

## PRODUTIVIDADE TOTAL DOS FATORES NO BRASIL NO PERÍODO PÓS-REFORMAS

ROBERTO ELLERY JR. \*

### Resumo

Este trabalho discute o comportamento da produtividade total dos fatores (PTF) no Brasil no período de implementação das reformas dos anos 90 e no período que segue as reformas. O exercício mostrou que, considerado todo o período de análise, a produtividade do trabalho foi mais importante do que a produtividade do capital para explicar a PTF. A conclusão geral é que, mesmo sem corrigir por mudanças de preços relativos das construções, no período pós-reformas houve uma reversão da trajetória declinante da PTF observada na década de 1980. Também foi possível mostrar que o maior dos ganhos de produtividade veio da melhora da mão de obra, via capital humano, e do aumento da produtividade na produção de máquinas e equipamentos.

**Palavras-chave:** Produtividade Total dos Fatores; Reformas; Brasil

### Abstract

This article discusses the behavior of total factor productivity (TFP) in Brazil in the period of implementation of the reforms of the 90s and in the post-reforms period. The exercise showed that labor productivity was more important than the productivity of capital to explain the TFP. The general conclusion is that even without correcting for price changes for the buildings in the post-reform period there was a reversal of the downward trend of observed TFP in the 1980s. It also shows that the greatest productivity gains came from improvement of labor through human capital, and increased productivity in the production of machinery and equipment.

**Keywords:** Total Factor Productivity; Reforms; Brazil

**JEL classification:** JEL, E13, O47

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.11606/1413-8050/ea146746>

---

\* Universidade de Brasília, Departamento de Economia. E-mail: [ellery@unb.br](mailto:ellery@unb.br)

## 1 Introdução

Um dos argumentos favoráveis às reformas pró-mercado no Brasil era que tais reformas poderiam reverter a queda da produtividade total dos fatores (PTF) observada na década de 1980<sup>1</sup> e levar a um crescimento da produtividade que, por sua vez, levaria a um crescimento de longo prazo do produto per capita. O período das reformas de fato testemunhou o fim da queda da PTF, por outro lado não foi observado o crescimento esperado da PTF, por conta disso surgiu uma significativa literatura que tenta explicar porque as reformas não conseguiram aumentar a produtividade na América Latina. Uma das explicações que se destaca nesta literatura é apresentada por Edwards (2010) e tem como argumento central que as reformas não foram completas, os efeitos sobre a produtividade apenas se realizariam no caso de se completar as reformas<sup>2</sup>.

Análises feitas para o Brasil também sugerem que as reformas não causaram um crescimento significativo da produtividade. Gomes et al. (2003) mostram que o crescimento da produtividade total dos fatores (PTF) a partir de 1992 apenas acompanha a fronteira tecnológica, ou seja, não ocorreu uma aproximação entre a PTF brasileira e PTF americana<sup>3</sup>. Dessa forma, é possível deduzir que as evidências empíricas para o Brasil sugerem que as reformas não foram capazes de induzir uma convergência entre a produtividade no Brasil e no resto do mundo.

O objetivo deste trabalho é avaliar como essa conclusão se sustenta quando a análise é estendida até 2010 e quão robusta a conclusão é frente a alterações no cálculo da PTF. De certo modo, este trabalho retoma o espírito de Ferreira et al. (2008), entretanto expande em dez anos a análise e considera outras variações no cálculo da produtividade. A correção por preços relativos será feita por meio das séries reais estimadas pelo IBGE e será utilizada uma função CES para separar ganhos de produtividade do capital e do trabalho. O uso de uma função CES permite considerar hipóteses alternativas para a elasticidade de substituição entre capital e trabalho e, como consequência, considerar avanços tecnológicos que afetam capital e trabalho de forma diferenciada, permitindo assim avaliar questões que não foram avaliadas em Ferreira et al. (2008) nem em Gomes et al. (2003).

