resultados produzidos e suas análises, sendo a última dedicada às considerações finais do artigo.

4. Disponível em: <<https://bit.ly/3NQyld1>>. Acesso em: 26 fev. 2019.

## 2 CORRUPÇÃO, SEUS EFEITOS E SUA RELAÇÃO COM A POBREZA

A corrupção não é um fenômeno novo. No que concerne ao seu surgimento, Tafa (2014) argumenta com base em estudos, como o de Acemoglu, Simon e James (2001), que há uma forte relação entre colonização e corrupção. Esse estudo empírico mostrou que em áreas coloniais onde residia um grande número de europeus, as instituições locais eram usadas em benefício destes. Evidências históricas como esta podem explicar, ainda que parcialmente, ocorrências de práticas de corrupção com maior frequência em países que passaram por processos de colonização.

Tafa (2014) expõe também que a Revolução Industrial do século XVIII colaborou para o desenvolvimento da corrupção. Durante esse período, em que a economia se tornou cada vez mais dependente do mercado financeiro e de investimentos, desenvolveram-se o setor bancário e o mercado de ações e de títulos públicos, surgindo, de modo concomitante, o chamado *crime do colarinho branco*.

Ainda sobre as evidências históricas da corrupção, Dincer e Gunalp (2008) relatam que, no período que antecede o New Deal, os programas de bem-estar nos Estados Unidos eram administrados por governos locais quase sempre associados à tal prática. Tanto que, durante o governo do presidente Roosevelt, foram criados escritórios para investigar denúncias de corrupção que culminaram em diversos processos judiciais de funcionários corruptos.

No intuito de mensurar e estudar a corrupção, surgiram diversos conceitos para esse fenômeno, os quais convergem entre si. Entre esses conceitos, o mais usual é o do Banco Mundial, o qual afirma que a corrupção se refere ao uso indevido de cargos públicos para ganhos pessoais, esquecendo suas responsabilidades e deveres. Semelhantemente, a TI<sup>5</sup> conceitua a corrupção como sendo o abuso de poder confiado para ganhos privados.

É oportuno acrescentar que, embora os conceitos de corrupção se assemelhem entre si, existem diferentes tipos de corrupção. Ajisafe (2016) cita alguns desses tipos: o peculato, o nepotismo, o suborno, a extorsão, o tráfico de influência e a fraude.

Até a primeira metade dos anos de 1990, poucos economistas consideravam a corrupção como um fenômeno pesquisável, devido à falta de dados quantitativos (Negin, Rashid e Nikopour, 2010). O divisor de águas nesse sentido foi a criação, em 1995, do Corruption Perceptions Index (CPI), ou IPC, atribuído à TI.<sup>6</sup> Com base na definição de corrupção da TI, descrita no quarto parágrafo desta seção,

---

5. Organização não governamental (ONG) fundada em 1993 com sede em Berlim e voltada para a luta contra a corrupção no mundo. A ONG, que é mundialmente reconhecida, possui um amplo conjunto de ferramentas e estudos direcionados ao combate da corrupção.

6. Em linhas gerais, o CPI indica o quão disposto está o setor empresarial em se engajar em práticas corruptas, por exemplo, a propina. Além desse indicador, a TI calcula e publica anualmente outro índice, pouco conhecido, o Bribe Payers Index (BPI). Contudo, o BPI é mais restrito que o CPI por englobar um número menor de países, apenas 22 no mundo todo.

essa organização classifica, por meio desse índice, um grupo de 180 países em uma escala que vai de zero (altamente corrupto) a cem (menos corrupto), de acordo com os níveis percebidos de corrupção por parte de funcionários públicos e políticos (Ellis, 2000).

Outro relevante indicador de percepção da corrupção pertence ao grupo de indicadores globais de governança, os Worldwide Governance Indicators (WGIs),<sup>7</sup> construídos pelo Banco Mundial. Como tanto o CPI quanto o WGI são elaborados a partir da percepção de especialistas, empresas e indivíduos em geral no país de origem, Negin, Rashid e Nikopour (2010) recomendam que os resultados sejam interpretados com cautela. Contudo, os autores ressaltam que, apesar desse aspecto subjetivo, tais índices têm cumprido um objetivo importante, que é o de aumentar a conscientização pública e política da corrupção.

Ünver e Koyuncu (2016) e Ogboru e Abimiku (2015) argumentam que a corrupção floresce em países que possuem maior grau de incerteza, menor estabilidade política e econômica, além de instituições fracas e fiscalização frouxa. Ademais, de acordo com Ildirar e Iscan (2015), esses países com maior enraizamento da corrupção costumam ter um terço da renda dos países com baixo nível de práticas corruptas. Isso posto, é possível supor que os níveis de desenvolvimento e corrupção estão diretamente relacionados.

Ademais, estudos revelam que, em países onde há uma maior intervenção do Estado na economia, a corrupção tende a ser mais recorrente. Além desse aspecto político, observou-se também que, naqueles países com predominância religiosa católica ou muçulmana, onde o nível de educação da sociedade tende a ser mais baixo, há mais ocorrências de corrupção (Tafa, 2014).

## 2.1 Efeitos colaterais da corrupção

Bannister, Strauss e Berg (2012), ao fazerem uma analogia com uma doença crônica, comparam a corrupção como sendo um câncer da sociedade. Certamente por ser, na maioria dos casos, uma prática cultural e endêmica capaz de provocar diversos efeitos danosos à sociedade. Um desses efeitos danosos é citado por Ildirar e Iscan (2015) e Ogboru e Abimiku (2015), que revelam que, devido às práticas corruptivas reduzirem a eficiência dos gastos públicos, via má alocação e apropriação dos recursos, tais práticas enfraquecem o Estado e sua capacidade de promover o desenvolvimento e a justiça social, além de aumentar os custos de transação em uma economia.

---

7. WGIs medem a qualidade da governança em mais de 200 países desde 1996, contemplando seis dimensões-chave, entre as quais o controle da corrupção (Carballo, 2010).

De modo geral, Carballo (2010) argumenta que a corrupção reduz a eficácia das despesas do governo, resultando em um efeito negativo no investimento e no capital humano. Para Ildirar e Iscan (2015), por sua vez, a corrupção tem um efeito negativo não somente nos investimentos e nos gastos do governo, mas também sobre a maioria dos indicadores macroeconômicos, como: consumo, emprego, mercado monetário, exportações e importações.

Outros efeitos danosos decorrentes da corrupção são mencionados por Ünver e Koyuncu (2016). De acordo com esses autores, quanto maior o nível de corrupção no ambiente institucional, por exemplo, maiores são as taxas de inflação e os níveis da dívida pública, em decorrência de um aumento excessivo no crescimento monetário e nos gastos públicos. Desse modo, a corrupção pode dificultar a atração de investimentos internacionais produtivos na economia. Por essa razão, Hope (2014) considera a corrupção como sendo um imposto para os investidores, por aumentar o risco e reduzir o incentivo a investir.

Por sua vez, Santos (2011) demonstrou cientificamente, por meio de uma análise de um diagrama feito com base em dados para Portugal, que a corrupção pode criar um “peso morto” na economia. Isso porque os ganhos dos corruptos com tais práticas ilícitas tendem a ser menores que as perdas de bem-estar de consumidores e compradores, provocando, assim, uma redução do potencial das economias e sendo, portanto, um fator de empobrecimento destas, visto que a corrupção desestimula o comércio e torna a economia de mercado menos eficiente.

Lewis (2017), em sua pesquisa, procurou quantificar os danos monetários da corrupção. Um estudo feito para as Filipinas entre 1960 e 2011 mostrou que, aproximadamente, US\$ 410,5 bilhões deixaram esse país podendo ser contabilizados como “fluxos financeiros ilícitos”. Esse valor equivale a cerca de 154 vezes o orçamento nacional para a saúde nesse país, 52 vezes o da proteção social, 39 vezes o da educação e 25 vezes o da infraestrutura para o mesmo período. O autor expõe ainda que os fluxos financeiros ilícitos dos países em desenvolvimento em todo o mundo no ano de 2013 totalizaram US\$ 1,1 trilhão, valor superior ao total de investimento direto estrangeiro recebido por essas economias naquele ano.

Ainda sobre o impacto monetário da corrupção, embora não haja uma estimativa clara de seu custo global, a Association of Certified Fraud Examiners (ACFE) estimou que as organizações empresariais no mundo todo perdiam, na segunda metade dos anos de 1990, em média, cerca de 6% de suas receitas anuais para fraude e corrupção – somente nos Estados Unidos o custo estimado era de aproximadamente US\$ 400 bilhões por ano (Ellis, 2000). Um dado mais recente do Banco Mundial, apresentado por Ildirar e Iscan (2015), revela que, em nível macro, os vazamentos com a corrupção giram em torno de 5% do produto interno bruto (PIB) global.

Em meio a tantos efeitos colaterais atribuídos às práticas corruptas, estudos como os de Negin, Rashid e Nikopour (2010) revelam que é possível diminuir os níveis de corrupção por meio de: aumento dos níveis de governança; liberdade política e de estabilidade; maior grau de abertura; e prática de regimes democráticos. Essa constatação foi inferida a partir de um estudo aplicado para 97 países entre os anos de 1997 e 2006 e converge com Ünver e Koyuncu (2016).

Outra evidência apresentada por Negin, Rashid e Nikopour (2010), e tão alentadora quanto as anteriores, é que a participação das mulheres no setor público pode reduzir a corrupção no governo. Ressalta-se também que vários estudos mostram que, em países com alta igualdade de gênero, o nível de corrupção pode ser menor (Dollar e Gatti, 1999; Swamy *et al.*, 2001).

Por fim, Chetwynd, Chetwynd e Spector (2003) ressaltam como a educação tende a aumentar os níveis de consciência política e de participação cívica dos indivíduos. O investimento maciço e de qualidade nesse setor poderá contribuir consideravelmente para a queda nos níveis de corrupção.

## **2.2 Corrupção e pobreza: modelo econômico e modelo de governança**

A corrupção por si só não produz pobreza. Na verdade, a corrupção, por ter consequências diretas sobre os fatores econômicos e de governança, acabam por influir indiretamente na pobreza (Ajisafe, 2016; Wickberg, 2012). Nesses termos, existe na literatura dois modelos que explicam a influência da corrupção na pobreza: o modelo econômico e um modelo de governança.

O modelo econômico postula que a corrupção afeta a pobreza impactando primeiramente os fatores de crescimento econômico – queda no investimento estrangeiro e interno, redução no empreendedorismo, diminuição da renda agregada e das receitas tributárias do governo etc. –, os quais, por sua vez, impactam o aumento da pobreza. Por sua vez, o modelo de governança pressupõe que a corrupção afeta a pobreza por influenciar negativamente os fatores de governança – enfraquecimento das instituições políticas e da participação cidadã, bem como baixa qualidade e redução na oferta de serviços públicos como educação, saúde, habitação e saneamento –, induzindo, assim, a um aumento da pobreza (Aina, 2014; Chetwynd, Chetwynd e Spector, 2003).

Com respeito ao primeiro modelo, estudos como os de Tafa (2014) e Tanzi (1998) evidenciam que de fato ocorre um aumento nos níveis de pobreza à medida que a produtividade econômica é afetada pela corrupção. Em contrapartida, com relação ao segundo modelo, a corrupção tem sido constantemente correlacionada, por exemplo, com maiores taxas de evasão escolar e altos níveis de mortalidade infantil (Ajisafe, 2016), elevando, portanto, a vulnerabilidade dos pobres. Sobre esse

aspecto, Chetwynd, Chetwynd e Spector (2003) argumentam que a baixa oferta e ineficiência na alocação de serviços públicos básicos, decorrentes das práticas de corrupção, afetam os mais pobres por serem estes os mais dependentes de tais serviços, principalmente de educação e saúde.

Chetwynd, Chetwynd e Spector (2003) acrescentam que, além de a corrupção aumentar a pobreza via baixo crescimento econômico e baixa governança, ela também pode contribuir para o seu aumento indireto via redução no capital social institucional. Como o alto estoque dessa modalidade de capital está fortemente relacionado a baixos níveis de pobreza,<sup>8</sup> e sendo a confiança um importante atributo desse capital, o enfraquecimento das instituições governamentais e de sua credibilidade acabam por induzir também a um aumento nos níveis de pobreza.

### 3 ESTRATÉGIA METODOLÓGICA

Esta seção é dedicada à descrição dos dados e à metodologia econométrica utilizada, de modo a responder à seguinte pergunta: qual o efeito da corrupção sobre o nível de pobreza municipal? Para a consecução deste estudo, foram coletados dados contábeis, demográficos e sobre corrupção referentes aos municípios brasileiros para os anos de 2005 a 2016.

#### 3.1 Dados amostrais

A base de dados utilizada na pesquisa reúne um total de 66.708 observações para 5.559 municípios e foi extraída das seguintes fontes: Finanças do Brasil/Sistemas de Informações Contábeis e Fiscais do Setor Público Brasileiro (Finbra/Siconfi), da Secretaria do Tesouro Nacional (STN);<sup>9</sup> Sistema de Indicadores de Saúde e Acompanhamento de Políticas do Idoso da Fundação Oswaldo Cruz (Sisap/Fiocruz);<sup>10</sup> Firjan;<sup>11</sup> e CGU.<sup>12</sup> A partir dessas bases de dados, retiraram-se informações sobre despesas correntes, despesa com saúde, PIB, população, população idosa, IFDM e número de processos relativos à corrupção a fim de obter e construir as seguintes variáveis apresentadas no quadro 1.

---

8. Ver, por exemplo, Ribeiro e Araujo (2018), Tenzin, Otsuka e Natsuda (2013) e Kimsun (2012).

9. Dados contábeis dos municípios. Disponível em: <<https://bit.ly/3FYKTT7>>. Acesso em: 10 maio 2019.

10. Disponível em: <<https://bit.ly/3LcAN1A>>. Acesso em: 18 abr. 2019.

11. IFDM: dados consolidados 2005-2016. Disponível em: <<https://bit.ly/3DI4awC>>. Acesso em: 20 mar. 2019.

12. Dados abertos – processos disciplinares. Disponível em: <<https://bit.ly/3WlvxrU>>. Acesso em: 2 fev. 2019.

## QUADRO 1

## Resumo das variáveis, descrição e fonte de dados

| Variáveis                | Descrição                                           | Fonte de dados |
|--------------------------|-----------------------------------------------------|----------------|
| Variável dependente      |                                                     |                |
| IFDM_Consolidado         | IFDM                                                | Firjan         |
| Variáveis independentes  |                                                     |                |
| Corrupção                | Número de processos investigados e julgados na CGU  | CGU            |
| Tamanho do governo       | Percentual das despesas correntes em relação ao PIB | Finbra         |
| Produtividade dos gastos | Gastos em educação e saúde em relação ao PIB        | Finbra/Siconfi |
| Renda <i>per capita</i>  | PIB municipal <i>per capita</i>                     | Finbra         |
| População                | Número de habitantes municipal                      | Finbra         |
| População idosa          | Número de idosos do município                       | Sisap          |

Elaboração dos autores.

O IFDM é a variável indicativa de pobreza no estudo. A escolha dessa variável como indicador de pobreza se justifica devido à ausência, em nível municipal e anual, de outras medidas mais usuais, como os indicadores  $p_0$  (proporção de pobres),  $p_1$  (hiato médio da pobreza) e  $p_2$  (hiato quadrático da pobreza), da classe Foster, Greer e Thorbeck (FGT), que abordam unicamente a dimensão monetária. Sobre esse aspecto, uma importante vantagem do IFDM, consolidado em relação aos indicadores mencionados, repousa no fato de este índice levar em conta três indicadores: *emprego e renda*, *saúde e educação*, sendo possível, assim, identificar outros tipos de privação além daquela relativa à renda.

É oportuno mencionar que o IFDM varia de 0 (mínimo) a 1 (máximo) e categoriza as localidades em quatro estágios de desenvolvimento: de 0 a 0,4 (baixo), de 0,4 a 0,6 (regular), de 0,6 a 0,8 (moderado) e de 0,8 a 1 (alto). A tabela 1 apresenta a média do IFDM por região e para o Brasil para o período analisado.

TABELA 1

## IFDM médio por região

| Região       | Média | Desvio-padrão | Mínimo | Máximo |
|--------------|-------|---------------|--------|--------|
| Norte        | 0,532 | 0,101         | 0,240  | 0,858  |
| Nordeste     | 0,535 | 0,095         | 0,186  | 0,896  |
| Sudeste      | 0,694 | 0,097         | 0,275  | 0,935  |
| Sul          | 0,709 | 0,075         | 0,428  | 0,912  |
| Centro-Oeste | 0,660 | 0,084         | 0,331  | 0,905  |
| Brasil       | 0,630 | 0,121         | 0,186  | 0,935  |

Fonte: Firjan, 2005-2016.

Elaboração dos autores.

Uma breve análise deste índice nos mostra que as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste possuem um nível de desenvolvimento médio classificado como moderado e com valores 0,709, 0,694 e 0,660, respectivamente. Em contrapartida, as regiões Nordeste (0,535) e Norte (0,532) têm um nível de desenvolvimento classificado como regular e com valores bastante próximos. Cabe destacar que, dentro de cada região, existe uma amplitude relevante, com municípios apresentando indicadores de desenvolvimento variando entre baixo e alto – exceto a região Sul, que não tem cidades classificadas como baixo desenvolvimento. Por sua vez, para o Brasil como um todo, o desenvolvimento é classificado como moderado (0,630).

Com relação à variável corrupção, considerou-se, conforme mencionado no quadro 1, o número de processos investigados e julgados relacionados à tal prática. Entre esses processos, incluem-se: recebimento de propina ou comissão; utilização indevida de recursos; irregularidades em carreiras específicas em empresas públicas; e concessão irregular de benefícios por parte de funcionários públicos.

Além desses processos representarem a única opção disponível para a realização de um estudo em nível intermunicipal sobre corrupção no Brasil, estes se configuram como sendo indicadores mais objetivos e fidedignos que, por exemplo, o CPI, índice amplamente utilizado em pesquisas internacionais que busca captar de modo subjetivo a percepção que determinado grupo de pessoas tem acerca da corrupção.<sup>13</sup>

### 3.2 Modelo econométrico

Para a estimação e análise do impacto da corrupção sobre o nível de pobreza municipal, utilizou-se um modelo de dados em painel.

Wooldridge (2008) afirma que os conjuntos de dados em painel são muito úteis quando se quer controlar características não observadas constantes no tempo que podem estar correlacionadas com as variáveis explicativas do modelo. Por sua vez, Maddala (2003) afirma que dados em painel se referem aos conjuntos de dados nos quais se tem informações sobre a mesma observação ao longo de vários períodos de tempo. Vieira, Ceretta e Fonseca (2011) destacam, ainda, que a principal vantagem desta técnica é a obtenção de dados mais informativos, com mais variabilidade, menos colinearidade, mais graus de liberdade e mais eficiência.

Portanto, esta técnica possibilita uma estimação mais adequada e eficiente dos modelos econométricos quando comparados com os modelos mais simples de regressão linear.

---

13. Lembrando que esse e outros índices de corrupção são comentados na seção 2.

A especificação do modelo linear é dada da seguinte forma:

$$IFDM_{it} = \alpha + \beta_1 \ln Corrup_{it} + \beta_2 \ln TGov_{it} + \beta_3 \ln ProdG_{it} + \beta_4 \ln PIBpc_{it} + \beta_5 \ln Pop_{it} + \beta_6 \ln PopI_{it} + \beta_7 Dtempo_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it}, \quad (1)$$

em que  $i = 1, 2, \dots, N$  e  $t = 1, 2, \dots, T$ . Os subscritos " $i$ " e " $t$ " referem-se às unidades *cross-section* (ou municípios) e ao tempo, respectivamente. A variável dependente  $IFDM_{it}$  representa o indicador de pobreza municipal. Sendo o parâmetro  $\alpha$  o intercepto comum a todas as unidades *cross-section*,  $\mu_i$  o parâmetro de intercepto desconhecido para cada indivíduo, além de representar a heterogeneidade não observada do modelo, e  $\varepsilon_{it}$  o termo de erro estocástico idiossincrático (individual). Por sua vez, os termos  $\ln Corrup_{it}$ ,  $\ln TGov_{it}$ ,  $\ln ProdG_{it}$ ,  $\ln PIBpc_{it}$ ,  $\ln Pop_{it}$ ,  $\ln PopI_{it}$  representam, respectivamente, as variáveis explicativas *corrupção*; *tamanho do governo*; *produtividade dos gastos*; *PIB per capita*; *população*; e *população idosa*, além das *dummies* de tempo,  $Dtempo_{it}$ , incluídas com o intuito de verificar o quão o fator tempo impacta a pobreza. Por sua vez, o parâmetro  $\beta$  é o coeficiente associado a cada uma dessas variáveis.

A metodologia de dados em painel pressupõe a construção de modelos com efeitos fixos ou com efeitos aleatórios. Para tal, é necessário analisar se o parâmetro  $\mu_i$  é ou não correlacionado com as variáveis explicativas do modelo. A existência de correlação de  $\mu_i$  com tais variáveis exige uma técnica de estimação que elimine este efeito, por exemplo, a aplicação da primeira diferença ou estimação por efeitos fixos. Em contrapartida, a eficiência das estimativas melhora ao utilizar o modelo com efeitos aleatórios por garantir que não haja correlação entre estes elementos.

Para a escolha do modelo mais adequado, consideraram-se os resultados dos seguintes testes estatísticos: teste de Chow, o teste Multiplicador de Lagrange (LM) de Breusch-Pagan e o teste de Hausman.<sup>14</sup> A tabela 2 especifica os resultados dos testes para definição do modelo escolhido.

14. Para mais esclarecimentos a respeito dos testes, ver Breusch e Pagan (1980), Greene (2008, p. 208) e Baltagi (2001, p. 51-57).

TABELA 2  
Testes estatísticos

|                                              | Teste de Chow                   | Decisão       | Teste LM de Breusch-Pagan  | Decisão            | Teste de Hausman                                                                                            | Decisão       |
|----------------------------------------------|---------------------------------|---------------|----------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
|                                              | $H_0: \text{Todos os } u_i = 0$ | —             | $H_0: \text{Var}(u_i) = 0$ | —                  | $H_0$ : Diferença entre os coeficientes de efeitos fixos e efeitos aleatórios não sistemáticas <sup>1</sup> | —             |
| i) <i>Pooled versus</i> efeitos fixos        | F(1481,3384) = 22,12 (0,000)    | Efeitos fixos | —                          | —                  | —                                                                                                           | —             |
| ii) <i>Pooled versus</i> efeitos aleatórios  | —                               | —             | Chi2(01)= 6013,73 (0,000)  | Efeitos aleatórios | —                                                                                                           | —             |
| iii) Efeitos fixos versus efeitos aleatórios | —                               | —             | —                          | —                  | Chi2(16) = 568,97 (0,000)                                                                                   | Efeitos fixos |

Elaboração dos autores.

Nota: <sup>1</sup> Coeficiente de efeitos fixos = consistente sob  $H_0$  e  $H_a$ ; coeficiente de efeitos aleatórios = inconsistente sobre  $H_a$  e eficiente sob  $H_a$ .

Obs.: Os valores em parênteses referem-se aos  $p$ -valores dos respectivos testes.

De acordo com o resultado dos testes apresentados, o modelo com dados em painel é capaz de tratar a heterogeneidade não observada melhor do que o modelo de dados empilhados (*pooled*) com uso de mínimos quadrados ordinários (MQO). Sendo assim, descartou-se a estimação por meio do modelo *pooled*, pois há evidências de heterogeneidade entre as unidades do *cross-section*. Com base no teste de Hausman, o modelo de efeitos fixos seria o mais relevante e significativo a ser considerado para estimação.

As especificações para os modelos com efeitos fixos e aleatórios são dadas, respectivamente, pelas expressões:

$$IFDM_{it} = (\alpha + \mu_i) + \beta_1 \ln Corrup_{it} + \beta_2 \ln TGov_{it} + \beta_3 \ln ProdG_{it} + \beta_4 \ln PIBpc_{it} + \beta_5 \ln Pop_{it} + \beta_6 \ln PopI_{it} + \beta_7 Dtempo_{it} + \varepsilon_{it}, \quad (2)$$

$$IFDM_{it} = \alpha + \beta_1 \ln Corrup_{it} + \beta_2 \ln TGov_{it} + \beta_3 \ln ProdG_{it} + \beta_4 \ln PIBpc_{it} + \beta_5 \ln Pop_{it} + \beta_6 \ln PopI_{it} + \beta_7 Dtempo_{it} + (\mu_i + \varepsilon_{it}), \quad (3)$$

em que  $\mu_i$  é um efeito fixo ou aleatório específico do município. Por suposição, no modelo de efeitos aleatórios, o efeito específico de cada um dos municípios (heterogeneidade não observada) não deve estar correlacionado com as variáveis explicativas. O intercepto e as inclinações dos regressores são os mesmos entre os municípios, contudo, a diferença entre eles se dá pelo termo de erro específico ( $\mu_i$ ).

De acordo com Drukker (2003), em modelos de dados em painel linear, é preciso identificar a presença de correlação serial, pois esta promove distorções nos erros-padrão, tornando-os menos eficientes. Sendo assim, havendo correlação

serial nos termos de erros idiossincráticos, o agrupamento no nível do painel produzirá estimativas mais consistentes dos erros (Baltagi, 2001; Wooldridge, 2010). Outro problema que poderá reduzir a eficiência do modelo é a presença de heterocedasticidade.

O teste de Wooldridge (*xtserial*)<sup>15</sup> rejeitou a hipótese nula ( $H_0$ ) de não correlação serial de primeira ordem e, portanto, o painel apresenta correlação serial. Por sua vez, o teste de Wald rejeitou a hipótese de variância constante para todos os municípios. Portanto, o modelo é serialmente correlacionado e heterocedástico.

Além da heterocedasticidade e correlação serial<sup>16</sup> é provável que haja simultaneidade entre a variável que mede o nível de desenvolvimento dos municípios (*IFDM<sub>it</sub>*) e a variável corrupção (*Corrup<sub>it</sub>*), pois espera-se que o nível de desenvolvimento do município afete o grau de corrupção e vice-versa. Entretanto, observe que essa simultaneidade não ocorre de forma contemporânea. O uso de variáveis instrumentais (VI) se faz adequado para mitigar os efeitos da endogeneidade e tornar os estimadores não viesados e consistentes.

Além disso, para produzir estimativas eficientes, é necessária a realização de correções nos erros idiossincráticos de modo a descompor a heterocedasticidade e autocorrelação. Os dois primeiros parágrafos da seção seguinte esclarecem esse ponto.

#### 4 EVIDÊNCIAS PRODUZIDAS

A tabela 3 apresenta os resultados estimados para o indicador de pobreza IFDM a partir do modelo de painel com: efeito fixo (EF) e erros-padrão robustos clusterizados; efeitos fixos com erros-padrão Driscoll-Kraay (*XTSCC\_FE*) conforme Driscoll e Kraay (1998); efeito aleatório (EA) e erros-padrão robustos clusterizados; estimação por mínimos quadrados generalizados (*XTGLS*); e, por fim, uso de variáveis instrumentais (*XTIVREG\_RE*) na presença de regressores endógenos.

O uso destes estimadores tem como objetivo contornar prováveis problemas provocados por variáveis omitidas e que estão associados a heterogeneidade não observada, heterogeneidade individual e efeitos não observados. O estimador proposto por Driscoll e Kraay (1998) utiliza uma matriz de covariância não paramétrica que produz erros consistentes com a presença de heterocedasticidade e são robustos de formas gerais de dependência espacial e temporal. Com relação ao estimador de mínimos quadrados generalizados factíveis, este permite a estimação dos parâmetros

15. Teste de Wooldridge com  $H_0$  = ausência de autocorrelação de primeira ordem ( $F(1, 424) = 45,308$  e  $\text{Prob} > F = 0,0000$ ). Todas as estimações do estudo foram geradas por meio do programa estatístico e econométrico Stata 14.

16. O teste de Wald para heterocedasticidade em grupo rejeitou a hipótese nula de que a variância do erro é constante para todos os municípios ( $\chi^2(1486) = 4,1e+30$  e  $\text{Prob} > \chi^2 = 0,0000$ ). Da mesma forma, o teste de Breusch-Pagan/Cook-Weisberg rejeita a hipótese nula de variância constante ( $\chi^2(1) = 296,18$  e  $\text{Prob} > \chi^2 = 0,0000$ ). Para o teste de autocorrelação serial em painel, dado pelo teste de Wooldridge, rejeitou-se a hipótese nula de ausência de autocorrelação de primeira ordem ( $F(1, 427) = 36,920$  e  $\text{Prob} > F = 0,0000$ ).

na presença de autocorrelação de ordem 1 (AR1) dentro do painel, correlação entre os *cross-sections* ou cortes transversais e heterocedasticidade. O estimador de variáveis instrumentais produz estimativas consistentes e mais eficiente de acordo com Baltagi e Li (1992).

Sendo assim, entre os cinco modelos estimados, optou-se pelo estimador de variável instrumental por ser mais indicado na presença de endogeneidade (simultaneidade). Nesse caso, a estimação considerou o estimador de componentes de erro em dois estágios, conforme Baltagi e Li (1992), por ser mais eficiente do que a aplicação de mínimos quadrados generalizados em dois estágios (G2SLS). Como instrumento, foram utilizadas a primeira defasagem da variável de corrupção, a segunda defasagem do indicador de pobreza municipal, assim como as demais variáveis explicativas, consideradas exógenas, e *dummies* para as regiões brasileiras (Norte, Nordeste, Sudeste e Sul). As variáveis defasadas também podem ser consideradas exógenas, altamente correlacionadas consigo mesmas e ajudam a controlar o viés de variáveis omitidas e a endogeneidade, respectivamente, conforme destaca Neto, Brandão e Cerqueira (2008). Ademais, não se espera que variáveis defasadas sejam correlacionadas com o termo de erro aleatório contemporâneo. Portanto, toda a análise apresentada nesta seção é feita tendo como referência a última coluna da tabela 3, com ênfase principal na análise da variável corrupção sobre a pobreza.

*A priori*, observa-se que praticamente todas as variáveis explicativas incluídas no modelo apresentaram significância estatística, as exceções são algumas variáveis *dummies* referentes aos anos de 2008, 2012 e 2013. Todas as demais variáveis apresentaram significância ao nível de 5% ou 10%, respectivamente. Em outros termos, as variáveis incluídas no modelo explicam as variações no indicador de pobreza municipal com nível de confiança de 95% ou 90%, respectivamente. Sendo estas, portanto, relevantes e significantes do ponto de vista estatístico.

Iniciando a análise do efeito da corrupção, o resultado gerado por esse regressor sugere que um aumento no nível de corrupção diminui as chances de o município ter um aumento no IFDM e, consequentemente, uma redução na pobreza. Ou seja, o aumento de 1% no indicador de corrupção, com base no aumento do número de processos investigados e julgados em um município brasileiro, tende a aumentar o nível de pobreza desse município na ordem de 0,006%, dado pela redução no IFDM.

É importante esclarecer que o resultado aparentemente baixo da elasticidade  $IFDM/Corrup_{it}$  não se configura necessariamente em uma baixa influência da corrupção na pobreza. Isso porque há uma grande amplitude no indicador de corrupção entre os municípios. Os dados usados para a estimação mostram que se, por um lado, existe município com 1.074 processos investigados e julgados na

CGU no período analisado, por outro, existem municípios que sequer realizaram algum registro. Como a sensibilidade do IFDM é medida por unidade de processo, essa amplitude do indicador de corrupção pode produzir uma contribuição supostamente baixa desse regressor.

Ademais, a variável *Corrup<sub>it</sub>* reporta apenas parte da corrupção existente no setor público municipal. Como destaca Batista (2013, p. 100), “a corrupção é um fenômeno complexo, multicausado e de difícil explicação”. Sendo assim, diante da inexistência de uma variável mais adequada para corrupção, a análise desta torna-se de certo modo limitada, refletindo-se na baixa elasticidade obtida nas estimações.

Essa constatação da influência positiva da corrupção no aumento da pobreza converge com os resultados encontrados por: Ildirar e Iscan (2015), em um estudo realizado para a Europa Oriental e Ásia Central, ao utilizarem como indicador de corrupção o IPC; Dincer e Gunalp (2008), ao considerarem o número de funcionários públicos condenados em um estado por crimes relacionados à corrupção nos Estados Unidos; e Ajisafe (2016), para a Nigéria, ao utilizar dados do Banco Mundial.

Dando sequência às demais variáveis explicativas, com relação ao tamanho do governo, *TamG<sub>it</sub>*, o resultado sugere que, à medida que a proporção de gastos em relação ao PIB se eleva, diminuem as chances de um município ter um aumento no IFDM e, conseqüentemente, uma redução da sua pobreza. Sendo assim, parece ser correto afirmar que há uma relação direta entre tamanho do governo e tamanho da pobreza nos municípios brasileiros. De fato, o aumento de gastos públicos pode induzir a um aumento na inflação e maior incidência de corrupção e esta, por sua vez, traduz-se em aumento na pobreza.

Na mesma direção e contrariando o que se esperava, os resultados indicam que a produtividade dos gastos, *ProdG<sub>it</sub>*, tende a diminuir as chances de redução da pobreza nos municípios brasileiros. De fato, um resultado inesperado, afinal, é de se esperar que maiores inversões em educação e saúde, ou capital humano como um todo, em detrimento de outros tipos de gastos – por exemplo, gastos com despesas correntes –, promovam um aumento na produtividade do trabalho, elevando, assim, a renda e melhora na qualidade de vida dos indivíduos. Entretanto, conforme exposto na tabela 3, a elasticidade do IFDM em relação à produtividade dos gastos se mostra muito baixa, no valor de -0,1176%.

De modo contrário, municípios com PIB *per capita* (*PIBpc<sub>it</sub>*) mais elevado tendem a reduzir o nível de pobreza, tendo como referência o IFDM. Conforme expõe a tabela 3, a contribuição do PIB *per capita* na redução da pobreza tende a ser na ordem de 0,0536%. Embora a influência positiva dessa variável na pobreza

possa parecer óbvia, pesquisas como a de Ribeiro, Araujo e Feitosa (2015) mostram que nem sempre o crescimento econômico e, por conseguinte, o PIB *per capita* induzem realmente a uma redução na pobreza, dado o fato de que esse crescimento pode vir acompanhado de um aumento na concentração de renda, materializando-se, assim, em um crescimento não pró-pobre, com base na definição apresentada por Son (2004).

Em relação à variável explicativa tamanho da população,  $Pop_{it}$ , esta parece contribuir negativamente para a redução da pobreza. Mantendo tudo o mais constante, a elasticidade revela que, à medida que aumenta o número de habitantes do município, o valor do IFDM cai em cerca de 0,0419%. Esse resultado, contudo, diverge da pesquisa do IBGE (2011) realizada em 2010, ao revelar que a incidência da pobreza é maior em municípios de pequeno e médio porte (entre 10 mil e 50 mil habitantes).

Em contrapartida, a população idosa,  $PopI_{it}$ , tende a contribuir para um aumento no IFDM. Ou seja, quanto maior o número de pessoas no município com idade acima de 60 anos, maior a probabilidade de haver um IFDM elevado e, portanto, maiores as chances de redução no nível de pobreza – sendo esse aumento na probabilidade na ordem de 0,0580%, aproximadamente.

Por fim, as *dummies* referentes aos anos – incluídas a fim de verificar o quão o fator tempo influi na dinâmica da pobreza – revelaram que, com exceção de 2009 a 2011, incluindo aqueles que não apresentaram significância estatística, os anos mais recentes têm impactado negativamente a evolução do IFDM. Contudo, é interessante observar, pela tabela 3, que essa influência negativa do tempo na redução da pobreza começa a ser mais evidente nos anos em que se iniciou a crise econômica no Brasil, em torno de 0,0074% para 2014 e 0,0251% para o ano seguinte.

Retomando a análise central deste estudo, embora a corrupção por si só não produza a pobreza, o resultado apresentado pela sensibilidade do índice multidimensional IFDM em relação à corrupção, apresentado nesta seção, sugere que a corrupção aumenta indiretamente os níveis de pobreza nos municípios brasileiros, por ter consequências diretas e negativas em um dos indicadores que compõe o IFDM ou, ainda, em todos, a saber: *emprego e renda, educação e saúde*.

Isso posto, diante dos resultados apresentados nesta pesquisa, é relevante ressaltar que não adianta criar programas de erradicação da pobreza se, simultaneamente a isso, não implantar também medidas mais rígidas de controle à corrupção, pois, do contrário, há risco de desperdício de recursos públicos.

**TABELA 3**  
**Regressões dos dados em painel para o indicador de pobreza IFDM nos municípios brasileiros**

| Variáveis               | EF         | XTSCC_FE   | EA         | XTGLS      | XTIVREG_RE |
|-------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| $\text{LnCorrupt}_{it}$ | -0,0004    | -0,0004**  | -0,0006    | 0,0014***  | -0,0062*** |
| $\text{LnTamGov}_{it}$  | -0,0034    | -0,0034*** | 0,0017     | 0,2472***  | -0,0262*   |
| $\text{LnProdGas}_{it}$ | 0,2003***  | 0,2003***  | -0,0139    | -0,5920*** | -0,1176*** |
| $\text{LnPIBpc}_{it}$   | 0,0344***  | 0,0344***  | 0,0537***  | 0,0421***  | 0,0536***  |
| $\text{LnPop}_{it}$     | 0,0111     | 0,0111     | -0,0246*** | 0,0128***  | -0,0419*** |
| $\text{LnPopldo}_{it}$  | -0,1028*** | -0,1028*** | 0,0393***  | 0,0000     | 0,0580***  |
| D2006                   | 0,0076***  | 0,0076***  | -0,0017    | -0,0093*** | -          |
| D2007                   | 0,0142***  | 0,0142***  | -0,0026    | -0,0237*** | (base)     |
| D2008                   | 0,0220***  | 0,0220***  | -0,0005    | -0,0078*** | 0,0028     |
| D2009                   | 0,0346***  | 0,0346***  | 0,0053*    | -0,0127*** | 0,0086***  |
| D2010                   | 0,0418***  | 0,0418***  | 0,0040     | -0,0143*** | 0,0072***  |
| D2011                   | 0,0468***  | 0,0468***  | 0,0015     | -0,0075*** | 0,0044*    |
| D2012                   | 0,0535***  | 0,0535***  | 0,0013     | -0,0056*** | 0,0039     |
| D2013                   | 0,0583***  | 0,0583***  | -0,0003    | -0,0023**  | 0,0013     |
| D2014                   | 0,0569***  | 0,0569***  | -0,0083**  | -0,0166*** | -0,0074**  |
| D2015                   | 0,0455***  | 0,0455***  | -0,0263*** | -0,0214*** | -0,0251*** |
| Constante               | 0,9290***  | 0,9290***  | -0,0613**  | 0,0000     | -0,0160    |
| <i>N</i>                | 4882       | 4882       | 4882       | 4310       | 2461       |
| <i>F</i>                | 138,9407   | 9,14e+04   | -          | -          | -          |
| $\chi^2$                | -          | -          | 3527,5970  | 1,86e+09   | 3454,6769  |
| $R^2$                   | 0,5700     | -          | -          | -          | -          |
| $R^2 \text{ Within}$    | 0,5700     | 0,5700     | 0,5115     | -          | 0,4003     |
| $R^2 \text{ Between}$   | 0,1036     | -          | 0,6465     | -          | 0,6636     |
| $R^2 \text{ Overall}$   | 0,1311     | -          | 0,6440     | -          | 0,6241     |

Elaboração dos autores.

Obs.: Significância de \*  $p < 0,10$ ; \*\*  $p < 0,05$ ; \*\*\*  $p < 0,01$ .

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo analisou, por meio de um modelo de dados em painel, a influência da corrupção na pobreza dos municípios brasileiros entre os anos de 2005 e 2016, tendo, como referência de indicador de pobreza, o IFDM e, como indicador de corrupção, o número de processos julgados e investigados extraídos da CGU para os municípios brasileiros.

Os resultados revelaram que há uma relação significativa e inversa entre a corrupção e a pobreza nos municípios brasileiros. Ou seja, quanto maior a ocorrência de práticas corruptas, menores são as chances de uma elevação no índice IFDM e, por conseguinte, de diminuição da pobreza nesses municípios.

Com relação aos efeitos das demais variáveis explicativas, as elasticidades indicaram que *tamanho do governo* e *tamanho da população* contribuem negativamente para uma redução na pobreza, ao passo que *PIB per capita* e *população idosa* tendem a induzir a sua redução. Constatou-se também que, em geral, o fator tempo tem impactado negativamente a redução da pobreza, sendo esse impacto mais evidente a partir de 2014.

Diante das evidências apresentadas neste estudo, conclui-se que a corrupção aumenta indiretamente os níveis de pobreza nos municípios, devido às consequências diretas e negativas na geração de emprego e renda e/ou na oferta e qualidade de serviços públicos como educação e saúde.

É importante ressaltar que não adianta fortalecer os programas de erradicação da pobreza se, concomitantemente, não implantar também medidas rígidas de controle à corrupção. Uma vez que, do contrário, há risco de desperdício de recursos públicos e de permanência do estoque de pobreza nos municípios, sobretudo naqueles mais pobres do país.

## REFERÊNCIAS

- ACEMOGLU, D.; SIMON, J.; JAMES A. R. The colonial origins of comparative development: an empirical investigation. **American Economic Review**, v. 91, n. 5, p. 1369-1401, Dec. 2001.
- AINA, O. How corruption contributes to poverty. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DEVELOPMENT OF SOCIAL ENTERPRISE AND SOCIAL BUSINESS FOR ERADICATION OF EXTREME POVERTY AND STREET BEGGING, 2014, Chittagong. **Proceedings...** Bangladesh: IIUC, Dec. 2014.
- AJISAFE, R. A. Corruption and poverty in Nigeria: evidence from Ardl Bound test and error correction model. **Journal of Emerging Trends in Economics and Management Sciences**, v. 7, n. 3, p. 156-163, 2016.
- BALTAGI, B. H. (Ed.). **Econometric analysis of panel data**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2001.
- BALTAGI, B. H.; LI, Q. A note on the estimation of simultaneous equations with error components. **Econometric Theory**, v. 8, n. 1, p. 113-119, 1992.

BANNISTER, T.; STRAUSS, M.; BERG, S. van der. Strategies to overcome poverty and inequality. *In: TOWARDS CARNEGIE*, 3., 2012, Cape Town. **Proceedings...** Cape Town: [s.n.], Sept. 2012.

BATISTA, M. Incentivos da dinâmica política sobre a corrupção: reeleição, competitividade e coalizões nos municípios brasileiros. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, São Paulo, v. 28, n. 82, p. 87-106, jun. 2013.

BREUSCH, T. S.; PAGAN, A. R. The Lagrange multiplier test and its applications to model specification in econometrics. **The Review of Economic Studies**, v. 47, n. 1, p. 239-253, 1980.

BUSCAGLIA, E. **Judicial corruption in developing countries**: its causes and economic consequences. Stanford: Hoover Institution, 1999. (Essays in Public Policy, n. 95).

CARBALLO, A. E. Poverty and corruption in Latin America: challenges for a sustainable development strategy. **Opera**, n. 10, p. 41-65, 2010.

CHETWYND, E.; CHETWYND, F.; SPECTOR, B. **Corruption and poverty**: a review of recent literature. Washington: Management Systems International, Jan. 2003.

DINCER, O. C.; GUNALP, B. **Corruption, income inequality and poverty in the United States**. Milan: FEEM, June 2008. (Working Paper, n. 54).

DOLLAR, D.; GATTI, R. **Gender inequality, income, and growth**: are good times good for women? Washington: World Bank, 1999. (Policy Research Report on Gender and Development Working Paper Series, n. 1).

DRISCOLL, J. C.; KRAAY, A. C. Consistent covariance matrix estimation with spatially dependent panel data. **The Review of Economics and Statistics**, v. 80, n. 4, p. 549-560, 1998.

DRUKKER, D. M. Testing for serial correlation in linear panel-data models. **The Stata Journal**, v. 3, n. 2, p. 168-177, 2003.

ELLIS, J. Corruption and Australian business in Africa. *In: AFRICAN MINING CONFERENCE*, 2000, Perth. **Proceedings...** Perth: Transparency International-Australia, p. 11, 2000.

GREENE, W. H. (Ed.). **Econometric analysis**. 6th ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2008.

GUPTA, S.; DAVOODI, H.; ALONSO-TERME, R. **Does corruption affect income inequality and poverty?** Washington: IMF, 1998. (Working Paper, n. 76).

HOPE, R. K. Kenya's corruption problem: causes and consequences. **Commonwealth & Comparative Politics**, v. 52, n. 4, p. 493-512, 2014.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Agência IBGE Notícias**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em: <<https://bit.ly/3tbZ6o3>>. Acesso em: 25 jul. 2019.

ILDIRAR, M.; ISCAN, E. Corruption, poverty and economic performance: Eastern Europe and Central Asia case. **International Journal of Economics and Finance Studies**, v. 7, n. 2, p. 27-41, 2015.

KAUFMANN, D.; KRAAY, A.; ZOIDO-LOBATON, P. **Governance matters**. Washington: World Bank, 1999. (Policy Research Working Paper, n. 2196).

KIMSUN, T. **Analysing chronic poverty in rural Cambodia**: evidence from panel data. Phnom Penh: CDRI, Feb. 2012. (Working Paper Series, n. 66).

LEWIS, J. Social impacts of corruption upon community resilience and poverty. **Jàmbá: Journal of Disaster Risk Studies**, v. 9, n. 1, p. 1-8, 2017.

MADDALA, G. S. (Ed.). **Introdução à econometria**. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

NEGIN, V.; RASHID, Z. A.; NIKOPOUR, H. **The causal relationship between corruption and poverty**: a panel data analysis. Munich: Munich Personal RePEc Archive, June 2010. (MPRA Paper, n. 24871).

NETO, P.; BRANDÃO, A.; CERQUEIRA, A. The impact of FDI, cross-border mergers and acquisitions, and greenfield investments on economic growth. **The IUP Journal of Business Strategy**, v. 1, n. 2, p. 24-44, 2008.

OGBORU, A. C.; ABIMIKU, I. **The impact of corruption on poverty reduction efforts in Nigeria**. Jos: Unijos, 2015.

RIBEIRO, L. L.; ARAUJO, J. A. Capital social e pobreza no Brasil. **Revista de Economia Política**, v. 38, n. 4, p. 749-765, 2018.

RIBEIRO, L. L.; ARAUJO, J. A.; FEITOSA, D. G. Crescimento pró-pobre? Uma análise para os meios urbano e rural no Brasil. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, v. 45, n. 1, p. 155-176, abr. 2015.

SANTOS, R. T. Corruption and poverty. **International Business and Economics Review**, n. 2, p. 6-15, 2011.

SON, H. H. A note on pro-poor growth. **Economics Letters**, v. 82, n. 3, p. 307-304, 2004.

SWAMY, A. *et al.* Gender and corruption. **Journal of Development Economics**, v. 64, n. 1, p. 25-55, 2001.

TAFA, J. Examining the relationship of corruption with economic growth, poverty and gender inequality Albanian case. **European Journal of Social Sciences Education and Research**, v. 1, n. 1, p. 192-208, 2014.

TANZI, V. Corruption around the world: causes, consequences, scope and cures. **Staff Papers (International Monetary Fund)**, v. 45, n. 4, p. 559-594, 1998.

TENZIN, G.; OTSUKA, K.; NATSUDA, K. **Impact of social capital on poverty: a case of rural households in Eastern Bhutan**. Beppu: RCAPS, Sept. 2013. (Working Paper Series, n. 13004).

ÜNVER, M.; KOYUNCU, J. Y. The impact of poverty on corruption. **Journal of Economics Library**, v. 3, n. 4, p. 632-642, Dec. 2016.

VIEIRA, K. M.; CERETTA, P. S.; FONSECA, J. L. Influência da variação da liquidez na precificação de ativos: análise em painel do mercado brasileiro no período de janeiro de 2000 a junho de 2008. **BBR – Brazilian Business Review**, v. 8, n. 3, p. 41-65, 2011.

WICKBERG, S. **Review of literature on the link between corruption, poverty and conflict, and evidence of the impact of corruption on donor interventions**. Berlin: Transparency International, 2012. (U4 Expert Answer, n. 357).

WOOLDRIDGE, J. M. (Ed.). **Introdução à econometria: uma abordagem moderna**. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

\_\_\_\_\_. (Ed.). **Econometric analysis of cross section and panel data**. Cambridge, United States: MIT Press, 2010.

Originais submetidos em: ago. 2019.

Última versão recebida em: jan. 2021.

Aprovada em: jan. 2021.

# O DEFICIT DA PREVIDÊNCIA SOCIAL NO BRASIL: SIMULAÇÕES DE REFORMA COM UM MODELO EGC DINÂMICO<sup>1,2</sup>

Arthur Simão Pereira da Silva<sup>3</sup>

Alexandre Alves Porsse<sup>4</sup>

Maurício Vaz Lobo Bittencourt<sup>5</sup>

Este artigo examina o impacto da transição demográfica no equilíbrio financeiro do Regime Geral de Previdência Social (RGPS) nas próximas décadas e quantifica os efeitos de três cenários de reforma paramétrica, entre elas, a introdução de uma idade mínima obrigatória semelhante àquela introduzida pela reforma da previdência, Emenda Constitucional (EC) nº 103, aprovada em 2019. A análise baseia-se em um modelo de equilíbrio geral computável dinâmico integrado com um módulo previdenciário. Os resultados mostram que a introdução de uma idade mínima, por si só, é insuficiente para estabilizar o *deficit* do RGPS, o que reforça a necessidade de combinar essa medida com outros dispositivos que reduzam os valores médios dos benefícios. Entre os cenários de reforma avaliados, aquele que produz o maior custo para a sociedade é o aumento de alíquotas de contribuição previdenciária.

**Palavras-chave:** previdência social; reformas paramétricas; Emenda Constitucional nº 103/2019; equilíbrio geral computável dinâmico.

## THE SOCIAL SECURITY REFORM IN BRAZIL: SIMULATIONS WITH A DYNAMIC CGE MODEL

This paper examine the impact of demographic transition on financial stability of Regime Geral de Previdência Social (RGPS) in the coming decades and evaluate the effects of three parametric reform scenarios, among them, the introduction of a minimum age similar to that introduced by the pension reform, Emenda Constitucional nº 103, approved in 2019. The analysis is based on a Dynamic Computable General Equilibrium model integrated with a social security module. The results show that the introduction of a minimum age is insufficient for stabilize the deficit of RGPS, reinforcing the need to combine this measure with other devices that reduce the average benefit values. Among the reform scenarios evaluated, the one that produces the highest cost to society is the increase in social security contribution rates.

**Keywords:** social security; parametric reforms; Constitutional Amendment nº 103/2019; dynamic computable general equilibrium.

**JEL:** C68; E62; H55.

---

1. DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/ppe52n1art4>

2. Os autores agradecem os comentários e as sugestões do professor Luis Eduardo Afonso (Universidade de São Paulo – USP) e o financiamento recebido da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

3. Doutor em economia do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Econômico da Universidade Federal do Paraná (PPGDE/UFPR). E-mail: <arthur\_simao@hotmail.com>.

4. Professor do PPGDE/UFPR. E-mail: <porsse@ufpr.br>.

5. Professor do PPGDE/UFPR. E-mail: <mbittencout@ufpr.br>.

## 1 INTRODUÇÃO

Um capítulo recente da agenda de reformas previdenciárias no Brasil foi marcado pela promulgação da EC nº 103/2019, que dispõe sobre alterações nas condições para habilitação de aposentadoria, regras de transição e outras providências para o regime geral dos trabalhadores do setor privado e para os servidores públicos da União.

No período pós-estabilização monetária, iniciado com o Plano Real, as reformas na previdência social brasileira resultaram em mudanças nos parâmetros, não na estrutura de repartição do sistema, ao contrário do que se viu na América Latina, Europa e Ásia Central, onde, em geral, os países optaram por reformas estruturais, por meio da substituição total ou parcial do sistema financiado por repartição, bem como da introdução de um pilar de capitalização (Holzmann e Hinz, 2005).

A perspectiva dos sistemas previdenciários tem mudado desde a década de 1990, especialmente, após a crise financeira global em 2008. A perspectiva atual é o resultado de mudanças mais amplas, como a reorientação de objetivos, o melhor diagnóstico dos problemas e o reconhecimento da necessidade de abordar temas prioritários, como os efeitos do envelhecimento populacional (Holzmann, 2012).

O envelhecimento populacional é umas das consequências do processo de transição de regimes demográficos com altas taxas de mortalidade e fecundidade para baixas taxas (Lee, 2003). O Brasil, apesar de ter uma população jovem em comparação aos países em estágio de transição mais avançado no sul e leste da Europa (Lee e Mason, 2011), cumprirá um percurso, de 2015 a 2040, que os países demograficamente maduros demoraram mais de um século para fazer (Tafner, Botelho e Erbisti, 2014). Ao final desse percurso, o número de idosos com mais de 65 anos terá ultrapassado o número de crianças de 0 a 14 anos (IBGE, 2018).

O sistema previdenciário brasileiro como um todo é, estruturalmente, deficitário, mesmo agora com uma população jovem. Essa realidade se aplica, também, ao Regime Geral de Previdência Social (RGPS), o maior regime previdenciário do país. Nesse contexto, este estudo examina os impactos da transição demográfica sobre o equilíbrio financeiro do RGPS no médio prazo (2010-2040), por meio de um cenário demográfico projetado sem a reforma previdenciária. Em seguida, avaliamos os custos gerados para a sociedade de três cenários alternativos de reformas paramétricas: i) a elevação da alíquota de contribuição; ii) a introdução de uma idade mínima; e iii) a combinação de políticas, com introdução de uma idade mínima e a redução do valor dos benefícios.

Na primeira simulação, a meta é estabilizar o *deficit* em -1,3% do produto interno bruto – PIB (nível em 2010). Na segunda, o objetivo é restringir as aposentadorias por tempo de contribuição, de modo a impor uma restrição de idade mínima, assim como na EC nº 103/2019 e conforme é observado na maioria dos

países. Na terceira simulação, o objetivo é conciliar duas opções de política. Nesse sentido, a principal contribuição é responder à seguinte pergunta: supondo que o *policymaker* busque estabilizar o *deficit* do RGPS fixando uma meta previdenciária, qual tipo de política econômica produzirá o menor custo para a sociedade?

O resultado esperado após cada reforma é um impacto positivo não somente sobre as contas do governo, mas também sobre a poupança e o investimento. Além disso, um aumento da alíquota de contribuição tende a elevar os custos das firmas e reduzir a demanda por trabalho, os salários e o consumo. Por sua vez, a redução do valor dos benefícios e a alteração nos critérios de elegibilidade tendem a produzir um impacto negativo sobre a renda das famílias, bem como sobre o consumo.

Nas três reformas, a expectativa é de que a demanda agregada seja afetada positivamente pelo aumento do investimento e negativamente pela queda no consumo, mas o efeito final sobre o PIB é incerto, na medida em que depende dos mecanismos de transmissão diretos e indiretos de cada cenário de reforma sobre o sistema econômico. Consideramos que a redução (elevação) no PIB é a principal medida do custo (benefício) gerado para a sociedade.

A maioria dos estudos recentes sobre o RGPS baseia-se em modelos de equilíbrio parcial (Afonso, Zylberstajn e Souza, 2006; Giambiagi e Afonso, 2009; Penafieri e Afonso, 2013; Lima, 2011; Lima e Matias-Pereira, 2014; Afonso, 2016). Contudo, para capturar de forma ampla e consistente os mecanismos de transmissão associados a políticas de reforma previdenciária, é necessário usar uma abordagem de equilíbrio geral.

Assim, desenvolvemos um modelo macroeconômico de equilíbrio geral computável (EGC) dinâmico, o qual possui um módulo previdenciário integrado com as Contas Nacionais, especificado com dinâmica recursiva, com dados desagregados por sexo e faixa etária para a oferta de trabalho, os contribuintes e os benefícios do regime previdenciário. Esse modelo, que segue a tradição de estudos desenvolvidos por economistas do Banco Mundial (Adelman e Robinson, 1978; Dervis, Melo e Robinson, 1982; Devarajan, Lewis e Robinson, 1991; Löfgren, 2003), foi nomeado como Rialma e consiste em uma importante contribuição deste estudo. Até o momento, não se tem conhecimento de uma abordagem que reúna todas essas características na literatura sobre estudos previdenciários.

Os resultados mostram que a introdução de uma idade mínima de 60 ou 65 anos para mulheres ou homens é insuficiente para estabilizar o *deficit* previdenciário no médio prazo, sendo necessário combinar essa medida com uma redução nos valores dos benefícios. Entre os cenários de reforma avaliados, a combinação dessas duas medidas gera o menor custo para a sociedade. Em contrapartida, a reforma que gera o maior custo para a sociedade é o aumento da alíquota de contribuição previdenciária.

Este artigo é estruturado em seis seções, contando com esta introdução. A seção 2 faz uma apresentação dos aspectos considerados relevantes sobre o RGPS. As seções 3 e 4 discorrem sobre a literatura EGC, o banco de dados e as equações do modelo. As seções 5 e 6 descrevem os resultados e as considerações finais.

## 2 ASPECTOS DO REGIME GERAL DE PREVIDÊNCIA SOCIAL

Nesta seção, o foco é o RGPS e seus parâmetros técnicos, somados aos principais indicadores financeiros e métodos de análise utilizados pela literatura, além de aspectos relacionados à transição demográfica e ao mercado de trabalho.

O sistema de seguridade social no Brasil compreende um conjunto integrado de ações de iniciativa dos poderes públicos e da sociedade destinado a assegurar o direito à previdência social, saúde e assistência social, conforme estabelece o art. 194 da Constituição Federal de 1988. O objetivo da previdência social é assegurar aos trabalhadores e seus dependentes um fluxo contínuo de pagamentos diante de condições que interfiram sobre sua capacidade laboral.

O sistema previdenciário está estruturado em dois regimes principais. O primeiro grupo é formado pelos Regimes Próprios de Previdência Social (RPPS) da União, dos estados e dos municípios, que abrangem os institutos e os fundos previdenciários de filiação obrigatória para os servidores públicos. O segundo é o Regime Geral de Previdência Social, destinado aos trabalhadores do setor privado e de filiação obrigatória para os que possuem carteira assinada.<sup>6</sup>

De acordo com o relatório do Tribunal de Contas da União, em 2019, 53% de todas as despesas primárias do governo central destinaram-se aos regimes públicos de previdência – R\$ 767,8 bilhões (TCU, 2019). Apenas o RGPS respondeu por um volume de gastos de R\$ 626,5 bilhões, conforme a tabela 1.

TABELA 1  
Resultado dos regimes previdenciários federais (2019)

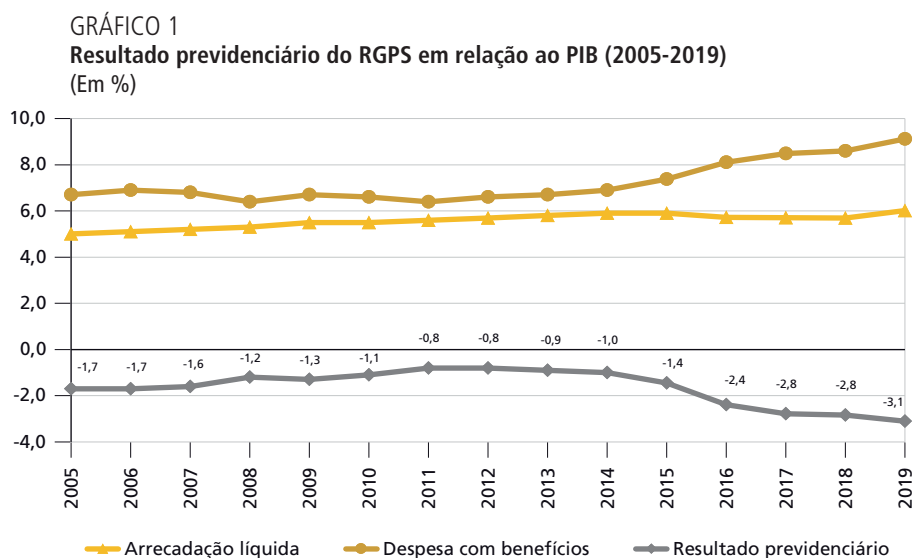
| Regime federal    | Arrecadação<br>(R\$ 1 bilhão) | PIB<br>(%)  | Despesa<br>(R\$ 1 bilhão) | PIB<br>(%)   | Resultado<br>(R\$ 1 bilhão) | PIB<br>(%)   |
|-------------------|-------------------------------|-------------|---------------------------|--------------|-----------------------------|--------------|
| FCDF <sup>1</sup> | 0,3                           | 0,00        | 5,3                       | 0,08         | 5,0                         | 0,07         |
| Militares         | 2,7                           | 0,04        | 49,7                      | 0,72         | -47,0                       | -0,68        |
| União – RPPS      | 32,2                          | 0,47        | 86,3                      | 1,26         | -53,1                       | -0,77        |
| União – RGPS      | 413,4                         | 6,01        | 626,5                     | 9,11         | -213,1                      | -3,10        |
| <b>Total</b>      | <b>448,6</b>                  | <b>6,53</b> | <b>767,8</b>              | <b>11,17</b> | <b>-308,2</b>               | <b>-4,48</b> |

Fonte: TCU (2019).

Nota: <sup>1</sup> Fundo Constitucional do Distrito Federal (FCDF) refere-se à previdência dos servidores das carreiras da Segurança Pública do Distrito Federal, que são mantidos pela União.

6. Vale ressaltar que existem ainda os regimes de previdência complementar, de caráter privado e facultativo, operados por entidades abertas (EAPC) ou fechadas (EFPC).

Um dos principais indicadores financeiros de um regime é o resultado previdenciário, definido como a diferença entre a arrecadação líquida e as despesas com benefícios. Até 2014, o RGPS manteve uma trajetória de resultados negativos, mas estável, com *deficit* próximos de -1% do PIB. No entanto, de 2015 a 2017, o *deficit* em relação ao PIB dobrou, saindo de -1,4% para -2,8%, e, em 2019, superou os 3%, conforme o gráfico 1.



Fonte: Resultados do Regime Geral de Previdência Social/Ministério do Trabalho e Previdência Social – 2019. Disponível em: <<https://bit.ly/3Eh2hB9>>. Acesso em: 30 jan. 2020.

Elaboração dos autores.

Os benefícios previdenciários podem ser subdivididos em relação ao tipo de cobertura de risco: programáveis (associados ao avanço da idade) e não programáveis (invalidez, acidentários, doença, reclusão, morte). Neste estudo, o foco da análise são os benefícios programáveis de aposentadoria por idade e por tempo de contribuição.

De acordo com os dados do Boletim Estatístico da Previdência Social (BEPS) 2019, do total de benefícios concedidos pelo Instituto Nacional do Seguro Social (INSS), 92,1% foram gastos com benefícios previdenciários e acidentários, e 7,8%, com benefícios assistenciais<sup>7</sup> (não previdenciários), isto é, que não exigem contribuição prévia.

A necessidade de contribuição prévia é um dos princípios fundamentais da previdência social, ao lado do financiamento tripartite e do princípio de repartição.

7. Os amparos assistenciais se referem ao Benefício da Prestação Continuada (BPC), criado pela Lei Orgânica da Assistência Social (Loas). A Loas garante um salário mínimo mensal ao idoso com mais de 65 anos ou à pessoa com deficiência, com renda familiar *per capita* menor que 25% do salário mínimo vigente.

No financiamento tripartite, o trabalhador contribui proporcionalmente ao salário, o empregador contribui com um percentual da folha de pagamento e a entidade estatal utiliza recursos próprios, da arrecadação de tributos, ou de fontes complementares, para cobrir eventuais desequilíbrios.

Os sistemas previdenciários ao redor do mundo, em quase sua totalidade, são estruturados sob um pilar de repartição simples ou misto. Vale ressaltar que existem dois principais tipos de regimes previdenciários: repartição simples (*pay as you go*) e capitalização (*funding*). No princípio de repartição, os benefícios dos indivíduos que se aposentam são financiados pelas contribuições dos trabalhadores em atividade, enquanto, no regime de capitalização, cada contribuinte integra um fundo (individual ou coletivo), em que são investidos recursos destinados exclusivamente à sua aposentadoria.

## 2.1 Parâmetros técnicos

O desenho de um regime previdenciário é formado por um conjunto de parâmetros técnicos pelos quais o *policymaker* pode propor ajustes necessários para a correção de desequilíbrios. Entre os principais parâmetros do RGPS, estão a condição para elegibilidade, a fórmula de cálculo, a regra de indexação e a alíquota de contribuição.

O primeiro parâmetro de interesse é a condição para elegibilidade dos benefícios programáveis: aposentadoria por idade (AI) e por tempo de contribuição (ATC). Antes da reforma da previdência de 2019, para se tornar elegível por idade (AI), o contribuinte precisava completar 60 ou 65 anos se mulher ou homem e ter contribuído por um período mínimo de quinze anos. Já na ATC, o contribuinte precisava completar 30 ou 35 anos de contribuição se mulher ou homem.

Após a EC nº 103/2019, criaram-se regras de transição para que a ATC fosse extinta, mantendo-se apenas a AI. Com base na emenda, torna-se elegível o contribuinte que completar 62 ou 65 anos de idade se mulher ou homem<sup>8</sup> e tiver contribuído por um período mínimo de carência de quinze ou vinte anos se mulher ou homem.<sup>9</sup>

O segundo parâmetro de interesse é a fórmula de cálculo do valor do benefício. Anteriormente, o cálculo era feito com base nos 80% maiores salários de contribuição recolhidos e atualizados monetariamente. Com a EC nº 103/2019, o valor do benefício passa a ser definido com base em 100% das contribuições feitas pelo segurado.

---

8. Para trabalhadores rurais, estão mantidos o tempo de contribuição de quinze anos e as idades mínimas de aposentadoria de 55 ou 60 anos para mulheres ou homens. Professores do ensino infantil, fundamental e médio, podem se aposentar com 57 ou 60 anos para mulheres ou homens e 25 anos de contribuição.

9. Para os homens que estiverem filiados ao RGPS antes de a EC entrar em vigor, o tempo de contribuição mínimo permanece em quinze anos.

Ao atingir a idade e o tempo mínimo de contribuição, o contribuinte do RGPS pode se aposentar (AI) com 60% da média de todas as contribuições previdenciárias. A cada ano a mais de contribuição, além do mínimo exigido, são acrescidos 2 pontos percentuais. Dessa forma, para ter direito à aposentadoria no valor de 100% da média de contribuições, as mulheres deverão contribuir por 35 anos, e os homens, por 40 anos.

O valor das aposentadorias não pode ser inferior a um salário mínimo nem superior ao teto do RGPS em 2019, R\$ 5.839,45 por mês. Vale ressaltar que, com o fim da ATC, as fórmulas de cálculo pelo fator previdenciário (Lei nº 9.876/1999)<sup>10</sup> e pela regra 85/95 (Lei nº 13.183/2015),<sup>11</sup> também, deixaram de existir, exceto para quem atingiu os requisitos antes da reforma.

O terceiro parâmetro é uma regra de indexação para determinar o reajuste anual no valor dos benefícios. No RGPS, os benefícios com valor equivalente ao piso previdenciário variam de acordo com o reajuste do salário mínimo. Os demais são reajustados com base no Índice Nacional de Preços ao Consumidor (INPC).

O quarto parâmetro é a alíquota de contribuição do INSS sobre o salário. Essa alíquota pode chegar a um percentual superior a 30%, que é dividido entre empregado e empregador. Antes da EC nº 103/2019, o empregado com carteira de trabalho, o doméstico e o trabalhador avulso contribuía com uma alíquota de 8% a 11%, a qual incidia sobre todo o salário do segurado. Com a EC nº 103/2019, as alíquotas do RGPS ficam entre 7,5% e 14,0% e passam a ser progressivas: 7,5% até um salário mínimo; 9,0% entre um salário mínimo e R\$ 2 mil; 12,0% entre R\$ 2 mil e R\$ 3 mil; e 14,0% entre R\$ 3 mil e o teto do RGPS.

No Brasil, desde a década de 1990, as reformas previdenciárias resultaram em mudanças nos parâmetros, mas não na estrutura de repartição do sistema.<sup>12</sup> Recentemente, no segundo mandato de Dilma Rousseff, a principal mudança no RGPS se deu pela Lei nº 13.183/2015, que criou a fórmula de cálculo pela regra 85/95<sup>13</sup> progressiva como alternativa ao fator previdenciário. No mandato de Michel Temer, uma proposta de reforma foi enviada ao Congresso em dezembro de 2016, a Proposta de Emenda à Constituição (PEC) nº 287,<sup>14</sup> com um expressivo

10. Na ATC com fator previdenciário, o valor da aposentadoria era o resultado da multiplicação do salário de benefício pelo fator previdenciário, definido por:  $f = \frac{TC \cdot a}{ES} \cdot \left[ 1 + \frac{(ID + TC \cdot a)}{100} \right]$ , com base em:  $TC$ , o tempo de contribuição até o momento da aposentadoria;  $a$ , a alíquota de contribuição;  $ES$ , a expectativa de sobrevida no momento da aposentadoria; e  $ID$ , a idade no momento da aposentadoria.

11. A ATC pela regra 85/95 era uma alternativa ao fator previdenciário. Por essa regra, tinha direito ao recebimento de 100% do salário de benefício a mulher ou o homem cuja soma da idade com o tempo de contribuição completasse 85 ou 95 anos, com requisito mínimo de 30 ou 35 anos de contribuição.

12. Giambiagi *et al.* (2004) fornecem um diagnóstico detalhado da situação previdenciária nos mandatos de Fernando Henrique Cardoso e no início do primeiro mandato de Luiz Inácio Lula da Silva.

13. Lima, Viana e Gomes (2016) avaliam o impacto financeiro da fórmula 85/95 sobre o RGPS.

14. Afonso e Zylbersztajn (2019) avaliam o potencial impacto distributivo dessa proposta sobre os benefícios programáveis do RGPS.

conjunto de medidas. No entanto, a discussão dessa proposta foi suspensa em fevereiro de 2018.

A discussão da reforma retornou à pauta do Congresso em fevereiro de 2019, em um novo contexto político, já sob o mandato de Jair Bolsonaro. A PEC nº 6/2019 trouxe uma proposta de reforma abrangente, com mudanças paramétricas e não paramétricas. Após várias alterações na proposta original, a reforma da previdência foi aprovada por meio da EC nº 103, em novembro de 2019, e abrangeu os trabalhadores do setor privado (segurados do RGPS) e os servidores públicos federais (segurados do RPPS). Para policiais militares, bombeiros, trabalhadores rurais e professores do ensino fundamental e médio, mantiveram-se regras próprias.

Em resumo, a EC nº 103/2019 materializou-se como uma reforma essencialmente paramétrica, tendo como principais mudanças: a introdução de uma idade mínima para aposentadoria e o fim da ATC com fator previdenciário e pela regra 85/95; a alteração no tempo mínimo de contribuição; a forma de cálculo do benefício; a implementação de novas alíquotas; e a introdução de diferentes regras de transição.

Neste estudo, pretende-se avaliar um dos principais pontos da EC nº 103/2019, que é a introdução de uma idade mínima obrigatória para aposentadoria sobre o regime previdenciário dos trabalhadores do setor privado, o RGPS.

## 2.2 Indicadores previdenciários e escolhas metodológicas

O desempenho de um regime pode ser avaliado com base em indicadores previdenciários, os quais podem ser classificados em duas abordagens: individual e agregada. Na abordagem com foco no indivíduo, alguns dos principais indicadores de uso-padrão na literatura são a alíquota de contribuição necessária (AliqNec), a taxa interna de retorno (TIR) e a taxa de reposição (TR).

No Brasil, a maior parte dos estudos estima a TIR, que é a taxa que iguala os fluxos esperados de contribuições efetuadas e de benefícios recebidos pelos indivíduos ao longo de suas vidas. Outro indicador-padrão é a TR, dada pela relação entre o valor do benefício e os respectivos salários de contribuição. A TIR e a TR são de especial interesse para a literatura que estuda aspectos distributivos.

Na abordagem agregada, um importante indicador é o resultado previdenciário, dado pela diferença entre a arrecadação líquida e as despesas com benefícios, que traduz se um regime é superavitário ou deficitário.

Existem duas perspectivas para se contabilizar o *deficit* da previdência. A primeira é atuarial, escolha dos estudos com indivíduos representativos, trazendo as receitas e as despesas com valores presentes. A segunda perspectiva é financeira, com as receitas e as despesas correntes. As projeções de cenários deste estudo são feitas sob uma perspectiva financeira, e não atuarial.

Em geral, para lidar com indicadores previdenciários, existem, pelo menos, cinco alternativas metodológicas, conforme resumido adiante.

- 1) Indivíduos representativos (Giambiagi e Afonso, 2009; Penafieri e Afonso, 2013).
- 2) Microdados em painel.
- 3) Microdados em *cross-section* de pesquisas domiciliares (Afonso, Zylberstajn e Souza, 2006; Giambiagi *et al.*, 2007).
- 4) Microdados dos registros administrativos das instituições previdenciárias (Afonso, 2016).
- 5) Macrodados previdenciários – *aggregate accounting* (Lima, 2011; Lima e Matias-Pereira, 2014).

O quadro 1 sintetiza os métodos utilizados pelos estudos mais recentes.

#### QUADRO 1

##### Métodos utilizados na literatura aplicada ao RGPS

| Método                                   | Referência                                                           | Fonte                                                       | Foco                                 |
|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Microdados em <i>cross-section</i>       | Afonso, Zylberstajn e Souza (2006); e Giambiagi <i>et al.</i> (2007) | Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio (PNAD)           | Equilíbrio financeiro                |
| Indivíduos representativos               | Giambiagi e Afonso (2009); e Penafieri e Afonso (2013)               | -                                                           | Aspectos financeiros e distributivos |
| Microdados dos registros administrativos | Afonso (2016)                                                        | Registros administrativos                                   | Aspectos distributivos               |
| <i>Aggregate accounting</i>              | Lima (2011); e Lima e Matias-Pereira (2014)                          | Anuário Estatístico da Previdência Social (AEPS) – Infologo | Equilíbrio financeiro                |

Elaboração dos autores.

Independentemente da escolha metodológica, todos os modelos utilizados têm uma característica em comum: são modelos de equilíbrio parcial, por isso, incapazes de lidar simultaneamente com os principais mecanismos de transmissão endógenos causados por mudanças nas regras do regime previdenciário. Este estudo supera essa limitação ao utilizar um modelo de equilíbrio geral com um módulo previdenciário integrado às Contas Nacionais.

### 2.3 Transição demográfica e mercado de trabalho

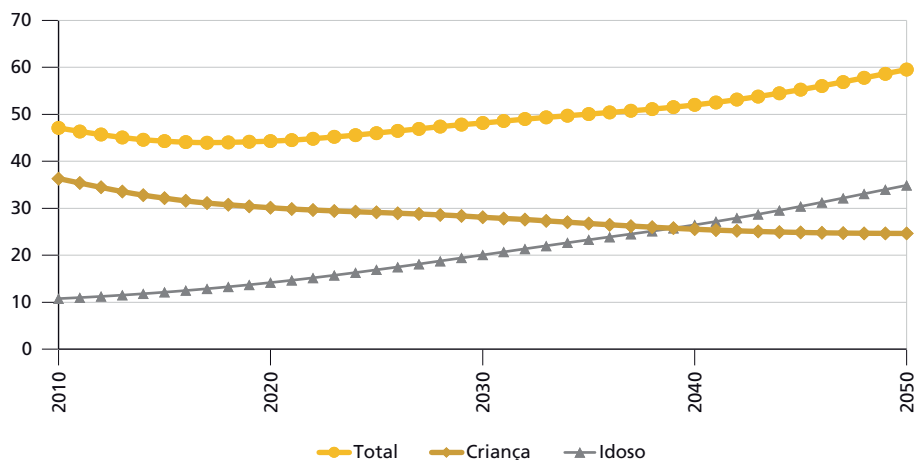
Apesar dos efeitos associados à conjuntura econômica, os maiores problemas do sistema previdenciário brasileiro são estruturais. Um componente, em especial, será decisivo nos próximos anos: a dinâmica demográfica.

O Brasil, desde a década de 1970, viu sua esperança de vida ao nascer aumentar, a mortalidade em todas as idades cair e a taxa de fecundidade reduzir-se à metade. A combinação desses fatores produziu um gradual envelhecimento e uma redução da taxa de crescimento populacional (Beltrão, Camarano e Kanso, 2004).

Atualmente, o país vive a fase final de um segundo estágio do processo de transição demográfica, caracterizado pelo crescimento da população em idade ativa (PIA), entre 15 e 64 anos, e pela redução da razão de dependência demográfica, dada pela proporção de crianças (0 a 14 anos) e idosos (65 anos ou mais) em relação à PIA (Camarano, 2014).

A perspectiva para os próximos anos é de uma nova etapa da transição, que consiste na reversão da tendência de queda para uma tendência de crescimento da razão de dependência demográfica. De acordo com as projeções do IBGE (2018), em 2039, a proporção de idosos será igual à de crianças, conforme o gráfico 2.

GRÁFICO 2  
Razão de dependência demográfica (2010-2050)  
(Em %)



Fonte: IBGE (2018).  
Elaboração dos autores.

Na América Latina e no leste da Ásia, em geral, a transição também acontece de forma acelerada. Nos Estados Unidos e no norte da Europa, apesar de substancial, ela tende a ser mais gradual. Por sua vez, muitos países do sul da Ásia ainda têm populações relativamente jovens, e a maioria dos países africanos está em um estágio inicial de transição (Lee e Mason, 2011).

Em uma comparação internacional, Caetano e Miranda (2007) analisam a eficiência do gasto previdenciário no Brasil com base em cinco determinantes, entre as quais, a razão de dependência demográfica, por meio do método não paramétrico chamado *data envelopment analysis* (DEA). A principal conclusão do estudo é que o país, apesar de jovem, tem um gasto elevado e ineficiente com previdência.

Os gastos federais com previdência social no Brasil representaram 11% do PIB em 2019, considerando o RGPS e os regimes dos servidores públicos. É um gasto próximo à média de 12% dos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). Contudo, esses países possuem, em média, uma renda *per capita* maior e o dobro de idosos, em termos relativos à população total.

Tafner, Botelho e Erbisti (2014) projetam que, dada uma taxa de crescimento anual do PIB de 2,9%, os gastos do RGPS se elevariam de 7,2% do PIB em 2013 para 10,34% em 2050, devido aos efeitos do envelhecimento demográfico, o que se configuraria em uma severa restrição fiscal. Este estudo se propõe a fazer uma projeção de cenário semelhante, embora com hipóteses distintas e sob um arcabouço mais detalhado, um modelo de equilíbrio geral, no qual a trajetória do PIB é endógena.

Do ponto de vista da sustentabilidade de um sistema de seguridade social, mais do que a PIA, o que importa é a população que está empregada ou procurando emprego – a população economicamente ativa (PEA). Para projetar o comportamento do sistema previdenciário, é preciso projetar como a PEA irá se comportar. Esse é um exercício mais complexo do que estimar a PIA, pois envolve a projeção de um conjunto mais amplo de variáveis.

A Divisão Populacional do Centro Latino-Americano e Caribenho de Demografia da Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CELADE/CEPAL) dispõe de projeções anuais da PEA até 2050 para vários países, incluindo o Brasil (CEPAL, 2015). Com base nela, a tabela 2 fornece um retrato comparativo entre a PEA de 2010 e a PEA projetada para 2050. Nesse sentido, as projeções mostram uma queda da PEA rural de -28,6%, especialmente entre a população mais jovem, enquanto, no meio urbano, a PEA aumenta 44,5%.

**TABELA 2**  
**População economicamente ativa (2010 e 2050)**

| Sexo         | Faixa etária | 2010              |                   | 2050               |                   | Variação    |              |
|--------------|--------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------|--------------|
|              |              | Urbana            | Rural             | Urbana             | Rural             | Urbana (%)  | Rural (%)    |
| Homem        | 15-19        | 3.746.374         | 1.168.346         | 2.612.314          | 440.255           | -30         | -62          |
|              | 20-24        | 6.446.911         | 1.329.263         | 5.391.767          | 529.848           | -16         | -60          |
|              | 25-29        | 7.154.737         | 1.289.673         | 6.057.371          | 523.893           | -15         | -59          |
|              | 30-34        | 6.640.148         | 1.168.907         | 6.384.610          | 532.149           | -4          | -54          |
|              | 35-39        | 5.864.093         | 1.061.028         | 6.661.712          | 570.735           | 14          | -46          |
|              | 40-44        | 5.235.396         | 977.499           | 6.903.558          | 610.687           | 32          | -38          |
|              | 45-49        | 4.572.371         | 886.210           | 6.920.246          | 631.398           | 51          | -29          |
|              | 50-54        | 3.571.855         | 764.174           | 6.397.619          | 632.049           | 79          | -17          |
|              | 55-59        | 2.518.611         | 647.513           | 5.347.990          | 614.999           | 112         | -5           |
|              | 60-64        | 1.506.360         | 484.706           | 4.350.134          | 624.897           | 189         | 29           |
|              | 65-69        | 771.620           | 316.845           | 3.101.663          | 549.798           | 302         | 74           |
| Mulher       | 70+          | 642.091           | 365.279           | 3.214.397          | 804.241           | 401         | 120          |
|              | 15-19        | 2.761.000         | 650.842           | 2.379.797          | 334.070           | -14         | -49          |
|              | 20-24        | 5.070.552         | 786.719           | 5.060.864          | 395.651           | 0           | -50          |
|              | 25-29        | 5.561.775         | 815.929           | 5.705.082          | 394.466           | 3           | -52          |
|              | 30-34        | 5.318.506         | 782.728           | 6.074.293          | 405.520           | 14          | -48          |
|              | 35-39        | 4.882.610         | 732.929           | 6.411.173          | 432.891           | 31          | -41          |
|              | 40-44        | 4.425.434         | 695.996           | 6.703.840          | 462.228           | 51          | -34          |
|              | 45-49        | 3.718.675         | 628.471           | 6.751.236          | 475.536           | 82          | -24          |
|              | 50-54        | 2.777.034         | 532.593           | 6.298.255          | 472.346           | 127         | -11          |
|              | 55-59        | 1.808.890         | 424.606           | 5.321.481          | 445.091           | 194         | 5            |
|              | 60-64        | 954.068           | 298.397           | 4.396.801          | 439.934           | 361         | 47           |
|              | 65-69        | 465.787           | 192.026           | 3.250.368          | 384.108           | 598         | 100          |
|              | 70+          | 428.003           | 214.987           | 3.800.226          | 582.631           | 788         | 171          |
| <b>Total</b> |              | <b>86.842.901</b> | <b>17.215.666</b> | <b>125.496.797</b> | <b>12.289.421</b> | <b>44,5</b> | <b>-28,6</b> |

Fonte: CEPAL (2015).  
 Elaboração dos autores.

O número de jovens entre 15 e 24 anos de ambos os sexos da PEA urbana em 2050 será menor do que em 2010, enquanto os indivíduos acima de 65 anos de ambos os sexos terão crescimento superior a 300% no mesmo período. Esse percentual está associado não apenas ao aumento na expectativa de vida, mas à saída mais tardia do mercado de trabalho.

Para entender a conexão entre mercado de trabalho e previdência, não basta entender a dinâmica da PEA, é preciso olhar para a sua composição, formada pela parcela empregada (formais e informais) e desempregada, pois o grau de proteção

previdenciária dos trabalhadores informais (conta-própria, empregados sem carteira) é bastante inferior ao dos trabalhadores formais (com carteira assinada).

A informalidade é um componente fundamental nas projeções relacionadas ao sistema previdenciário. Contudo, existem, pelo menos, dois problemas em prever o seu comportamento. Primeiro, ela é bastante influenciada pela conjuntura econômica. Segundo, ela é uma categoria conceitual que reúne dois grupos com comportamentos bastante distintos, os conta-própria e os empregados sem carteira.

Alguns estudos adotam a hipótese de uma relação inversa entre PIB e grau de informalidade (Schwarzer, Pereira e Paiva, 2009). Outros utilizam modelos econométricos para obter coeficientes comportamentais e, a partir deles, projetar cenários exógenos para as taxas de informalidade (Lima, 2011).

Tanto a informalidade quanto o desemprego são variáveis de ajuste de impacto dos recorrentes choques negativos que a economia recebe. Este estudo dispõe de duas alternativas para lidar com essas variáveis. Devido à ausência de uma teoria comportamental consolidada, optou-se por não endogeneizar a taxa de informalidade no modelo. Com isso, assume-se a hipótese de que a taxa de formalização do mercado de trabalho é fixa em relação ao ano-base.

No caso do desemprego, optou-se por torná-lo endógeno, devido à existência das teorias novo-keynesianas consolidadas de barganha salarial e de salário eficiência. Essas teorias assumem que, quanto menor for a taxa de desemprego, maior será o poder de barganha do trabalhador sobre seus salários (Shapiro e Stiglitz, 1984).

A relação negativa entre desemprego e salário é dada por uma equação chamada de curva de salário (Blanchflower e Oswald, 1994). Além da sua relevância na teoria econômica, sua inclusão no modelo permite superar a adoção de hipóteses simplificadoras, como total rigidez ou perfeita flexibilidade dos salários.

### **3 REVISÃO SOBRE MODELAGEM EGC**

Economistas de diversos países utilizam modelos macroeconômicos de equilíbrio geral computável para elucidar questões de política comercial, tributação, meio ambiente, mercado de trabalho, imigração, distribuição de renda, tecnologia e estabilização macroeconômica (Dixon e Rimmer, 2016).

Os modelos EGC são capazes de descrever simultaneamente os mercados mais importantes de uma economia. Conforme Fochezatto (2005), eles podem ser agrupados em cinco abordagens distintas, das quais existem três principais: i) Johansen; ii) Banco Mundial (BM); e iii) Harberger, Scarf, Shoven e Whalley (HSSW).

A abordagem baseada em Johansen é neoclássica do ponto de vista do comportamento dos agentes e adota procedimentos de linearização do sistema de

equações que descreve o funcionamento da economia. Os modelos da tradição BM, iniciada com Adelman e Robinson (1978), também são moldados por um arcabouço neoclássico, mas incorporam especificações alternativas para lidar com aspectos estruturais de países em desenvolvimento. Já a abordagem HSSW faz parte de uma tradição mais fiel à teoria walrasiana, baseada em contribuições de Harberger, Scarf, Shoven e Whalley.

A literatura hegemônica é formada por modelos que reúnem características das vertentes norte-americana (HSSW), australiana (Johansen) e Banco Mundial.