Na próxima seção será apresentada a PTF no Brasil entre 1992 e 2011. Na Seção 3 as variações nos preços relativos serão eliminadas do cálculo da PTF. A Seção 4 utiliza uma função de produção CES para separar a produtividade do trabalho da produtividade do capital; nesta seção também é introduzido capital para medir a PTF. A Seção 5 apresenta o modelo de safras de capital e calcula a PTF a partir desse modelo. A Seção 6 utiliza os ajustes na série de capital feitos na seção anterior na especificação CES da função de produção. A Seção 7 apresenta as conclusões do trabalho.

## 2 Produtividade Total dos Fatores no Brasil

Existem vários estudos que estimam a produtividade total dos fatores no Brasil do pós-guerra. O resultado padrão desses artigos pode ser sumarizado pelo

---

<sup>1</sup>A respeito do comportamento da PTF na década de 1980 ver Gomes et al. (2003) e Ferreira et al. (2008), a respeito das reformas ver Edwards (2010) e Bajona et al. (2008).

<sup>2</sup>Ver também Fukuyama (2008), Kehoe & Ruhl (2010) e Bajona et al. (2008).

<sup>3</sup>Ferreira et al. (2008) também concluem que a recuperação da PTF no Brasil nos anos 90 foi tímida.

encontrado em Gomes et al. (2003). A PTF acompanha o crescimento da PTF dos EUA entre 1950 e 1967, acelera entre 1967 e 1976, cai entre 1976 e 1992 e finalmente volta a crescer no ritmo da PTF americana entre 1992 e 2000<sup>4</sup>. Esse resultado já seria suficiente para questionar a ineficiência das reformas. Afinal se as reformas não foram o bastante para iniciar um processo de convergência entre a produtividade brasileira e a produtividade do resto do mundo, é inegável que as reformas conseguiram reverter a tendência de queda da produtividade observada na década de 1980.

Para avaliar o comportamento da PTF entre 1992 e 2010<sup>5</sup> será feita uma nova estimativa dessa variável usando horas de trabalho como medida de trabalho. A metodologia de construção da série de horas trabalhadas utilizada neste artigo é descrita detalhadamente em Barbosa Filho & Pessôa (2009)<sup>6</sup>. A série de capital será construída pela acumulação da série de investimento disponível nas contas nacionais, a taxa de depreciação utilizada foi de 3,5% ao ano. Para o produto foi considerado o PIB, também disponível nas contas nacionais. No caso base foi utilizada uma função de produção da forma:

$$Y_t = A_t K_t^\theta L_t^{1-\theta} \quad (1)$$

em que  $Y_t$  representa o produto,  $A_t$  a produtividade total dos fatores,  $K_t$  o estoque de capital e  $L_t$  as horas trabalhadas.

A Figura 1 apresenta índices para produtividade total dos fatores e PIB por hora trabalhada, as séries são apresentadas com os valores em 1992 definido como cem. Essa forma de apresentação facilita a análise da variação da PTF e do PIB por hora trabalhada, uma vez que o valor absoluto da PTF é irrelevante para este trabalho todos os gráficos apresentarão a PTF desta forma.

Entre 1992 e 2002 a PTF cresceu a uma média de 0,91% ao ano. O número é menor que o encontrado em Gomes et al. (2003)<sup>7</sup> mas é consistente com a conclusão de fraca recuperação da PTF na década de 1990 reportada em Ferreira et al. (2008). Nos dez anos seguintes a PTF cresceu a uma taxa anual de 1,40% . Trata-se de um aumento significativo da taxa de crescimento da PTF. Esse resultado pode ser um indício de que as reformas precisam de um período longo para ter efeito pleno sobre a produtividade.