QUADRO 2  
Principais vertentes de modelos EGC

| Australiana                                        | Banco Mundial                                               | Norte-americana                                 |
|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Equações em variação percentual                    | Equações em nível                                           | Equações em nível                               |
| Abordagem de Johansen                              | Abordagem de Adelman e Robinson                             | Abordagem de Harberger, Scarf, Shoven e Whalley |
| Bancos de dados detalhados (matriz insumo-produto) | Bancos de dados detalhados (matriz de contabilidade social) | Bancos de dados menos detalhados                |
| Análise de políticas                               | Análise de políticas                                        | Sustentação de pontos teóricos                  |
| Ampla variedade de fechamentos                     | Ampla variedade de fechamentos                              | Um fechamento principal                         |

Elaboração dos autores.

Este estudo dialoga, em termos metodológicos, com os estudos das vertentes australiana e do Banco Mundial (A/BM). A principal vantagem dessas abordagens é sua flexibilidade em lidar com mudanças em parâmetros, sejam eles previdenciários, sejam tributários, e sua capacidade de avaliar os efeitos sistêmicos.

No Brasil, a literatura EGC aplicada em reformas tributárias é mais extensa do que a de reformas previdenciárias: Domingues e Haddad (2003), Lledo (2005), Silva, Tourinho e Alves (2004), Porsse, Haddad e Ribeiro (2008), Fochezatto e Salami (2009), Ferreira Filho, Santos e Lima (2010), Cavalcanti e Silva (2010), Tourinho, Alves e Silva (2010), Cury e Coelho (2010) e Souza, Cardoso e Domingues (2016) avaliam reformas no sistema tributário; já Barreto e Oliveira (2001), Ellery Junior e Bugarin (2003), Ferreira (2004) e Vigna (2006) avaliam reformas no sistema previdenciário.

Na literatura EGC australiana e do Banco Mundial, não se tem conhecimento de sua utilização na análise de simulação de políticas previdenciárias paramétricas conforme a proposta deste estudo. Acredita-se que a razão para essa lacuna, em primeiro lugar, é a dificuldade em descrever o comportamento dos indivíduos e modelá-lo adequadamente ao longo do tempo em um modelo macroeconômico com expectativas estáticas.

Em segundo lugar, por serem modelos de grande porte e demandarem um banco de dados muito detalhado, estão sujeitos às limitações de dados, que, em geral, estão em um nível de desagregação incompatível. Outras dificuldades são a obtenção de estimativas desagregadas dos parâmetros e o processo de calibragem do modelo.

Em resumo, existe uma lacuna na literatura previdenciária nacional. Os poucos estudos disponíveis se restringem aos modelos da vertente de gerações sobrepostas.

### QUADRO 3

#### Estudos EGC tributários e previdenciários no Brasil

| Vertente             | Principais referências             | Reforma tributária                                                                                                                            | Reforma previdenciária                                                                               |
|----------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Australiana          | Dixon e Rimmer (2002)              | Domingues e Haddad (2003);<br>Porsse, Haddad e Ribeiro (2008);<br>Ferreira Filho, Santos e Lima (2010);<br>Souza, Cardoso e Domingues (2016); | -                                                                                                    |
| Banco Mundial        | Devarajan, Lewis e Robinson (1991) | Silva, Tourinho e Alves (2004);<br>Tourinho, Alves e Silva (2010);<br>e Cury e Coelho (2010).                                                 | -                                                                                                    |
| Gerações sobrepostas | Auerbach e Kotlikoff (1987)        | Lledo (2005);<br>Fochezatto e Salami (2009);<br>e Cavalcanti e Silva (2010).                                                                  | Barreto e Oliveira (2001);<br>Ellery Junior e Bugarin (2003);<br>Ferreira (2004);<br>e Vigna (2006). |

Elaboração dos autores.

A literatura internacional de equilíbrio geral aplicada em previdência social, com raras exceções,<sup>15</sup> também se restringe aos modelos de gerações sobrepostas (*overlapping-generations* – OLG), que, em geral, analisam reformas previdenciárias estruturais (privatização) e aspectos distributivos (progressividade).<sup>16</sup> Esses modelos têm um enfoque maior nos microfundamentos e menor nos aspectos macroeconômicos. O manual de política fiscal dinâmica de Auerbach e Kotlikoff (1987) é o referencial básico dos estudos dessa vertente.

Apesar de uma extensa literatura internacional, sua aplicação em análises previdenciárias no Brasil não avançou, pelo menos nos dez anos anteriores ao nosso estudo. Entre os estudos mais recentes, Barreto e Oliveira (2001), Ellery Junior e Bugarin (2003) e Ferreira (2004) analisam aspectos estruturais. Apenas Vigna (2006) analisa reformas paramétricas e os impactos da transição demográfica no equilíbrio do RGPS. A principal conclusão deste estudo é que somente a transição demográfica seria responsável por quase dobrar a alíquota previdenciária necessária para equilibrar o sistema. Contudo, esse resultado é obtido sob a hipótese de que todos os contribuintes e beneficiários são iguais.

15. Na Noruega, o Ministério das Finanças, responsável pela elaboração de políticas, utiliza modelos *multi-sectoral growth* (MSG) em análises de política fiscal e previdenciária (Holmøy, 2016).

16. Ver Fehr (2016).

Essa hipótese impõe uma importante limitação ao estudo porque: i) a transição demográfica altera profundamente a composição da população; e ii) o sistema previdenciário brasileiro é bastante heterogêneo em relação às regras de contribuição e à concessão do benefício de aposentadoria. Esse tipo de limitação é superado por este estudo, pois a oferta de trabalho, os contribuintes e os benefícios do regime previdenciário são desagregados por sexo e faixa etária.

Os modelos OLG e A/BM possuem atributos distintos. A primeira abordagem é mais bem microfundamentada sob a perspectiva dos indivíduos. A segunda é mais detalhada no nível das firmas. Por um lado, os modelos A/BM são baseados em expectativas estáticas, uma limitação superada pela otimização dinâmica dos modelos OLG. Por outro lado, os modelos OLG possuem um banco de dados bastante limitado em comparação aos modelos australiano, que utiliza matrizes insumo-produto, e do Banco Mundial, que utiliza matrizes de contabilidade social.

#### **4 O MODELO EGC DINÂMICO RIALMA**

A ferramenta de análise deste estudo é um modelo de EGC dinâmico, Rialma, baseado na estrutura teórica e computacional dos modelos do International Food Policy Research Institute – IFPRI (Löfgren, 2003), da tradição de estudos desenvolvidos por economistas do Banco Mundial (Adelman e Robinson, 1978; Dervis, Melo e Robinson, 1982; Devarajan, Lewis e Robinson, 1991). O banco de dados é formado por uma matriz de contabilidade social de 2010, adaptada para este estudo, integrada com dados previdenciários do BEPS e do AEPS.

Na versão original, o modelo de Löfgren (2003) é estático e não possui um módulo previdenciário. Por isso, modificamos o modelo, mediante a introdução de duas inovações importantes para tratar a problemática proposta neste estudo. A primeira inovação consistiu na adaptação de um módulo dinâmico para o mercado de trabalho, em que o desemprego e a oferta de trabalho se ajustam endogenamente por meio de uma equação comportamental chamada curva de salário e por meio de mudanças exógenas projetadas para a PEA.

Na segunda inovação, um módulo previdenciário recursivo foi acoplado ao mercado de trabalho. Dessa forma, a evolução da quantidade de contribuintes é uma função direta do nível de emprego. É importante ressaltar que o PIB é determinado endogenamente e a trajetória de longo prazo da economia é dada por uma sucessão de equilíbrios de curto prazo.

Adaptar o modelo à dinâmica da PEA, desagregar o fator trabalho por sexo e faixa etária, introduzir uma curva de salário, desenvolver um módulo previdenciário e estabelecer uma conexão entre todos esses elementos por meio de uma modelagem capaz de lidar com complexos mecanismos de transmissão das reformas previdenciárias são contribuições deste estudo. As duas próximas subseções destinam-se a descrever as estruturas funcional e numérica do modelo.

#### 4.1 Especificação teórica

A estrutura funcional do modelo Rialma é formada por um conjunto de equações organizadas, inicialmente, em quatro blocos de preços, produção, instituições e restrições do sistema, adaptadas do modelo de Löfgren (2003).

O primeiro bloco é formado por seis equações que definem os preços de importação e exportação em moeda doméstica, os preços do produtor e da atividade, o preço composto dos bens e o preço do valor adicionado.

No segundo bloco, a função de produção dos setores de atividade é uma equação do tipo Cobb-Douglas com retornos constantes de escala. O modelo assume que os produtores maximizam o lucro sujeito à função de produção escolhendo o nível ótimo dos fatores trabalho e capital. Para cada atividade, a demanda por insumos intermediários é dada por uma função do tipo Leontief.

A substituição imperfeita entre importações e bens domésticos vendidos internamente é capturada por uma função agregada com elasticidade de substituição constante – *constant elasticity of substitution* (CES). A razão de demanda por importação e bens domésticos é obtida a partir das condições de primeira ordem do processo de minimização de custos.

No terceiro bloco, a renda das famílias<sup>17</sup> é dada pela remuneração dos fatores e pelas transferências recebidas do governo e do exterior. O consumo das famílias depende dos preços e da renda disponível para consumo. O investimento é definido por um vetor de parâmetros fixos e uma variável de ajustamento, que depende do volume de recursos poupados na economia.

As fontes de receita do governo são os impostos de renda, vendas, produção, tarifas de importação e exportação bem como a arrecadação previdenciária. As despesas do governo são formadas pelas transferências de renda para as famílias e pelos gastos com consumo da administração pública, assim como pelas despesas com benefícios previdenciários.

No quarto bloco, a equação de equilíbrio no mercado de fatores é dada pela igualdade entre oferta e demanda de trabalho e capital. De forma análoga, o equilíbrio no mercado de bens é dado pela igualdade entre oferta e demanda.

O balanço de pagamentos é formado pelo saldo da balança comercial, da balança de transações correntes com o exterior e a poupança externa. O balanço da conta capital é dado pelo equilíbrio entre o volume de recursos poupados pelas famílias e pelo governo e a demanda por investimento. Por fim, o numerário do modelo é dado por uma equação de normalização de preços.

---

17. Optou-se por trabalhar com apenas uma família representativa.

Até aqui, essa é uma breve apresentação do modelo-padrão de Löfgren (2003). Todas as equações estão detalhadamente explicadas no manual do International Food Policy Research Institute. De forma complementar, adaptamos ao modelo um módulo dinâmico para o mercado de trabalho, em que o desemprego e a oferta de trabalho se ajustam endogenamente por meio da curva de salário e por meio de mudanças exógenas projetadas para a PEA. Assim, a economia sai do equilíbrio inicial devido a mudanças na trajetória da PEA, enquanto as demais variáveis se ajustam endogenamente, o que permite obter o equilíbrio do sistema de equações ano a ano e, assim, formar os cenários de longo prazo. Além disso, um módulo previdenciário recursivo foi acoplado ao mercado de trabalho.

Dessa forma, o modelo Rialma é dinâmico e possui um módulo previdenciário. As novas equações incorporadas ao modelo são explicadas em detalhe na subseção a seguir, divididas em mais quatro blocos: i) curva de salário; ii) contribuintes; iii) benefícios; e iv) indicadores previdenciários.

#### 4.1.1 Curva de salário

No mercado de trabalho, a taxa de desemprego é uma identidade definida a partir da oferta de trabalho e da PEA.

$$UR_{f,t} = 1 - \left( \frac{QFS_{f,t}}{QPEA_{f,t}} \right) \quad f \in L,^{18} \quad (1)$$

em que  $UR_{f,t}$  é a taxa de desemprego no período  $t$  para categoria  $f$ ;  $QFS_f$ , a quantidade ofertada do fator  $f$ ; e  $QPEA_{f,t}$  é a população economicamente ativa.

A PEA é definida a partir de taxas de crescimento exógenas com base nos cenários projetados por CEPAL (2015).

$$\begin{cases} QPEA_{f,t} = QPEA_{f,t-1} \cdot tpeac_{f,t} & , t > t_0 \\ QPEA_{f,t} = qpea_{f,t_0} & , t = t_0 \end{cases} \quad f \in L, \quad (2)$$

em que  $tpeac_{f,t}$  é a taxa de crescimento da PEA (CELADE) no ano  $t$  para categoria  $f$ ; e  $qpea_{f,t_0}$  é a PEA (PNAD) no ano-base.

A curva de salário é uma equação comportamental que descreve a elasticidade do salário em relação à taxa de desemprego.

$$WF_{f,t} = wcc_f \cdot (UR_{f,t})^{wcef} \quad f \in L, \quad (3)$$

em que  $WF_f$  é o salário do fator  $f$ ;  $wcc_f$ , o coeficiente de intercepto; e  $wcef$ , a elasticidade do salário em relação à taxa de desemprego.

18. A categoria "f", desagregada por sexo e faixa etária, pertence ao conjunto trabalho "L".

Ao incluir essa equação no modelo, não é preciso supor a oferta de trabalho como fixa, porque, mesmo desconhecendo-se a curva de oferta de trabalho, é possível obter a quantidade ofertada, dado que o salário e o desemprego são variáveis endógenas e suas variações resultam em novos equilíbrios observados.<sup>19</sup>

De acordo com os moldes estabelecidos pelo modelo neoclássico estático, a hipótese de *market clearing* garante que a economia se encontre constantemente em equilíbrio, com pleno emprego. Mas, em um modelo dinâmico, como o Rialma, existe a possibilidade de ocorrer desemprego involuntário se a economia estiver, temporariamente, em desequilíbrio. Nesse caso, após um choque econômico, se existir algum grau de rigidez dos salários, eles levam mais tempo para se ajustar, o que permite a possibilidade de ocorrer desemprego involuntário.

#### 4.1.2 Contribuintes

O valor médio das contribuições depende dos salários e da alíquota média de contribuição previdenciária.

$$WCT_{f,t} = \sum_{a \in A} tprev_{fa} \cdot WF_{f,t} \cdot WFDIST_{fa,t} \quad f \in L, \quad (4)$$

em que  $WCT_{f,t}$  é o valor médio das contribuições;  $tprev_{fa}$ , a alíquota média de contribuição previdenciária;  $WF_{f,t}$ , o preço (salário) do fator  $f$ ; e  $WFDIST_{fa,t}$ , um fator de distorção do preço do fator.

O número médio mensal de contribuintes em um determinado ano é obtido multiplicando-se a taxa de cobertura previdenciária sobre a população ocupada.<sup>20</sup>

$$QCT_{f,t} = \sum_{a \in A} QF_{fa,t} \cdot rc_f \quad f \in L, \quad (5)$$

em que  $QCT_{f,t}$  é número médio mensal de contribuintes;  $QF_{fa,t}$ , a quantidade demandada do fator  $f$  pela atividade  $a$ ; e  $rc_f$ , a taxa de cobertura previdenciária por sexo e faixa etária.

#### 4.1.3 Benefícios

O valor médio dos benefícios previdenciários é fixo em termos reais e, assim como todos os preços do modelo, está vinculado automaticamente ao numerário.

$$WAT_{fb,t} = watt_{fb} \quad f \in L, b \in B,^{21} \quad (6)$$

em que  $watt_{fb}$  é o valor médio das aposentadorias  $b$  no ano-base.

19. Cury e Coelho (2010) também fazem uso de uma curva de salário em um arcabouço EGC.

20. A taxa de cobertura previdenciária é assumida como fixa.

21. O conjunto "B" se refere às Als e ATCs.

O número de benefícios ativos de aposentadoria por idade e tempo de contribuição é dado pela soma dos benefícios mantidos e concedidos.

$$QAT_{fb,t} = QAM_{fb,t} + QAC_{fb,t} \quad f \in L, b \in B. \quad (7)$$

O número de benefícios mantidos depende da probabilidade de sobrevivência<sup>22</sup> aplicada sobre os benefícios ativos do ano anterior.

$$\begin{cases} QAM_{fb,t} = QAT_{fb,t-1} \cdot rsc_{f,t-1}, & t > t_0 \\ QAM_{fb,t} = qamm_{fb}, & t = t_0 \end{cases} \quad f \in X, b \in B, \quad (8)$$

em que  $rsc_{f,t-1}$  é a probabilidade de sobrevivência; e  $qamm_{fb}$  é o número de benefícios de aposentadoria  $b$  mantidas no ano-base.

O número de benefícios concedidos é determinado por uma regra de fluxos, em função de um fator de escala aplicado aos benefícios concedidos no ano-base.

$$QAC_{fb,t} = TQCT_{f,t} \cdot qacc_{fb} \quad f \in L, b \in B, \quad (9)$$

em que  $TQCT_{f,t}$  é a razão de entrada em aposentadoria; e  $qacc_{fb}$  é o número de benefícios de aposentadoria concedidas no ano-base.

A razão de entrada em aposentadoria é uma estratégia que simplifica a projeção dos benefícios concedidos. Este estudo assume a hipótese de que, quanto maior for o estoque relativo ao ano anterior do número médio de contribuintes nos últimos quinze, dez e cinco anos, em determinada faixa etária, maior será o fluxo de novos aposentados.

$$\begin{cases} TQCT_{f,t} = 1, & t = t_0 \\ TQCT_{f,t} = \frac{QCTdef5_{f,t} + QCT_{f,t}}{QCTdef5_{f,t-1} + QCT_{f,t-1}}, & t_1 \geq t \geq t_4 \\ TQCT_{f,t} = \frac{QCTdef10_{f,t} + QCTdef5_{f,t} + QCT_{f,t}}{QCTdef10_{f,t-1} + QCTdef5_{f,t-1} + QCT_{f,t-1}}, & t_5 \geq t \geq t_9 \\ TQCT_{f,t} = \frac{QCTdef15_{f,t} + QCTdef10_{f,t} + QCTdef5_{f,t} + QCT_{f,t}}{QCTdef15_{f,t-1} + QCTdef10_{f,t-1} + QCTdef5_{f,t-1} + QCT_{f,t-1}}, & t_{10} \geq t, \end{cases} \quad (10)$$

em que  $QCTdef_{f,t}$  é o número médio mensal de contribuintes da *coorte*  $f$ .

Os dados do AEPS defasados são compatíveis somente a partir de 2004. Como o ano-base é 2010, nos primeiros cinco anos de projeção, utilizam-se as defasagens de cinco anos. De 2015 a 2019, utiliza-se a média de dez e cinco anos. A partir de 2020, utiliza-se a média de quinze, dez e cinco anos.

22. Neste estudo, adota-se a hipótese de que o benefício é cessado de acordo com as taxas de mortalidade.

#### 4.1.4 Indicadores previdenciários

O primeiro indicador previdenciário é a arrecadação líquida do RGPS, que abrange a arrecadação bancária com contribuintes e as demais receitas, descontados os custos operacionais e as transferências a terceiros.

$$AL_t = \sum_{f \in F} QCT_{f,t} \cdot WCT_{f,t} + OUR_t \quad f \in L, \quad (11)$$

em que  $AL_t$  é a arrecadação líquida;  $QCT_{f,t}$  é o número médio mensal de contribuintes;  $WCT_{f,t}$  é o valor médio das contribuições; e  $OUR_t$  são outras receitas líquidas (fixo em relação ao PIB).

O segundo indicador é a despesa com benefícios programáveis do RGPS e demais benefícios.

$$DB_t = \sum_{f \in F} \sum_{b \in B} (QAT_{fb,t} \cdot WAT_{fb,t}) + PG_t \quad f \in L, b \in B, \quad (12)$$

em que  $DB_t$  é a despesa com benefícios de aposentadorias ativas (AI e ATC);  $QAT_{fb,t}$  é o número de benefícios de aposentadorias ativas (AI e ATC);  $WAT_{fb,t}$  é o valor médio das aposentadorias (AI e ATC); e  $PG_t$  são outras despesas e pagamentos de benefícios (fixo em relação ao PIB).

O resultado previdenciário do RGPS é definido como a diferença entre o valor da arrecadação líquida e o valor da despesa com benefícios.

$$RP_t = AL_t - DB_t. \quad (13)$$

#### 4.2 Banco de dados e calibragem

A estrutura numérica do modelo deste estudo é formada por uma matriz de contabilidade social (MCS), ano-base 2010, que representa os fluxos da renda entre os agentes econômicos. Os agentes são representados em blocos: indústrias, produtos, fatores (trabalho e capital), famílias, governo, conta de capital (poupança e investimento) e restante do mundo.

Outros fluxos de renda descrevem os aspectos elencados a seguir.

- 1) Margens de distribuição dos produtos, referentes aos custos de distribuição de comércio e transporte.
- 2) Impostos líquidos de subsídios sobre produção e vendas.
- 3) Receitas com contribuição social do INSS por meio de arrecadação bancária (RGPSREC).

- 4) Outras receitas (PREVFGTS), que incluem contribuições à previdência privada bem como as contribuições sociais imputadas e as contribuições ao Fundo de Garantia do Tempo de Serviço (FGTS).
- 5) Despesas com os benefícios ativos de aposentadoria por idade e por tempo de contribuição (RGPSGAS).

A MCS 2010 é construída a partir das tabelas de recursos e usos (TRUs) do Sistema de Contas Nacionais (SCN), das Contas Econômicas Integradas (CEI), e compatibilizada com dados previdenciários do BEPS e do AEPS, da plataforma Infologo, e dados da PNAD, do Sistema IBGE de Recuperação Automática (Sidra).

O nível de desagregação é de doze setores de atividades referentes às indústrias, doze produtos e 24 categorias para o fator trabalho, escolhidos de modo a permitir a compatibilização dos dados e otimizar a solução computacional do modelo.

As próximas subseções descrevem o processo de construção do banco de dados, segmentado nos seguintes módulos: i) mercado de trabalho; ii) população economicamente ativa; iii) contribuintes; e iv) benefícios.

#### 4.2.1 Mercado de trabalho

O mercado de trabalho é representado por duas medidas básicas: valor das remunerações e quantidade de ocupações, conforme a tabela 3.

**TABELA 3**  
**Valor da remuneração do trabalho e quantidade de ocupações**

| Número       | Setor de atividade                        | Remuneração do trabalho (R\$ 1 bilhão) <sup>1</sup> | Remuneração do trabalho (%) | Trabalho (ocupações) | Trabalho (%) |
|--------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------|--------------|
| 1            | Agropecuária                              | 105,5                                               | 6,6                         | 15.480.934           | 15,8         |
| 2            | Indústria extrativa                       | 14,9                                                | 0,9                         | 266.941              | 0,3          |
| 3            | Indústria de transformação                | 224,5                                               | 14,0                        | 11.604.977           | 11,8         |
| 4            | Eletricidade, gás, água, esgoto e limpeza | 16,7                                                | 1,0                         | 698.961              | 0,7          |
| 5            | Construção civil                          | 110,7                                               | 6,9                         | 7.844.451            | 8,0          |
| 6            | Comércio                                  | 210,9                                               | 13,1                        | 17.811.999           | 18,2         |
| 7            | Transporte, armazenagem e correio         | 78,1                                                | 4,9                         | 4.188.643            | 4,3          |
| 8            | Serviços de informação                    | 43,6                                                | 2,7                         | 1.152.650            | 1,2          |
| 9            | Intermediação financeira e seguros        | 71,9                                                | 4,5                         | 1.081.093            | 1,1          |
| 10           | Serviços imobiliários e aluguel           | 7,0                                                 | 0,4                         | 344.380              | 0,4          |
| 11           | Outros serviços                           | 351,0                                               | 21,8                        | 27.116.694           | 27,6         |
| 12           | Administração, educação e saúde públicas  | 373,2                                               | 23,2                        | 10.524.495           | 10,7         |
| <b>Total</b> |                                           | <b>1.608,2</b>                                      | <b>100,0</b>                | <b>98.116.218</b>    | <b>100,0</b> |

Fonte: SCN. Disponível em: <<https://bit.ly/3hS8POp>>. Acesso em: 30 jan. 2020.

Nota: <sup>1</sup> Inclui salários e rendimento misto bruto.

O conceito de ocupação é equivalente ao de posto de trabalho, dado pelo conjunto de tarefas e obrigações desempenhadas por uma pessoa a uma unidade produtiva. As remunerações são diferenciadas em relação ao tipo de fator: remuneração do capital – o excedente operacional bruto, que inclui juros, aluguel e lucro recebidos pelas empresas – e remuneração do trabalho – que inclui salários e o rendimento misto bruto, dos empregadores e conta-própria.

A estrutura do fator trabalho do SCN não dispõe de desagregação por sexo e faixa etária. Em razão disso, a remuneração e a oferta de trabalho são desagregadas a partir de vetores de participação (*share*) com dados da PNAD para 2010, obtidos pela interpolação das PNADs 2008 e 2011. O ano de 2009 não é utilizado por ser um ano de crise econômica.

A oferta de trabalho e as remunerações são desagregadas de acordo com sexo (homem, mulher) e faixa etária (15-19, 20-24, 25-29, 30-34, 35-39, 40-44, 45-49, 50-54, 55-59, 60-64, 65-69 e 70+). A categoria rural e urbana não é utilizada porque o conceito adotado pela PNAD se refere ao domicílio, enquanto o conceito adotado pelo AEPS, ao tipo de atividade.

O cruzamento das informações do vetor de *share* da PNAD com as informações do vetor de ocupações fornece o total de ocupações por categoria e por setor de atividade. Eles compõem o somatório nas linhas e colunas de uma matriz de emprego com dimensão (24x12). Os dados do interior dessa matriz não são conhecidos e precisam ser estimados. O procedimento-padrão utilizado nesses casos é o método de balanceamento biproporcional de matrizes chamado RAS.<sup>23</sup>

#### 4.2.2 Curva de salário

No mercado de trabalho, existe um mecanismo de transmissão relevante entre a taxa de desemprego e o nível de salários, expresso por uma equação chamada de curva de salário. Essa equação fornece um parâmetro do grau de flexibilidade dos salários ( $wce_f$ ) que é incorporado ao modelo EGC deste estudo, uma vez que existem estimativas econométricas para mais de quarenta países (Blanchflower e Oswald, 2005), incluindo o Brasil (Silva, Monsueto e Porsse, 2015). De acordo com Silva, Monsueto e Porsse (2015), por meio do método GMM Arellano e Bond, o coeficiente de elasticidade para o Brasil é de -0,047, o que indica que, em média, um aumento de 10% na taxa de desemprego é acompanhado de uma redução de 0,47% no salário real.

Para calibrar os parâmetros dessa equação no modelo, é preciso lidar com um problema de identificação, devido à ausência de estimativas com o grau de

---

23. Os detalhes desse procedimento podem ser encontrados em Miller e Blair (1985).

detalhamento necessário. Este estudo adota, na estratégia de identificação, a hipótese descrita a seguir.

- 1) O parâmetro  $wce_f$  é função da taxa de desemprego por categoria, do rendimento médio agregado e de uma constante  $wccbr$  criada para resolver o problema de identificação.
- 2) A constante  $wccbr$  é obtida por meio de uma forma reduzida da curva de salário, com uma taxa de desemprego para o país em 2010 de 6,8%; rendimento médio anual do trabalho de R\$ 16.390,00; e  $wce$  igual a -0,04.

Na prática, essa estratégia de calibragem reflete a hipótese de que, quanto maior for a taxa de desemprego, mais sensíveis tenderão a ser os salários. Isso implica, por exemplo, que jovens de 15 a 19 anos tenham salários mais flexíveis.

#### 4.2.3 População economicamente ativa

A PEA é a variável que estabelece a conexão entre mudanças demográficas e mercado de trabalho no modelo EGC. Este estudo utiliza as projeções da CEPAL, que são anuais e abrangem a população urbana e rural do Brasil, por sexo e faixa etária, até 2050, conforme a tabela 2.

As projeções da CEPAL (2015) assumem um cenário de aumento da participação feminina no mercado de trabalho e uma tendência de sua equalização com a participação masculina. Outra tendência é a maior permanência dos jovens no sistema educacional.<sup>24</sup>

#### 4.2.4 Contribuintes

A estrutura do módulo de contribuintes é formada por três medidas principais: o valor das contribuições, o número médio mensal de contribuintes e a taxa de cobertura previdenciária. A taxa de cobertura previdenciária corresponde à proporção de ocupados que contribuem para o RGPS em relação ao total de ocupados por sexo e faixa etária.

Nos dados previdenciários do AEPS, existem diferentes formas de se contabilizar a arrecadação do RGPS. A mais comum é a arrecadação líquida, que corresponde à soma das receitas com arrecadação bancária e o Simples, além das medidas de recuperação de crédito e as restituições de contribuição, descontadas a taxa de administração sobre outras entidades e as transferências a terceiros.

Neste estudo, o foco da análise é a arrecadação bancária do RGPS. Os demais componentes da arrecadação líquida do INSS não são desagregados na MCS e serão mantidos fixos em relação ao PIB nas projeções de cenários, conforme a tabela 4.

---

24. Os detalhes completos da metodologia estão em CEPAL (2006).

**TABELA 4**  
**Valor da arrecadação líquida do INSS – Brasil (2010)**

| Descrição                                    | Valor (R\$)     | Valor (%) | Em relação ao PIB (%) |
|----------------------------------------------|-----------------|-----------|-----------------------|
| Recebimentos próprios                        | 233.512.579.562 | 110,2     | 7,07                  |
| Arrecadação bancária                         | 212.556.517.555 | 100,3     | 6,44                  |
| Simples                                      | 16.946.139.480  | 8,0       | 0,51                  |
| Outros                                       | 4.009.922.528   | 1,9       | 0,12                  |
| Taxa de administração sobre outras entidades | -432.650.266    | -0,2      | -0,01                 |
| Transferências a terceiros                   | -21.111.550.839 | -10,0     | -0,64                 |
| Arrecadação líquida                          | 211.968.378.457 | 100,0     | 6,42                  |

Fonte: AEPS InfoLogo. Disponível em: <<https://bit.ly/31Jb9dD>>.  
 Elaboração dos autores.

O valor das contribuições para o INSS no SCN pertence à conta de contribuições sociais efetivas, que representa o volume de pagamentos pelo empregador em nome de seus empregados bem como os pagamentos do FGTS.

Fazendo o cruzamento dos dados do SCN com o AEPS, do valor total gasto com contribuições sociais efetivas, retira-se o valor da arrecadação bancária. Por resíduo, sobra um volume financeiro definido como outras receitas, que inclui os pagamentos para a previdência complementar e o FGTS.

Os dados sobre a arrecadação bancária precisam, ainda, ser desagregados por setor de atividade e, em seguida, por sexo e faixa etária, com o auxílio de um vetor de participação do valor da remuneração dos contribuintes, por meio do procedimento iterativo RAS.

#### 4.2.5 Benefícios

O módulo de benefícios é formado por quatro medidas principais: i) valor dos benefícios ativos; ii) quantidade de benefícios ativos; iii) quantidade de benefícios concedidos; e iv) probabilidade de sobrevivência. A probabilidade de sobrevivência é dada pelo número de pessoas que sobrevivem em determinada coorte em relação à mesma coorte no ano anterior, elaborada com base na projeção de população do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

O foco da análise são as AIs e as ATCs. Os demais componentes das despesas do INSS não são desagregados na MCS e mantidos fixos em relação ao PIB nas projeções de cenários, conforme a tabela 5.

**TABELA 5**  
**Valor das despesas do INSS (2010)**

| Despesas                                | Valor (R\$)            | Valor (%)    | Em relação ao PIB (%) |
|-----------------------------------------|------------------------|--------------|-----------------------|
| Benefícios – INSS                       | 246.304.237.535        | 96,6         | 7,46                  |
| Benefícios do RGPS                      | 223.429.749.152        | 87,7         | 6,76                  |
| Aposentadoria por idade                 | 54.802.712.328         | 21,5         | 1,66                  |
| Aposentadoria por tempo de contribuição | 69.450.363.247         | 27,3         | 2,10                  |
| Outros benefícios emitidos              | 99.176.673.577         | 38,9         | 3,00                  |
| Outros pagamentos do INSS               | 22.874.488.383         | 9,0          | 0,69                  |
| Sentenças judiciais – TRF               | 6.576.418.238          | 2,6          | 0,20                  |
| Sentenças judiciais – INSS              | 652.653.303            | 0,3          | 0,02                  |
| Comprev – INSS                          | 1.325.245.309          | 0,5          | 0,04                  |
| <b>Total</b>                            | <b>254.858.554.385</b> | <b>100,0</b> | <b>7,72</b>           |

Fonte: Brasil (2010).

Elaboração dos autores.

Obs.: TRF – Tribunal Regional Federal; e Comprev – Compensação Previdenciária.

Os valores das aposentadorias AI e ATC são desagregados por categoria, por meio de um *share* construído a partir de informações do AEPS, com a posição de dezembro de 2010. Com base no cruzamento de dados do BEPS e AEPS, obtém-se o valor dos benefícios AI e ATC ativos desagregados por categoria.

### 4.3 Fechamento

A estratégia de fechamento em um modelo EGC consiste na escolha de quais as variáveis do modelo serão exógenas (fixadas) e endógenas (flexíveis) para que o modelo seja corretamente identificado na resolução do sistema de equações.

São cinco as hipóteses-padrão de fechamento adotadas: i) no mercado de trabalho, a introdução da curva de salário permite que o salário seja parcialmente flexível e a oferta de trabalho, endógena; ii) no mercado de capital, o rendimento é fixo e a oferta é endógena, com isso o capital é totalmente empregado e específico do setor de atividade; iii) no balanço do governo, a poupança é endógena e os parâmetros fiscais são fixos; iv) no mercado externo, a taxa de câmbio é flexível e a poupança externa é fixa; v) na conta de capital, a parcela poupada da renda disponível das famílias é fixa, enquanto o fator de ajuste do investimento é endógeno.

Nas projeções de cenários, são utilizadas duas estratégias de fechamento alternativas: i) no cenário sem reforma, o *deficit* do RGPS em relação ao PIB é endógeno e os parâmetros técnicos são fixos; e ii) em alguns dos cenários com reforma, o *deficit* é fixado e um parâmetro técnico se ajusta por um fator (choque) exógeno homogêneo.

## 5 RESULTADOS

Nesta seção, são projetados cenários para o resultado previdenciário do RGPS. Inicialmente, projeta-se um cenário de referência sem reforma previdenciária (2010-2040). Em seguida, projetam-se quatro cenários alternativos com simulações de reformas nos parâmetros técnicos para estabilizar o *deficit* do RGPS. Os impactos das reformas são apresentados como desvios em relação ao cenário de referência. Ao final, pretende-se avaliar qual reforma produz o menor custo para a sociedade.

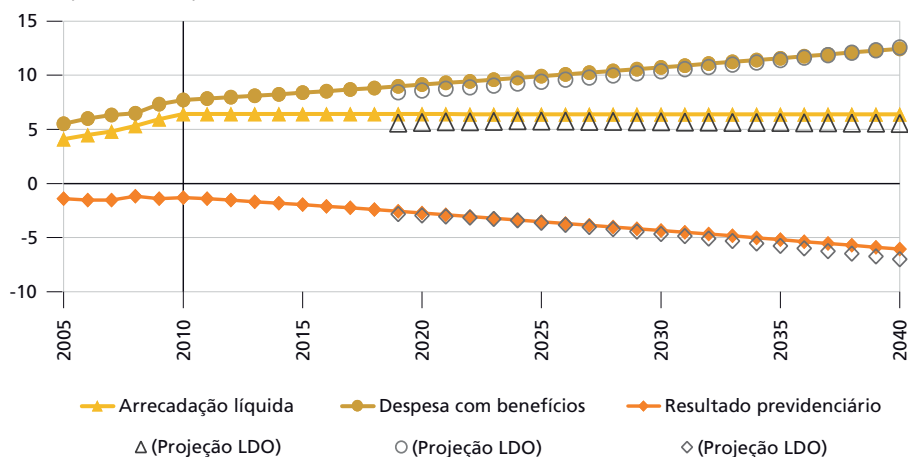
### 5.1 Cenário de referência

Os benefícios de aposentadoria por idade e tempo de contribuição são o foco da análise e representam 48,75% das despesas com benefícios previdenciários do INSS no ano-base 2010. Por simplificação, no cálculo das demais despesas, assume-se a hipótese de que sua proporção no PIB se mantém fixa em relação ao ano-base. Essa hipótese abrange, por exemplo, as pensões por morte, os benefícios acidentários e as sentenças judiciais.

Do lado da receita, o foco é a arrecadação bancária do INSS. Para o cálculo completo da arrecadação líquida, ainda devem ser computadas outras receitas, como o Simples, descontados os custos com a taxa de administração e as transferências a terceiros. Novamente, por simplificação, para as demais receitas, assume-se que sua proporção no PIB se mantém fixa em relação ao ano-base.

Feitas as devidas ressalvas, o modelo Rialma projeta que, em um cenário sem reforma, a despesa com benefícios do RGPS chegaria a 12,4% e a arrecadação líquida, a 6,4% do PIB, em 2040, resultando em um *deficit* de -6,1%, quase cinco vezes superior ao observado em 2010. Esses números são comparáveis com as projeções atuariais da Lei de Diretrizes Orçamentárias (LDO) de 2018, elaboradas pela Secretaria de Previdência do Ministério da Fazenda – SPREV/MF (Brasil, 2017), que estimam uma despesa de 12,5% e arrecadação de 5,5% para o RGPS em 2040, resultando em um *deficit* de -7% do PIB. Os resultados ao longo do período são comparados no gráfico 3.

GRÁFICO 3  
**Resultado previdenciário (2005-2040)**  
 (Em % do PIB)

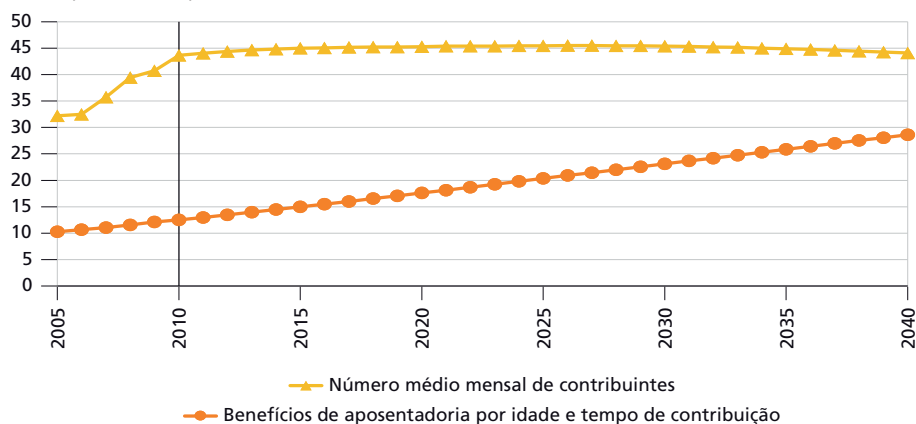


Observa-se que a projeção dos gastos do RGPS do modelo Rialma e da SPREV/MF converge para um mesmo valor, enquanto as receitas caminham paralelamente e próximas entre si. Quanto ao resultado do RGPS, nosso modelo indica um *deficit* ligeiramente inferior nos últimos anos de projeção em comparação ao *deficit* projetado na LDO (2018).

A explicação para a trajetória praticamente constante da arrecadação líquida projetada pelo modelo Rialma se deve ao fato de que o crescimento do número médio de contribuintes é baixo em comparação à escala de crescimento do número de benefícios de aposentadoria por idade e por tempo de contribuição, conforme o gráfico 4.<sup>25</sup>

25. Essa tendência também é observada em um relatório do Banco Mundial (Rudolph, Zvinieni e Olinto, 2017).

**GRÁFICO 4**  
**Quantidade de contribuintes e benefícios ativos (2005-2040)**  
 (Em 1 milhão)



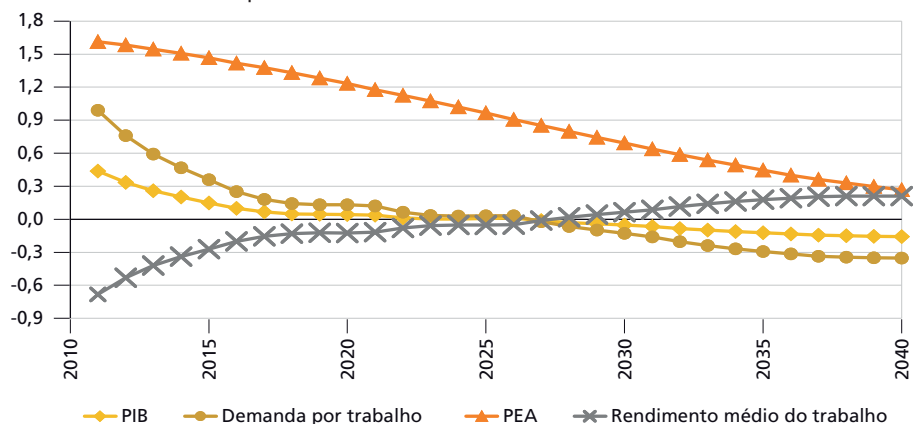
Elaboração dos autores.

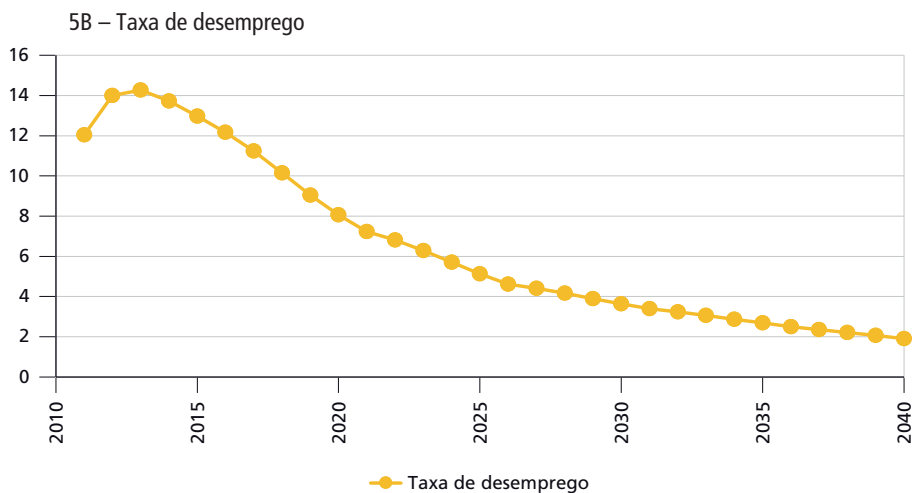
Obs.: Calculado com o modelo Rialma.

O número médio de contribuintes se mantém estável porque depende do crescimento da demanda por trabalho, que é inversamente proporcional aos salários e diretamente proporcional ao PIB. Se a economia cresce próximo de zero, o emprego acompanha essa tendência. Com o emprego crescendo a taxas inferiores às da PEA, a taxa de desemprego aumenta e induz taxas de crescimento do salário negativas ou próximas de zero, conforme os gráficos 5A e 5B.

**GRÁFICO 5**  
**Taxa de crescimento: variáveis macroeconômicas**  
 (Em %)

5A – PIB, demanda por trabalho, PEA e rendimento médio do trabalho





Elaboração dos autores.

Obs.: Calculado com o modelo Rialma.

## 5.2 Cenários alternativos e recomendação de políticas

Uma vez estabelecido o cenário de referência, em que nenhuma reforma é feita, o próximo passo é projetar os cenários alternativos com reformas paramétricas: i) cenário A; ii) cenário B; iii) cenário C; e iv) cenário BC.

Nos cenários A e B, uma meta previdenciária é fixada em -1,3%, percentual que corresponde ao *deficit* do RGPS em relação ao PIB no ano-base 2010. Ao fixar uma variável do modelo, é preciso escolher qual parâmetro técnico irá se ajustar. Esse procedimento altera o equilíbrio do sistema de equações e produz novos cenários.

No primeiro cenário (A), o parâmetro escolhido é  $tprev_{fa}$  – as alíquotas médias de contribuição previdenciária desagregadas por sexo, faixa etária e setor de atividade. Por ser um parâmetro médio desagregado, optou-se por simular um ajuste homogêneo. Dessa forma, os contribuintes serão igualmente afetados pelo reajuste percentual, independentemente do nível da alíquota de cada categoria.

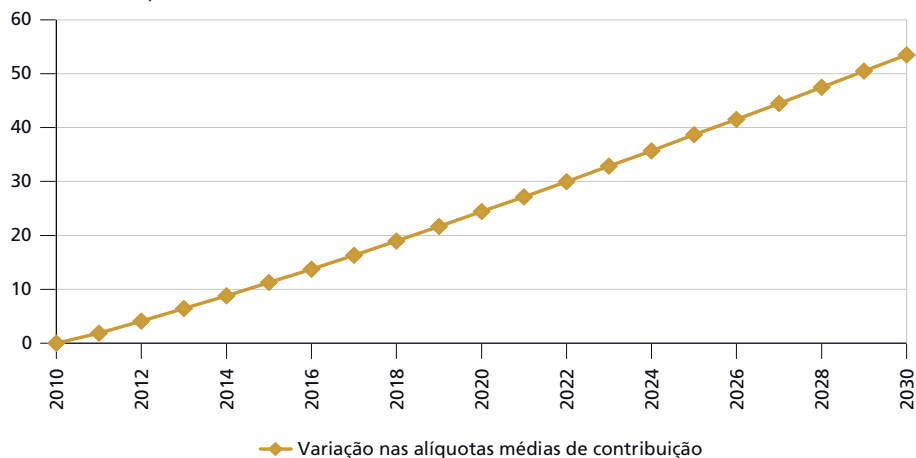
No segundo cenário (B), o parâmetro escolhido é  $watt_{fb}$  – o valor médio das aposentadorias AI e ATC do RGPS no ano-base desagregado por sexo e faixa etária. Novamente, optou-se por simular um ajuste homogêneo, necessário para equilibrar o *deficit*, em ambos os cenários, conforme os gráficos 6A e 6B.

## GRÁFICO 6

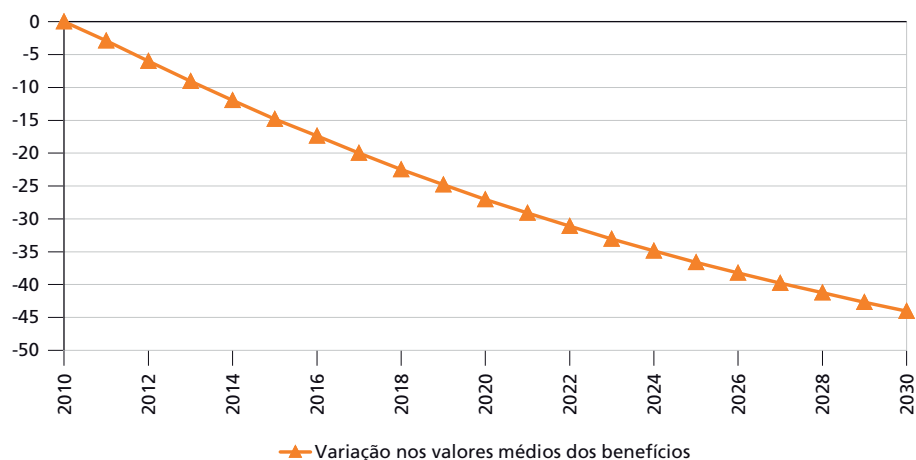
Cenários A e B: meta do *deficit* de -1,3% do PIB (2010-2030)

(Em %)

## 6A – Alíquotas médias variáveis



## 6B – Valor dos benefícios variáveis



Elaboração dos autores.

Obs.: Calculado com o modelo Rialma.

De acordo com o cenário A, para manter estabilizado o *deficit* do RGPS em -1,3%, seria necessária uma elevação das alíquotas médias de contribuição previdenciária de 19% em 2018, 24,4% em 2020, 35,7% em 2025 ou 53,5% em 2030; ou um reajuste, em média, de 2,68% ao ano (a.a.).

De acordo com o cenário B, para estabilizar o *deficit*, seria necessária uma redução dos valores médios dos benefícios de -22,5% em 2018, -27% em 2020, -36,6%

em 2025 ou -44% em 2030; ou um reajuste, em média, de -2,2% a.a. Novamente, o custo da reforma aumenta consideravelmente ao longo do tempo.

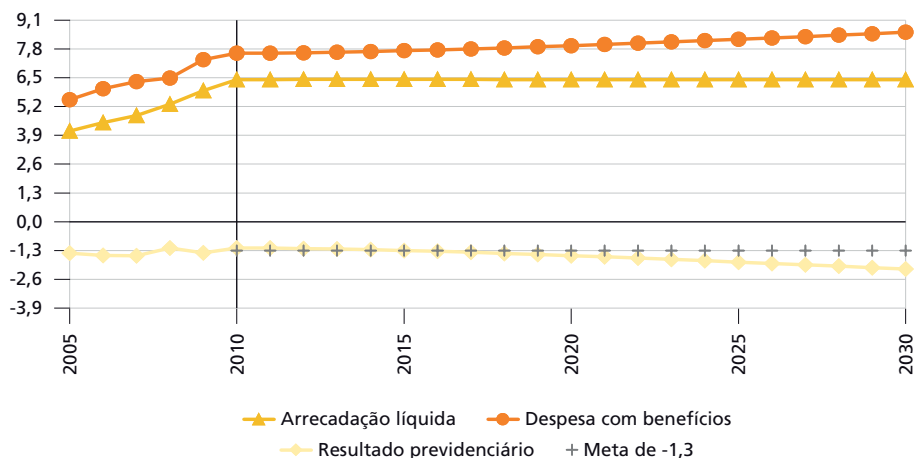
No terceiro cenário (C), em vez de uma meta, é introduzida uma idade mínima de 60 ou 65 anos para mulheres ou homens, por meio de uma restrição sobre o parâmetro  $qacc_{fb}$  – o número de benefícios AI e ATC concedido no ano-base. Essa restrição é inserida em 2010, sem regra de transição.<sup>26</sup>

Ao analisar o resultado previdenciário no cenário C, observa-se que a introdução de uma idade mínima estabiliza a trajetória de crescimento das despesas por um período limitado. A partir de 2016, as despesas voltam a crescer e o *deficit* começa a se distanciar da meta de -1,3% do PIB, conforme observado no gráfico 7.

GRÁFICO 7

**Cenário C: resultado previdenciário do RGPS (2005-2030)**

(Em %)



Elaboração dos autores.

Obs.: Calculado com o modelo Rialma.

Esse resultado indica a necessidade de condições de elegibilidade mais rígidas ou de uma reforma complementar. Outro estudo chega a uma conclusão semelhante. Caetano *et al.* (2016) observam que a adoção da idade mínima de 65 ou 60 anos, com uma regra de transição para homens ou mulheres, melhora, na margem, a trajetória das despesas previdenciárias, de forma que outras reformas seriam necessárias futuramente.

Diante dessa constatação, no quarto cenário (BC), é introduzida uma idade mínima de 60 ou 65 anos, no ano-base 2010, complementada por uma mudança

26. Ressalta-se que essa simulação não é adaptada para captar o ganho de arrecadação gerado devido ao tempo de contribuição adicional dos segurados afetados pela reforma.

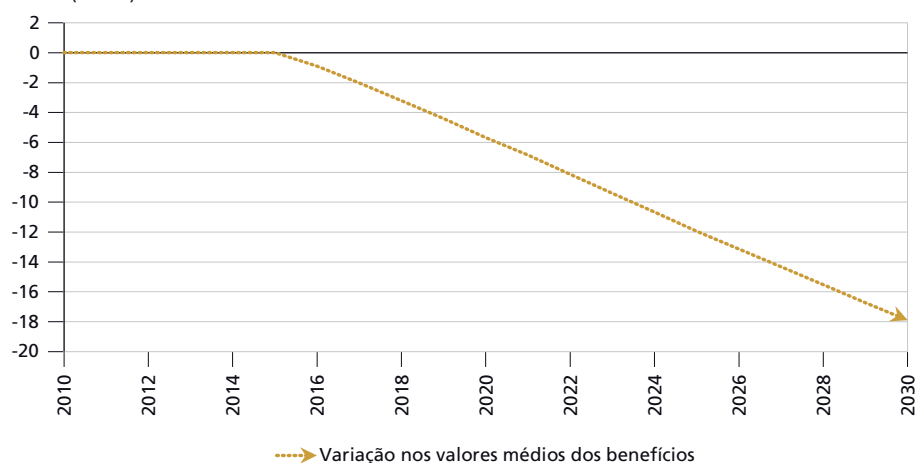
no valor médio dos benefícios, de 2016 em diante, na magnitude necessária para estabilizar o *deficit*, isto é, uma combinação das reformas B e C.

Conforme o gráfico 8, se o *policymaker* optar pela combinação de reformas, para estabilizar o *deficit*, seria necessária uma redução de -3,2% em 2018, -5,7% em 2020, -12% em 2025 ou -17,9% em 2030. Dessa vez, o custo da reforma sobre o estoque de aposentados ativos é menor. Se optar por um ajuste gradual, o ajuste necessário é de -1% a.a.

GRÁFICO 8

Cenário BC: combinação de reformas (2010-2030)

(Em %)



Elaboração dos autores.

Obs.: Calculado com o modelo Rialma.

### 5.3 Qual o custo gerado para a sociedade?

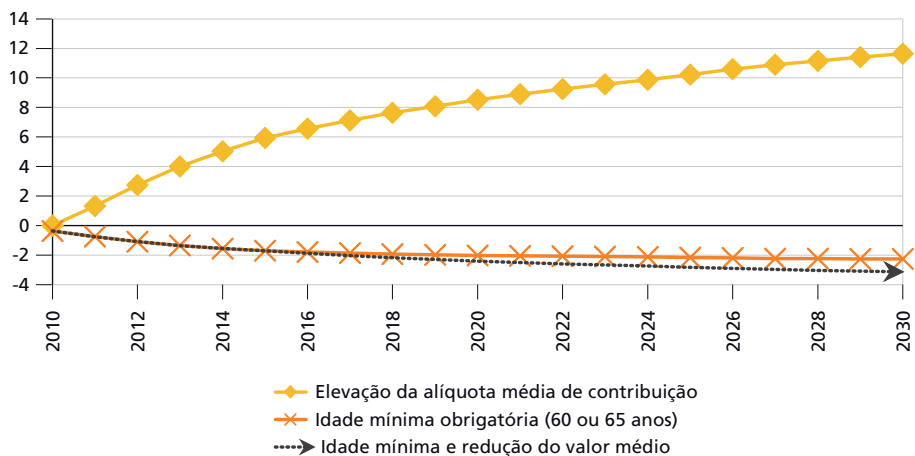
Os resultados apresentados até aqui poderiam ser estimados por modelos de equilíbrio parcial. Entretanto, esses modelos tendem a não incorporar mecanismos de transmissão endógenos de uma economia, pressupondo, usualmente, que a taxa de crescimento do PIB é definida de forma exógena. Assim, tais modelos são limitados para indicar qual escolha de política produz o menor custo para a sociedade.

Neste estudo, o modelo EGC não impõe um cenário de crescimento exógeno para o PIB. Em vez disso, ele considera dois aspectos fundamentais: o PIB é uma variável endógena, influenciada pelo equilíbrio financeiro do RGPS; e uma reforma previdenciária pode produzir impactos positivos e negativos sobre a economia conforme os efeitos do desenho de política sobre os agentes econômicos.

Nesta subseção, são comparados os custos macroeconômicos de três dos quatro cenários de reforma vistos anteriormente: i) a elevação da alíquota de contribuição (cenário A); ii) a introdução de uma idade mínima de 60 ou 65 anos no ano-base 2010 (cenário C); e iii) a complementação da reforma anterior com uma redução do valor médio dos benefícios (cenário BC).

No primeiro cenário, o aumento da alíquota de contribuição produz, por um lado, um aumento de arrecadação do governo, mas, por outro lado, eleva os custos das firmas e reduz a demanda por trabalho; com isso, o desemprego cresce 7,6% a.a. Nos outros cenários, o emprego sofre um impacto menor e positivo, determinado pelo desempenho da demanda agregada, conforme se observa no gráfico 9.

GRÁFICO 9  
Impacto sobre o desemprego (2010-2030)  
(Em %)

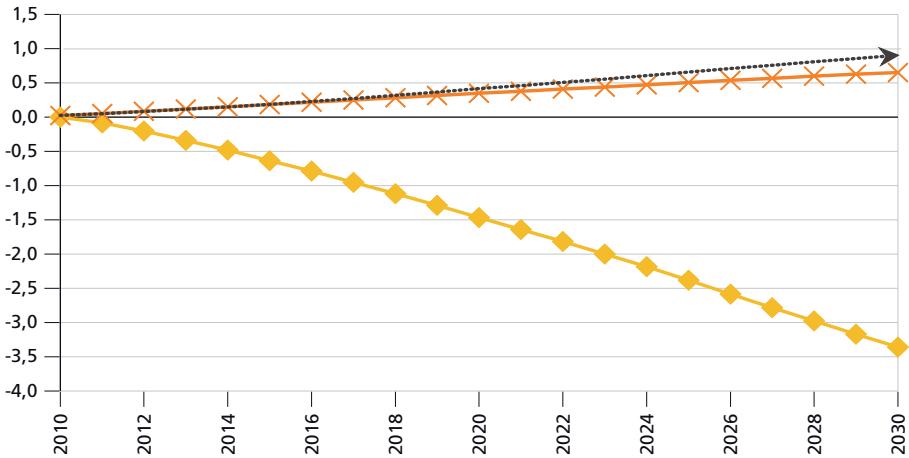


Elaboração dos autores.

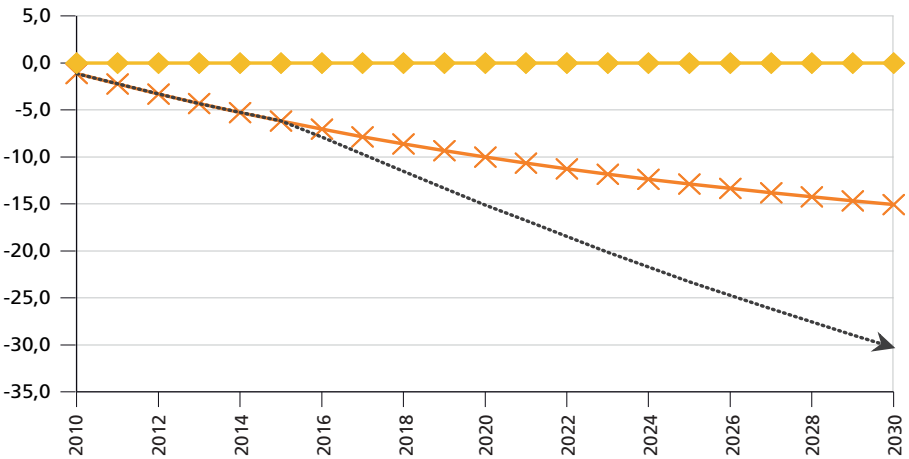
Obs.: Calculado com o modelo Rialma.

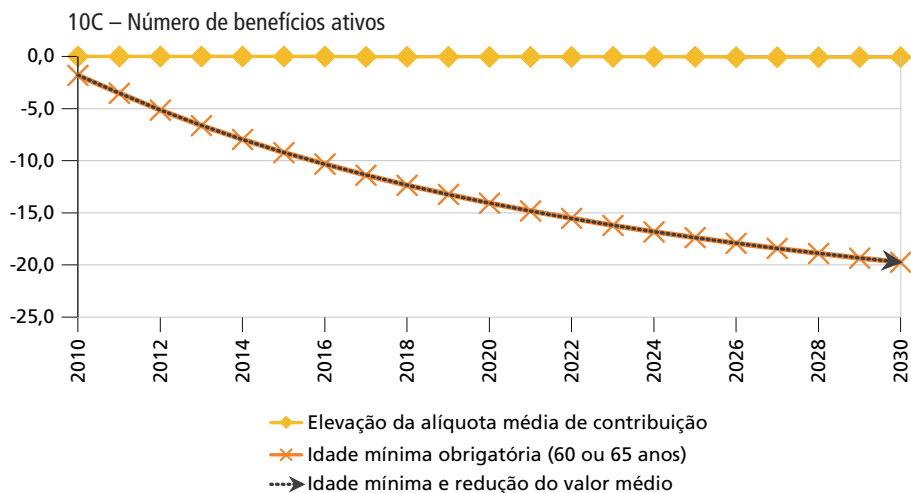
No módulo previdenciário, o aumento da alíquota de contribuição produz o maior impacto sobre o número médio de contribuintes, -1,5% a.a., devido ao aumento do desemprego, enquanto as reformas que introduzem uma idade mínima produzem uma redução expressiva no número de benefícios ativos, -12,9% a.a. A reforma combinada produz o maior impacto sobre o valor médio dos benefícios, -15,1% a.a., conforme o gráfico 10.

GRÁFICO 10  
**Impacto sobre contribuintes e benefícios (2010-2030)**  
(Em %)  
10A – Número médio mensal de contribuintes



10B – Valor médio mensal dos benefícios





Elaboração dos autores.

Obs.: Calculado com o modelo Rialma.

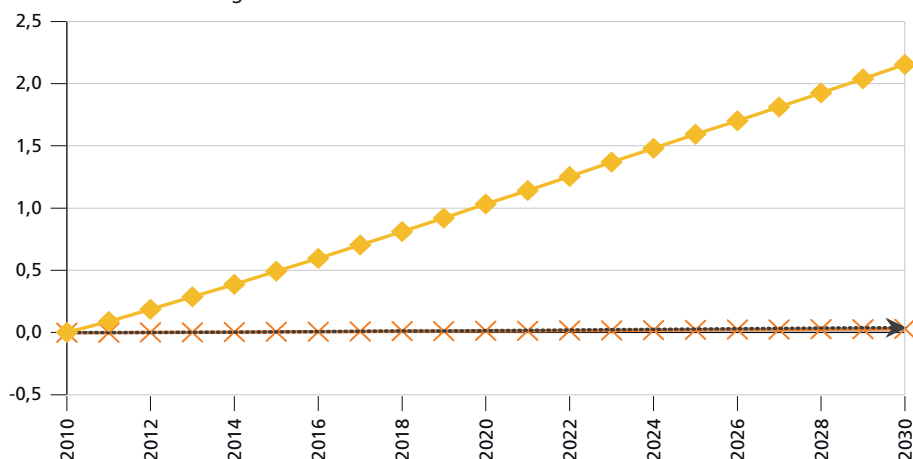
No módulo fiscal, a elevação da alíquota produz um impacto positivo sobre a receita do governo, 1% do PIB a.a., mas, ao impactar os custos e os preços relativos, essa reforma produz um aumento dos gastos em 0,3% do PIB a.a. As outras duas reformas, idade mínima e combinada, reduzem o gasto do governo em -1,1% a.a. e -1,4% a.a., respectivamente, e não têm impacto expressivo sobre a receita, conforme o gráfico 11.

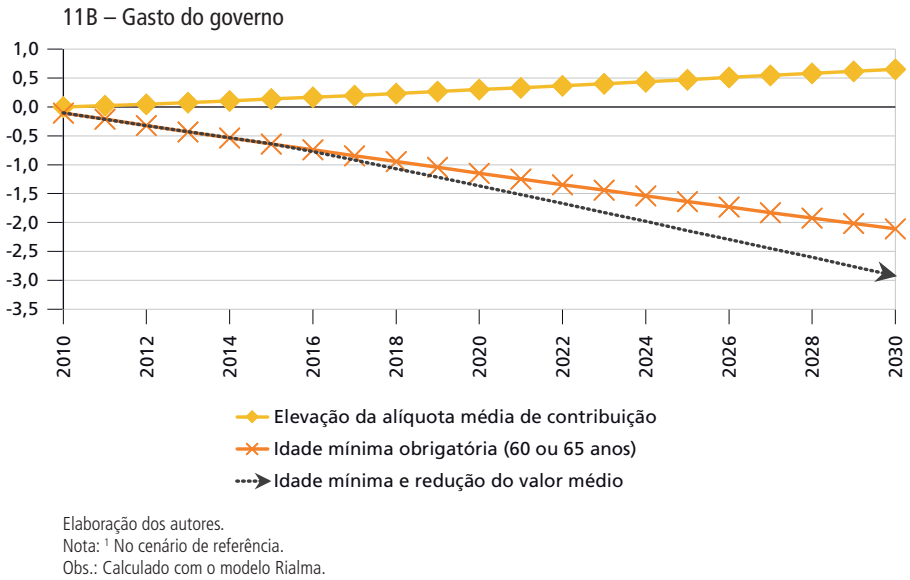
#### GRÁFICO 11

##### Impacto sobre receita e gasto do governo (2010-2030)

(Em % do PIB)<sup>1</sup>

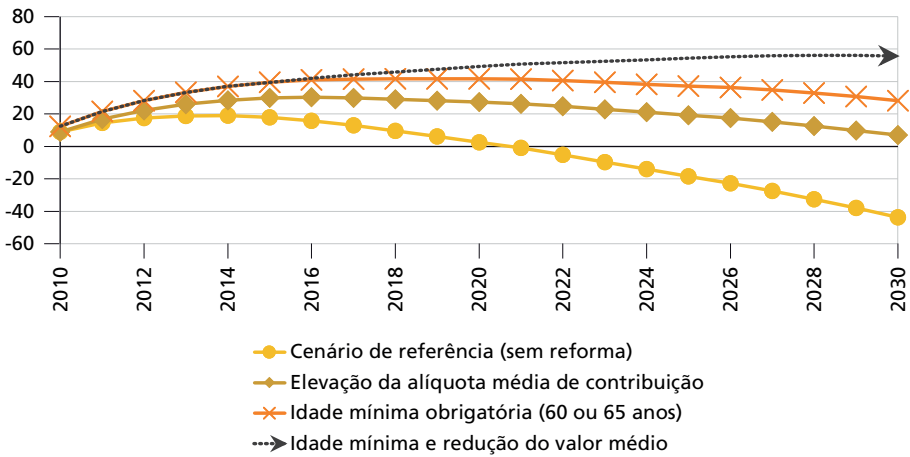
##### 11A – Receita do governo

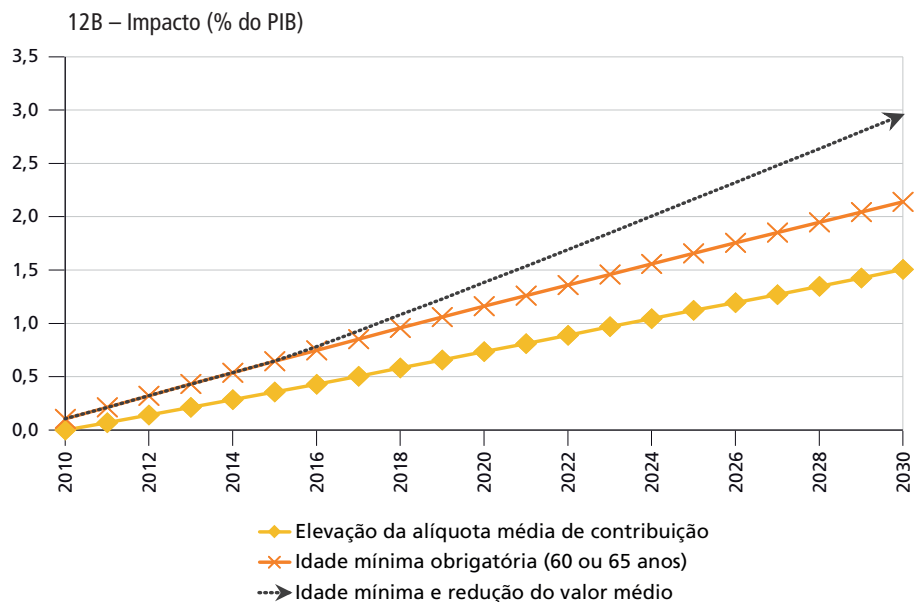




Em resumo, as três políticas produzem uma melhora da poupança bruta do governo, dada pela diferença entre a receita e o gasto do governo central. A que produz o maior impacto positivo sobre a poupança do governo é a combinada, 1,4% do PIB a.a., conforme o gráfico 12.

**GRÁFICO 12**  
**Cenários e impacto: poupança bruta do governo (2010-2030)**  
**12A – Cenários (1 bilhão)<sup>1</sup>**





Elaboração dos autores.

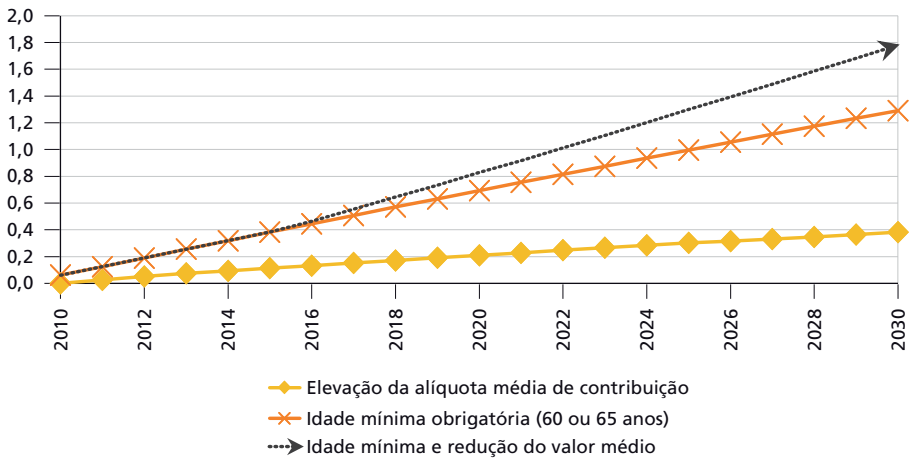
Nota: <sup>1</sup> No cenário de referência.

Obs.: Calculado com o modelo Rialma.

A poupança bruta é uma medida do volume de recursos do governo disponíveis para investimento. A trajetória da poupança bruta, no cenário de referência após 2020, indica um aumento persistente da necessidade de financiamento do governo. No cenário de elevação da alíquota (cenário A), a necessidade de financiamento se dá em meados de 2030. Na introdução de uma idade mínima (cenário C), esse prazo é adiado para um período posterior ao horizonte de análise, mas a tendência de queda persiste.

O único cenário em que a poupança bruta do governo é estabilizada no médio prazo é o da reforma que combina redução do valor dos benefícios com introdução de idade mínima (cenário BC). Em razão disso, essa escolha é a com maior impacto positivo sobre a trajetória do investimento, conforme o gráfico 13.

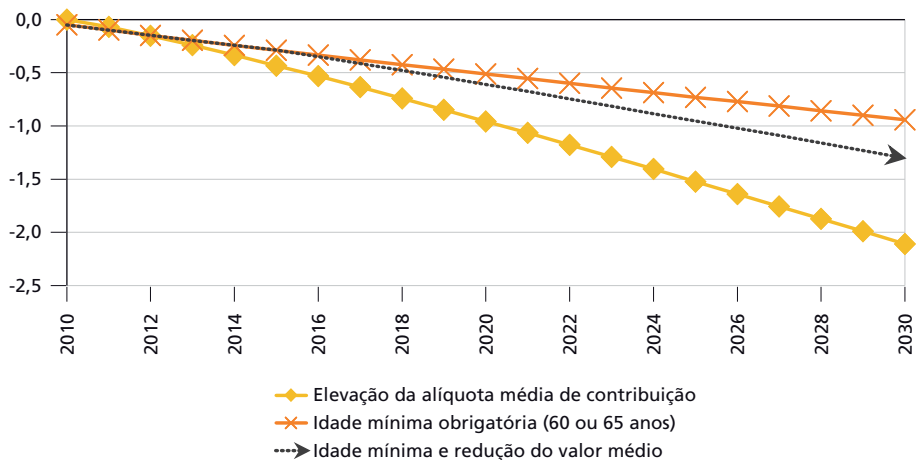
**GRÁFICO 13**  
**Impacto sobre o investimento (2010-2030)**  
(Em % do PIB)<sup>1</sup>



Elaboração dos autores.  
Nota: <sup>1</sup> No cenário de referência.  
Obs.: Calculado com o modelo Rialma.

Apesar de as três reformas acarretarem impacto positivo sobre o investimento, elas também afetam negativamente a renda e o consumo das famílias, seja porque os contribuintes perderão uma parcela de seus rendimentos (cenário A), seja porque a renda dos beneficiários cairá (cenário BC), seja porque a entrada de novos beneficiários é restringida (cenários C e BC), conforme o gráfico 14.

GRAFICO 14  
Impacto sobre o consumo (2010-2030)  
(Em % do PIB)<sup>1</sup>



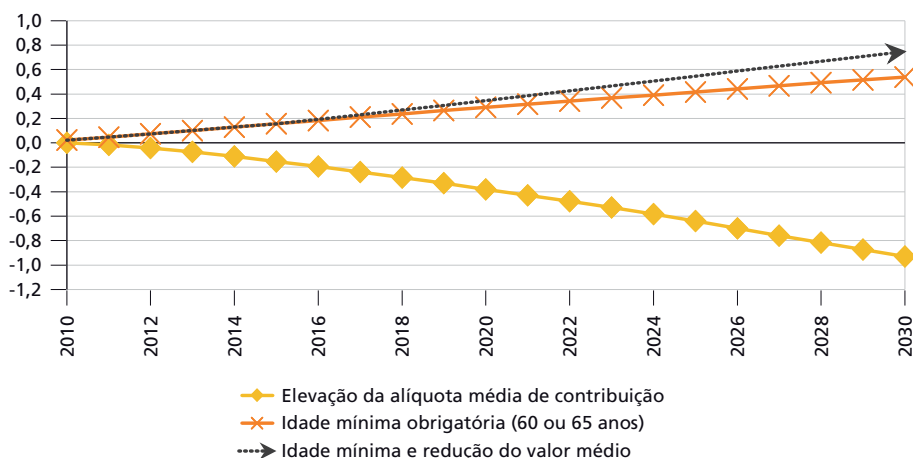
Elaboração dos autores.

Nota: <sup>1</sup> No cenário de referência.

Obs.: Calculado com o modelo Rialma.

Observa-se que a introdução de uma idade mínima produz a menor perda para o consumo das famílias, -0,5% a.a. Contudo, a reforma que proporciona o maior benefício para a sociedade é a redução do valor médio dos benefícios combinada com a idade mínima, 0,36% a.a. do PIB, conforme o gráfico 15. Esse resultado é sustentado pelo aumento do investimento, devido à melhora do resultado fiscal do governo.

**GRÁFICO 15**  
**Impacto sobre o PIB (2010-2030)**  
 (Em % do PIB)<sup>1</sup>



Elaboração dos autores.

Nota: <sup>1</sup> No cenário de referência.

Obs.: Calculado com o modelo Rialma.

Por sua vez, a reforma que resulta em pior desempenho, em termos de PIB, consumo e investimento, é a elevação da alíquota previdenciária. Essa política cria um custo adicional no lado real da economia, assim como o aumento de uma alíquota tributária. Por isso, além de impactar a renda pelo lado da demanda, via poupança e investimento, ela impacta pelo lado da oferta, via custo de produção. Essa é uma diferença fundamental em relação às outras duas reformas.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo se propôs a desenvolver um modelo de equilíbrio geral computável dinâmico, integrado com um módulo previdenciário, com o objetivo de projetar os efeitos da transição demográfica sobre o *deficit* previdenciário e avaliar os efeitos de cenários alternativos de reformas paramétricas no RGPS. A abordagem aqui utilizada permite avaliar os custos e os benefícios associados a políticas de reforma paramétrica, como aqueles presentes na reforma da previdência (EC nº 103/2019), tanto na perspectiva dos impactos sobre os beneficiários e o equilíbrio do regime previdenciário como na perspectiva da sociedade como um todo.

As simulações do cenário referencial, baseado em projeções demográficas, confirmam as expectativas de uma dinâmica crescente do *deficit* previdenciário, agravado pela redução endógena da taxa de crescimento do PIB, na medida em que a abordagem de simulação incorpora mecanismos de transmissão de equilíbrio geral sobre o sistema econômico.

Nossas simulações apontam que, em um cenário sem reforma, as despesas previdenciárias apenas com os benefícios do RGPS chegariam a 12,4% do PIB em 2040. A arrecadação do regime previdenciário (cerca de 6,4% do PIB) seria insuficiente para financiar essas despesas, resultando em um *deficit* de -6,1% do PIB, quase cinco vezes superior ao observado em 2010.

Após estabelecer o cenário de referência para o *deficit* do RGPS em relação ao PIB e tendo como meta sua estabilização em -1,3% (nível observado em 2010), por meio de exercícios de simulação de política econômica, buscou-se quantificar os efeitos de três cenários alternativos de reforma paramétrica.

Na primeira simulação, os resultados mostram que, para manter estabilizado o *deficit* do RGPS em -1,3%, por meio de alterações nas alíquotas de contribuição, seria necessária uma elevação de 19,0% em 2018, 24,4% em 2020, 35,7% em 2025 ou 53,5% em 2030. Nesse cenário, o ajuste necessário na alíquota aumenta em mais de 20% a cada dez anos. Em outras palavras, o custo de estabilização do *deficit* do RGPS cresce substancialmente ao longo do tempo. Vale ressaltar que o aumento de alíquota simulado neste estudo prevê um ajuste homogêneo para todas as classes de renda, diferentemente daquele estabelecido pela EC nº 103/2019, que é progressivo.

Na segunda simulação, observou-se outro resultado importante. A introdução de uma idade mínima de aposentadoria de 60 ou 65 anos, por si só, produz uma redução de gastos insuficiente para estabilizar as despesas do RGPS no médio prazo, reforçando a necessidade de regras complementares, como as instituídas pela EC nº 103/2019, além de condições de elegibilidade mais rígidas no futuro.

Na última simulação, optou-se por adicionar um complemento à idade mínima de 60 ou 65 anos, admitindo uma redução do valor dos benefícios que fosse capaz de estabilizar o *deficit*. Os resultados mostram que, se o *policymaker* optar por essa combinação de reformas, o ajuste gradual necessário sobre o valor dos benefícios passa a ser de -1% a.a., menos da metade em comparação a essa reforma aplicada isoladamente.

Por fim, como o esperado, todas as reformas produzem um impacto positivo sobre o investimento e negativo sobre o consumo das famílias. Diante desse resultado, buscou-se responder à seguinte pergunta: qual medida produz o menor (maior) custo (benefício) para a sociedade?

A reforma que proporciona o maior benefício para a sociedade é a redução do valor médio dos benefícios combinada com uma idade mínima, que produz, em média, um aumento de 0,36% a.a. do PIB em relação ao cenário de referência, enquanto a reforma que produz os maiores custos é o aumento da alíquota de contribuição previdenciária, em média -0,41% a.a. do PIB. Os resultados, portanto, permitem afirmar que uma elevação de alíquotas de contribuição é a pior escolha para a sociedade.

## REFERÊNCIAS

- ADELMAN, I.; ROBINSON, S. **Income distribution policy in developing countries: a case study of Korea**. London: Oxford University Press, 1978. (Report, n. 1021).
- AFONSO, L. E. Progressividade e aspectos distributivos na previdência social: uma análise com o emprego dos microdados dos registros administrativos do RGPS. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro, v. 70, n. 1, p. 3-30, jan.-mar. 2016.
- AFONSO, L. E.; ZYLBERSTAJN, H. Reforma da previdência: uma avaliação dos impactos distributivos da Proposta de Emenda Constitucional nº 287/2016 sobre os benefícios programáveis de aposentadoria do RGPS. **Economia Aplicada**, v. 23, n. 3, p. 5-28, 2019.
- AFONSO, L. E.; ZYLBERSTAJN, H.; SOUZA, A. P. Mudanças na previdência social: uma avaliação dos efeitos das reformas paramétricas no RGPS. **Economia**, Brasília, v. 7, n. 4, p. 37-69, dez. 2006.
- AUERBACH, A. J.; KOTLIKOFF, L. J. (Ed.). **Dynamic fiscal policy**. Cambridge: Cambridge University Press, 1987.
- BARRETO, F.; OLIVEIRA, L. G. Transição para regimes previdenciários de capitalização e seus efeitos macroeconômicos de longo prazo no Brasil. **Estudos Econômicos**, v. 31, n. 1, p. 57-87, jan.-mar. 2001.
- BELTRÃO, K. I.; CAMARANO, A. A.; KANSO, S. **Dinâmica populacional brasileira na virada do século XX**. Rio de Janeiro: Ipea, ago. 2004 (Texto para Discussão, n. 1034).
- BLANCHFLOWER, D.; OSWALD, A. (Ed.). **The wage curve**. Cambridge: MIT Press, 1994.
- \_\_\_\_\_. **The wage curve reloaded**. Cambridge: NBER, May 2005. (Working Paper, n. 11338).
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência Social. **Boletim Estatístico da Previdência Social**. Brasília: MTPS, 2010.
- \_\_\_\_\_. Ministério da Fazenda. **Projeções financeiras e atuariais para o Regime Geral de Previdência Social (RGPS)**. Brasília: MF, abr. 2017.
- CAETANO, M. A.-R.; MIRANDA, R. B. **Comparativo internacional para a previdência social**. Brasília: Ipea, set. 2007. (Textos para Discussão, n. 1302).

CAETANO, M. A.-R. *et al.* **O fim do fator previdenciário e a introdução da idade mínima:** questões para a previdência social no Brasil. Brasília: Ipea, set. 2016. (Texto para Discussão, n. 2230).

CAMARANO, A. A. (Org.). **Novo regime demográfico:** uma nova relação entre população e desenvolvimento? Rio de Janeiro: Ipea, 2014.

CAVALCANTI, M. A. F. D. H.; SILVA, N. L. C. Impactos de políticas de desoneração do setor produtivo: uma avaliação a partir de um modelo de gerações superpostas. **Estudos Econômicos**, v. 40, n. 4, p. 943-966, out.-dez. 2010.

CEPAL – COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía. **Población económicamente activa.** Santiago: CEPAL, 2006. (Observatorio demográfico, n. 2).

\_\_\_\_\_. Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía. **Estimaciones y proyecciones de población a largo plazo 1950-2100.** Santiago: CELAD, 2015.

CURY, S.; COELHO, A. M. From revenue to value added taxes: welfare and fiscal efficiency effects in Brazil. **Revista Brasileira de Economia**, v. 64, n. 4, p. 373-392, out.-dez. 2010.

DERVIS, K.; DE MELO, J.; ROBINSON, S. (Ed.). **General equilibrium models for development policy.** Cambridge: Cambridge University Press, 1982.

DEVARAJAN, S.; LEWIS, J. D.; ROBINSON, S. **From stylised to applied building multisector EGC models for policy analysis.** California: University of California, 1991. (Working Paper, n. 616).

DIXON, P. B.; RIMMER, M. T. (Ed.). **Dynamic general equilibrium modelling for forecasting and policy:** a practical guide and documentation of MONASH. Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 2002.

\_\_\_\_\_. Johansen's legacy to EGC modelling: originator and guiding light for 50 years. **Journal of Policy Modelling**, v. 38, n. 3, p. 421-435, May-Jun. 2016.

DOMINGUES, E. P.; HADDAD, E. A. Política tributária e re-localização. **Revista Brasileira de Economia**, v. 57, n. 4, p. 849-871, out.-dez. 2003.

ELLERY JUNIOR, R. G.; BUGARIN, M. N. S. Previdência social e bem-estar no Brasil. **Revista Brasileira de Economia**, v. 57, n. 1, p. 27-57, jan.-mar. 2003.

FEHR, H. CGE modeling social security reforms. **Journal of Policy Modeling**, v. 38, n. 3, p. 475-494, May-Jun. 2016.

FERREIRA, S. G. Social security reforms under an open economy: the Brazilian case. **Revista Brasileira de Economia**, v. 58, n. 3, p. 343-380, jul.-set. 2004.

FERREIRA FILHO, J. B. D. S.; SANTOS, C. V. D.; LIMA, S. M. D. P. Tax reform, income distribution and poverty in Brazil: an applied general equilibrium analysis. **International Journal of Microsimulation**, v. 3, n. 1, p. 114-117, 2010.

FOCHEZATTO, A. Modelos de equilíbrio geral aplicados na análise de políticas fiscais: uma revisão de literatura. **Análise (PUCRS)**, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 113-136, 2005.

FOCHEZATTO, A.; SALAMI, C. R. Avaliando os impactos de políticas tributárias sobre a economia brasileira com base em um modelo de equilíbrio geral de gerações superpostas. **Revista Brasileira de Economia**, v. 63, n. 3, p. 299-314, jul.-set. 2009.

GIAMBIAGI, F.; AFONSO L. Cálculo da alíquota de contribuição previdenciária atuarialmente equilibrada: uma aplicação ao caso brasileiro. **Revista Brasileira de Economia**, v. 63, n. 2, p. 153-179, abr.-jun. 2009.

GIAMBIAGI, F. *et al.* Diagnóstico da previdência social no Brasil: o que foi feito e o que falta reformar? **Pesquisa e Planejamento Econômico**, Rio de Janeiro, v. 34, n. 3, p. 365-418, dez. 2004.

GIAMBIAGI, F. *et al.* **Impacto de reformas paramétricas na previdência social brasileira**: simulações alternativas. Rio de Janeiro: Ipea, jul. 2007. (Texto para Discussão, n. 1289).

HOLMØY, E. The development and use of CGE models in Norway. **Journal of Policy Modeling**, v. 38, n. 4, p. 448-474, May-Jun. 2016.

HOLZMANN, R. **Global pension systems and their reform**: worldwide drivers, trends, and challenges. Washington: World Bank, 2012. (Social Protection and Labor Discussion Paper, n. 1213).

HOLZMANN, R.; HINZ, R. **Old-age income support in the 21st century**. Washington: World Bank, 2005.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Projeção de população do Brasil por sexo e idade 2010-2060**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018.

LEE, R. The demographic transition: three centuries of fundamental change. **The Journal of Economic Perspectives**, v. 17, n. 4, p. 167-190, 2003.

LEE, R.; MASON, A. (Ed.). **Population aging and the generational economy**: a global perspective. Cheltenham: Edward Elgar, 2011.

LIMA, D. V. de; MATIAS-PEREIRA, J. A dinâmica demográfica e a sustentabilidade do regime geral de previdência social brasileiro. **Revista de Administração Pública – RAP**, v. 48, n. 4, p. 847-868, jul.-ago. 2014.

LIMA, D. V. de; VIANA, T. B.; GOMES, M. M. Impacto das recentes reformas previdenciárias nas receitas e despesas do RGPS: sanção da fórmula 85/95 progressiva. *In: USP INTERNATIONAL CONFERENCE IN ACCOUNTING*, 16., São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, 2016.

LIMA, J. R. **Impacto de alterações no mercado de trabalho sobre a relação entre contribuintes e beneficiários do regime geral da previdência social**. 2011. 144 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

LLEDO, V. D. **Tax systems under fiscal adjustment**: a dynamic EGC analysis of the Brazilian tax reform. Washington: IMF, Jul. 2005. (Working Paper, n. 5/142).

LÖFGREN, H. (Ed.). **Exercises in general equilibrium modeling using GAMS**. Washington: International Food Policy Research Institute, 2003. v. 4.

MILLER, R. E.; BLAIR, P. D. (Ed.). **Input-output analysis: foundations and extensions**. New Jersey: Prentice Hall, 1985.

PENAFIERI, A. C.; AFONSO, L. E. O impacto da mudança da regra de cálculo das aposentadorias por tempo de contribuição do INSS: o fator previdenciário é atuarialmente justo? **Economia Aplicada**, v. 17, n. 4, p. 667-694, dez. 2013.