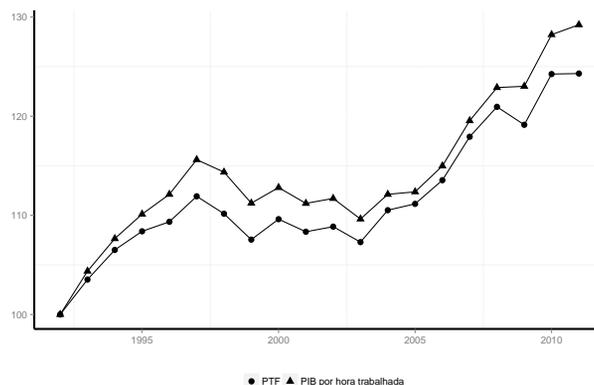
---

<sup>4</sup>O comportamento padrão descrito acima é observado em Ferreira et al. (2008), Gomes et al. (2003) e Ellery Jr (2014) entre outros, embora tentador uma comparação minuciosa entre os resultados obtidos por cada autor pode levar a questões delicadas, por exemplo Gomes et al. (2003) usam dados da Penn World Table com variáveis mensuradas em nível de poder de compra e Ferreira et al. (2008) terminam a análise em 1998 deixando poucos anos para comparação, as dificuldades nos cálculos e nas comparações entre diferentes medidas de PTF são exploradas em Ellery Jr (2014). O fato relevante é que apesar de diferenças pontuais nas medidas apresentadas por cada autor o resultado padrão é comum a todos os autores.

<sup>5</sup>A escolha do ano de 1992 como ponto de partida deve-se a duas razões. A primeira foi que o início dos anos 90 foi bastante conturbado com um sequestro de ativos financeiros e graves problemas políticos, a rigor a análise poderia ter começado em 1993 mas preferi trabalhar com pelo menos 20 anos. A segunda razão é que a série de horas trabalhadas e as séries reais das contas nacionais (utilizadas nas próximas seções) possuem uma metodologia única a partir de 1992.

<sup>6</sup>Os autores utilizam dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) e da Pesquisa Mensal de Empregos (PME). A primeira permite estimar horas médias trabalhadas e a segunda fornece o número de pessoas trabalhando. Para uma análise mais cuidadosa da metodologia usado em Barbosa Filho & Pessôa (2009) e uma comparação com outras formas de cálculo de horas trabalhadas ver Ellery Jr (2014).

<sup>7</sup>Além de não usarem horas trabalhadas como medida de trabalho, esses autores utilizam capital humano no cálculo da PTF. Mais à frente trataremos de capital humano.



**Figura 1:** Produtividade Total dos Fatores e PIB por hora trabalhada

Também é possível observar que o crescimento do PIB por hora trabalhada segue o padrão do crescimento da PTF, de fato na maior parte do período o crescimento da PTF foi maior que o crescimento da relação capital trabalho. A tabela abaixo mostra a decomposição do crescimento do PIB por horas trabalhadas entre 1992 e 2010.

**Tabela 1:** Decomposição do Crescimento entre PTF e Capital/Trabalho

Período	Crescimento de Y/L	Contribuição da	
		PTF	K/L
1992 a 1998	2,28%	1,64%	0,63%
1999 a 2002	-0,57%	-0,28%	-0,29%
2003 a 2010	1,76%	1,69%	0,08%

No período que vai até 1998 o crescimento da PTF correspondeu a 72% do PIB por horas trabalhadas. No período entre 1999 e 2002, um período marcado por políticas de curto prazo visando estabilizar a economia após o fim do regime de bandas cambiais e também por crises em países emergentes, a queda da PTF correspondeu a aproximadamente 50% da queda do PIB por trabalhador. No último período, o crescimento da PTF é de 96% do crescimento do PIB por horas trabalhadas, um tema que merece futuras investigações é até que ponto as alterações nos termos de troca causadas pelo boom das commodities que ocorreu no período podem explicar tanto a PTF quanto o PIB por horas trabalhadas.

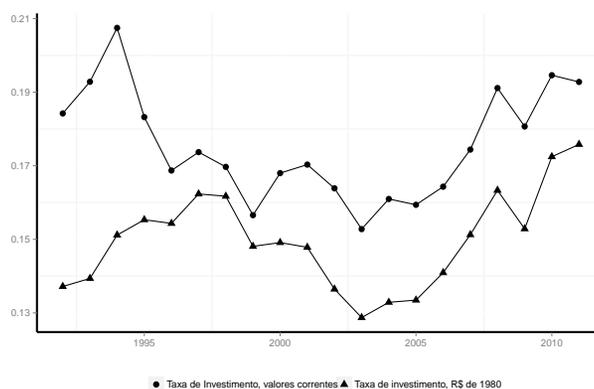
Da análise anterior pode ser possível argumentar que os estudos feitos com dados entre 1990 e 2000 não tinham como capturar todos os efeitos das reformas sobre o crescimento da PTF. A conclusão de que as reformas não surtiram efeitos sobre a produtividade pode ser influenciada pelo simples fato de que não se passou tempo suficiente para que a economia se ajustasse à nova realidade institucional trazida pelas reformas. Na próxima seção será avaliado o papel dos preços relativos no comportamento da PTF.

### 3 Preços Relativos

O primeiro fator a ser considerado para aprimorar a medida de produtividade total dos fatores é a variação nos preços relativos. Como os preços dos bens de investimento, especificamente o preços das construções, aumenta muito mais do que o nível geral de preços a estimação do estoque de capital por meio do acúmulo de investimento tende a superestimar o valor desse estoque.

Esse efeito dos preços relativos na estimativa do estoque do capital foi apresentado em Bacha (1993). Bugarin et al. (2007) mostram que o ajuste por preços relativos altera as estimativas de produtividade total dos fatores para o Brasil<sup>8</sup>. Reforçando o papel dos índices de preços em análises de crescimento de longo prazo na América Latina de Carvalho Filho & Chamon (2012) mostram que a correção de viés em índices de preços resulta em maior crescimento do PIB no Brasil e no México pós-reformas.

Tanto Bugarin et al. (2007) quanto Ferreira et al. (2008) calculam o preço relativo do investimento como a razão entre um índice de preço específico para investimento e o índice geral de preços. Aqui serão utilizadas as séries encadeadas das contas nacionais. A partir de 1991, essas séries são encadeadas pela taxa de variação real anual da série a preços do ano anterior. A Figura 2 mostra a taxa de investimento medida pelas séries de investimento e produto em valores correntes e a taxa de investimento medida pelas séries de investimento e produto em reais de 1980.



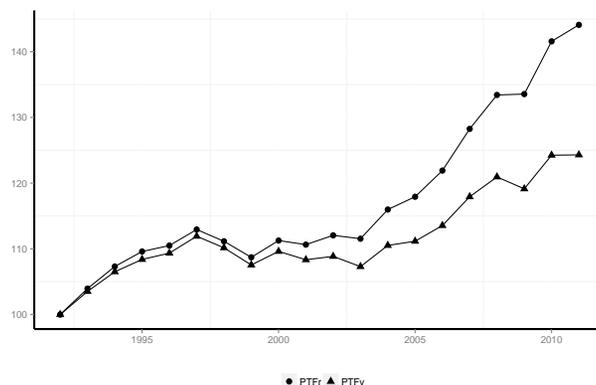
**Figura 2:** Taxa de Investimento em valores correntes e em valores reais

Como fica claro na Figura 2 a taxa de investimento em valores correntes fica acima da taxa de investimento em reais de 1980 em todos os anos do período entre 1992 e 2002. Isto é consequência direta do aumento do preço relativo dos bens de investimento nesse período.

Usando a série de investimento em reais de 1980 é possível construir uma nova série de estoque de capital. Juntamente com a série de produto em reais de 1980 e a série de horas trabalhadas a nova série de capital permite estimar a produtividade total dos fatores. Para diferenciar a série de PTF construída na seção anterior será chamada de PTF<sub>v</sub> e a série de PTF construída a partir

<sup>8</sup>Esse resultado também é encontrado em Ferreira et al. (2008).

dos valores em reais de 1980 será chamada de PTFr. A Figura 3 mostra as duas séries.



**Figura 3:** Produtividade Total dos Fatores, preços constantes de 1980 e preços deflacionados pelo deflator do PIB

Como pode ser observado na Figura 3 a PTFr cresce mais do que a PTFv. No período entre 1992 e 2011 a PTFv cresce 24,30% enquanto a PTFr cresce 44,08%. Se considerado o período entre 2002 e 2011 a PTFr cresceu a uma taxa média de 2,7% ao ano<sup>9</sup> contra uma taxa média de 1,4% da PTFv. Dessa forma, é possível deduzir que, ajustados os preços relativos, a taxa de crescimento da produtividade total dos fatores no Brasil dez anos após o início das reformas foi de 2,7% ao ano. Apesar de não ser um número particularmente alto, essa taxa de crescimento é maior que a taxa de crescimento da produtividade do trabalho entre 1880 e 1979 nos EUA<sup>10</sup>. O resultado é compatível com o encontrado em Ferreira et al. (2008) onde o ajuste por preços relativos é o que tem maior efeito sobre o cálculo da PTF.