PORSSE, A. A.; HADDAD, E. A.; RIBEIRO, E. P. Competição tributária regional no Brasil: análise com um modelo EGC inter-regional. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, Rio de Janeiro, v. 38, n. 3, p. 351-387, dez. 2008.

RUDOLPH, H. P.; ZVINIENE, A.; OLINTO, P. **Summary note on pension reform in Brazil**: why is it needed and what will be its impact? Washington: World Bank, Apr. 2017. (World Bank Staff Note, n. 114183).

SCHWARZER, H.; PEREIRA, E.; PAIVA, L. **Projeções de longo prazo para o regime geral de previdência social**: o debate no Fórum Nacional de Previdência Social. Rio de Janeiro: Ipea, jun. 2009. (Texto para Discussão, n. 1405).

SHAPIRO, C.; STIGLITZ, J. Equilibrium unemployment as a worker discipline device. **American Economic Review**, v. 74, n. 3, p. 433-444, Jun. 1984.

SILVA, A. S. P.; MONSUETO, S. E.; PORSSE, A. A. Flexibilidade do mercado de trabalho: uma análise comparativa entre segmentos socioeconômicos no Brasil (2002-2009). **Pesquisa e Planejamento Econômico**, Rio de Janeiro, v. 45, n. 1, p. 125-153, abr. 2015.

SILVA, N. L. C. D.; TOURINHO, O. A. F.; ALVES, Y. L. B. **O impacto da reforma tributária na economia brasileira**: uma análise com o modelo EGC. Rio de Janeiro: Ipea, nov. 2004. (Texto para Discussão, n. 1056).

SOUZA, K. B.; CARDOSO, D. F.; DOMINGUES, E. P. Medidas recentes de desoneração tributária no Brasil: uma análise de equilíbrio geral computável. **Revista Brasileira de Economia**, v. 70, n. 1, p. 99-125, jan.-mar. 2016.

TAFNER, P.; BOTELHO, C.; ERBISTI, R. Transição demográfica e o impacto fiscal na previdência brasileira. In: CAMARANO, A. A. (Org.). **Novo regime demográfico: uma nova relação entre população e desenvolvimento?** Rio de Janeiro: Ipea, 2014. p. 539-570.

TCU – TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. **Parecer prévio e síntese do relatório sobre as contas do presidente da República**: resultado previdenciário. Brasília: TCU, 2019.

TOURINHO, O. A. F.; ALVES, Y. L. B.; SILVA, N. L. C. D. Implicações econômicas da reforma tributária: análise com um modelo EGC. **Revista Brasileira de Economia**, v. 64, n. 3, p. 307-340, jul.-set. 2010.

VIGNA, B. Z. A previdência social brasileira após a transição demográfica: simulações de propostas de reforma. In: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 34., 2006, Salvador. **Anais...** Salvador: Anpec, 2006.

Originais submetidos em: ago. 2018.

Última versão recebida em: dez. 2020.

Aprovada em: dez. 2020.



# ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF STATE PUBLIC EXPENDITURE IN EDUCATION AND HEALTH: THE BRAZILIAN CASE AFTER THE FISCAL RESPONSIBILITY LAW<sup>1,2</sup>

Francisco José Silva Tabosa<sup>3</sup>

Pablo Urano de Carvalho Castelar<sup>4</sup>

The aim of this work was to verify the technical efficiency (i.e., if it is possible use the minimum quantity of inputs required to produce the desired output quantity, given the available technology) of the Brazilian states in relation to public expenditure on health and education after the implementation of the Fiscal Responsibility Law (LRF). For this, a parametric model of stochastic frontier estimation of production and the decomposition of the variation of technical efficiency (VTE) and technological variation by means of the Malmquist index for the Brazilian states were used. Input indicators (expenditure on health and education per capita) were obtained from the National Treasury Secretariat of the Ministry of Finance (Secretaria do Tesouro Nacional/Ministério da Fazenda). Data for output and outcomes in the health area were obtained from Datasus. The data for output and outcomes in the education area were obtained from Ipeadata. The data period is from 2001 to 2012. The results show that, in relation to education expenditures, there is a positive and statistically significant relationship between spending on education per capita and approval rate in secondary education. Regarding the health area, the results show that health expenditures per capita presented a statistically significant and negative relationship with the infant mortality rate in the respective Brazilian states. In relation to the decomposition of the VTE and technological variation through the Malmquist index, all states, both in education and in health, were below the technical efficiency frontier. It should be noted that most of the analyses already carried out of this kind in Brazil focus on the technical efficiency of only the health sector or the education sector separately, while this present work aims to deal with the efficiency of the two sectors.

**Keywords:** efficiency; public expenditure on health and education; Brazilian states.

## ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DOS GASTOS PÚBLICOS ESTADUAIS EM EDUCAÇÃO E SAÚDE: O CASO BRASILEIRO PÓS-LEI DE RESPONSABILIDADE FISCAL

O objetivo deste estudo foi verificar a eficiência técnica dos estados brasileiros em relação aos gastos públicos em saúde e educação após a implementação da Lei de Responsabilidade Fiscal (LRF). Define-se a eficiência técnica como o uso de uma quantidade mínima de insumos necessários para produzir a quantidade de produto desejada, dada a tecnologia disponível. Com o intuito de averiguar a eficiência técnica dos gastos em educação e saúde, utilizou-se o índice de Malmquist, um modelo paramétrico de estimação de fronteira estocástica de produção e a decomposição da variação da eficiência técnica e variação tecnológica. Os indicadores de insumo (gastos em saúde e educação *per capita*) foram obtidos na Secretaria do Tesouro Nacional (STN) do Ministério da Fazenda. Dados de produto e resultados na área da saúde foram obtidos no

---

1. DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/ppe52n1art5>

2. This work was funded by the Institute for Applied Economic Research (Ipea).

3. Professor of the Graduate Program in Rural Economics of the Federal University of Ceará (PPGER/UFC) E-mail: <franzetabosa@ufc.br>.

4. Professor at the finance course of UFC; and researcher at the Economics Graduate Program (Caen/UFC). E-mail: <pcastelar@ufc.br>.

Datasus, e os equivalentes para a área educacional foram obtidos no Ipeadata. O período de dados é de 2001 a 2012. Os resultados mostraram que, em relação aos gastos com educação, existe uma relação positiva e estatisticamente significativa entre os gastos com educação *per capita* e taxa de aprovação no ensino médio. Em relação à área de saúde, os resultados mostraram que os gastos com saúde *per capita* apresentaram uma relação estatisticamente significativa e negativa com a taxa de mortalidade infantil nos respectivos estados brasileiros. Em relação à decomposição da variação da eficiência técnica e variação tecnológica por meio do índice de Malmquist, todos os estados, tanto na educação quanto na saúde, estavam abaixo da fronteira de eficiência técnica. Cabe destacar que a maioria das análises já realizadas no Brasil analisa a eficiência técnica apenas do setor da saúde ou da educação em separado, ao passo que este trabalho propõe lidar com a eficiência dos dois setores.

**Palavras-chave:** eficiência; gastos com saúde e educação; estados brasileiros.

**JEL:** H21; H51; H52.

## 1 INTRODUCTION

Since the promulgation of the Brazilian Constitution in 1998, states had received a greater share of public revenue, as a result of the new tributary competencies which they have assumed and of the receipt of a greater share of global tax revenue. A second moment of great impact on the administration of state finances in Brazil was the implementation of the Fiscal Responsibility Law (LRF) of May 4, 2000, which established limits on personnel expenses on 60% of Net Current Revenue (RCL), and to indebtedness (1.2 times the RCL).

LRF was established to guarantee the stability of the Brazilian economy. Until the mid-1990s, the economic environment could be described as of high inflation, high public deficit and excessive debt. To prevent this, LRF has been shown to be a useful mechanism in the search for fiscal balance.<sup>5</sup> Since then, the idea of responsibility in the administration of public resources has been consolidated in Brazil; governments should not spend beyond what they collect.

In this context, the Brazilian states had to adapt their administrations to a whole new set of rules, involving state financial and budgetary management, as well as conforming to the accountability process performed by governmental oversight agencies and society. Governors began to set fiscal targets and to submit statements of compliance. Moreover, by providing for the integration of the planning and budgeting stages, the LRF opens space for the integration between the financial execution of public spending.

Thus, the paradigm that “spending more is necessarily better” was replaced by the idea that emphasizes what the output of public spending is in relation to its cost. In the case of Brazilian states, which often have limited tax collection capacity and a

---

5. The work of Giuberti (2005) is recommended for a comprehensive approach to the impact of the LRF.

high dependency on federal transfers, the fulfillment of constitutionally imposed duties depends fundamentally on the appropriate management of their limited resources.

This cost-benefit analysis is particularly essential in investments in education and health, sectors that have considerable importance for the social and economic development of the state, since the main input that modern economies have to grow and develop is the formation of healthy and educated individuals, which in the economic growth literature has been named “human capital” (Schultz, 1960; 1961; Becker, 1962; 1964; Mincer, 1958; 1981). The redefinition of education as investment in human capital, to which the aforementioned authors contributed, and their hypotheses about the relationship between human capital accumulation and aggregate economic growth, formed the basis for arguments that funding for education should be increased, and that the federal government was responsible for providing that increased funding. Therefore, one of the main contributions of this field of research, and an important shift in public policy, is the argument that government has an important role to play in both funding and regulating public education, and that the fundamental purpose of education is to increase future productivity and earnings capacity.<sup>6</sup>

The same argument could be made for health, stemming from Arrow’s (1963) seminal work, which introduced the idea of there being conceptual differences between health and others goods in the economy, the fact that an important economic agent in health, the physician, who makes purchasing decisions, is frequently insulated from prices, and the fact that uncertainty plays an important part. Government intervention, again, comes forth as a crucial aspect in understanding the impact of health in economic development and growth.

In this sense, Grossman (1972) introduced a production function for health, where the author structured a demand model for a specific product, defined as “good health”, in which health problems (mortality and morbidity rates) influence the quantity and productivity of labor. Thus, the Grossman (1972) model allows us to understand that time, the individuals’ income, education, age, among others, influence the production of investments and demand for medical goods and services.

This work, thus, aims to analyze a modern approach to the problem of measuring the quality of state public education and health spending after the implementation of the LRF in Brazil. As a conceptual framework, we use the concept of frontier of efficiency (Coelli et al., 1998; Stead, Wheat and Greene, 2019; Souza et al., 2010) which considers the ability of managers to transform inputs into outputs and results. Our work considered the public policies performed by Brazilian states related to education and health, for which input, output and

---

6. For an extensive review of the main contributing authors for the theory of human capital, see Holden and Biddle (2016).

outcome indicators were selected. The data was collected from the year 2001 (first year after the implementation of the LRF) until 2012.

In this way, this work sought to answer the question of which Brazilian states have the best quality of expenditure, considering three different flows of the policy: i) states that are more efficient in transforming inputs (here understood as financial resources) into outputs (goods and services made available to the population); ii) more efficient states in transforming inputs (financial resources) into results (more education and health services); and iii) states which are more efficient in transforming outputs (goods and services made available to the population) into results.

In sum, the objective of this work is to verify the technical efficiency of the Brazilian states in relation to public spending on health and education after the implementation of the LRF. It should be noted that most of the analyses already carried out in Brazil focus on the technical efficiency of only the health sector or the education sector separately.

In formal terms, we estimate the total factor productivity (TFP) and its decomposition in terms of the variation of technical efficiency (VTE) and technological variation using the Malmquist index for Brazilian states, in its aggregate form, using the parametric model of stochastic estimation of the frontier of production. Two basic assumptions were made about the characterization of the production function: the Cobb-Douglas production function and the translog production function. Lastly, we compare, for both education and health, the efficiency scores between Brazilian states.

This work is divided into five sections beyond this introduction. Section 2 presents a literature review. Section 3 presents the methodology used. Section 4 presents the results obtained with the estimates. Lastly, the concluding remarks.

## 2 LITERATURE REVIEW

### 2.1 Productivity and efficiency

The production models used most often consider a technology that produces a single product, which is commonly described by a production function,  $f(x)$ . However, the properties of the production set validated by economic theory apply directly to the production function.

In view of the above, it is then possible to define the production function or production frontier,  $f(x)$ , as that which describes the technical relationship between the inputs and the outputs of a production process, defining the maximum output attainable from of a given input vector, that is:

$$f(x) = y \in R: y \text{ is the maximum output associated with } -x \text{ in } y\}. \quad (1)$$

Considering the diverse types of production functions, the Cobb-Douglas and the translogarithmic functions can be listed as two of the main ones. The first is a type of function widely used in microeconomic analysis, and can be described as follows:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) = a_0 x_1^{b_1} x_2^{b_2} \dots x_n^{b_n}. \quad (2)$$

The Cobb-Douglas function is easy to estimate and manipulate mathematically, but it is restrictive in relation to the properties imposed on the production structure (the value of the returns to scale and the elasticity of substitution is equal to the unit). Formulation of the Cobb-Douglas function is often not satisfactory to represent certain production processes. In such cases, it is common to adopt a more flexible formulation, adjusting to a function of the translogarithmic type (or translog), namely:

$$\ln y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i \ln x_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n b_{ij} \ln x_i \ln x_j. \quad (3)$$

The translog function does not impose restrictions on the production structure, but it is more difficult to manipulate mathematically, as it reduces the degrees of freedom and presents problems of multicollinearity.

Works on productivity and efficiency in economics began with the work of Farrel (1957), who focused on measuring efficiency according to the use of inputs. One can, thus, examine the sources of productivity growth over time and the differences in productivity between countries and regions.

Productivity growth can be defined as the net change in output due to changes in efficiency and technological changes, where the former is the variation of the output observed in relation to its frontier, and the latter represents the displacement of the frontier of production (Tupy and Yamaguchi, 1998). Rivera and Constantin (2007), stated that not all producers are technically efficient, that is, not all producers are able to use the minimum quantity of inputs required to produce the desired output quantity, given the available technology. In general, research scholars use index numbers to analyze productivity growth without distinguishing the factors that caused the changes, that is, if this increase occurred only due to the increase in the use of inputs, or if there were variations in technical efficiency or technological variations (Carvalho, 2003).

Both efficiency and productivity are indicators of success, performance measures, through which productive units are evaluated. This performance, in turn, is a function of two factors: the state of the technology and the degree of efficiency of its use. The technology defines the frontier relationship between inputs and outputs, while the efficiency incorporates waste and misallocation of resources related to this frontier (Carvalho, 2003).

Farrel (1957) states that the study of efficiency and productivity has become important because this is the main step in a process that can lead to substantial savings in resources, which is of great importance for companies in competitive environments. Thus, the relationship between the quantity produced and the quantity used of inputs can be used as a measure of the firm's performance. The highest values of this ratio are associated with the best performances (highest productivity).

Farrel (1957) argues that, in the traditional approach, the measure of productivity assumes that the production obtained results from the best practice or is the frontier production (maximum production possible, given the quantities of inputs used). This assumption assumes that the production observed throughout the period is technically efficient in the sense of Farrel (1957). On the other hand, in contrast to the traditional approach, the frontier approach to measuring productivity explicitly incorporates inefficiency and computes changes in efficiency (Grosskopf, 1993).

When there is an increase in productivity of the production unit between two periods of time, this increase can be attributed to technological variations, efficiency gains, exploitation of economies of scale or the combination of all these factors. Therefore, variations in technical efficiency are understood as changes in the distance of the observed product in relation to its border. Therefore, technological variations involve advances in technology, which can be represented by an upward shift in the production frontier.

## 2.2 Measuring efficiency

Among the most common methods for measuring the efficiency of production units, two of them stand out in most studies on productivity and efficiency. The first is the statistical (or econometric) approach, and the second is the mathematical (deterministic) approach, being the two approaches quite different.

Segunpta (1999) states that the econometric approach, for using a certain functional form for the function (for example, Cobb-Douglas), is parametric, that is, the estimation of the efficiency of the production technology is done through parameters, tested from standards. However, there are some disadvantages to using this approach. The error of bad specification can occur, often caused by the functional form of the production function. Furthermore, the measurement of efficiency in which there are multiple inputs and multiple products is not easily applied in a parametric model. In this sense, the most appropriate approach is the Data Envelopment Analysis (DEA). In the DEA approach, linear programming methods are used to calculate the efficiency boundary. Consequently, this approach avoids misspecification errors.

The disadvantages of the DEA model, according to Geva-May (2001), is that, first, it does not provide estimates or tests of significance of the parameters; second, the envelope boundary can be defined only for small samples. Other factors can influence the results obtained through the DEA approach, such as, for example, the heterogeneity of the production units and the fact that the DEA considers that all deviations to the frontier are treated as inefficiency.

### 2.3 International evidence

A traditional approach to assessing the differences in efficiency of a production units is to use input and output indicators, with their respective prices, and analyze their productivity as the ratio of their weighted outputs and their weighted inputs. The market prices of inputs and outputs are used as weighting factors when available. One of the basic problems of evaluating the efficiency of the public sector is that market prices for its outputs are not available, as in the case of basic education offered by state schools. Another strategy is to first estimate the frontier of production and derive the efficiency scores based on the relative distance of the inefficient observations to the frontier. Then the efficiency scores are explained by regression models.

In addition to parametric techniques to establish the aggregate production function where multiple outputs are weighted, non-parametric techniques have been used to establish the frontier of production. Its virtue lies in the fact that the production frontier can be derived in multiple outputs and multiple inputs without the need to attribute weight to the variables. The efficiency scores can thus be explained by the characteristics of the states in the regression models.

An application of the above strategy was used in De Borger et al. (1994), when studying the technical efficiency of 589 Belgian municipalities with cross-section data for the year 1985. Firstly, the authors used a non-parametric methodology called Free Disposal Hull (FDH), which is an application of linear programming. From that, the frontier of production and the efficiency scores for the municipalities were derived.

Borger and Kerstens (1996) compare results of parametric and non-parametric applications in the efficiency of municipal services, using the same data from municipalities in Belgium. The authors compare two non-parametric methods (FDH and DEA) and three parametric methods (one deterministic and two stochastic). Although the results of the ranking of efficiency scores were different, in all models there is a positive relationship between the average educational level and the size of the municipalities.

Afonso and Scaglioni (2005) evaluated the efficiency of the different regions in Italy concerning the provision of strategic public services such as general administration, water and sewage, energy, transport and solid waste disposal for 2001. It should be noted that the Italian context analyzed in that work resembles the Brazilian scenario post-LRF, as it addresses an instant in time of transition in Italy, moving from a highly interventionist state presence to a modern regulatory environment, focused on transparency. In order to carry out such an analysis, the authors constructed an efficiency index for the provision of public services in the different Italian regions and through the methodology of DEA, and conclude that there is a considerable discrepancy in the level of efficiency of such provision between the localities, and that, on average, some regions could increase their output by 28% using the same resources as the most efficient regions.

In a more comprehensive work, Herrera and Pang (2005) analyze the efficiency of public spending in developing countries using the efficiency frontier approach. The sample consists of 140 countries, with data from 1996 to 2002, and the methodology uses both FDH and DEA to measure efficiency. The results indicate that countries with higher expenditures have lower efficiency levels, as well as countries which have the payroll as being the largest part of the public budget. The authors also find that countries with higher levels of inequality, greater reliance on foreign aid and localities suffering from acquired immunodeficiency syndrome (AIDS) epidemics also tend to be less efficient in public spending.

Afonso and Aubyn (2005) address the issue of efficiency in education and health spending in the context of the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) countries using the non-parametric methodologies of FDH and DEA. Analyzing data for the year 2000, the authors find results that suggest that the efficiency of public sector spending in these two important sectors varies for education in terms of input efficiency between 0.859 and 0.886, depending on the methodology used, and for health, the values vary between 0.832 and 0.946.

Thus, in less efficient countries, there is room for better results using the same level of resources. South Korea, Japan and Sweden were the most efficient countries, regardless of the method used. South Korea is particularly efficient in terms of education, and Japan is the most efficient in terms of both education and health, and it should be noted that when comparing Sweden and Japan, some interesting insights can be pointed out, as to how it is possible be efficient in different ways. For example, Japanese students spend more time in the classroom than the Nordics, and in terms of health, while Japan does not have such a large quantity of doctors, the country does feature an abundance of hospital beds.

**TABLE 1**  
**International literature synthesis**

| Author                        | Indicators                                                                           | Data and period                  | Method                                                                      | Results                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| De Borger et al. (1994)       | Education                                                                            | 589 Belgian municipalities, 1985 | FDH and Tobit models                                                        | Most efficient units are positively related to the size of the municipality and the average educational level among the population. The average income level and the proportion of aid on municipal revenue are negatively related to efficiency.                                                                                        |
| De Borger and Kerstens (1996) | Education                                                                            | 589 Belgian municipalities, 1985 | The authors compare two non-parametric methods and three parametric methods | Positive relationship between the average educational level and the size of the municipalities.                                                                                                                                                                                                                                          |
| Afonso and Scaglioni (2005)   | General administration, water and sewage, energy, transport and solid waste disposal | Different regions of Italy, 2001 | DEA                                                                         | Discrepancy in the level of efficiency of provision of public goods and services between the localities, on average, some regions could increase their output by 28% using the same resources as the most efficient regions.                                                                                                             |
| Herrera and Pang (2005)       | Health and education                                                                 | 140 countries, 1996-2002         | FDH and DEA                                                                 | Countries with higher expenditures have lower efficiency levels, as well as countries which have the payroll as being the largest part of the public budget. Countries with higher levels of inequality, greater reliance on foreign aid and localities suffering from AIDS epidemics also tend to be less efficient in public spending. |
| Afonso and Aubyn (2005)       | Education and health                                                                 | OECD countries, 2000             | FDH and DEA                                                                 | Efficiency of public sector spending in education and health varies for education in terms of input efficiency between 0.859 and 0.886, depending on the methodology used, and for health, the values vary between 0.832 and 0.946.                                                                                                      |

Authors' elaboration.

In this work, the output of municipal public services is measured considering three inputs (number of skilled workers, number of unskilled workers and the physical area of public buildings) and five specific outputs. The latter measures refer to the extension of public roads, number of municipal aid beneficiaries, number of students enrolled in basic education, extension of public recreation equipment and a proxy for services provided to non-residents. In a second stage, when the municipal efficiency scores are explained by Tobit models, it was found that the most efficient units are positively related to the size of the municipality and the average educational level among the population. The average income level and the proportion of aid on municipal revenue are negatively related to efficiency.

## 2.4 Evidence for Brazil

For applications in Brazil, the majority of works aims to measure the efficiency of hospitals or schools, and more recently, the provision of public services by municipalities. In this line of research considering municipal expenditures, Marinho (2001), for example, analyzes outpatient and hospital services in the municipalities of the state of Rio de Janeiro. The author uses non-stochastic efficiency frontiers and, in combination with regression models, and, firstly, observes that in relation to the efficiency scores, there is a great dispersion of results among the municipalities, with the general average being 83%, that is, a medium level of efficiency. Regarding the resources, it can be noted that the greatest imbalances are in the number of hospitals per capita, which is 25.7% above the optimal value, and in ambulatory capacity per capita, which was 24.3% above the optimum, that is, on average the number of units is approximately 25% greater than the optimum. The mismatches observed in the system, according to the author, are mostly related to the excessive number of units, rather than the actual capacity of the outpatient and hospital services network in the state.

Bezerra and Diwan (2001) perform several analyses using DEA models that consider as outputs the indicators that make up the Human Development Index (HDI), with the intention of proposing an alternative and complementary method to this measure of human development. The focus is on indicators of social areas such as education, health and sanitation for the largest Brazilian municipalities in 1996. The authors find interesting results, such as the fact that some low HDI locations have a high level of efficiency, while some municipalities have high expenditures on education and health, but have unsatisfactory levels of efficiency since they produce similar results to municipalities with more modest expenditures.

Faria (2005) analyzes the relationship between social expenditures in municipalities – that is, public spending on education and culture, health and sanitation – and indicators of the living conditions of the population living in them, in the 1990s, using data from the 2000 Census of the municipalities of

Rio de Janeiro, through the application of the DEA technique. The author finds a group of four municipalities that present maximum efficiency in the health and sanitation model, as well as in the model of education and culture. However, a more significant number of municipalities appear to have low levels of efficiency in the provision of these various public services.

The work developed by Brunet et al. (2006) analyzes the efficiency of state public spending in Brazil by budget functions using the FDH Performance Frontier model, as well as using the Hill Function Adjustment Model to study the functions of education and culture, health and public safety for the 26 Brazilian states and the Federal District. When observing the results obtained in each of the budget functions analyzed, the conclusion is that, in general, states with lower levels of input (i.e., lower expenditure per capita) perform better in terms of efficiency and effectiveness of public expenditure. However, lower levels of global expenditure imply a lower supply of outputs or services and fewer results, leading to the lower general welfare of the population (Brunet et al., 2006). More specifically, through the adjustment of the Hill Function, the authors note that the states considered efficient in education and culture are Roraima, Rondônia, Pernambuco and Mato Grosso. Considering efficiency in the provision of health services, the states which stand out are Maranhão, Piauí and Rio de Janeiro, and Paraíba and Federal District are the states that do not appear in the frontier of efficiency.

Faria, Jannuzzi and Silva (2008) developed an analysis of public policies when verifying if the budgetary resources for the 62 municipalities in Rio de Janeiro are well applied, that is, if education and health expenses reflect improvements in the respective indicators. For that purpose, the DEA technique was used to perform an evaluation of the efficiency of social spending, and for that, the available resources were used as inputs and as outputs the results, or rather, the impact of the services provided. Data consisted of social indicators of municipal expenses in the following areas: education and culture; health and sanitation. The authors review several DEA applications to public policies and then present the indicators and models considered for social expenditure efficiency analysis. The Banker, Chernes and Cooper (BCC) output model of DEA was chosen, so as to maximize outputs without decreasing inputs. Indicators of expenditure per capita on education and culture and on health and sanitation were used as inputs of the model in question. The output indicators are the literacy rate of 10-14 year-old children; the ratio of permanent private homes with adequate sanitary disposal; the ratio of permanent private homes with proper sanitation; the inverse of mortality rate by sanitation causes; the ratio of 2-5 year-old children registered at day child-care centers or children schools. The analysis shows that the municipalities of São Gonçalo, Japeri, Queimados, Cantagalo, São João de Meriti, and Resende as being efficient, due to the results these places achieve in terms of either of resource allocation or of medium revenue.

Machado Júnior, Irffi and Benegas (2011) sought to evaluate the technical efficiency of municipal per capita expenditures on education, health and social assistance for the municipalities of Ceará, considering data for 2005. The authors adopt the methodology of DEA. Health data uses the municipal health expenditure, mortality rate, water supply rate, and basic sanitation coverage. For education, the data refers to the number of kindergartens, the rate of schooling and the rate of child literacy. Different models are proposed, focusing on the efficiency of public spending in the three areas, as well as specific models for each sector. In general, when analyzing public expenditures jointly by a model that contemplates the three areas, the results of the model seem to indicate that the municipalities of the state of Ceará have performed satisfactorily. When, however, the models which consider the type of specific expenditure were estimated, the results show low efficiency of public spending per capita.

Lima, Moreira and Souza (2014) evaluated the level of efficiency of public spending in the Brazilian states for the reduction of poverty in the period from 2004 to 2009. For this, a fixed-effect model and a stochastic frontier model were used. Of particular interest, in addition to studying which factors contribute to poverty reduction in the country, the authors seek to evaluate whether, specifically, expenditures on education, health, sanitation, care, security and transportation are used efficiently in the fight against poverty. The empirical results are consistent with most of the literature and point to the fact that the performance level of economic activity is fundamental for decreasing of poverty, that is, higher employment and higher income per capita contribute significantly to the reduction of the rate of poverty in the country. The efficiency analysis shows that spending on transfers to poor families is inefficient in fighting poverty, but retirement spending is efficient. However, expenditures per capita on education and culture, health and sanitation, public security and transportation do not affect efficiency or inefficiency in the process of combating poverty, since they presented statistically zero coefficients. These results, according to the authors, may indicate that there is a poor allocation of resources.

Mazon, Mascarenhas and Dallabrida (2015) sought to evaluate the technical efficiency in the use of the Unified Health System (SUS) resources in seven municipalities in the state of Santa Catarina. The DEA methodology was applied and the Health Technical Efficiency Index (Iets) proposed by Mendes was calculated. The results show that all municipalities presented low Iets and only one municipality showed adequate technical efficiency.

Barbosa and Souza (2015) analyzed, using DEA, the technical efficiency and scale of the Performance Index of the SUS (IDSUS) of the municipalities of the Brazilian Northeast. The results indicate that the Northeastern municipalities with the highest indices referring to the specificities presented, on average, the best scores of technical efficiency and scale of the IDSUS in the municipalities of the Northeast of Brazil.

**TABLE 2**  
**Literature review considering Brazil: synthesis**

| Author                                   | Indicators                                                       | Data and period                                             | Method                                                    | Results                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Marinho (2001)                           | Health                                                           | Rio de Janeiro, 1998                                        | Non-stochastic efficiency frontiers and regression models | Dispersion of results among the municipalities, with the general average being 83.07%, that is, a medium level of efficiency. Imbalances in the number of hospitals per capita, which is 25.7% above the optimal value, and in ambulatory capacity per capita, which was 24.3% above the optimum.                                                                         |
| Bezerra and Diwan (2001)                 | Education, health and sanitation                                 | 98 Brazilian municipalities, 1996                           | DEA                                                       | Low HDI locations have a high level of efficiency, while some municipalities have high expenditures on education and health, but have unsatisfactory levels of efficiency since they produce similar results to municipalities with more modest expenditures.                                                                                                             |
| Faria (2005)                             | Education and culture, health and sanitation                     | Municipalities in the state of Rio de Janeiro, 2000         | DEA                                                       | A group of four municipalities present maximum efficiency in the health and sanitation model, as well as in the model of education and culture. A significant number of municipalities appear to have low levels of efficiency in the provision of these various public services.                                                                                         |
| Brunet et al. (2006)                     | Education and culture, health and public safety                  | Brazilian states, 2002 to 2004                              | FDH and Hill Function Adjustment Model                    | States with lower levels of input (i.e., lower expenditure per capita) perform better in terms of efficiency and effectiveness of public expenditure. Lower levels of global expenditure imply a lower supply of outputs or services and fewer results, leading to the lower general welfare of the population.                                                           |
| Faria, Jannuzzi and Silva (2008)         | Education and health                                             | 62 municipalities in Rio de Janeiro, 1999-2000              | DEA                                                       | Municipalities of São Gonçalo, Japeri, Queimados, Cantagalo, São João de Meriti, and Resende as being efficient, due to the results these places achieve in terms of either of resource allocation or of medium revenue.                                                                                                                                                  |
| Machado Júnior, Irfi and Benegas (2011)  | Education, health and social assistance                          | Municipalities in the state of Ceará, 2005                  | DEA                                                       | The results of the model seem to indicate that the municipalities of the state of Ceará have performed satisfactorily. When, however, the models which consider the type of specific expenditure were estimated, the results show low efficiency of public spending per capita.                                                                                           |
| Lima, Moreira and Souza (2014)           | Education, health, sanitation, care, security and transportation | Brazilian states, 2004 to 2009                              | Stochastic frontier model and fixed effects model         | Spending on transfers to poor families is inefficient in fighting poverty, but retirement spending is efficient. However, expenditures per capita on education and culture, health and sanitation, public security and transportation do not affect efficiency or inefficiency in the process of combating poverty, since they presented statistically zero coefficients. |
| Mazon, Mascarenhas and Dallabrida (2015) | Health                                                           | Seven municipalities in Santa Catarina, 2010                | DEA and lets                                              | The results show that all municipalities presented low lets and only one municipality showed adequate technical efficiency.                                                                                                                                                                                                                                               |
| Barbosa and Souza (2015)                 | Health                                                           | 1790 Municipalities in the Northeast region of Brazil, 2012 | DEA                                                       | The results indicate that the Northeastern municipalities with the highest indices referring to the specificities presented, on average, the best scores of technical efficiency and scale of IDSUS in the municipalities of the Northeast of Brazil.                                                                                                                     |

Authors' elaboration.

Thus, considering all the evidence previously mentioned, one can observe that there are several studies analyzing the efficiency of public spending of health and education, both in the international literature, as well as in works considering Brazil. However, particularly for the case of Brazil, it is rare to find works which consider both health and education in their analyses simultaneously, which is the main goal and contribution of this current work. For that purpose, in the following section the methodology used is presented and explained thoroughly.

### 3 METHODOLOGY

#### 3.1 Data

This work consider the spending from public policies performed by Brazilian states related to education and health, for which input, output and outcome indicators were selected. The data are collected from the year 2001 (first year after the implementation of the LRF) until 2012. Input indicators (expenditure on health and education per capita) were obtained from the STN. Data for output and outcomes in the health area were obtained from Datasus. The data for output and outcomes in the education area were obtained from Ipeadata.<sup>7</sup>

These health indicators are used by the Ministry of Health to visualize the spatial structure of health in the federal units of Brazil, regarding the infrastructure of resources (number of beds, number of doctors, number of nurses), the coverage (coverage rate of the Family Health Program<sup>8</sup> and health expenditure per capita), and results (infant mortality rate).<sup>9</sup>

Specifically, the selected indicators in the health area are: input indicators (health expenditure per capita – *Gastsaud*); output indicators (number of health beds per 1,000 inhabitants – *Leitos*, number of doctors per 1,000 inhabitants – *Med*; number of nurses per 1,000 inhabitants – *Enf*; PSF coverage rate – *Txcob*); outcome indicators (infant mortality rate per thousand live births – *Txmort*).

Table 3 presents the descriptive statistics of the series used in the health area. One can observe that, on average, the states spent R\$ 171.11 per capita on health during the period analyzed. On average, there is also 1 hospital bed per 1,000 inhabitants, 1.75 doctor and 0.87 nurses for every 1,000 inhabitants. The infant mortality rate in the analyzed period was 20.88 for every 1,000 live births. The coverage rate of the PSF was, on average, 53.18% of the population of the states.

7. The choice of input and output variables for spending on education and health was based on the study by Machado Júnior, Irffi and Benegas (2011).

8. Programa Saúde da Família (PSF).

9. For more information, see: <<https://bit.ly/3jzFx7u>>. Accessed on: Dec. 7, 2022.

TABLE 3  
Descriptive statistics of the series in the health area (2001-2012)

| Variables       | Observations | Mean     | Standard deviation | Minimum | Maximum |
|-----------------|--------------|----------|--------------------|---------|---------|
| <i>Gastsaud</i> | 324          | 171.1100 | 124.9308           | 6.01    | 627.37  |
| <i>Leitos</i>   | 324          | 1.0090   | 0.4358             | 0.19    | 2.42    |
| <i>Med</i>      | 324          | 1.7532   | 7.0727             | 0.10    | 128     |
| <i>Enf</i>      | 324          | 0.8769   | 0.5603             | 0.08    | 4.04    |
| <i>Txmort</i>   | 324          | 20.8893  | 6.2827             | 9.39    | 97.36   |
| <i>Txcob</i>    | 324          | 53.1805  | 21.6733            | 3.21    | 36.72   |

Sources: Datasus (available at: <<https://bit.ly/3YQqeaJ>>; accessed on: Dec. 7, 2022); and STN (available at: <<https://bit.ly/3Vqoz8X>>; accessed on: Dec. 7, 2022).

Authors' elaboration.

The education indicators are variables used to analyze and measure the educational level of the states,<sup>10</sup> as well as to verify the existing structure in the state education networks and the results obtained. Thus, these are: input indicators (expenditure with education per capita – *Gastedu*); output indicators (number of teachers per student enrolled in the state education network – *Prof*); number of schools – *Escola*); indicators of outcome (High School approval rate – *Txapro*v).

Table 4 presents the descriptive statistics of the education series. It can be observed that in the analyzed period, the states spent an average of R\$ 332.33 with education. The average number of teachers in the secondary education network was 15,736 professionals. The average number of schools was 631.54. The approval rate in secondary education was 70.89%.

TABLE 4  
Descriptive statistics of the series in the area of education (2001-2012)

| Variables       | Observations | Mean      | Standard deviation | Minimum | Maximum  |
|-----------------|--------------|-----------|--------------------|---------|----------|
| <i>Gastedu</i>  | 324          | 332.3356  | 213.0388           | 65.9068 | 1,324.76 |
| <i>Prof</i>     | 324          | 15,736.77 | 20,857.77          | 263     | 116,549  |
| <i>Escola</i>   | 324          | 631.5401  | 735.2853           | 47      | 3,986    |
| <i>Txapro</i> v | 324          | 70.8987   | 6.9070             | 52.12   | 87.20    |

Sources: Ipeadata (available at: <<https://bit.ly/3WIYfYJ>>; accessed on: Dec. 7, 2022); and STN (available at: <<https://bit.ly/3Vqoz8X>>; accessed on: Dec. 7, 2022).

Authors' elaboration.

### 3.2 Stochastic frontier model

As featured and discussed in Stead, Wheat and Greene (2019), the stochastic frontier model is typically used to estimate best practice 'frontier' functions that explain

10. Available at: <<http://bit.ly/3WFHMTV>>. Accessed on: Dec. 7, 2022.

production or cost and predict firm efficiency relative to these. A key feature of these models, as argued by the authors, is the focus on unobserved disturbance in the econometric model. This entails a deconvolution of the disturbance into a firm inefficiency component, where the quantification of which is the goal of the analysis, and a statistical noise term (Stead, Wheat and Greene, 2019).

The stochastic frontier approach allows for shifts from the frontier to represent both inefficiency and an unavoidable statistical noise, with the aim of being a closer approximation to reality, since observations usually involve random errors.

Coelli et al. (1998) define the production function of a production unit  $i$  in period  $t$  as:

$$y_{it} = \exp(x_{it}\beta + v_{it} - u_{it}). \quad (4)$$

This production function can be rearranged in the following way:

$$y_{it} = \exp(x_{it}\beta + v_{it}) \exp(-u_{it}), \quad (5)$$

or

$$\ln y_{it} = x_{it}\beta + v_{it} - u_{it}, \quad (6)$$

in which:

- $y_{it}$  is the vector of produced quantities (*outputs*);
- $x_{it}$  is the vector of inputs used in production (*inputs*); and
- $\beta$  is the vector of coefficients to be estimated (*parameters*).

The terms  $v_{it}$  and  $u_{it}$  are vectors representing different components of the error term. The first one refers to the random part of the error, with normal distribution, independent and identically distributed, truncated at zero and with constant variance  $\sigma^2$ , ( $v \sim \text{iid } N(0, \sigma^2_v)$ ), while the second term represents technical inefficiency, that is, the part that constitutes a downward deviation from the frontier of production, which can be inferred by the negative sign and by the restriction  $\mu \geq 0$ . They are non-negative random variables with normal distribution truncated at zero, independently distributed (not identically) with mean  $\mu_{it}$  and constant variance  $\sigma^2_u$ , i.e., ( $u \sim \text{NT}(\mu, \sigma^2_u)$ ). The error components are independent of each other and  $x_{it}$  is supposed to be exogenous, so the model can be estimated by the maximum likelihood technique (Araújo, Feitosa and Silva, 2014).

The maximum likelihood function was reparameterized in terms of the parameter  $\gamma = \sigma_u / (\sigma_u + \sigma_v)$  so that the effects of the technical inefficiency of the model can be verified by means of statistical tests. If  $\gamma$  is considered statistically

equal to zero, there is no influence of the technical inefficiency in the model, thus being possible to apply ordinary least squares for the estimation of the parameters. The closer  $\gamma$  is to one, the greater the importance of technical inefficiency in the model.

The main advantage of considering a stochastic frontier analysis is that, unlike other methods, it introduces an error component to represent noise, measurement errors. Moreover, it allows the decomposition of the deviation of an observation into two components: random noise and the effects of technical inefficiency of production (Carvalho, 2003).

Coelli et al. (1998) justify the choice of parametric models by means of some properties, which are:

- the possibility of performing hypothesis tests on the parameters of the explanatory variables;
- the possibility of including control variables to explain technical inefficiency in only one stage; and
- allows the presence of random noise in the environment in which the decision-making unit operates.

For Souza et al. (2010), although the stochastic frontier of production model presents the advantages described in the properties summarized by Coelli et al. (1998), this model requires the imposition of an a priori functional form and the performance of a test of hypotheses concerning the distribution of the term of inefficiency. Also, according to Pal (2004), the question of relation between the noise variable and the inefficiency error can be raised. The random shock leading to higher output could influence management to become more efficient. Nevertheless, it is possible to test if there is any correlation between the two error components.

Nonparametric models, such as the DEA model, do not require such restraints. When assuming constant returns of scale, as is the case of the present work for the reasons explained in the following section that discusses the test for the functional form, the two methodologies, stochastic frontier of production and DEA, provide the same result,<sup>11</sup> so this work will focus on using the first methodology only. The main objective of the model is the estimation of a production function in terms of its factors of production. In this sense, the maximum production can be obtained by employing a certain efficient combination of factors. However, there is no guarantee that an efficient combination of factors will be used to maximize production. Considering the possibility of technical inefficiencies, the results can be featured below the maximum frontier of production. Hence the origin of the stochastic production function model.

---

11. As discussed, for example, in Afonso and Aubyn (2005).

### 3.2.1 Hypotheses tests

#### *Functional form test*

Some hypothesis tests concerning the estimation of the stochastic frontier are relevant, since the estimation is based on the statistical (econometric) approach. As described in previous sections, parametric estimation of the frontier requires that the production function assume a functional form, which can be determined by means of the generalized likelihood (LR) ratio test. Initially, the production function is estimated in the Cobb-Douglas form and then in the translog form, so that it is possible to compare the two functions through the functionality test, in order to identify the more appropriate functional form to be used in the model. This procedure is well defined in recent works by Araújo, Feitosa and Silva (2014).

The functionality test aims to verify the null hypothesis that the Cobb-Douglas form is the most appropriate functional form to represent the data, given the specifications of the translog function. After the estimation of the two models previously mentioned, the respective log-likelihood (LL) values are verified, and from the value of the LR statistic, the following test of hypothesis is performed:  $H_0$ : Cobb-Douglas;  $H_1$ : translog.

Thus, the LR ratio test is determined as follows.

$$LR = -2[\ln LL(H_0) - \ln LL(H_1)] \quad (7)$$

The  $LL(H_0)$  refers to the *log-likelihood* value of the estimation using the Cobb-Douglas function, and the  $LL(H_1)$  refers to the *log-likelihood* value of estimating the frontier using the translog function. If LR is greater than the value in the Kodde and Palm (1986) table, one rejects  $H_0$ , and if the LR value is inferior to the critical value of the statistic in the Kodde and Palm (1986) table, one does not reject  $H_0$  and the Cobb-Douglas functional form is assumed to be the more appropriate form for the model analyzed (Ferreira and Araújo, 2013).

However, for this work, the functionality test will not be performed, since two frontiers of production will be estimated: a Cobb-Douglas and a translog function. For a translog-type function to be reduced to a Cobb-Douglas function, it is only necessary to impose constant returns of scale to the production function.

#### *Absence of technical progress (TP) test*

The maximum likelihood ratio test described in the previous subsection is performed to verify the lack of TP. In this case it is considered whether the coefficients corresponding to the variables related to time (trend) in the production function are equal to zero or not, that is, one tests the null hypothesis that the coefficient referring to time is equal to zero, characterizing the function without the influence

of technological progress, against the alternative hypothesis of the function being estimated considering the influence of the trend term (time). The hypotheses are:

- $H_0$ : coefficients related to time = 0; and
- $H_1$ : complete production function.

If the maximum likelihood (ML) value exceeds the critical value in the Kodde and Palm (1986) table, one rejects  $H_0$  and the influence of TP in the function is considered.

### 3.2.2 Productive efficiency: the Malmquist index

The Malmquist index, formulated by Malmquist (1953), considers the concept of a *distance function* to measure the variations in TFP between two time periods. The distance functions can be specified in relation to sets of inputs or outputs.

The methodology for the analysis was presented originally in Coelli et al. (1998), to obtain the estimation of variation in TFP and to decompose it into its components of change – technical change and technical efficiency.<sup>12</sup>

Coelli et al. (1998), proposed the measurement of the growth of the TFP, being the sum of the variation in the efficiency component and the variation in the technical component. The technology of production, for a given period  $t$ , can be defined using the set of production,  $P(x_t)$ , which represents every output vector,  $q_t$ , which can be produced using an input vector  $x_t$ :

$$p(x_t) = \{q_t: x_t \text{ can produce } q_t\}. \quad (8)$$

Considering the output-oriented distance function, according to Coelli et al. (1998), the distance function of the output is defined in the production set  $P(x)$  as follows.

$$d_0(x, q) = \inf\{\delta: (q|\delta) \in P(x)\}. \quad (9)$$

The distance function  $d_0(x, q)$  will have a value which is lesser or equal to one if the output vector  $q$  is an element of the feasible production set,  $P(x)$ . In addition, the distance function will assume value 1 if  $q$  is located on the frontier of the feasible set of production, and will assume a value greater than one if  $q$  is outside the feasible set of production.

The value of the output-oriented distance function for a state which uses input level  $x$  in period  $t$  to produce output  $q_t$  corresponds to the ratio of the product distance  $q_t$  of the  $i$ -th state to the frontier of production possibilities, and can be represented as follows.

12. For a more in depth discussion on the Malmquist Index, see Tone and Tsutsui (2017).

$$d_0^t(x_t, q_t) = q_t/F(x_t), \quad (10)$$

in which

$$F(x_t) = \max\{q_t: (x_t, q_t) \in P(x)\}, \quad (11)$$

$F(x_t)$  represents the maximum output that can be obtained given the technology and the level of inputs.

The Malmquist index is defined by the concept of distance functions, which allow the description of a production technology without specifying a behavioral objective function. These distance functions can be defined as input-oriented or output-oriented. The Malmquist TFP index measures the change in TFP between two periods, calculating the distance ratio of each period when compared to a common technology. If the technology of period  $t$  is used as reference, the Malmquist TFP index (output-oriented) between periods  $s$  and  $t$  can be written as follows (Coelli et al., 1998).

$$m_0^t(q_s, x_s, q_t, x_t) = \frac{d_0^t(q_t, x_t)}{d_0^t(q_s, x_s)}. \quad (12)$$

If the technology of period  $s$  is used as reference, the index is defined as

$$m_0^s(q_s, x_s, q_t, x_t) = \frac{d_0^s(q_t, x_t)}{d_0^s(q_s, x_s)}, \quad (13)$$

in which:

- $d_0^t(q_t, x_t)$  is the distance function being output-oriented in period  $t$ ; and
- $d_0^s(q_s, x_s)$  is the distance function being output-oriented in period  $s$ .

A value of  $m_0$  greater than one indicates an increase in TFP from period  $s$  to period  $t$ , and a value of  $m_0$  which is less than one shows a decrease in TFP between the two periods. These two indices are equivalent only if the technology is Hicks neutral, that is, if the distance function of the output can be represented as:

$$d_0^t(q_t, x_t) = A_t d_0(q_t, x_t), \quad (14)$$

for every  $t$ . To avoid the imposition of this restriction and the arbitrary choice of one or form or the other to express the index, the Malmquist TFP index is often defined as a geometric mean of these two indices (Coelli et al., 1998).

$$m_0(q_s, x_s, q_t, x_t) = \left[ \frac{d_0^s(q_t, x_t)}{d_0^s(q_s, x_s)} \times \frac{d_0^t(q_t, x_t)}{d_0^t(q_s, x_s)} \right]^{1/2}. \quad (15)$$

The distance function in this productivity index can be rearranged to show that it is equivalent to the product of the index of VTE and the index of technical change (or technological change – VT).

$$m_0(q_s, x_s, q_t, x_t) = \frac{d_o^s(q_t, x_t)}{d_o^s(q_s, x_s)} \left[ \frac{d_o^s(q_t, x_t)}{d_o^s(q_s, x_s)} \times \frac{d_o^t(q_t, x_t)}{d_o^t(q_s, x_s)} \right]^{1/2}, \quad (16)$$

being:

$$VTE = \frac{d_o^t(q_t, x_t)}{d_o^s(q_s, x_s)}, \quad (17)$$

$$VT = \left[ \frac{d_o^s(q_t, x_t)}{d_o^s(q_s, x_s)} \times \frac{d_o^t(q_t, x_t)}{d_o^t(q_s, x_s)} \right]. \quad (18)$$

This shows that the Malmquist total productivity index can be decomposed into the indexes of VTE and variation in technology, and thus one can identify which of these two indices has the greater influence on the variation of TFP (Machado Júnior, Irffi and Benegas, 2011; Araújo, Feitosa and Silva, 2014; Ferreira and Araújo, 2013; Jackson, Johnson and Persico, 2016). However, it should be noted that the Malmquist index has some limitations, such as: it requires a Decision Making Units (DMU) data panel, calculates only the efficiency of a DMU in relation to itself in the past, and requires a support technique (Araújo, Feitosa and Silva, 2014).

In this section, the results obtained through stochastic frontier estimates for the Brazilian states are presented, regarding the education and health sectors after the implementation of the LRF in Brazil. Subsection 4.1 presents the main results in the area of education, while subsection 4.2 features the main results in the health area.

### 3.3 Education

Table 5 presents the results of the tests applied to verify the Cobb-Douglas functional form when compared to the translog model. The likelihood ratio proves which of the two functions has the best functional form for the model, i.e., one tests the hypothesis in which all the second order coefficients, as well as the coefficients of the cross products of the function, are equal to zero.

It can be observed that, as the value of  $\lambda$  (-15,54) is inferior to the critical value of the statistic in the Kodde and Palm (1986), 26,85, then it cannot be rejected. It can be assumed that the Cobb-Douglas functional form is the most appropriate one for the present analysis. Once the functional form is chosen, the lack of TP was then tested. As already described, the model is estimated in its functional form and in the absence of TP. As can be seen in table 5, the value of

the statistic  $\lambda$  is less than the critical value of the Kodde and Palm (1986) table. Thus, it is not rejected, and the Cobb-Douglas function without TP is chosen as the most appropriate model to be estimated.

TABLE 5

**Likelihood ratio test of the parameters of the education frontier of production**

| Test            | Null hypothesis                | Value of $\lambda$ | Critical value | Decision (5% level) |
|-----------------|--------------------------------|--------------------|----------------|---------------------|
| Functional form | Ho: Cobb-Douglas               | -15.56             | 26.85          | Reject Ho           |
| Absence of TP   | Ho: beta referring to time = 0 | -3.42              | 2.70           | Not reject Ho       |

Authors' elaboration.

As discussed previously, the results of the hypothesis tests indicated as the most appropriate model the Cobb-Douglas production function without TP, according to equation (19). The model was estimated with the variables in logarithm, in order to obtain the value of the coefficients be in terms of elasticities.

$$\ln Txapro_{i,t} = \alpha_{i,t} + \beta_{1i,t} \ln Gastedu_{i,t} + \beta_{2i,t} \ln Prof_{i,t} + \beta_{3i,t} \ln Escola + v_{i,t} + u_{i,t}. \quad (19)$$

Table 6 presents the results of the stochastic frontier estimation for the education area in Brazilian states, with a Cobb-Douglas functional form, with and without TP. All variables used in the model were statistically significant. Regarding education expenditures per capita, the presence of a coefficient with a positive sign can be observed, indicating that there is a positive relationship between spending on education and the approval rate in secondary education. The value of this coefficient is equal to 0,1279, which indicates that increases in per capita spending on education by 1% increases the approval rate in secondary school by approximately 0.13%.

The number of teachers in the secondary school network variable also showed a positive relationship with the approval rate. The coefficient value of 0,0523 indicates that a 1% increase in the number of teachers in the secondary school system provides an increase in the approval rate of 0.05%. The number of secondary schools variable also showed a positive relationship with the approval rate. The coefficient of this variable is 0,0531, which indicates that a 1% increase in the number of schools causes an increase in the approval rate in secondary education of 0.05%. These results show that public policies aimed at expanding the number of schools and teachers in the secondary school network would, most likely, provide increases in the approval rates in secondary education.

TABLE 6  
Results of the stochastic frontier in the area of education (2001-2012)

| Variables                 | Coefficient   | Standard deviation | P> z                                                |
|---------------------------|---------------|--------------------|-----------------------------------------------------|
| LnGastedu                 | 0.1279        | 0.0089             | 0.000                                               |
| LnProf                    | 0.0523        | 0.0067             | 0.000                                               |
| LnEscola                  | 0.0531        | 0.0118             | 0.000                                               |
| Constant                  | 3.2837        | 0.0787             | 0.000                                               |
| $\ln \sigma_v^2$          | -4.2952       | 0.5035             | 0.000                                               |
| $\ln \sigma_u^2$          | 1.2485        | 0.6526             | 0.056                                               |
| $\sigma^2$                | 0.0136        | 0.0068             | —                                                   |
| $\lambda$                 | 0.7770        | 0.1130             | —                                                   |
| $\sigma_u^2$              | 0.0105        | 0.0068             | —                                                   |
| $\sigma_v^2$              | 0.0030        | 0.0002             | —                                                   |
| Log likelihood = 438.4436 | Wald = 293.40 | Prob = 0.0000      | Number of groups: 27<br>Number of observations: 324 |

Authors' elaboration.

These results are not unexpected. It can be said that it is relatively intuitive that greater investment in education, whether increasing the number of teachers or number of schools, would tend to increase the student approval rate.<sup>13</sup>

From the results of the estimation of the model, as well as the application of the previously described methodology, it is possible to decompose the TFP from the Malmquist index, according to table 7. One can see that all Brazilian states are below the technical efficiency frontier (second column of table 7). The state of Tocantins (0,9887) was shown to be the most efficient, followed by the states of Amazonas (0,9627) and Espírito Santo (0,9611). However, the state of Amapá (0,7596) presented the lowest technical efficiency, followed by the states of Rio de Janeiro (0,7623) and Rio Grande do Sul (0,8071).

In relation to TFP, it can be observed that the state of Tocantins (0,9880) was shown to be more productive, followed by the states of Espírito Santo and Amazonas. However, the state of Amapá was the least productive.

These results mostly follow what has been found previously in works which analyze Brazil, such as Brunet et al. (2006) and Machado Júnior, Irffi and Benegas (2011), i.e., it seems to be the norm in the country that states and municipalities in Brazil are not technically efficient in terms of education spending.

13. For a comprehensive literature review on the subject, we recommend the work of Jackson, Johnson and Persico (2016).

TABLE 7  
Decomposition of the TFP for each state, measured by the Malmquist index

| States | Technical efficiency | Technological var. | TFP    | TFP ranking |
|--------|----------------------|--------------------|--------|-------------|
| RO     | 0.9536               | 0.9911             | 0.9451 | 6           |
| AC     | 0.9326               | 0.9783             | 0.9124 | 12          |
| AM     | 0.9627               | 0.9986             | 0.9614 | 3           |
| RR     | 0.8674               | 0.9654             | 0.8374 | 23          |
| PA     | 0.9417               | 1.0200             | 0.9605 | 4           |
| AP     | 0.7596               | 0.9689             | 0.7360 | 27          |
| TO     | 0.9887               | 0.9993             | 0.9880 | 1           |
| MA     | 0.8632               | 1.0346             | 0.8931 | 14          |
| PI     | 0.8643               | 1.0047             | 0.8684 | 18          |
| CE     | 0.9450               | 1.0141             | 0.9583 | 5           |
| RN     | 0.8215               | 0.9937             | 0.8163 | 25          |
| PB     | 0.9259               | 1.0113             | 0.9364 | 9           |
| PE     | 0.9406               | 0.9972             | 0.9380 | 8           |
| AL     | 0.9145               | 1.0130             | 0.9264 | 10          |
| SE     | 0.8623               | 1.0251             | 0.8839 | 16          |
| BA     | 0.8550               | 1.0207             | 0.8727 | 17          |
| MG     | 0.8942               | 1.0274             | 0.9187 | 11          |
| ES     | 0.9611               | 1.0014             | 0.9624 | 2           |
| RJ     | 0.7623               | 1.0299             | 0.7851 | 26          |
| SP     | 0.8185               | 1.0346             | 0.8468 | 21          |
| PR     | 0.8889               | 1.0148             | 0.9021 | 13          |
| SC     | 0.8883               | 0.9542             | 0.8476 | 19          |
| RS     | 0.8071               | 1.0188             | 0.8222 | 24          |
| MS     | 0.8858               | 0.9986             | 0.8846 | 15          |
| MT     | 0.8493               | 0.9973             | 0.8470 | 20          |
| GO     | 0.9313               | 1.0124             | 0.9428 | 7           |
| DF     | 0.8460               | 0.9994             | 0.8455 | 22          |

Authors' elaboration.

### 3.4 Health

Table 8 presents the results of the tests applied to verify the Cobb-Douglas functional form compared to the translog model for the health area. It can be observed that since the value of  $\lambda$  (-37,29) is less than the critical value of the statistics in the Kodde and Palm (1986) table, of 21,26, it cannot be rejected. It can be assumed that the most appropriate model for this work is using the Cobb-Douglas functional form. Thus, the model is estimated using that functional form and considering the absence of TP.

TABLE 8

**Likelihood ratio test of the parameters of the health frontier of production**

| Test            | Null hypothesis                 | Value of $\lambda$ | Critical value | Decision (5% level) |
|-----------------|---------------------------------|--------------------|----------------|---------------------|
| Functional form | Ho: Cobb-Douglas                | -37.29             | 21.26          | Not reject Ho       |
| Absence of TP   | Ho: beta referente ao tempo = 0 | -25.15             | 2.70           | Not reject Ho       |

Authors' elaboration.

Thus, the model was estimated with the variables in logarithm according to equation (20), in order to obtain the value of the coefficients be in terms of elasticities.

$$\ln T x m o r t_{i,t} = \alpha_{i,t} + \beta_{1i,t} \ln G a s t s a u d_{i,t} + \beta_{2i,t} \ln L e i t o s_{i,t} + \beta_{3i,t} \ln E n f_{i,t} + \beta_{4i,t} \ln M e d_{i,t} + \beta_{5i,t} \ln T x c o b e r t_{i,t} + V_{i,t} + u_{i,t}. \quad (20)$$

Table 9 presents the results of the estimation of the stochastic frontier of the Brazilian states for the health area, with the model in the Cobb-Douglas functional form, with and without TP. All variables used in the model were statistically significant, except for the number of hospital beds variable.

Regarding health expenditures per capita, one can observe the coefficient with a negative sign, indicating that there is a negative relationship between spending on health and the infant mortality rate. This implies that increases in health spending would lead to reductions in infant mortality rates in Brazilian states. The value of this coefficient is equal to -0.2521, which indicates that increases in health expenditures per capita by 1% would reduce the infant mortality rate by 0.25%.

The number of nurses variable also presented a negative relationship with the infant mortality rate. The coefficient value -0.0847 indicates that a 1% increase in the number of nurses hired provides a reduction in the infant mortality rate of 0.08%. The number of physicians variable also had a negative relationship with the infant mortality rate. The coefficient of this variable was -0.0323, indicating that a 1% increase in the number of doctors hired would cause a reduction in the infant mortality rate of 0.03%. These results suggest that increases in the hiring of health professionals by the state would lead to reductions in infant mortality rates.

The PSF coverage rate variable presented a coefficient equal to -0.0694, indicating that an increase in the coverage rate of the PSF by 1% would lead to a reduction in the infant mortality rate of approximately 0.07%. In other words, public policies that aim to expand the PSF program coverage may achieve satisfactory results in health indicators, such as decreasing the infant mortality rate.

All the previous results seem quite intuitive, in the sense that a higher investment in health tends to reduce mortality indicators, and has a broad empirical basis in the literature.<sup>14</sup>

TABLE 9

**Results of the stochastic frontier in the health area (2001-2012)**

| Variables                         | Coefficient    | Standard deviation | P> z                                                |
|-----------------------------------|----------------|--------------------|-----------------------------------------------------|
| <i>LnGastsaud</i>                 | -0.2521        | 0.0191             | 0.000                                               |
| <i>LnLeitos</i>                   | -0.0049        | 0.0391             | 0.898                                               |
| <i>LnEnf</i>                      | -0.0847        | 0.0150             | 0.000                                               |
| <i>LnMed</i>                      | -0.0323        | 0.0167             | 0.054                                               |
| <i>LnTxcobert</i>                 | -0.0694        | 0.0251             | 0.006                                               |
| <i>Constant</i>                   | 4.4371         | 0.1226             | 0.000                                               |
| $\ln \sigma_v^2$                  | -2.3529        | 0.3782             | 0.000                                               |
| $\ln \sigma_u^2$                  | 2.4506         | 0.4213             | 0.056                                               |
| $\sigma^2$                        | 0.0951         | 0.0359             | —                                                   |
| $\lambda$                         | 0.9206         | 0.0308             | —                                                   |
| $\sigma_u^2$                      | 0.0875         | 0.0359             | —                                                   |
| $\sigma_v^2$                      | 0.0075         | 0.0006             | —                                                   |
| <i>Log likelihood</i> = 269.13843 | Wald = 1129.51 | Prob = 0.0000      | Number of groups: 27<br>Number of observations: 324 |

Authors' elaboration.

Table 10 shows the decomposition of the TFP from the Malmquist index for the health area. It can be observed that, just as in the area of education, all the Brazilian states are featured below the technical efficiency frontier. The Brazilian state with the most technical efficiency is Tocantins (0.8663), while the state of Paraná (0.3561) had the lowest technical efficiency.

In relation to the TFP, it can be verified that the state of Tocantins (0.8313), as was the case in education, was more productive, followed by the states of Mato Grosso (0.8205) and Acre (0.7808). On the other hand, the state of Paraná (0.3543) was shown to be the least productive.

14. See, for example, the compilation of articles by the IMF (2004) and Maruthappu, Hasan and Zeltner (2015) for a thorough discussion on the subject.

**TABLE 10**  
**Decomposition of the TFP for each state, measured by the Malmquist index**

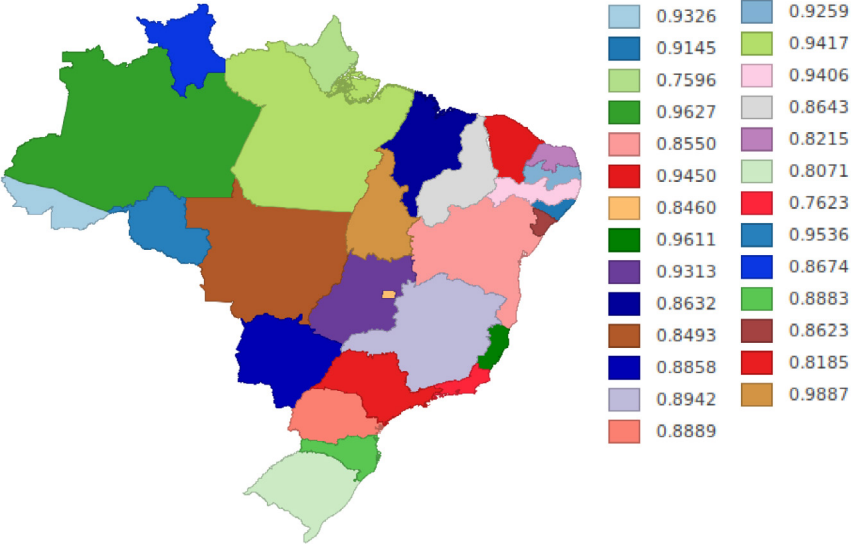
| States | Technical efficiency | Technological var. | TFP    | TFP ranking |
|--------|----------------------|--------------------|--------|-------------|
| RO     | 0.7146               | 0.9898             | 0.7074 | 7           |
| AC     | 0.7934               | 0.9841             | 0.7808 | 3           |
| AM     | 0.7027               | 0.9999             | 0.7027 | 8           |
| RR     | 0.7444               | 0.9704             | 0.7224 | 6           |
| PA     | 0.6900               | 0.9957             | 0.6871 | 9           |
| AP     | 0.7685               | 0.9947             | 0.7645 | 4           |
| TO     | 0.8663               | 0.9595             | 0.8313 | 1           |
| MA     | 0.5841               | 0.9261             | 0.5409 | 22          |
| PI     | 0.6439               | 0.9079             | 0.5847 | 16          |
| CE     | 0.5716               | 0.9344             | 0.5341 | 23          |
| RN     | 0.6869               | 0.9406             | 0.6462 | 12          |
| PB     | 0.6535               | 0.9557             | 0.6246 | 14          |
| PE     | 0.6434               | 0.9451             | 0.6081 | 15          |
| AL     | 0.6399               | 0.9023             | 0.5773 | 17          |
| SE     | 0.6945               | 0.9805             | 0.6810 | 10          |
| BA     | 0.6752               | 1.0912             | 0.7368 | 5           |
| MG     | 0.5286               | 1.0806             | 0.5713 | 18          |
| ES     | 0.4493               | 0.9568             | 0.4299 | 26          |
| RJ     | 0.5138               | 1.0982             | 0.5643 | 19          |
| SP     | 0.4717               | 1.0950             | 0.5166 | 24          |
| PR     | 0.3561               | 0.9946             | 0.3543 | 27          |
| SC     | 0.5647               | 0.9893             | 0.5587 | 20          |
| RS     | 0.6724               | 0.9630             | 0.6476 | 11          |
| MS     | 0.5524               | 1.0044             | 0.5549 | 21          |
| MT     | 0.6699               | 1.2247             | 0.8205 | 2           |
| GO     | 0.4984               | 0.9890             | 0.4929 | 25          |
| DF     | 0.6226               | 1.0273             | 0.6396 | 13          |

Authors' elaboration.

Again, these results are in line with previous works, such as Brunet et al. (2006), particularly considering the result that states which spend more, such as in the Southeast region of Brazil (São Paulo and Rio de Janeiro) appear to be less efficient than other regions of the country, such as the Center-West, and Barbosa and Souza (2015) and Mazon, Mascarenhas and Dallabrida (2015), which discuss the lack of efficiency in providing public goods such as health in vastly different places, such as the Northeast region and the Brazilian South.

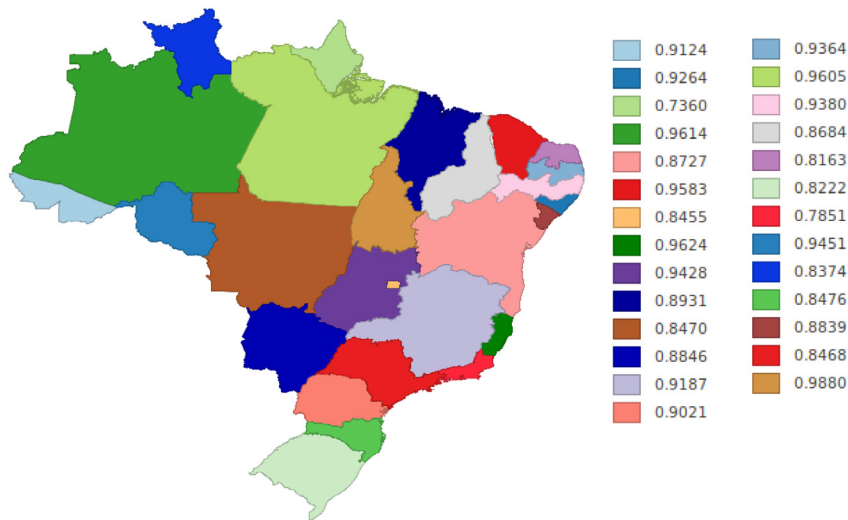
Furthermore, featured below are four figures which highlight, in visual terms, the different levels of technical efficiency of the Brazilian states, using different colors, in order to facilitate comprehension of the previous discussion.

FIGURE 1  
Technical efficiency of education spending by federative units – Brazil



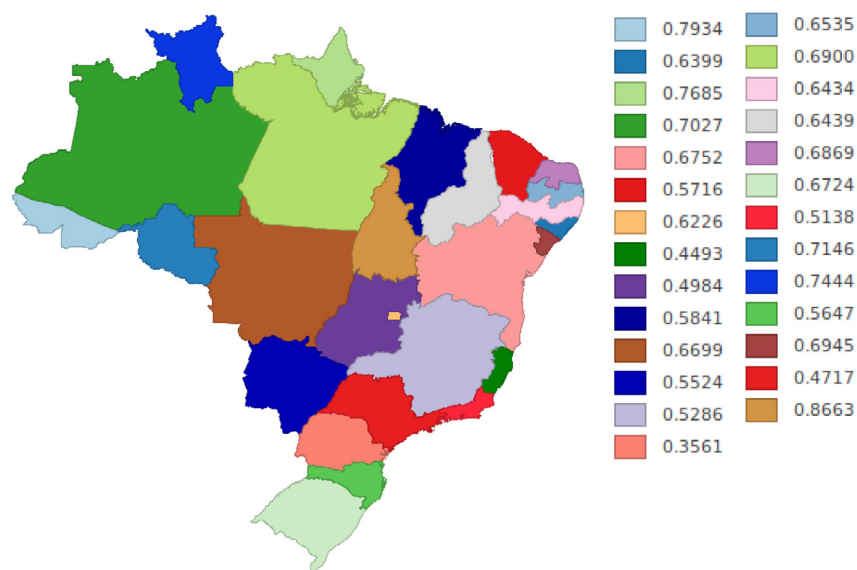
Authors' elaboration.  
Publisher's note: Figure whose layout and texts could not be formatted and proofread due to the technical characteristics of the original files.

FIGURE 2  
TFP of education spending by federative units – Brazil



Authors' elaboration.  
Publisher's note: Figure whose layout and texts could not be formatted and proofread due to the technical characteristics of the original files.

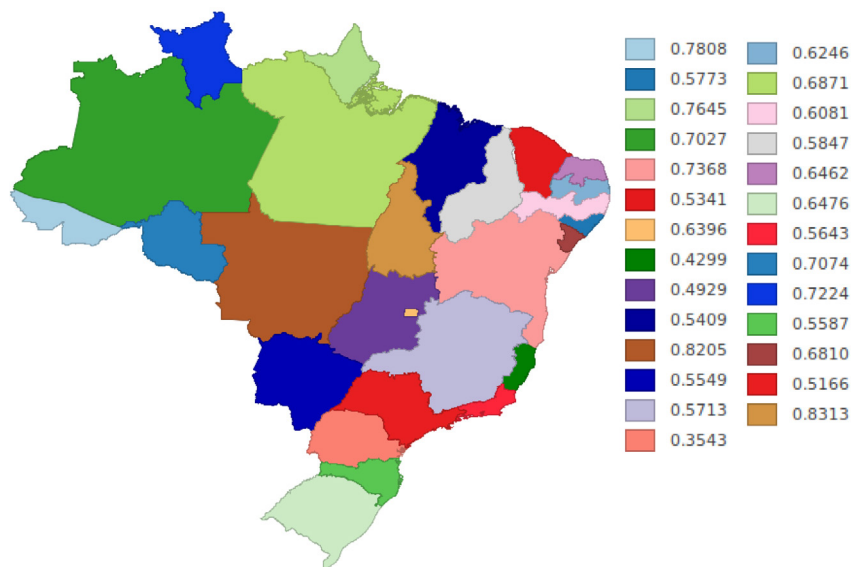
FIGURE 3  
Technical efficiency of health spending by federative units – Brazil



Authors' elaboration.  
Publisher's note: Figure whose layout and texts could not be formatted and proofread due to the technical characteristics of the original files.

FIGURE 4

TFP of the health expenses of the federative units – Brazil



Authors' elaboration.

Publisher's note: Figure whose layout and texts could not be formatted and proofread due to the technical characteristics of the original files.

#### 4 CONCLUDING REMARKS

The objective of this work was to verify the technical efficiency of the Brazilian states in relation to public spending on health and education after the implementation of the LRF. For this, a parametric model for the estimation of the stochastic frontier of production and the decomposition of the VTE and technological variation by means of the Malmquist index for the Brazilian states were used.

The results showed that, in relation to expenditures in education, there is a positive and statistically significant relationship between spending on education per capita and the approval rate in secondary education. Other variables showed an influence on the approval rate, such as the number of schools and teachers in the secondary education network. This suggests that public policies aimed at expanding the number of schools and teachers are important for raising the approval rate.

Regarding the decomposition of the VTE and technological variation by means of the Malmquist index in education, all the Brazilian states were shown to be below the frontier of technical efficiency. The state of Tocantins proved to be the most efficient and with the highest productivity index in TFP. A surprising fact was that the states of Amapá and Rio de Janeiro were shown to be well below

the frontier of technical efficiency and presented low indexes of productivity in the TFP. That is, Brazilian states are not being efficient considering expenditures on education, however Amapá and Rio de Janeiro are particularly in a more worrisome situation. One possible solution would be to review those investments to optimize spending on schools and increase the hiring of teachers.

Regarding the health area, the results show that health expenditures per capita have a negative relationship with the infant mortality rate in the Brazilian states. That is, increases in spending lead to reductions in the infant mortality rate. Other variables were found to be important in the fight against child mortality, such as the increase in the hiring of health professionals such as doctors and nurses and the increase in the PSF coverage rate.

In relation to the decomposition of the VTE and technological variation through the Malmquist index in health, as was the case in education, all the Brazilian states were shown to be below the frontier of technical efficiency. In this area, one can also highlight the state of Tocantins, which has proved to be the most efficient and with the highest productivity index in TFP.

Overall, one can conclude that, according to the results obtained, there is some indication that the Brazilian states are not being efficient in their spending on education and health. It is suggested, therefore, that public policies focused on education should invest more in infrastructure and human capital of the teaching staff in the secondary education network; as well as policies in the health area should invest in hiring health professionals; also, it would be advisable to expand the coverage of the PSF.

## REFERENCES

- AFONSO, A.; AUBYN, M. S. Non-parametric approaches to education and health efficiency in OECD countries. **Journal of Applied Economics**, v. 8, n. 2, p. 227-246, 2005.
- AFONSO, A.; SCAGLIONI, C. **Public services efficiency provision in Italian regions: a non-parametric analysis**. Lisbon: ISEG-UT, 2005. (Economics Working Paper, n. 2/2005/DE/CISEP).
- ARAÚJO, J. A.; FEITOSA, D. G.; SILVA, A. B. América Latina: productividad total de los factores y su descomposición. **Revista CEPAL**, n. 114, p. 53-69, 2014.
- ARROW, K. J. Uncertainty and the welfare economics of medical care. **The American Economic Review**, v. 53, n. 5, p. 941-997, 1963.
- BARBOSA, W. de F.; SOUSA, E. P. Eficiência técnica e de escala do Sistema Único de Saúde nos municípios do Nordeste brasileiro. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 46, n. 3, p. 99-113, 2015.

BECKER, G. S. Investment in human capital: a theoretical analysis. **Journal of Political Economy**, v. 70, n. 5, p. 9-49, Oct. 1962. Retrieved Dec. 7, 2022, from: <<https://bit.ly/3FYfBKz>>.

\_\_\_\_\_. (Ed.). **Human capital**: a theoretical and empirical analysis, with special reference to education. New York: Columbia University Press, 1964.

BEZERRA, E. P. da G.; DIWAN, J. R. **Uso de DEA como alternativa ao IDH na mensuração do desenvolvimento humano nos maiores municípios brasileiros**. 2001. Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

BRUNET, J. F. G. et al. **Estados comparados por funções do orçamento**: uma avaliação da eficiência e efetividade dos gastos públicos estaduais. 2006. Monografia (Graduação) – Secretaria de Estado de Planejamento e Gestão, Porto Alegre, 2006.

CARVALHO, R. M. **Três ensaios sobre produtividade agrícola**. 2003. 133 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.

COELLI, T. J. et al. (Ed.). **An introduction to efficiency and productivity analysis**. 2nd ed. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1998.

DE BORGER, B. et al. Explaining differences in productive efficiency: an application to Belgian municipalities. **Public Choice**, v. 8, p. 339-358, 1994.

DE BORGER, B.; KERSTENS, K. Cost efficiency of Belgian local governments: a comparative analysis of FDH, DEA and econometric approaches. **Regional Science and Urban Economics**, v. 26, n. 2, p. 145-170, 1996.

FARIA, F. P. **Gastos sociais e condições de vida nos municípios fluminenses**: uma avaliação através da análise envoltória de dados. 2005. Dissertação (Mestrado) – Escola Nacional de Ciências Estatísticas, Rio de Janeiro, 2005.

FARIA, F. P.; JANNUZZI, P. de M.; SILVA, S. J. Eficiência dos gastos municipais em saúde e educação: uma investigação através da análise envoltória no estado do Rio de Janeiro. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 42, n. 1, p. 155-177, 2008.

FARREL, M. J. A measurement of productive efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society**, v. 120, n. 3, p. 253-290, 1957.

FERREIRA, C. B.; ARAÚJO, J. A. Produtividade total dos fatores na agropecuária brasileira: análise de fronteira estocástica e índice de Malmquist. In: ENCONTRO NACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL – SOBER, 52., 2014, Goiânia, Goiás. **Anais...** São Paulo: Sober, 2014. p. 230-300.

GEVA-MAY, I. Higher education and attainment of policy goals: interpretations for efficiency indicators in Israel. **Higher Education**, v. 42, n. 3, p. 265-305, 2001.

GIUBERTI, A. C. **Efeitos da Lei de Responsabilidade Fiscal sobre os gastos dos municípios brasileiros**. 2005. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

GROSSKOPF, S. Efficiency and productivity. In: FRIED, H. O.; LOVELL, C. A. K.; SCHMIDT, S. S. (Ed.). **The measurement of productive efficiency: techniques and applications**. Oxford: Oxford University Press, 1993. p. 160-194.

GROSSMAN, M. On the concept of health capital and the demand for health. **Journal of Political Economy**, v. 80, n. 2, p. 223-255, 1972.

HERRERA, S.; PANG, G. **Efficiency of public spending in developing countries: an efficiency frontier approach**. Washington: World Bank, June 2005. (Policy Research Working Paper, n. 3645).

HOLDEN, L.; BIDDLE, J. **The introduction of human capital theory into education policy in the United States**. East Lansing: Michigan State University Press, 2016.

IMF – INTERNATIONAL MONETARY FUND. **Health & development: a compilation of articles from Finance & Development**. Washington: IMF, 2004. Retrieved Mar. 17, 2020, from: <<https://bit.ly/3U71ZTs>>.

JACKSON, C. K.; JOHNSON, R. C.; PERSICO, C. The effects of school spending on educational and economic outcomes: evidence from school finance reforms. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 131, n. 1, p. 157-218, 2016.

KODDE, D. A.; PALM, F. C. Wald criteria for jointly testing equality and inequality restrictions. **Econometrica**, v. 54, n. 5, p. 1243-1248, 1986.

LIMA, G. P. P.; MOREIRA, T. B. S.; SOUZA, G. da S. Eficiência dos gastos públicos no Brasil: análise dos determinantes da pobreza. **Economia e Desenvolvimento**, Recife, v. 13, n. 1, p. 28-61, 2014.

MACHADO JÚNIOR, S. P.; IRFFI, G.; BENEGAS, M. Análise da eficiência técnica dos gastos com educação, saúde e assistência social dos municípios cearenses. **Planejamento e Políticas Públicas**, n. 36, p. 87-113, jan.-jun. 2011.

MALMQUIST, S. Index numbers and indifference surfaces. **Trabajos de Estadística**, v. 4, n. 2, p. 209-242, 1953.

MARINHO, A. **Avaliação da eficiência técnica nos serviços de saúde dos municípios do estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Ipea, nov. 2001. (Texto para Discussão, n. 842).

MARUTHAPPU, M.; HASAN, A.; ZELTNER, T. Enablers and barriers in implementing integrated care. **Health Systems and Reform**, v. 1, n. 4, p. 250-256, 19 May 2015. Retrieved from: <<https://bit.ly/3hQEpf0>>.

MAZON, L. M.; MASCARENHAS, L. P. G.; DALLABRIDA, V. R. Eficiência dos gastos públicos em saúde: desafio para municípios de Santa Catarina, Brasil. **Saúde e Sociedade**, São Paulo, v. 24, n. 1, p. 23-33, 2015.

MINCER, J. Investment in human capital and personal income distribution. **Journal of Political Economy**, v. 66, n. 4, p. 281-302, Aug. 1958.

\_\_\_\_\_. **Human capital and economic growth**. Cambridge, United States: NBER, Nov. 1981. (Working Paper Series, n. 803).

PAL, M. A note on a unified approach to the frontier production function models with correlated non-normal error components: the case of cross section data. **Indian Economic Review**, v. 39, n. 1, p. 7-18, 2004.

RIVERA, E. B. B. de R.; CONSTANTIN, P. D. Produtividade total dos fatores nas principais lavouras de grãos brasileiras: análise de fronteira estocástica e índice de Malmquist. In: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 35., 2007, Recife, Pernambuco. **Anais...** Recife: Anpec, 2007.

SCHULTZ, T. W. Capital formation by education. **Journal of Political Economy**, v. 68, n. 6, p. 571-583, Dec. 1960.

\_\_\_\_\_. Investment in human capital. **The American Economic Review**, v. 51, n. 1, p. 1-17, Mar. 1961.

SEGUNPTA, J. K. A dynamic efficiency model using data envelopment analysis. **International Journal of Production Economics**, v. 62, n. 3, p. 209-218, 1999.

STEAD, A. D.; WHEAT, P.; GREENE, W. H. Distributional forms in stochastic frontier analysis. In: TEN RAA, T.; GREENE, W. H.. (Ed.). **The Palgrave handbook of economic performance analysis**. Cham: Palgrave Macmillan, 2019. p. 225-274.

TONE, K.; TSUTSUI, M. Malmquist productivity index models. In: TONE, K. (Ed.). **Advances in DEA theory and applications: with extensions to forecasting models**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2017. p. 40-56. Retrieved from: <<https://bit.ly/3RIxAJG>>.

TUPY, O.; YAMAGUCHI, L. C. T. Eficiência e produtividade: conceitos e medição. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo. v. 45, n. 2, p. 39-51, 1998.

### COMPLEMENTARY BIBLIOGRAPHY

FERREIRA, C. B. **Ensaio sobre produtividade e eficiência agrícola na América Latina, no Brasil e no Vale do São Francisco**. 2015. 106 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Economia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

VARIAN, H. R. (Ed.). **Intermediate microeconomics: a modern approach**. 8th ed. New York: W. W. Norton & Company, 2010. 806 p.

Originais submetidos em: jun. 2020.

Última versão recebida em: mar. 2021.

Aprovada em: mar. 2021.



# IMPACTOS ECONÔMICOS DA PROPOSTA BRASILEIRA NA COP21: UMA ABORDAGEM DE EQUILÍBRIO GERAL COMPUTÁVEL<sup>1</sup>

Marco Paulo Vianna Franco<sup>2</sup>  
Micaele Martins de Carvalho<sup>3</sup>  
Stélio Coêlho Lombardi Filho<sup>4</sup>  
Aline Souza Magalhães<sup>5</sup>  
Edson Paulo Domingues<sup>6</sup>

Este artigo tem como objetivo simular os prováveis impactos econômicos decorrentes da proposta brasileira na XXI Conferência das Partes (COP21) de reduzir em 37% suas emissões de gases de efeito estufa (GEEs), em relação aos níveis de 2005, até 2025. Para tal, utiliza-se um modelo de equilíbrio geral computável (EGC) dinâmico-recursivo com módulos de especificação energética e ambiental que permitem agrupamentos por agente emissor (combustíveis, indústrias e famílias) e atividade emissora. De forma geral, os resultados indicam um decréscimo acumulado de -3,3% do produto interno bruto (PIB) real, em 2025, em relação ao cenário-base. Conforme esperado, os setores com mais dependência em relação à queima de combustíveis, ou com elevada intensidade de emissões nos seus processos produtivos, seriam os mais negativamente afetados.

**Palavras-chave:** COP21; emissões de gases de efeito estufa; equilíbrio geral computável.

## ECONOMIC IMPACTS OF THE BRAZILIAN PROPOSAL IN COP21: A COMPUTABLE GENERAL EQUILIBRIUM APPROACH

This article aims to simulate the likely economic impacts associated with the Brazilian proposal, pledged during COP21, to cut its greenhouse gases emissions by 37% until 2025, compared to 2005 levels. A computable general equilibrium model with a recursive-dynamic structure was developed, which includes energetic and environmental specification modules that allow for emissions grouping by emitting agent (fuel, industries and households) and emitting activity. The results indicate a cumulative decrease of -3.3% in real GDP in 2025, compared to the baseline scenario. As expected, sectors with the greatest dependence on fuel burning, or with intensive emissions in their production processes, were the most negatively affected.

**Keywords:** COP21; greenhouse gases emissions; computable general equilibrium.

**JEL:** C68; Q52; Q58.

---

1. DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/ppe52n1art6>

2. Pesquisador em ciências aplicadas e políticas públicas da Fundação João Pinheiro (FJP). *E-mail:* <marco.franco@fjp.mg.gov.br>.

3. Consultora do Tesouro do Estado do Espírito Santo. *E-mail:* <micaele.mcarvalho@gmail.com>.

4. Professor adjunto na Faculdade de Economia da Universidade Federal da Bahia (UFBA); e do Programa de Pós-Graduação em Economia (PPGE) da UFBA. *E-mail:* <stelio.filho@hotmail.com>.

5. Professora adjunta no Departamento de Ciências Econômicas e pesquisadora do Cedeplar/UFMG. *E-mail:* <alinesm@cedeplar.ufmg.br>.

6. Professor titular no Departamento de Ciências Econômicas e pesquisador do Cedeplar/UFMG. *E-mail:* <epdomin@cedeplar.ufmg.br>.

## 1 INTRODUÇÃO

No fim de 2015, em Paris, o XXI Encontro Anual da Conferência das Partes (COP21), organizado pelo Programa Ambiental das Nações Unidas (UNEP), reuniu 195 países e contou com a presença dos principais estudiosos e especialistas sobre mudanças climáticas. Como resultado, alcançou um acordo juridicamente vinculativo e universal sobre o clima, substituindo o Protocolo de Kyoto (1997) e visando manter o aquecimento global abaixo dos 2 °C até 2100.

Os países apresentaram suas pretendidas contribuições nacionalmente determinadas (intended nationally determined contribution – INDC) para o novo acordo adotado na COP21. As INDCs são voluntárias e submetidas pelos países, assumindo um compromisso com o desafio de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEEs) (UNFCCC, 2015).

Os Estados Unidos, por exemplo, anunciaram como meta reduzir de 26% a 28% das emissões de GEE até 2025, em relação ao ano-base de 2005. Da mesma forma, os 28 membros da União Europeia (UE) comprometeram-se com uma meta vinculativa de redução de pelo menos 40% das emissões de GEE até 2030, em relação aos níveis de 1990. Quanto aos países em desenvolvimento, China e Índia apresentaram propostas de reduções na intensidade de emissões por unidade do produto interno bruto (PIB) até 2030, se comprometendo com metas de 60% a 65% e 33% a 35% abaixo do nível de 2005, respectivamente.

O Brasil, por sua vez, comprometeu-se em reduzir as emissões de GEE em 37% em relação aos níveis de 2005, até 2025, além de uma contribuição indicativa de reduzir as emissões em 43% abaixo dos níveis de 2005, até 2030. O diferencial da proposta brasileira é o comprometimento com uma meta absoluta, inédito no contexto brasileiro.<sup>7</sup>

Ao se comprometer com uma meta absoluta, o Brasil enfrentará o desafio de crescer economicamente ao mesmo tempo que reduz suas emissões. Para alcançar suas metas, o governo brasileiro expressou seu comprometimento com o reflorestamento de áreas degradadas, combate ao desmatamento, ampliação da participação de fontes renováveis na matriz energética e aumento na eficiência elétrica, notadamente.

Embora a INDC brasileira proponha medidas em grande escala relacionadas ao uso da terra e recuperação de florestas para reduções de emissões de GEE, destaca-se a queda de importância dessa fonte de emissões, dado que a taxa de desmatamento no Brasil, entre 2005 e 2012, sofreu um declínio considerável

---

7. A meta voluntária estabelecida durante a COP15, realizada em Copenhague na Dinamarca, em 2009, consistia em uma redução relativa, ou seja, redução das emissões por unidade do PIB.

(Brasil, 2014). Espera-se, dessa forma, uma redução da participação desta fonte de emissões, de tal forma que deixe de ser a principal fonte de emissões no país.

Apesar de existir apenas uma breve citação no texto oficial da INDC de que o Brasil pretende incentivar tecnologias de baixo carbono para os setores de indústria e transporte, as emissões derivadas do uso de combustíveis e dos processos produtivos devem assumir mais importância nos próximos anos, devido às tendências de aumento das emissões dos setores energético, industrial, de transporte e refino de petróleo (Brasil, 2014).

Dessa forma, tendo em vista a meta de redução de emissões propostas pela INDC brasileira, acordada na COP21, bem como algumas de suas propostas para o seu cumprimento, este artigo tem como objetivo projetar cenários alternativos para a economia brasileira, simulando os prováveis impactos que políticas mitigatórias, como a imposição de metas de redução de emissão de carbono, terão sobre a estrutura produtiva nacional.

Em suma, este estudo busca fornecer, como contribuição à literatura empírica, simulações dos possíveis efeitos que a adoção da meta absoluta de redução de 37% das emissões em relação a 2005 terá sobre a economia brasileira. Para tal, utiliza-se um modelo de equilíbrio geral computável (EGC), o Brazilian Energy and Greenhouse Gas Emissions General Equilibrium Model (BeGreen). Este modelo apresenta uma estrutura dinâmico-recursiva que, junto a um módulo de especificação energética e um módulo ambiental, o capacita à análise de políticas de redução de GEE sobre a economia brasileira. Este tipo de modelagem tem se consolidado nas análises de impactos de políticas de redução de emissões de GEE, uma vez que os modelos EGC são capazes de considerar, de forma interligada, os efeitos sobre preços, quantidades e estrutura da economia como um todo.

O BeGreen permite impor metas de redução de emissões sobre a economia, que se traduzem em preços de carbono sobre as diferentes fontes emissoras de GEE (combustíveis e setores produtivos) e diferentes usuários, incluindo setores e famílias. Com isso, a política de imposição de metas de redução de emissões neste modelo assume a forma de uma precificação de carbono, afetando os preços relativos e, conseqüentemente, o uso de insumos energéticos, processos produtivos e o nível de atividade e emissões. Por sua vez, emissões provenientes de mudanças no uso da terra não são consideradas no modelo.

Este trabalho está dividido em mais cinco seções. Na seção 2, faz-se uma breve discussão sobre os aspectos econômicos das políticas de mitigação de emissões. Em seguida, apresenta-se a metodologia empregada (modelo e base de dados) e, posteriormente, os resultados encontrados. Por fim, tecem-se as considerações finais.

## 2 ASPECTOS ECONÔMICOS DAS POLÍTICAS DE MITIGAÇÃO DE EMISSÕES

A mitigação das emissões de GEE – entendida como a soma de esforços na redução de emissões antropogênicas e na remoção do carbono atmosférico via sumidouros naturais, como oceanos e florestas – pode ser vista como um bem público. A ausência de direitos de propriedade bem definidos, inerente aos bens públicos, junto ao fato de que os benefícios da mitigação são percebidos de forma heterogênea e apenas em um tempo futuro, suscitam a necessidade do estabelecimento de intervenções de políticas públicas para que seu objetivo – a manutenção da dinâmica climática em níveis favoráveis à vida natural e humana – seja alcançado.

Nesse sentido, o bem público *mitigação das emissões de GEE* atua como corretor das externalidades negativas produzidas pelas emissões. Seus benefícios são globais, porém seus custos são a princípio arcados pelos poluidores, até o ponto em que se igualem, na margem, aos custos ocasionados pelas próprias emissões. Assim, quando o custo marginal de uma política de mitigação se iguala aos benefícios auferidos pela sociedade em sua decorrência, tem-se um nível ótimo em termos de custo-benefício social.

Na prática, entretanto, as tentativas de estabelecer pontos ótimos para as políticas de mitigação esbarram no problema da valoração econômica dos benefícios trazidos por ela. A complexidade e a subjetividade associadas ao valor do capital natural (que inclui uma grande quantidade de diferentes recursos e serviços ecossistêmicos associados) tornam a análise inconclusiva (ou questionável, no melhor caso) quanto à determinação do nível ótimo de mitigação a ser buscado por meio de políticas públicas.<sup>8</sup> Contorna-se o problema da valoração ambiental ao adotar a análise de custo-efetividade, em que metas de controle de emissões são definidas *a priori* e apenas os custos de tal controle são contabilizados.

Políticas de mitigação de emissões podem ser de cunho regulatório ou econômico. No primeiro caso, limites de emissão são fixados pela legislação, ao passo que políticas econômicas são baseadas em incentivos contrários à emissão, como taxas, impostos, subsídios ou mesmo a instauração de mercados de carbono. A preferência por políticas do segundo tipo é comumente justificada por sua maior flexibilidade e eficiência econômica, que levaria ao objetivo desejado com menores custos, dadas as diferenças observadas nas estruturas produtivas dos diversos setores da economia em termos de intensidade de emissões, além de fomentar a busca por novas tecnologias ambientalmente satisfatórias (Nordhaus, 2008).

---

8. O método de valoração ambiental mais tradicional, denominado pesquisa de contingência, é baseado em questionários sobre o quanto as pessoas pagariam ou gostariam de receber, respectivamente, pela manutenção ou degradação de determinado capital natural. Tal método, todavia, sofre inúmeras críticas devido a resultados contraditórios. Para mais detalhes do assunto, ver Knetsch e Sinden (1984).

Nordhaus (2008) também classifica as políticas econômicas de mitigação de emissões de acordo com objetivos pré-estabelecidos. Estes incluem os alcances descritos adiante.

- 1) Níveis ótimos de emissões e preços de carbono, em termos de eficiência econômica.
- 2) Os mesmos níveis ótimos, porém, associados a limites máximos para as concentrações de carbono na atmosfera em relação a períodos pré-industriais.
- 3) Níveis ótimos associados a limites máximos para incrementos da temperatura global em relação a 1990.
- 4) Metas impostas pelo Protocolo de Kyoto.
- 5) Resultados mais ousados, via adoção de novas tecnologias ou de baixas taxas de retorno (entendidas como taxas de desconto intertemporal) específicas para investimentos que apresentam impactos sobre o clima (Stern, 2007).

Em mercados de carbono, uma vez estabelecidos limites para as emissões de GEE de cada país (em toneladas de CO<sub>2</sub>-equivalente), o mecanismo de livre ajuste de preços relativos levaria à minimização dos custos necessários ao alcance das metas. Firms com menores custos marginais de redução de emissões adotariam mais medidas de controle; firms com maiores custos marginais optariam pela compra do direito de emissão adicionais, provenientes de firms cujas emissões se mantiveram aquém do esperado. A precificação do carbono desestimularia a demanda por insumos e produtos intensivos nesse elemento. Trata-se, portanto, de taxas pigouvianas de internalização de custos ambientais (Pigou, 1920).

A precificação do carbono, na prática, envolve a distribuição de direitos de propriedade, ou seja, direitos de emissão de certa quantidade de toneladas de CO<sub>2</sub>-equivalente, na forma de licenças. Há assim uma alocação inicial de um bem, e as decisões dos agentes (reduzir as emissões ou adquirir licenças para emissões adicionais) determinarão de forma endógena o custo marginal adicional – o preço do carbono – resultante da política.

Em anos mais recentes, a literatura tem se dedicado a estudar os efeitos de políticas de redução de emissão de GEE (Manne e Richels, 1991; Jorgenson e Wilcoxon, 1993; Weyant, 1993; Viguier, Babiker e Reilly, 2003; Springer, 2003; Manne, 2005; Nordhaus, 2008; Rose, 2009; Clarke *et al.*, 2009). Para a economia dos Estados Unidos e utilizando um modelo EGC intertemporal, Jorgenson e Wilcoxon (1993), por exemplo, comparam os efeitos de taxas baseadas no conteúdo de carbono dos combustíveis fósseis com aqueles observados para taxas relacionadas ao conteúdo de energia desses combustíveis, assim como taxas *ad valorem* sobre seu uso.

Para o mesmo nível de reduções, os resultados obtidos indicaram um *trade-off* entre os impactos econômicos globais restritos a setores associados à extração de combustíveis fósseis. As taxas relacionadas ao conteúdo de carbono apresentariam os menores impactos negativos sobre a economia como um todo, conjugados com grandes efeitos sobre tais setores específicos. Por sua vez, as taxas *ad valorem* agiriam com mais intensidade sobre a economia e com menores impactos relativos sobre as atividades de extração. Taxas fundamentadas no conteúdo energético de combustíveis fósseis levariam a cenários intermediários.

No Brasil, a literatura sobre o tema é relativamente recente. Entre as aplicações que consideram políticas de redução das emissões de GEE, é possível destacar: Guilhoto, Lopes e Motta (2002); Tourinho, Motta e Alves (2003); Rocha (2003); Lopes (2003); Hilgemberg e Guilhoto (2006); Feijó e Porto Junior (2009); Margulis e Dubeux (2010); Silva e Gurgel (2012); e Gurgel (2012) e Magalhães (2013). Conforme se pode observar, a literatura nacional sobre a análise de impactos de políticas de mitigação ou de baixo carbono ainda tem alto potencial de desenvolvimento. A maior parte dos modelos utilizados se baseia em modelos de insumo-produto ou modelos estáticos de EGC agregados.

Tourinho, Motta e Alves (2003) examinam uma política de tributação de emissões para a economia brasileira, utilizando um modelo EGC estático e três diferentes preços por tonelada de carbono emitida. Os resultados apontaram uma redução no nível de emissões, com a transferência de recursos de setores mais intensivos para aqueles menos intensivos em emissões, além de queda no valor da renda das famílias e no PIB do país e aumento do investimento total.

Hilgemberg e Guilhoto (2006) aplicam um modelo inter-regional de insumo-produto a seis regiões brasileiras. Estes autores quantificam as emissões de carbono decorrentes do uso energético de gás natural, álcool e derivados de petróleo, relacionando-as no nível de atividade e identificando as parcelas de emissões provenientes de cada combustível em razão da demanda final, do consumo intermediário e das famílias. Os efeitos de restrições sobre as emissões e de um imposto sobre as emissões são avaliados por meio de simulações que, entre outros resultados, destacam os produtos de consumo das famílias, principalmente nas regiões Nordeste e Sul, como alvos prioritários de políticas de redução de emissões.

Feijó e Porto Junior (2009) utilizam um modelo multirregional de EGC para avaliar os impactos sobre a redução de emissões e sobre a economia brasileira das propostas trazidas pelo Protocolo de Kyoto, incluindo a possibilidade de estabelecimento de um mercado de carbono. Os resultados corroboram o *trade-off* existente entre eficiência alocativa e redução de emissões e apontam para as vantagens econômicas associadas à alternativa apresentada por tais mercados.

Silva e Gurgel (2012) adotam um modelo EGC dinâmico-recursivo para a economia mundial, no qual, entre 2015 e 2050, quedas progressivas de 3% a 30% nas emissões setoriais acarretam perdas acumuladas de 1% a 2% no PIB em relação a 2004. As emissões se reduzem em 54% em relação ao cenário-base, com perdas menores do que 1% em termos de bem-estar. Os autores enfatizam o papel das fontes de energia limpa na matriz energética brasileira, com destaque para a geração hidroelétrica, sobre o reduzido impacto econômico previsto pelo modelo. Gurgel (2012), utilizando o mesmo modelo (que considera mudanças no uso da terra e mercados de carbono setoriais) e visando avaliar as propostas firmadas durante a COP17, em 2011 (reduções entre 36,1% e 38,9% até 2020, em relação às projeções de referência do governo brasileira à época), ratifica tais resultados, com baixos impactos sobre o PIB brasileiro em 2020 (0,2%). Por seu turno, para 2050, as perdas poderiam chegar a 4% do PIB, resultado da baixa eficiência da política de mercados de carbono setoriais.

Este artigo contribui com essa literatura ao avaliar a meta inédita de redução absoluta de emissões proposta pelo Brasil na COP21, em 2015, por meio de um modelo EGC dinâmico-recursivo com detalhamento energético e ambiental.

### 3 METODOLOGIA

Modelos EGC utilizam a base teórica do equilíbrio geral walrasiano e sua formalização por Arrow e Debreu (1954) para a elaboração de um modelo parametrizado de uma economia real com solução numérica (Shoven e Whalley, 1992). Tais modelos possibilitam a simulação dos efeitos de diferentes tipos de choques sobre a alocação de recursos na economia, sendo em geral empregados com o intuito de se preverem e avaliarem os impactos de políticas econômicas.

Desde o trabalho de Johansen (1960), modelos EGC evoluíram muito em termos de aplicação. Sua versatilidade possibilita aplicações em áreas bastante diversificadas, como finanças públicas, comércio internacional, desenvolvimento, distribuição de renda e política ambiental e energética, entre outras (Devarajan e Robinson, 2002). De acordo com Dixon e Rimmer (1998), modelos EGC também podem ser utilizados na projeção de cenários econômicos a partir de uma base de dados detalhada e fornecida por especialistas.

Modelos EGC tratam a economia como um sistema de mercados inter-relacionados, no qual o equilíbrio em todas as relações tem de ser obtido simultaneamente, o que não ocorre em modelos de equilíbrio parcial. A hipótese de preços flexíveis determinados endogenamente torna possível a avaliação da realocação de recursos em resposta a variações nos preços relativos; a mobilidade dos fatores primários e a possibilidade de substituição entre insumos são também características importantes dos modelos EGC (Domingues, 2002).

A aplicação de modelos EGC na avaliação de impactos de políticas ambientais se deve aos seus efeitos sobre o comportamento dos agentes e, consequentemente, sobre preços e quantidades na economia. Assim, os impactos de impostos, subsídios, quotas e transferências de renda no contexto da regulação ambiental podem ser avaliados por meio dessa ferramenta (Wing, 2004). Segundo Tourinho, Motta e Alves (2003), é possível analisar a circularidade implícita nesse processo: a economia afeta o meio ambiente e este efeito impacta a economia. Assim, um modelo EGC é uma ferramenta adequada para que seja possível alcançar os objetivos propostos anteriormente.

Xie e Saltzman (2000) caracterizam modelos EGC aplicados a problemas ambientais como modelos que tornam endógenos os efeitos da poluição nas funções de produção ou utilidade. Os autores alertam para o problema da especificação incompleta das interações entre atividades econômicas e ambientais, além da dificuldade de obtenção de dados ambientais bem definidos que permitam a especificação numérica dos modelos.

Segundo Adams, Horridge e Parmenter (2000), três características de modelos EGC contribuem para a sua capacidade de análise do problema das emissões de GEEs: i) um módulo de quantificação do uso de energia e de emissões para cada setor e região do modelo; ii) equações que permitam a substituição entre fontes de geração de energia elétrica por região; e iii) mecanismos que permitam, de forma endógena, o abatimento de créditos de carbono em resposta a políticas mitigatórias. Ainda, Weyant (1993) aponta os determinantes de projeções voltados à redução de emissões: i) premissas do cenário-base; ii) especificações do cenário com controle de emissões; iii) estrutura do modelo empregado; e iv) cálculos dos custos das medidas consideradas.

Em modelos EGC que seguem o padrão estabelecido por Johansen (1960), as equações do modelo são linearizadas e as soluções são apresentadas em variação percentual. O primeiro de tais modelos foi denominado ORANI (Dixon *et al.*, 1982), cuja evolução deu origem ao MONASH (Dixon e Parmenter, 1996). A versatilidade e orientação prática de modelos como o MONASH possibilitam seu emprego em diversas aplicações, sendo capaz de executar simulações de estática comparativa e projeção (Dixon, Koopman e Rimmer, 2013). Nesses modelos, os efeitos de políticas públicas e outros choques não são independentes da projeção de referência ou cenário-base da economia, sendo esta, portanto, crucial para a análise dos efeitos de tais políticas (Dixon e Rimmer, 1998).

### 3.1 Modelo BeGreen

O BeGreen é um modelo EGC que segue a abordagem proposta por Johansen (1960), apresentando uma estrutura matemática representada por um sistema de equações lineares e com variáveis na forma de taxas de variação percentual. Os principais avanços incorporados ao BeGreen e que o diferenciam dos demais modelos EGC brasileiros são: i) um módulo de detalhada especificação energética; ii) um módulo ambiental para projeção de políticas de redução de emissões; e iii) uma estrutura de dinâmica recursiva (Magalhães, 2013). Além disso, o modelo é calibrado para os dados mais recentes do Sistema de Contas Nacionais (SCN) e da matriz de insumo-produto (IBGE, 2007a), além do Inventário Brasileiro de Emissões (Brasil, 2010).

O modelo é multiproduto, composto por 124 produtos e 58 setores. Ademais, o modelo conta com catorze componentes da demanda final, contemplando consumo das famílias (dez famílias representativas) e do governo, investimento, exportações e estoques. Há também três elementos de fatores primários (capital, trabalho e terra), dois setores de margens (comércio e transportes), importações por produto para cada um dos 58 setores e 14 componentes da demanda final, um agregado de impostos indiretos e um agregado de impostos sobre a produção. Sua estrutura central é composta por blocos de equações que determinam relações de oferta e demanda, derivadas de hipóteses de otimização, e condições de equilíbrio de mercado.

Com relação à estrutura de produção, cada setor faz uso de insumos energéticos, insumos intermediários e fatores primários. Em cada setor, as firmas apresentam um comportamento otimizador, buscando uma combinação de insumos de modo a minimizar o custo de produção para um dado nível de produto, condicionado a tecnologias de retornos constantes de escala. Um avanço incorporado neste modelo é agrupar os setores produtivos em duas categorias distintas, a saber: i) setores com tecnologias de produção com vetores tecnológicos; e ii) setores com estruturas de substituição entre compostos energéticos.

Em relação a esse primeiro grupo, a especificação de vetores tecnológicos possibilita a introdução de uma restrição sobre a substituição entre os insumos utilizados pelas firmas, tornando-a consistente com as características de tecnologias específicas e conhecidas. Isto evita a possibilidade de obtenção de substituição ou combinação de insumos tecnicamente não factíveis, tratando de forma mais realista o padrão de uso dos insumos e a resposta destas a variações nos preços. No modelo BeGreen, dois setores se enquadram nesta categoria por apresentarem tecnologias de produção bem caracterizadas: *geração de eletricidade e fabricação de aço e derivados*.

Os demais setores produtivos se enquadram no segundo grupo, ou seja, com estrutura de substituição entre compostos energéticos. Neste caso, as firmas escolhem a composição de insumos energéticos entre os seguintes três compostos: renovável, autogeração de energia elétrica e não renovável. O primeiro é definido pela escolha de uma composição de insumos energéticos renováveis, assim como o composto não renovável baseia-se no conjunto de insumos não renováveis. Outro diferencial desta especificação é a possibilidade de substituição entre autogeração de energia hidroelétrica e energia térmica.

No modelo BeGreen, existem dez famílias representativas que consomem bens domésticos e importados. Tais famílias estão desagregadas de acordo com decis de renda obtidos a partir dos dados da Pesquisa de Orçamento Familiar – POF (IBGE, 2007b), referente ao período 2002-2003. Deles obtém-se a classificação das famílias por faixa de renda mensal,  $i = 1, 2, \dots, 10$ , mensurada por unidade de consumo. Em seguida, foram criadas as frações de renda consumida para cada item da matriz, para as dez famílias representativas por decil de renda. A tabela 1 retrata as principais características dos decis de renda pela POF 2002-2003.

**TABELA 1**  
**Características dos decis de renda pela POF – Brasil (2002-2003)**

| Decil | Número de observações | População correspondente | Renda média (R\$) | Desvio-padrão (R\$) | Mínimo (R\$) | Máximo (R\$) |
|-------|-----------------------|--------------------------|-------------------|---------------------|--------------|--------------|
| 1     | 6.730                 | 4.877.783                | 210,71            | 68,96               | 4,00         | 305,00       |
| 2     | 6.158                 | 4.836.322                | 379,11            | 43,59               | 306,00       | 453,00       |
| 3     | 5.606                 | 4.869.806                | 523,81            | 40,63               | 454,00       | 596,00       |
| 4     | 5.190                 | 4.846.089                | 674,80            | 47,17               | 597,00       | 758,00       |
| 5     | 4.921                 | 4.843.652                | 859,31            | 60,67               | 759,00       | 970,00       |
| 6     | 4.390                 | 4.861.636                | 1.103,00          | 80,07               | 971,00       | 1.246,00     |
| 7     | 4.225                 | 4.847.143                | 1.431,09          | 115,03              | 1.247,00     | 1.652,00     |
| 8     | 3.972                 | 4.845.858                | 1.954,89          | 195,15              | 1.653,00     | 2.341,00     |
| 9     | 3.687                 | 4.853.007                | 3.000,83          | 441,40              | 2.342,00     | 3.878,00     |
| 10    | 3.689                 | 4.853.342                | 8.000,76          | 6.617,35            | 3.881,00     | 385.250,00   |

Fonte: IBGE (2007b).  
Elaboração dos autores.

A especificação da demanda das famílias é baseada num sistema combinado de preferências CES/Klein-Rubin, com as equações de demanda derivadas a partir de um problema de maximização de utilidade. Essa especificação dá origem ao sistema linear de gastos (LES), no qual a participação do gasto acima do nível de subsistência, para cada bem, representa uma proporção constante do gasto total de subsistência de cada família. A substituição entre bens domésticos e importados é feita a partir da função CES.

Em relação à demanda por investimento e estoque de capital, tem-se que os “investidores” escolhem os insumos utilizados no processo de criação de capital pelo processo de minimização de custos, sujeito a uma estrutura de tecnologia hierarquizada. No primeiro nível, o bem de capital é produzido por insumos domésticos e importados, cuja combinação é especificada por uma função CES. Em seguida, um agregado do conjunto dos insumos intermediários compostos é formado pela combinação em proporções fixas (função Leontief), o que define o nível de produção do capital do setor.

O mercado de trabalho no BeGreen apresenta um elemento de ajuste intertemporal, envolvendo as seguintes três variáveis: salário real, emprego atual e emprego tendencial. Dado que existe uma relação negativa entre emprego e salário real, o nível de emprego é ajustado até convergir para o nível tendencial. Com isso, enquanto o emprego estiver acima (abaixo) do nível tendencial, o desvio do salário real aumentará (reduzirá).

Todos os bens no modelo BeGreen são definidos com curvas de demanda negativamente inclinadas aos próprios preços no mercado mundial, em que se opera com equações de equilíbrio de mercado para todos os bens consumidos localmente, tanto domésticos quanto importados. Existem também equações de equilíbrio no mercado de fatores (capital e trabalho). Um vetor de elasticidades define a resposta da demanda externa a alterações no preço *free on board* (FOB) das exportações. O consumo do governo é determinado exogenamente, não sendo este agente modelado como otimizador.

A demanda por variação de estoques está conectada no nível de produção do bem. Dessa forma, o volume de estoques, doméstico ou importado, de cada bem, varia de acordo com a produção doméstica desse bem. As demandas por margens (transporte e comércio), por sua vez, são proporcionais aos fluxos de bens aos quais elas estão associadas.

A estrutura dinâmica recursiva do BeGreen tem sua especificação baseada na modelagem do comportamento intertemporal e em resultados de períodos anteriores (*backward looking*). As condições econômicas correntes são endogenamente dependentes dos períodos posteriores, mas permanecem não afetadas por expectativas de períodos futuros (*forward-looking*). Deste modo, o investimento e o estoque de capital seguem mecanismos de acumulação e deslocamento intersetorial a partir de regras pré-estabelecidas, associadas à taxa de depreciação e às taxas de retorno. Além disso, assume-se um amortecimento das respostas do investimento.

Por fim, o módulo ambiental acoplado ao BeGreen foi inspirado no modelo *Monash Multi-Regional Forecasting-Green* (MMRF-Green), discutido em detalhes por Adams, Horridge e Parmenter (2000). Sua incorporação permite tratar as emissões de forma detalhada, separando-as por agente emissor (combustíveis, indústrias e famílias),

e atividade emissora. As emissões no modelo estão associadas ao uso de combustíveis, sendo doze combustíveis no total, ou no nível de atividade do setor. A emissão proveniente do uso de combustíveis é modelada como diretamente proporcional a seu uso, assim como as emissões de atividade em relação ao produto das indústrias relacionadas. Não há no modelo inovações tecnológicas endógenas para o caso do uso de combustíveis fósseis, que, por exemplo, permitam que a queima de carvão libere menos CO<sub>2</sub> por tonelada utilizada.<sup>9</sup>

O modelo calcula endogenamente o preço do carbono, ou custo de redução de emissões, pela imposição de metas de emissões de GEE. Esse módulo é responsável pela transformação destes preços ou impostos físicos da taxa de carbono em alíquotas *ad valorem*, que alimentam o núcleo do modelo. A partir dos resultados de determinadas variáveis (uso de combustível pelos setores, nível de atividade e consumo das famílias), o módulo ambiental calcula as variações nas emissões.

## 3.2 Base de dados

### 3.2.1 Base de dados energética

O BeGreen contém uma detalhada especificação de setores, produtos e parâmetros relacionados à questão energética brasileira. Este modelo utiliza principalmente dados do Ministério de Minas e Energia (MME), de agências reguladoras do setor energético – especialmente a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel). Por sua vez, a principal fonte para a desagregação foi o Balanço Energético Nacional Consolidado para o ano de 2005 (EPE, 2010).

Nos setores de geração de eletricidade e fabricação de aço e derivados, utilizaram-se estruturas de produção com vetores tecnológicos. Para estes casos, o padrão de insumo empregado representa a média de uma determinada tecnologia no setor, obtido a partir de publicações especializadas (EPE, 2010; Aneel, 2005). Como esta especificação requer dados sobre as características dos insumos utilizados em cada tecnologia do setor, a intensidade de dados torna-se sua principal limitação prática, impedindo que todos os setores do modelo utilizassem a mesma estrutura de produção.

### 3.2.2 Base de dados ambiental

As emissões derivadas de combustíveis foram obtidas da Empresa Brasileira de Pesquisa Energética (EPE), a partir de um aplicativo desenvolvido pelo grupo de pesquisa Economia & Energia (EPE, 2010). Estas emissões foram alocadas para cada setor de uso de acordo com a utilização do combustível. Ademais, os

---

9. Os setores, por sua vez, podem reduzir suas emissões pela substituição de insumos energéticos, via mudança de preços relativos.

combustíveis associados às emissões foram: petróleo, gás natural, carvão metalúrgico, carvão mineral, lenha, carvão vegetal, bagaço de cana, gás liquefeito de petróleo (GLP), gasolina, álcool, óleo combustível, óleo *diesel*, querosene, coque e outros produtos do refino.

As emissões associadas ao processo produtivo dos setores foram obtidas do segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (Brasil, 2010). Vale destacar, ainda, que, para a transformação de emissões em uma unidade comum, CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>-equivalente), foram utilizados coeficientes de emissões obtidos do Relatório Stern (Stern, 2007).

#### 4 EMISSÕES POR SETORES

Conforme a segunda edição das *Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil* (Brasil, 2014), as emissões podem ser classificadas de acordo com sua origem, consoante descrito a seguir.

- 1) Setor de energia, que compreende a produção, a transformação e o consumo de energia, incluindo emissões resultantes da queima de combustíveis e as resultantes de fugas na cadeia de produção, transformação, distribuição e consumo de energia.
- 2) Processos industriais, cujas emissões são resultantes dos processos produtivos nas indústrias, exceto da queima de combustíveis. Dividem-se em produtos minerais, indústrias química e metalúrgica, e produção e utilização de hidrofluorcarbonos (HFC) e hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>).
- 3) Agropecuária, com emissões provenientes da fermentação entérica do gado, do manejo de dejetos animais, do óxido nitroso (NO<sub>2</sub>) liberado em solos agrícolas, do cultivo de arroz em campos inundados e da queima de resíduos agrícolas.
- 4) Mudança no uso da terra e das florestas, em função das emissões e remoções resultantes das variações da quantidade de carbono contida na biomassa vegetal e no solo que ocorrem durante a transição entre os seus diversos usos: vegetação nativa, agricultura, pastagem, vegetação secundária, reflorestamento, área urbana, áreas alagadas e reservatórios, entre outros. As emissões de CO<sub>2</sub> por aplicação de calcário em solos agrícolas também se enquadram nesse tipo de origem.
- 5) Setor de tratamento de resíduos, subdividido em disposição de resíduos sólidos e tratamento de esgoto doméstico, comercial e industrial, além da incineração de resíduos.

A participação de cada um dos cinco setores antes citados, junto à sua evolução entre 2005 e 2012, está ilustrada na tabela 2. A participação do setor *mudança no uso do solo e florestas* nas emissões totais apresentou forte queda no período, de 58% para 15%. Tal fato pode ser explicado principalmente pela queda das taxas de desmatamento na Amazônia Legal (Brasil, 2014). Entretanto, todos os outros quatro setores apresentaram crescimento no mesmo período, com destaque para o setor energético, cujo aumento de 36% nas emissões sugere uma importância crescente do setor (junto à agropecuária, com igual participação nas emissões totais em 2012) na formulação de políticas públicas para a mitigação de emissões de GEE. Apesar da centralidade do papel das políticas contra o desmatamento, há, portanto, uma necessidade cada vez maior de se adotarem ações de controle mais efetivas sobre as emissões originadas pela estrutura produtiva propriamente dita, em que se observem a relevância do setor energético e da agropecuária.

Convém observar que as emissões totais em 2012 foram 41% menores do que em 2005. Assim, a meta proposta pelo governo brasileiro na COP21 traz na verdade o desafio de se manterem as emissões totais próximas às de 2012: até 4% maiores em 2025 e 2% menores em 2030. Em um cenário de crescimento econômico, trata-se então de desacoplar a expansão dos setores de energia, agropecuária, processos industriais e tratamento de resíduos, da emissão de GEE, partindo-se da premissa de que a redução das emissões advindas das mudanças no uso do solo e florestas já observadas até 2012 não apresentem reversões significativas.

**TABELA 2**  
**Emissões por setores, participação e evolução (2005-2012)**

| Setores                            | 2005                                  |                     | 2012                                  |                     | Variação<br>(2005-2012)<br>(%) |
|------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|---------------------------------------|---------------------|--------------------------------|
|                                    | Gg de CO <sub>2</sub> -e <sup>1</sup> | Participação<br>(%) | Gg de CO <sub>2</sub> -e <sup>1</sup> | Participação<br>(%) |                                |
| Energia                            | 328.377                               | 16                  | 446.154                               | 37                  | 36                             |
| Processos industriais              | 77.943                                | 4                   | 85.365                                | 7                   | 10                             |
| Agropecuária                       | 415.724                               | 20                  | 446.445                               | 37                  | 7                              |
| Mudança no uso do solo e florestas | 1.179.067                             | 58                  | 175.685                               | 15                  | -85                            |
| Tratamento de resíduos             | 41.887                                | 2                   | 49.775                                | 4                   | 19                             |
| <b>Total</b>                       | <b>2.042.998</b>                      | <b>100</b>          | <b>1.203.424</b>                      | <b>100</b>          | <b>-41</b>                     |

Fonte: Brasil (2014).

Nota: <sup>1</sup> Gigagrama de gás carbônico equivalente.

Nesse cenário, fica evidente a importância da construção de modelos preditivos que, mesmo não incorporando os efeitos da dinâmica das mudanças no uso do solo e das florestas, possam indicar que tipo de impacto econômico é esperado pela implementação de políticas de carbono com imposição de metas de emissões sobre a estrutura produtiva brasileira.

#### 4.1 Atualização dos dados de emissões, choque e cenários simulados

Dada a disponibilidade das informações de emissões de 2005 a 2012, realizou-se uma atualização dos dados de forma setorizada – com base em Brasil (2014) –, ponderando de acordo com os volumes de produção setoriais. Para 2013 e seguintes, até 2025, foram simulados, de forma recursiva, um cenário-base e um cenário de política ambiental. O choque aplicado sobre as emissões, que corresponde à operacionalização da política ambiental, reflete a diferença entre os cenários, sendo calculado de forma que a meta de emissões sob análise seja atingida em 2025 (37% de redução absoluta em relação a 2005), com restrições anuais de emissões totais aplicadas uniformemente.

Nesse cenário de política, os limites impostos às emissões aplicam-se àquelas provenientes do uso de energia e da atividade produtiva dos setores, incluindo, por exemplo, as emissões decorrentes da produção agropecuária. O preço do carbono para se atingir determinada meta pode ser interpretado não somente como um imposto corretivo pigouviano (Pigou, 1920), mas também como o custo de redução de emissões com o qual os agentes econômicos, de forma agregada, se deparariam dada a imposição de uma meta (ou limite) de emissões. Endogenamente, o modelo calcula esse custo ou preço de carbono.

O fechamento selecionado (definição das variáveis exógenas e endógenas no modelo) seguiu o padrão para modelos de dinâmica recursiva. As condições de equilíbrio dos mercados são caracterizadas pela alocação de bens e fatores produtivos de tal forma que: i) os preços endogenamente determinados ajustem todos os mercados; ii) todos os agentes se deparem com restrições orçamentárias; e iii) o nível total de emissões atenda à meta de redução de emissões. O modelo é walrasiano e, portanto, determina apenas os preços relativos, com a taxa de câmbio nominal como numerário.

As principais variáveis macroeconômicas são endógenas no cenário da política (apenas os gastos do governo são exógenos). Em modelos dinâmicos recursivos, o aumento do investimento implica reduções das taxas esperadas de retorno, via aumento do estoque de capital, amortecendo as respostas do investimento até seu estado estacionário (equilíbrio). Por seu turno, os salários reais vão responder a aumentos de emprego até o momento em que o equilíbrio do mercado de trabalho for restabelecido. No modelo, as estruturas comerciais internacionais são exógenas, sendo o Brasil modelado como uma pequena economia aberta. Nas simulações em que a restrição nas emissões totais é imposta (exógena), o preço do carbono de equilíbrio é determinado endogenamente pelo modelo e são repassados nos preços pagos pelos usuários tanto intermediários quanto finais.

O cenário-base representa qual seria a trajetória da economia sem políticas de restrição de emissões. A evolução da economia no período 2005-2025 é baseada nos dados macroeconômicos observados entre 2006 e 2015, disponíveis na matriz

de insumo-produto nacional de 2005 (IBGE, 2007a), nos dados de comércio internacional da Fundação Centro de Estudos do Comércio Exterior (Funcex)<sup>10</sup> e nos resultados da POF (IBGE, 2007b). Para o período restante, as projeções de crescimento do PIB, consumo das famílias, governo, investimento e exportações adotadas seguiram as projeções do Banco Central do Brasil (BCB, 2016). O cenário também incorpora informações sobre o aumento de eficiência energética baseado em projeções da EPE (2007). De modo geral, o cenário-base está ancorado em um crescimento médio da economia brasileira de 2,5% ao ano (a.a.) até 2025.

## 5 RESULTADOS

Nesta seção são analisados os resultados macroeconômicos, setoriais e por grupos de famílias. Inicialmente, serão discutidos os impactos do controle de emissões resultantes da proposta brasileira sobre algumas variáveis macroeconômicas, tais como PIB real e emprego. Em seguida, serão abordados os efeitos sobre o consumo das famílias. Finalmente, discutem-se os impactos sobre o nível de atividade e as emissões setoriais.

É importante salientar que os impactos representam a diferença das variações obtidas entre o cenário-base e o cenário com a política. Dessa forma, os resultados devem ser entendidos como desvios em relação a uma trajetória da economia brasileira (cenário-base) que não considera a política de metas de emissões.

### 5.1 Resultados macroeconômicos

Conforme dito anteriormente, os resultados representam uma redução relativa ao cenário-base em 2025, não devendo ser interpretados como quedas absolutas das variáveis agregadas. As relações de causalidade que explicam tais resultados encontram-se esquematizadas na figura 1. Além disso, ressalta-se a ausência de estudos similares aplicados especificamente à proposta brasileira na COP21 e que poderiam ser utilizados para fins de comparação. Gurgel e Paltsev (2014), por exemplo, ressaltam as incertezas associadas às formas de implementação da meta brasileira relativa às emissões provenientes do uso de energia e agricultura, argumentando que, apesar das dificuldades relacionadas à mensuração e ao controle de todas as fontes de emissão na economia, um mercado de carbono seria, de fato, a melhor opção. Em todo caso, os resultados macroeconômicos obtidos por Gurgel (2012) e Silva e Gurgel (2012), mencionados na seção 2 e também baseados em modelos dinâmico-recursivos, apesar de suas particularidades metodológicas, se encontram próximos aos valores apresentados a seguir.

A tabela 3 apresenta os impactos macroeconômicos decorrentes da política de meta de emissões. Primeiramente, os resultados sugerem um decréscimo de -3,3% do PIB real acumulado até 2025, em relação ao cenário-base. Em outras palavras,

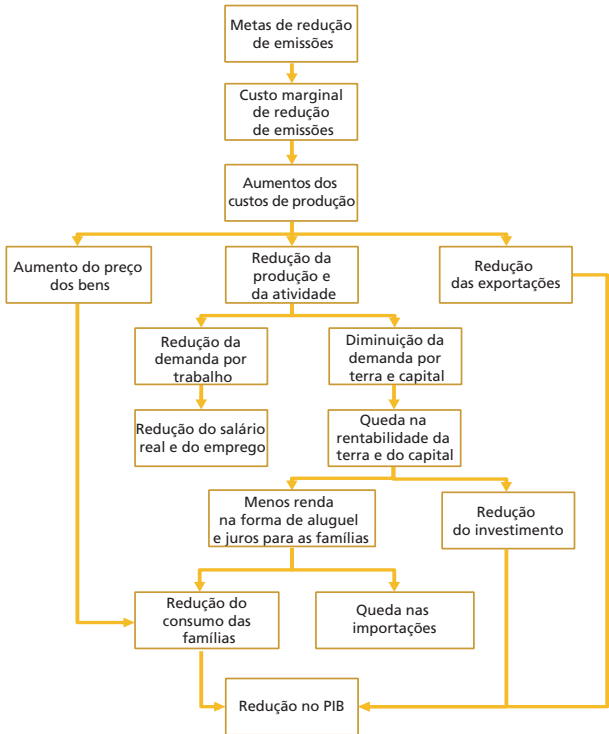
---

10. Disponível em: <<https://bit.ly/3xtr41l>>. Acesso em: maio 2016.

isso significa dizer que o crescimento do PIB passaria de 2,5% a.a. (média do cenário-base) para cerca de 2,24%, em média, até 2025, considerando a política de redução absoluta de emissões. Essa queda decorre, notadamente, dos aumentos dos custos de produção associados às metas de redução de emissões impostas aos setores ou, lido de outra forma, aos aumentos dos custos de abatimento das emissões devido a medidas de redução de emissões impostos aos setores.

A queda do PIB real está fortemente associada ao comportamento do consumo das famílias e do investimento, que no acumulado apresentaram queda de -5,24% e -5,77%, respectivamente. O consumo das famílias diminui sob um cenário de precificação de carbono devido ao aumento do preço dos bens, dado que acrescenta custos adicionais à produção e os preços tendem a subir na medida em que os produtores repassam o maior custo aos consumidores. As famílias respondem, assim, com um menor consumo. Além disso, os produtores diminuem a produção e o investimento, como resultado do aumento de custos e isso implica menos renda na forma de pagamentos aos fatores primários para as famílias. Com a diminuição da renda, intensifica-se a redução do consumo.

FIGURA 1  
Fluxograma de relações de causalidade do modelo BeGreen



Os efeitos da menor produção e, consequentemente, menor demanda por trabalho incidem ainda sobre o salário real e explicam a queda do nível de emprego (-2,89% acumulados em relação ao cenário-base em 2025). As exportações também apresentaram um impacto negativo (-0,41%), embora em magnitude consideravelmente menor se comparada ao consumo das famílias e ao investimento.<sup>11</sup> Esta queda deve-se ao efeito preço, pois como a precificação de carbono eleva os custos de produção, as exportações se tornam mais caras e menos atraentes para os consumidores externos. A queda das importações está associada à queda da atividade econômica ao longo dos anos, o que provoca redução de preços domésticos para alguns bens, junto à queda simultânea na renda.

TABELA 3  
Impactos macroeconômicos da meta de redução de emissões sobre a economia

| Variáveis macroeconômicas  | Variação (%) <sup>1</sup> |
|----------------------------|---------------------------|
| PIB real                   | -3,30                     |
| Consumo das famílias       | -5,24                     |
| Investimento               | -5,77                     |
| Exportações                | -0,41                     |
| Importações                | -5,80                     |
| Emprego                    | -2,89                     |
| Salário real               | -14,63                    |
| Redução total das emissões | -11,09                    |

Elaboração dos autores.  
Nota: <sup>1</sup> Variação percentual acumulada em 2025 – desvio acumulado em relação ao cenário-base.

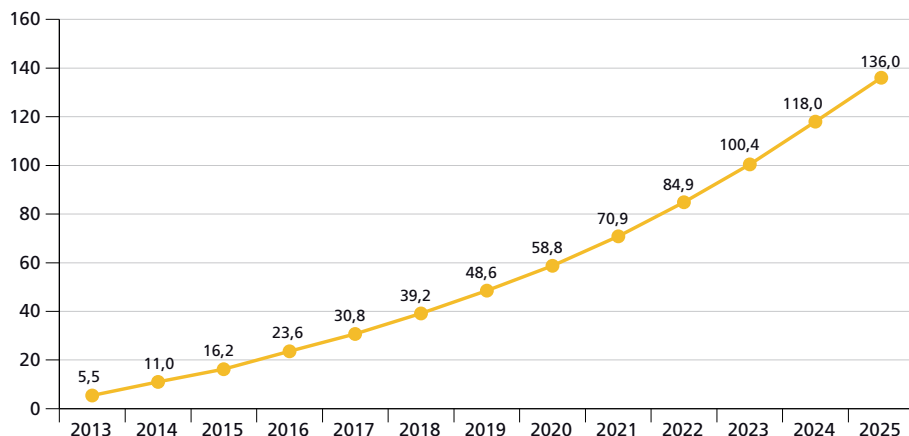
Com relação à redução total das emissões, o limite imposto de emissões no modelo levaria a uma redução de 11,09% em relação ao cenário-base, suficiente para o cumprimento da meta absoluta proposta na COP21.

O preço do carbono para se atingir determinada meta pode ser interpretado não somente como um imposto corretivo pigouviano (Pigou, 1920), mas também pode ser analisado como o custo de redução de emissões que as empresas ou setores se deparariam com a imposição de uma meta (ou limite) das suas emissões. Endogenamente, o modelo calcula este custo ou preço de carbono. Tais metas se traduzem em preços de carbono sobre as diferentes fontes de emissões de GEE (combustíveis e setores produtivos) e usuários (setores, famílias etc.). Se este mercado cobre todas as emissões e é competitivo, como assume o modelo BeGreen, o preço

11. É assumida a hipótese de país pequeno, em que as exportações variam inversamente com os preços domésticos.

do carbono será igual ao custo marginal de abatimento para uma determinada meta, que reflete o custo de redução de emissões, podendo ser também traduzido como um preço implícito ou preço sombra. Além disso, o custo marginal de abatimento será igual para todos os emissores, o que é uma condição custo-efetividade da política.

GRÁFICO 1

**Trajetórias dos preços de carbono da meta de redução de emissões (2013-2025)**(Em R\$/tonelada CO<sub>2</sub>-e)

Fonte: Resultados do modelo.

Elaboração dos autores.

O gráfico 1 mostra a trajetória, ano a ano, dos preços de carbono implícitos em reais por tonelada de CO<sub>2</sub>-e para cada meta de emissão. Uma meta progressiva de redução de emissões até 2025, por exemplo, requer preços de carbono entre R\$ 5,5/t CO<sub>2</sub>-e e R\$ 136/t CO<sub>2</sub>-e no fim do período.<sup>12</sup> Conforme se pode visualizar, tais custos têm uma escalada crescente. Estes preços estão em consonância com os encontrados na literatura especializada sobre o tema. Assim, podemos nos voltar para as análises de Stern e Nordhaus. No caso brasileiro, metas ambiciosas de redução de emissões devem estar associadas a períodos mais longos de tempo; e metas menos ambiciosas, a períodos mais curtos. A estratégia de uma meta ambiciosa em um curto período de tempo poderia impor um custo mais elevado para a economia brasileira.

12. Em termos ilustrativos, um imposto de carbono sobre a gasolina de R\$ 50/t CO<sub>2</sub>-e, em 2025, equivaleria a R\$ 0,1825 de imposto por litro de gasolina; o mesmo imposto específico sobre o *diesel* corresponderia a R\$ 0,2005 por litro.

Os resultados encontrados estão em linha com os custos estimados de políticas de taxaço e restrição de emissões para o Brasil – por exemplo, Gurgel (2012) e Gurgel e Paltsev (2014). Cabe ressaltar que, embora os resultados sugiram uma queda apenas relativa ao cenário-base, o custo da política poderia, potencialmente, ser minimizado devido a três motivos principais. O primeiro está relacionado ao próprio objetivo do trabalho, que é estimar os custos e a incidência de políticas preço-induzidas para a parcela das emissões brasileiras decorrentes do uso de energia e da atividade produtiva. Reitera-se que foram consideradas apenas as emissões derivadas do uso de combustíveis, energia e do nível de atividade dos setores, e não aquelas relacionadas à mudança do uso da terra. Isto se justifica pelo fato de que as políticas de mitigação desta grande parcela das emissões brasileiras se basearam no controle do desmatamento, que tem um enfoque de regulação, fiscalização e controle. Se a mitigação destas emissões fosse considerada por meio de incentivos econômicos conforme os mecanismos de compensação financeira, como redução das emissões por desmatamento e degradação florestal (REDDs) ou mesmo políticas de fiscalização, os custos de alcance das metas propostas poderiam reduzir-se consideravelmente.

O segundo motivo para custos econômicos mais elevados das metas relaciona-se à própria característica teórica do modelo, que assume retornos constantes de escala e, no caso do módulo ambiental, emissões proporcionais ao nível de atividade dos setores e ao uso de energia e combustíveis. Uma diferença que se pode destacar em relação aos estudos anteriores refere-se à alta desagregação do modelo, implicando mais interações e interdependências setoriais, que podem intensificar os resultados. A análise de sensibilidade efetuada sobre os parâmetros e elasticidades mostrou que os resultados encontrados, considerando a especificação metodológica, são robustos para grande parte das variáveis (apêndice A).

Por fim, outra limitação é a de que as simulações não consideram a existência de mudanças tecnológicas endógenas ou cenários alternativos que possam reduzir as emissões dos setores ou compensar os indivíduos afetados pelas metas de emissões, com redistribuição das receitas geradas, por exemplo. A única possibilidade, no cenário simulado, é a substituição de insumos energéticos via mudança de preços relativos.

## 5.2 Resultados por grupos de famílias

Um resultado bastante discutido na literatura é a incidência distributiva das políticas climáticas. Os efeitos distributivos sobre as famílias da imposição de metas de redução de emissões sobre a economia podem ser analisados pelo modelo BeGreen, especificado para analisar a incidência da restrição de emissões por grupos de famílias, visto que apresenta em sua especificação dez famílias representativas, definidas de

acordo com os decis de renda total por unidade familiar. As denominações de H1 a H10 representam a desagregação das famílias baseadas em decis de renda, no qual H1 refere-se ao primeiro decil (famílias de mais baixa renda), ao passo que em H10 estão as famílias na faixa de maior renda. A tabela 4 retrata a participação das famílias no consumo, de acordo com o banco de dados do modelo.

TABELA 4

**Participação das famílias no consumo e na renda média, por decil de renda (2005)**

| Famílias por decis de renda | Participação no consumo (%) | Renda média (R\$) |
|-----------------------------|-----------------------------|-------------------|
| H1                          | 3                           | 210,71            |
| H2                          | 3                           | 379,11            |
| H3                          | 4                           | 523,81            |
| H4                          | 5                           | 674,80            |
| H5                          | 6                           | 859,31            |
| H6                          | 7                           | 1.103,00          |
| H7                          | 9                           | 1.431,09          |
| H8                          | 11                          | 1.954,89          |
| H9                          | 16                          | 3.000,83          |
| H10                         | 36                          | 8.000,76          |
| <b>Total</b>                | <b>100</b>                  | -                 |

Fonte: Modelo BeGreen.

É notável a participação majoritária dos maiores decis de renda no consumo das famílias. Juntos, os dois últimos decis (H9 e H10) respondem por mais da metade do valor de compras das famílias (52%). Esta participação no consumo pode ser decomposta pelos bens energéticos do modelo, de forma a apontar o padrão dos gastos de cada decil. Como pode ser visto na tabela 5, os decis mais baixos gastam uma proporção maior de sua renda com energia elétrica se comparado aos decis superiores. Em contrapartida, os últimos decis apresentam uma alta proporção do gasto em combustíveis fósseis, com especial destaque para a gasolina. No total, as famílias do menor decil de renda gastam cerca de 5,2% da renda no consumo de bens energéticos, ao passo que o mais alto decil, chega a 9,4%.

**TABELA 5**  
**Participação dos bens energéticos no consumo das famílias (2005)**  
 (Em %)

| Bens energéticos                   | Consumo das famílias |              |              |              |              |              |              |              |              |              |
|------------------------------------|----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                                    | H01                  | H02          | H03          | H04          | H05          | H06          | H07          | H08          | H09          | H10          |
| Lenha                              | 0,02                 | 0,01         | 0,01         | 0,01         | 0,02         | 0,01         | 0,02         | 0,01         | 0,02         | 0,02         |
| Carvão vegetal                     | 0,01                 | 0,01         | 0,01         | 0            | 0,01         | 0,01         | 0,01         | 0,01         | 0,01         | 0,02         |
| GLP                                | 0,26                 | 0,25         | 0,29         | 0,34         | 0,42         | 0,6          | 0,69         | 0,92         | 1,17         | 1,24         |
| Gasolina                           | 0,34                 | 0,08         | 0,08         | 0,23         | 0,31         | 0,4          | 0,9          | 1,79         | 2,61         | 5,47         |
| Óleo <i>diesel</i>                 | 0,1                  | 0,17         | 0,08         | 0,19         | 0,15         | 0,13         | 0,17         | 0,24         | 0,28         | 0,31         |
| Querosene                          | 0                    | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0,01         | 0,01         | 0,01         | 0,01         |
| Outros refinos de petróleo         | 0,03                 | 0,03         | 0,03         | 0,04         | 0,05         | 0,07         | 0,08         | 0,11         | 0,14         | 0,14         |
| Álcool                             | 0,12                 | 0,12         | 0,26         | 0,33         | 0,43         | 0,35         | 0,59         | 0,67         | 0,82         | 0,4          |
| Energia elétrica                   | 4,12                 | 4,15         | 3,96         | 3,75         | 3,55         | 3,46         | 3,13         | 2,77         | 2,44         | 1,65         |
| Gás natural                        | 0,23                 | 0,23         | 0,22         | 0,21         | 0,19         | 0,19         | 0,17         | 0,15         | 0,13         | 0,09         |
| Total bens energéticos             | 5,2                  | 5,1          | 4,9          | 5,1          | 5,1          | 5,2          | 5,8          | 6,7          | 7,6          | 9,4          |
| Produtos agropecuários e alimentos | 33,9                 | 33,6         | 29,4         | 28,1         | 24,8         | 22,2         | 20,1         | 16,7         | 13,3         | 7,8          |
| Serviços                           | 26,5                 | 28,0         | 31,5         | 32,3         | 35,5         | 38,3         | 40,7         | 44,0         | 46,9         | 55,5         |
| Demais insumos intermediários      | 34,3                 | 33,3         | 34,2         | 34,6         | 34,6         | 34,3         | 33,5         | 32,7         | 32,1         | 27,4         |
| <b>Total</b>                       | <b>100,0</b>         | <b>100,0</b> | <b>100,0</b> | <b>100,0</b> | <b>100,0</b> | <b>100,0</b> | <b>100,0</b> | <b>100,0</b> | <b>100,0</b> | <b>100,0</b> |

Fonte: Banco de dados do modelo BeGreen.

A tabela 6 apresenta os impactos da precificação de carbono sobre o consumo de cada família representativa. Nota-se um impacto diferenciado com relação aos decis. No que diz respeito ao consumo, os resultados indicam que os primeiros decis da distribuição seriam relativamente mais afetados do que os decis intermediários. O perfil de consumo possibilita entender esse efeito. Quanto maior a renda, maior a parcela do orçamento gasta em serviços e, como os serviços não emitem GEE, o efeito sobre o consumo das famílias de maior renda tende a ser menor. Além disso, deve-se levar em conta que a participação de produtos agropecuários e alimentícios se reduz à medida que se avança nos decis de renda. Portanto, dado que estes produtos acumulam aumentos de preço em decorrência da precificação de carbono, o impacto destes aumentos nos primeiros decis deve ser maior.

Por sua vez, também se observa que as famílias de maior renda (H10) apresentam elevada redução no consumo. A explicação para este resultado reside no fato de essas famílias serem as mais afetadas pelo aumento do preço dos combustíveis,

dado que apresentam uma maior parcela do gasto com este bem, comparado aos decis mais baixos.

Em relação à utilidade, *proxy* de impacto de bem-estar, ressalta-se que no modelo BeGreen o seu cálculo desconsidera mudanças de gosto ou variações no consumo de subsistência. Observa-se, ainda, que a utilidade apresenta uma tendência similar ao consumo. Novamente, nota-se que os decis de H03 a H08 apresentaram os menores recuos e que a classe de maior renda apresentou a maior queda na utilidade.

TABELA 6  
Impactos sobre o consumo e a utilidade das famílias (2025)<sup>1</sup>

| Famílias | Simulações de controle das emissões de acordo com a meta proposta |           |
|----------|-------------------------------------------------------------------|-----------|
|          | Consumo                                                           | Utilidade |
| H01      | -5.13                                                             | -7.89     |
| H02      | -5.08                                                             | -7.84     |
| H03      | -4.51                                                             | -6.96     |
| H04      | -4.6                                                              | -7.08     |
| H05      | -4.5                                                              | -6.94     |
| H06      | -4.3                                                              | -6.62     |
| H07      | -4.5                                                              | -6.93     |
| H08      | -4.88                                                             | -7.53     |
| H09      | -5.12                                                             | -7.9      |
| H10      | -6.11                                                             | -9.43     |

Fonte: Modelo BeGreen.  
Elaboração dos autores.  
Nota: <sup>1</sup> Variação em porcentagem – desvio acumulado em relação ao cenário-base.

5.3 Resultados setoriais

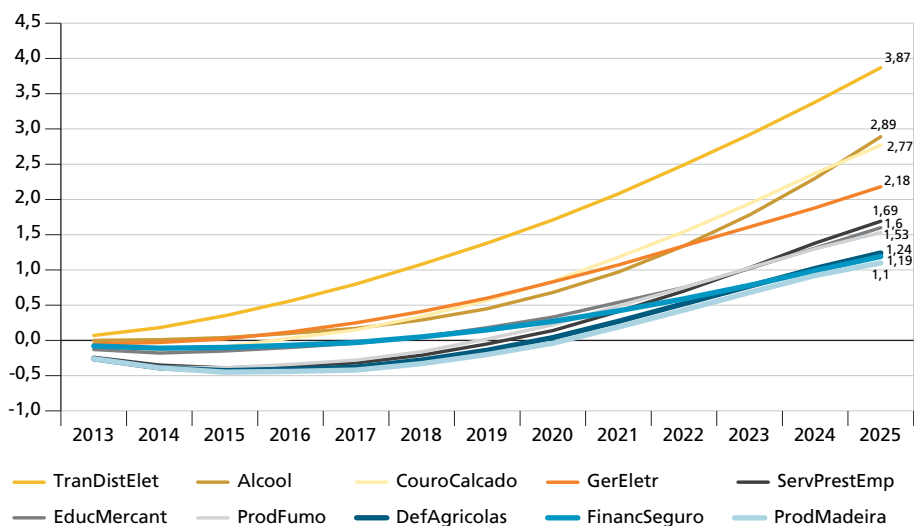
A seguir, apresentam-se os resultados setoriais, referentes ao nível de atividade e à evolução das emissões ao longo do período de projeção – de 2013 a 2025. Como esperado, setores com mais dependência em relação à queima de combustíveis ou com elevada intensidade de emissões nos seus processos produtivos seriam os mais negativamente afetados em termos de variação na atividade econômica. A queda setorial de emissões, por sua vez, apresentou relação menos direta com tais setores potencialmente mais poluidores, uma vez que outros setores podem apresentar menores custos marginais de redução nas emissões.

### 5.3.1 Nível de atividade

Os dez setores mais beneficiados pela política em termos de nível de atividade ao longo do período 2013-2025 podem ser visualizados no gráfico 2. De forma geral, trata-se de ganhos acumulados em 2025 relativamente baixos (menores do que 4% em relação ao cenário-base), especialmente se comparados com as perdas apresentadas pelos setores mais prejudicados pela política proposta. Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, assim como o álcool, apresentaram resultados positivos em decorrência de sua menor intensidade de emissão enquanto fonte energética, servindo de alternativa em relação aos combustíveis fósseis sob o quadro de restrição imposto pela política. Outros setores com baixas emissões também se beneficiaram, pois o crescimento da economia brasileira no período foi considerado exógeno e esses setores têm, portanto, de compensar o decréscimo observado em setores mais poluidores.

GRÁFICO 2

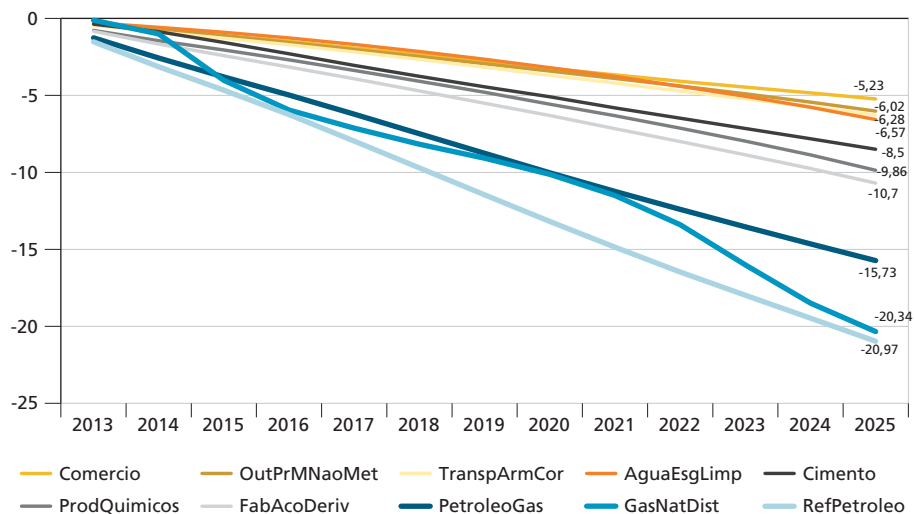
**Dez setores com maiores ganhos no nível de atividade – variação em relação ao cenário-base (2013-2025)**  
(Em %)



Fonte: Modelo BeGreen.  
Elaboração dos autores.

GRÁFICO 3

**Dez setores com maiores perdas no nível de atividade – variação em relação ao cenário-base (2013-2025)**  
(Em %)



Fonte: Modelo BeGreen.  
Elaboração dos autores.

Os dez setores mais prejudicados pela política, por sua vez, podem ser visualizados no gráfico 3. Nesse caso, destacam-se atividades reconhecidamente com alto potencial emissor. Os setores com perdas maiores do que 10% em relação ao cenário-base seriam refino de petróleo, distribuição de gás natural e extração de petróleo e gás – setores diretamente ligados à produção de combustíveis fósseis – e fabricação de aço e derivados, setor altamente intensivo em energia e cujo processo industrial também envolve emissões de GEE.

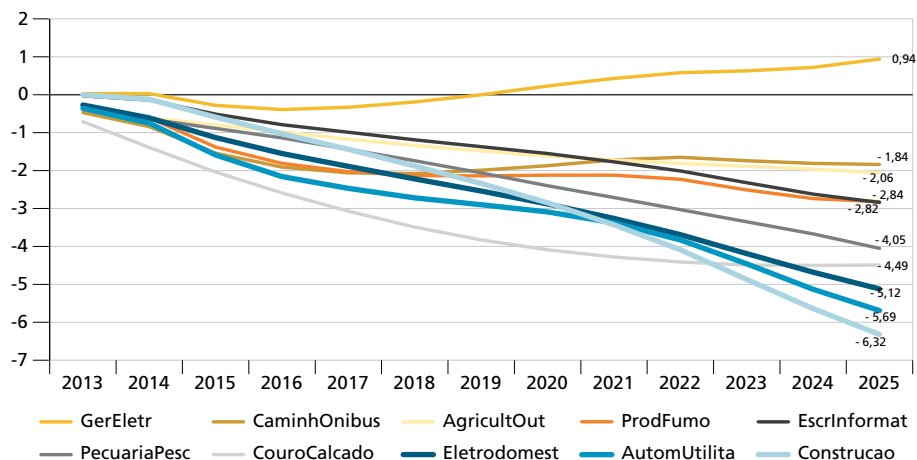
### 5.3.2 Emissões setoriais

Os resultados sugerem uma redução acumulada em 2025 nas emissões de todos os setores em relação ao cenário-base, com exceção do setor de geração de energia elétrica. Esse resultado pode ser explicado pela menor intensidade de emissões desse setor enquanto fonte energética em comparação com os combustíveis fósseis (mais especificamente pelo papel desempenhado pelas usinas hidroelétricas na matriz energética brasileira). O gráfico 4 mostra os dez setores com menores reduções (ou acréscimo, no caso da geração de eletricidade) nas emissões em relação ao cenário-base. Em geral, são setores que correspondem a atividades com alto custo marginal de redução de emissões, ou em um cenário-base em que as emissões já são reduzidas e sem a possibilidade tecnológica de substituição por insumos menos intensivos na emissão de GEE.

GRÁFICO 4

Dez setores com menores reduções nas emissões – variação em relação ao cenário-base (2013-2025)

(Em %)



Fonte: Modelo BeGreen.

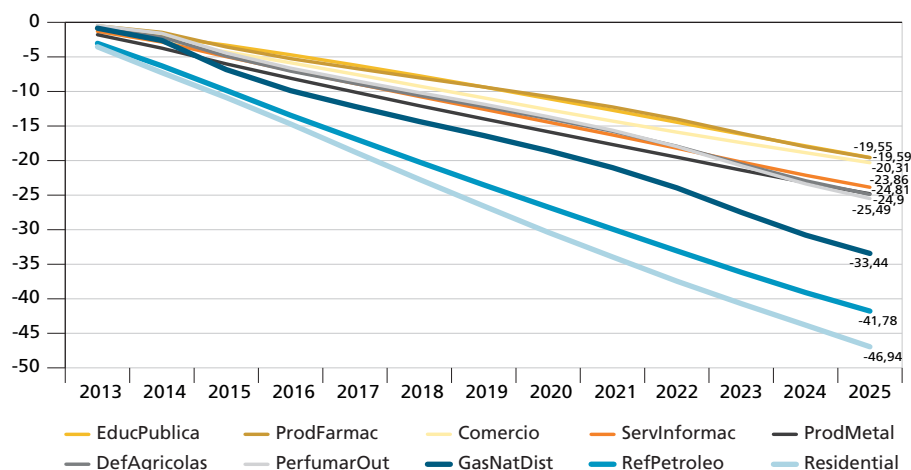
Elaboração dos autores.

O gráfico 5 apresenta os dez setores com maiores reduções nas emissões em relação ao cenário-base.

GRÁFICO 5

Dez setores com maiores reduções nas emissões – variação em relação ao cenário-base (2013-2025)

(Em %)



Fonte: Modelo BeGreen.

Elaboração dos autores.

O setor residencial – ou consumo das famílias – apresentou a maior contribuição para a meta de emissões, com queda de quase 47%, resultado da substituição por produtos menos intensivos em emissões e, devido à ação da política, com custos relativamente reduzidos. Logo em seguida, os setores de refino de petróleo e distribuição de gás natural aparecem com as maiores reduções, por motivos explicados anteriormente. Setores como o de defensivos agrícolas apresentam baixos custos marginais de redução de emissões, o que resulta não somente na expressiva redução de emissões (cerca de 25%), mas também na variação positiva no nível de atividade do setor (aproximadamente 1%).

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo teve como objetivo simular os impactos econômicos da meta de redução de emissões de GEE contida na INDC brasileira, acordada na COP21. Para tanto, utilizou-se um modelo EGC com a finalidade de realizar projeções e analisar políticas de redução de emissões.

Destaca-se, inicialmente, o comprometimento brasileiro com a redução das emissões em 37% em relação aos níveis de 2005, até 2025, com o diferencial de ser uma meta absoluta. Apesar disso, dado que as emissões totais observadas em 2012 foram 41% menores em relação a 2005, a meta proposta na COP21 representa, na verdade, o desafio de crescer economicamente sem aumentar suas emissões.

Desse modo, assumindo um cenário no qual a economia brasileira cresceria 2,5% em média a.a., adotou-se uma estratégia de simulação de forma que a restrição sobre as emissões atendesse à meta estipulada na COP21. Os resultados apontaram um decréscimo acumulado de 3,3% do PIB real, em 2025, em relação ao cenário-base. Esta redução é explicada pelos aumentos dos custos de produção associados às metas de redução de emissões impostas aos setores, junto à redução do consumo das famílias e do investimento.

Ainda em relação ao consumo das famílias, observou-se que os efeitos da tributação de carbono são mais intensos no último decil (maior renda), dado que estas famílias são as mais afetadas pelo aumento do preço dos combustíveis. Contudo, os primeiros decis da distribuição também seriam relativamente mais afetados do que os decis intermediários devido aos efeitos dos aumentos de preço dos produtos agropecuários e alimentícios.

Em relação aos resultados setoriais, conforme esperado, entre os setores mais prejudicados em termos de nível de atividade destacam-se atividades ligadas à cadeia produtiva dos combustíveis fósseis, tais como refino de petróleo, distribuição de gás natural e extração de petróleo e gás, e setores intensivos em energia, como fabricação de aço e derivados.

Também é importante ressaltar que geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, assim como de álcool, apresentaram variações positivas na atividade econômica em decorrência de sua menor intensidade de emissão enquanto fonte energética, servindo de alternativa em relação aos combustíveis fósseis sob o quadro de restrição imposta pela política. Ademais, em termos de emissões, nota-se uma redução acumulada em 2025 nas emissões de todos os setores em relação ao cenário-base, com exceção do setor de geração de energia elétrica. Esse resultado pode ser explicado pela menor intensidade de emissões desse setor enquanto fonte energética em comparação com combustíveis fósseis, e pelo aumento em sua atividade produtiva, conforme destacado anteriormente.

Conclui-se, portanto, que as metas propostas pela COP21 são viáveis, embora haja um custo inerente à redução das emissões, que incide diferentemente sobre setores e famílias. No caso brasileiro, os resultados da imposição de metas de redução de emissões do uso de combustíveis e das atividades produtivas apontam que metas ambiciosas de redução de emissões devem estar associadas a períodos mais longos de tempo; e metas menos ambiciosas a períodos mais curtos, devido à própria estrutura atual da matriz energética brasileira intensiva em fontes mais “limpas”. Tais custos, entretanto, poderiam ser atenuados a partir de políticas de redistribuição da receita arrecadada e também promotoras do avanço tecnológico (em termos de processos produtivos que emitem menos GEE). A adoção de políticas tecnológicas que possam dar suporte às práticas de inovação nos setores potencializaria a efetividade da política. Assim, linhas de crédito aliadas a políticas industriais, que viabilizem a inovação tecnológica e científica com o objetivo de reduzir o uso de combustíveis ou maior eficiência energética, constituem opções que poderiam tornar esse cenário mais provável.

Uma análise para além dos resultados sugere que a política de mitigação de GEE no caso brasileiro deve necessariamente incluir o controle do desmatamento como uma das principais frentes para os objetivos de custo-efetividade de uma política climática, conforme delineado na Política Nacional da Mudança do Clima (PNMC).

Algumas considerações acerca das limitações podem ser elencadas. Uma delas refere-se às hipóteses da metodologia, que é baseada em um modelo com retornos constantes de escala e sem mecanismos endógenos de mudança tecnológica, que potencialmente reduziriam a intensidade de emissões do uso de combustíveis fósseis em simulações de políticas de mitigação. Pode-se conjecturar hipoteticamente que os resultados sejam o “limite superior” dos custos que seriam impostos à economia brasileira com políticas de mitigação de GEE, dadas essas hipóteses restritivas da modelagem. Além disso, não são considerados os benefícios que a mitigação de GEE poderiam implicar, devido à dificuldade e incerteza envolvidas na mensuração dos possíveis impactos causados pelas mudanças climáticas. O certo é que, uma vez

que se observam evidências concretas das alterações ambientais globais, em que os eventos climáticos extremos tornam-se mais intensos e frequentes (IPCC, 2014), torna-se cada vez mais premente a adoção de políticas mitigatórias que garantam o desenvolvimento sustentável das gerações futuras.

## REFERÊNCIAS

- ADAMS, P. D.; HORRIDGE, M.; PARMENTER, B. R. **MMRF-GREEN: a dynamic, multi-sectoral, multi-regional model of Australia**. Melbourne: Monash University, Oct. 2000. (Preliminary Working Paper, n. OP-94).
- ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 2. ed. Brasília: Aneel, 2005. 243 p.
- ARROW, K. J.; DEBREU, G. Existence of equilibrium for a competitive economy. **Econometrica**, v. 22, n. 3, p. 265-290, July 1954.
- BCB – BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Focus** – relatório de mercado. Brasília: BCB, 2016. Disponível em: <<https://bit.ly/3UoeOIF>>. Acesso em: maio 2016.
- BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Segundo inventário brasileiro das emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa**. Brasília: MCTI, 2010. v. 1.
- \_\_\_\_\_. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. Brasília: MCTI, 2014. Disponível em: <<https://bit.ly/3RRvEi2>>. Acesso em: out. 2015.
- CLARKE, L. *et al.* International climate policy architectures: overview of the EMF 22 international scenarios. **Energy Economics**, v. 31, s. 2, p. 64-81, Dec. 2009.
- DEVARAJAN, S.; ROBINSON, S. **The influence of computable general equilibrium models on policy**. Washington: International Food Policy Research Institute, Aug. 2002. (Discussion Paper, n. 98).
- DIXON, P. B. *et al.* (Ed.). **Orani, a multisectoral model of the Australian economy**. Amsterdam: North-Holland Publishing, 1982.
- DIXON, P. B.; KOOPMAN, R. B.; RIMMER, M. The MONASH style of computable general equilibrium modeling: a framework for practical policy analysis. *In*: DIXON, P. B.; JORGENSEN, D. W. (Ed.). **Handbook of Computable general equilibrium modeling**. Amsterdam: North-Holland Publishing, 2013. v. 1, p. 23-103.
- DIXON, P. B.; PARMENTER, B. R. Computable general equilibrium modeling for policy analysis and forecasting. *In*: AMMAN, H. M.; KENDRICK, D. A.;

RUST, J. (Ed.). **Handbook of computational economics**. Amsterdam: Elsevier, 1996. v. 1, p. 3-85.

DIXON, P. B.; RIMMER, M. T. **Forecasting and policy analysis with a dynamic CGE model of Australia**. Melbourne: Monash University, June 1998. (Preliminary Working Paper, n. OP-90).

DOMINGUES, E. P. **Dimensão regional e setorial da integração brasileira na área de livre comércio das Américas**. 2002. 228 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

EPE – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano nacional de energia 2030**. Brasília: EPE, 2007.

\_\_\_\_\_. **Balço energético nacional 2010** – ano-base 2009. Rio de Janeiro: EPE, 2010. 53 p.

FEIJÓ, F. T.; PORTO JUNIOR, S. O protocolo de Quioto e o bem-estar econômico no Brasil: uma análise utilizando equilíbrio geral computável. **Análise Econômica (UFRGS)**, v. 51, p. 127-154, mar. 2009.

GUILHOTO, J. J.; LOPES, R.; MOTTA, R. S. **Impactos ambientais e regionais de cenários de crescimento da economia brasileira – 2002-2012**. Rio de Janeiro: Ipea, jul. 2002. (Texto para Discussão, n. 892).

GURGEL, A. C. Impactos da economia mundial de baixo carbono sobre o Brasil. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 40., 2012, Porto de Galinhas, Pernambuco. **Anais...** Porto de Galinhas: Anpec, 2012.

GURGEL, A. C.; PALTSEV, S. Costs of reducing GHG emissions in Brazil. **Climate Policy**, v. 14, n. 2, p. 209-223, 2014.

HILGEMBERG, E. M.; GUILHOTO, J. J. M. Uso de combustíveis e emissões de CO<sub>2</sub> no Brasil: um modelo inter-regional de insumo-produto. **Nova Economia**, v. 16, n. 1, p. 49-99, jan.-abr. 2006.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema de Contas Nacionais 2004-2005**. Rio de Janeiro: IBGE, 2007a. Disponível em: <<https://bit.ly/3BM1kQc>>. Acesso em: 29 de out. 2015.

\_\_\_\_\_. **Pesquisa de orçamentos familiares 2002-2003**. Rio de Janeiro: IBGE, 2007b. Disponível em: <<https://bit.ly/3QQtpKz>>. Acesso em: 29 out. 2015.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Contribution of working group II to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, Mar. 2014.

JOHANSEN, L. (Ed.). **A multi-sectoral study of economic growth**. Second Enlarged Edition. Amsterdam: North Holland Publishing, 1960. 274 p.

JORGENSEN, D. W.; WILCOXEN, P. Reducing US carbon dioxide emissions: an assessment of different instruments. **Journal of Policy Modeling**, v. 15 n. 5-6, p. 491-520, Oct.-Dec. 1993.

KNETSCH, J. L.; SINDEN, J. A. Willingness to pay and compensation demanded: experimental evidence of an unexpected disparity in measures of value. **Quarterly Journal of Economics**, v. 99, n. 3, p. 507-521, Aug. 1984.

LOPES, R. L. **Efeitos de uma restrição na emissão de CO<sub>2</sub> na economia brasileira**. 2003. 182 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

MAGALHÃES, A. S. **Economia de baixo carbono no Brasil**: alternativas de políticas e custos de redução de emissões de gases de efeito estufa. 2013. 290 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

MANNE, A. S. General equilibrium modeling for global climate change. In: KEHOE, T. J.; SRINIVASAN, T. N.; WHALLEY, J. (Ed.). **Frontiers in applied general equilibrium modeling**. New York: Cambridge University Press, 2005. p. 255-276.

MANNE, A. S.; RICHELIS, R. Global CO<sub>2</sub> emissions reductions: the impacts of rising energy costs. **Energy Journal**, v. 12, n. 1, p. 87-107, 1991.

MARGULIS, S.; DUBEUX, C. B. S. (Ed.). **Economia da mudança do clima no Brasil**: custos e oportunidades. São Paulo: Ibep Gráfica, 2010. 82 p.

NORDHAUS, W. D. (Ed.). **A question of balance**: weighing the options on global warming policies. New Haven: Yale University Press, 2008.

PIGOU, A. C. (Ed.). **The economics of welfare**. London: Macmillan, 1920.

ROCHA, M. T. **Aquecimento global e o mercado de carbono: uma aplicação do modelo CERT**. 2003. 196 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, jan. 2003.

ROSE, A. (Ed.). **The economics of climate change policy**: international, national and regional mitigation strategies. Cheltenham: Edward Elgar, 2009.

SHOVEN, J. B.; WHALLEY, J. (Ed.). **Applying general equilibrium**. Cambridge: Cambridge University Press, May 1992.

SILVA, J. G.; GURGEL, A. C. Impactos econômicos de cenários de políticas climáticas para o Brasil. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, v. 42, n. 1, p. 93-136, abr. 2012.

SPRINGER, U. The market for tradable GHG permits under the Kyoto Protocol: a survey of model studies. **Energy Economics**, v. 25, n. 5, p. 527-551, Sept. 2003.

STERN, N. (Ed.). **The economics of climate change**: the Stern review. Cambridge: Cambridge University Press. 2007.

TOURINHO, O. A. F.; MOTTA, R. S.; ALVES, Y. L. B. **Uma aplicação ambiental de um modelo de equilíbrio geral**. Rio de Janeiro: Ipea, ago. 2003. (Texto para Discussão, n. 976).

UNFCCC – UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **Intended Nationally Determined Contributions (INDCs)**. Bonn: UNFCCC, 2015. Disponível em: <<https://bit.ly/3qJTyzT>>. Acesso em: 29 out. 2015.

VIGUIER L. L.; BABIKER, M. H.; REILLY, J. M. The costs of the Kyoto Protocol in the European Union. **Energy Policy**, v. 31, n. 5, p. 459-481, Apr. 2003.

WEYANT, J. P. Costs of reducing global carbon emissions. **Journal of Economics Perspectives**, v. 7, n. 4, p. 27-46, 1993.

WING, I. S. **Computable general equilibrium models and their use in economy-wide policy analysis**. Cambridge: MIT Press, Sept. 2004. (Technical Note, n. 6).

XIE, J.; SALTZMAN, S. Environmental policy analysis: an environmental computable general-equilibrium approach for developing countries. **Journal of Policy Modeling**, v. 22, n. 4, p. 453-489, July 2000.

## APÊNDICE A

### ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Na implementação do modelo, uma série de parâmetros comportamentais são utilizados. Alguns são baseados em estimativas econométricas e a outros são atribuídos valores com base em conhecimentos econômicos e suposições. Pode não ser válida a alegação de que todos os parâmetros utilizados no modelo refletem a realidade. Essa dependência de estimativas para determinar os valores de elasticidade no processo de calibração do modelo é um tópico muito questionado, principalmente por aqueles que não utilizam a metodologia.

Desse modo, a análise de sensibilidade dos parâmetros se tornou uma questão primordial na utilização de modelos de equilíbrio geral computável (EGC). Como o foco deste trabalho são políticas de baixo carbono, foi dada uma atenção especial a parâmetros considerados chaves, especificamente às elasticidades de substituição energética e tecnológica, utilizadas nas estruturas de produção dos setores estruturados por compostos energéticos e nos setores com vetores tecnológicos, respectivamente, além dos parâmetros utilizados no mecanismo de dinâmica recursiva.

A análise de sensibilidade sistemática empregada neste trabalho segue a metodologia de quadratura gaussiana proposta por DeVuyst e Preckel (1997). Nessa abordagem, o modelo EGC é tratado como um problema de integração numérica no qual a solução do modelo (resultado das variáveis endógenas) pode ser obtida simultaneamente, além de seus dois primeiros momentos (média e variância), dada uma distribuição das variáveis exógenas (parâmetros ou choques). Assim, as estimativas de média, desvio-padrão e intervalos de confiança para os resultados do modelo podem ser obtidas. Essas informações representam dados qualitativos a respeito da sensibilidade dos resultados do modelo a parâmetros específicos, e podem sugerir os elementos para onde a atenção do pesquisador deve estar focada.

Dadas as considerações anteriores, a análise de sensibilidade sistemática consistiu em testar a robustez das elasticidades de substituição energética (ESUBREN, ESUBNREN, ESUBAUTO, ESUBENER, SIGMA3COM), tecnológica (ESUBTB) e os parâmetros necessários para o módulo de dinâmica recursiva (Alpha e Elastwage) calibrados conforme descrito na seção 3. O teste de sensibilidade estabeleceu um intervalo de 50% para esses parâmetros, com distribuição uniforme. Dado o número de simulações, cenários e parâmetros, períodos simulados (vinte anos) e grande número de resultados, demais resultados podem ser disponibilizados mediante solicitação.

Os testes de sensibilidade mostraram que os resultados agregados (produto interno bruto – PIB, investimento, consumo etc.) para todas as elasticidades são robustos, se mostrando muito pouco sensíveis à variação das elasticidades supracitadas. Nos anos iniciais, os resultados são muito robustos, aumentando levemente o coeficiente de variação – medido pela divisão da média pelo desvio-padrão – apenas no fim do período simulado, para a elasticidade do investimento (Alpha), notadamente para os resultados de exportações e importações.

Quanto aos impactos setoriais, os resultados de alguns setores se mostraram sensíveis à parametrização. No caso da elasticidade do investimento (Alpha), cinco setores se mostraram sensíveis. São eles, i) automóveis e utilitários; ii) água, esgoto e limpeza urbana; iii) serviços de manutenção e reparo; iv) transmissão e distribuição de energia elétrica; e v) indústrias diversas. Outros dois setores apresentaram sensibilidade moderada: artigos do vestuário e máquinas elétricas. Em contrapartida, nenhum resultado setorial foi sensível às demais elasticidades (ESUBREN, ESUBNREN, ESUBAUTO, ESUBENER, SIGMA3COM), mostrando robustez nos resultados.

Investigando os resultados referentes aos setores estruturados por vetores tecnológicos, no entanto, percebe-se que algumas tecnologias foram sensíveis à elasticidade de substituição CRESH para as tecnologias. Os resultados mostraram-se sensíveis para a tecnologia de hidroeletricidade e, mais levemente, para a energia eólica, acarretando em uma menor robustez do resultado para o setor de geração de eletricidade. Dadas tais sensibilidades, é importante ter cautela com os resultados encontrados para este setor. A análise de sensibilidade mostra que a especificação de vetores tecnológicos deste setor merece futuras investigações.

Desse modo, como para os resultados para as emissões por fontes, os efeitos sobre as famílias (consumo e utilidade) são robustos para todas as elasticidades analisadas.

## REFERÊNCIA

DEVUYST, E. A.; PRECKEL, P. V. Sensitivity analysis revisited: a quadrature-based approach. **Journal of Policy Modelling**, v. 19, n. 2, p. 175-185, Apr. 1997.

Originais submetidos em: ago. 2016.

Última versão recebida em: fev. 2021.

Aprovada em: maio 2022.

## NOTA AOS COLABORADORES DE PESQUISA E PLANEJAMENTO ECONÔMICO

1. A revista só analisa, com vistas a eventual publicação, artigos com conteúdo inédito, tanto no país quanto no exterior. Além disso, o seu tema deve se inserir em uma das áreas da ciência econômica, contribuindo de modo significativo ao avanço do conhecimento científico nessa área.

2. Resenhas de livros recentemente publicados poderão ser consideradas para publicação, mas resenhas temáticas e os textos essencialmente descritivos não serão, de um modo geral, aceitos.

3. As contribuições não serão remuneradas, e a submissão de um artigo à revista implica a transferência dos direitos autorais ao Ipea, caso ele venha a ser publicado.

4. Em geral, os artigos submetidos à revista devem ser escritos em português. Em casos excepcionais, poderão ser recebidos textos em língua inglesa para análise, mas se ele vier a ser aceito para publicação, o autor deverá se responsabilizar por sua tradução.

5. Só serão publicados artigos em português, mas sua versão em inglês poderá ser disponibilizada no sítio da revista na internet. Os anexos muito longos ou complexos para serem publicados, bem como as bases de dados necessárias para reproduzir os resultados empíricos do trabalho, serão também oferecidos aos leitores em versão virtual.

6. Caso o trabalho seja aceito para publicação, cada autor receberá 3 (três) exemplares do número da revista correspondente.

7. Para submeter um trabalho à revista, o autor deve acessar a página de Pesquisa e Planejamento Econômico na internet, em <http://ppe.ipea.gov.br/index.php/ppe/index>, e seguir os procedimentos ali descritos.

8. Os artigos recebidos que estejam de acordo com as instruções acima serão avaliados pelo Corpo Editorial com o auxílio de dois pareceristas escolhidos pelo Editor. O trabalho dos pareceristas é feito observando-se o método duplamente cego: o autor não saberá quem são os pareceristas, nem estes quem é o autor. Dessa análise poderá resultar a aceitação do artigo, condicionada, ou não, à realização de alterações; sua rejeição, com ou sem a recomendação de nova submissão após modificações; ou a rejeição definitiva. No caso de uma segunda submissão, o artigo será novamente avaliado por pareceristas, podendo vir a ser enquadrado em qualquer das situações acima. A rotina de análise se repete até que uma decisão final de rejeição ou aceitação seja alcançada. O processamento do artigo é conduzido pelo Editor, a quem cabe também a comunicação com os autores.

9. A decisão final quanto à publicação dos artigos cabe ao Corpo Editorial, que se reúne ordinariamente para decidir a composição de cada um dos números da revista, por recomendação do Editor. A aprovação do artigo para publicação só então é comunicada aos autores dos artigos respectivos, por escrito.



## **Ipea – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**

### **EDITORIAL**

#### **Coordenação**

Aeromilson Trajano de Mesquita

#### **Assistentes da Coordenação**

Rafael Augusto Ferreira Cardoso

Samuel Elias de Souza

#### **Supervisão**

Camilla de Miranda Mariath Gomes

Everson da Silva Moura

#### **Revisão**

Alice Souza Lopes

Amanda Ramos Marques

Ana Clara Escórcio Xavier

Barbara de Castro

Clícia Silveira Rodrigues

Olavo Mesquita de Carvalho

Regina Marta de Aguiar

Reginaldo da Silva Domingos

Brena Rolim Peixoto da Silva (estagiária)

Nayane Santos Rodrigues (estagiária)

#### **Editoração**

Anderson Silva Reis

Cristiano Ferreira de Araújo

Danielle de Oliveira Ayres

Danilo Leite de Macedo Tavares

Leonardo Hideki Higa

*The manuscripts in languages other than Portuguese  
published herein have not been proofread.*

#### **Ipea – Brasília**

Setor de Edifícios Públicos Sul 702/902, Bloco C

Centro Empresarial Brasília 50, Torre B

CEP: 70390-025, Asa Sul, Brasília-DF







## **Missão do Ipea**

Aprimorar as políticas públicas essenciais ao desenvolvimento brasileiro por meio da produção e disseminação de conhecimentos e da assessoria ao Estado nas suas decisões estratégicas.

**ipea** Instituto de Pesquisa  
Econômica Aplicada

MINISTÉRIO DO  
**PLANEJAMENTO  
E ORÇAMENTO**

ISSN 0100-0551



Apoio editorial