O principal resultado desta seção é que parte significativa da baixa taxa de crescimento da PTF no Brasil mesmo após as reformas é devida ao aumento do preço relativo dos bens de investimento. Esse aumento acaba por encarecer o capital e reduzir o valor de bens produzidos por cada real investido, ou seja, o aumento dos preços relativos dos bens de investimento implica em uma queda da produtividade do capital quando medida em termos de valores<sup>11</sup>. Quando a produtividade é medida em quantidades, esse efeito desaparece. Na próxima seção será feita uma análise dos ganhos de produtividade específicos ao capital e dos ganhos específicos ao trabalho.

#### 4 Produtividade do Capital e Produtividade do Trabalho

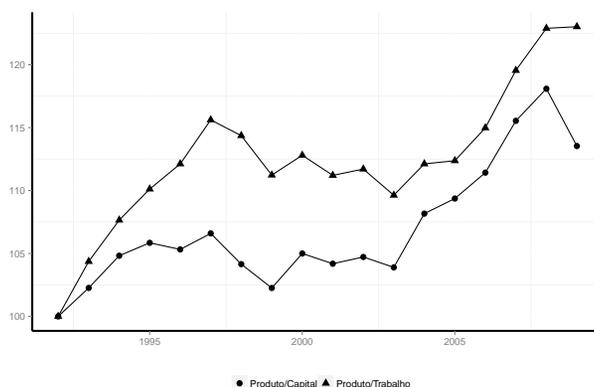
Nesta seção será avaliado quanto do comportamento da produtividade pode ser atribuído ao comportamento da produtividade do capital e quanto pode

<sup>9</sup>Entre 1992 e 2001 a taxa de crescimento da PTFr foi de 1,15% ao ano.

<sup>10</sup>Ver Wolff (1991).

<sup>11</sup>Ferreira et al. (2008) encontram o mesmo tipo de resultado para a década de 1990; vale notar que ao contrário da análise aqui apresentada, na qual os efeitos dos preços relativos são eliminados com uso da série do IBGE em Ferreira et al. (2008), são construídas séries distintas para estruturas e máquinas e equipamentos e cada série é deflacionada por um índice específico.

ser devido à produtividade do trabalho<sup>12</sup>. Uma primeira abordagem dessa questão pode ser feita por meio do cálculo direto da produtividade do capital como a razão entre o produto e o estoque de capital e da produtividade do trabalho como a razão entre o produto e as horas trabalhadas, essa é a abordagem mais utilizada para o cálculo dessas variáveis. A Figura 4 apresenta o comportamento da produtividade do capital e do trabalho.



**Figura 4:** Razão Produto/Capital e Razão Produto/Trabalho

A Figura 4 mostra de forma clara que os ganhos de produtividade do trabalho foram maiores que os ganhos de produtividade do capital. No período entre 1992 e 2009 a produtividade do trabalho aumentou 23% enquanto a produtividade do capital aumentou apenas 13,5%. Embora permita uma boa abordagem inicial para o problema o cálculo da produtividade de um fator, como a razão entre o produto e quantidade utilizada do fator, apresenta limitações relevantes.

O principal problema com essa medida é que variações no uso de um fator podem aparecer como variações na produtividade do outro. Dito de outra forma, substituição de fatores, ainda que em uma mesma isoquanta, pode ser computada como variações na produtividade. Por exemplo, um uso mais intensivo do capital aumenta a produtividade do trabalho mesmo que não esteja ocorrendo nenhum ganho de eficiência no processo de produção. Para resolver esse problema é necessário utilizar uma função de produção onde a tecnologia não seja neutra em relação aos fatores.

Segundo Caselli (2005) será utilizada uma função de produção tipo CES, inicialmente a função terá a forma<sup>13</sup>:

$$Y_t = [\alpha (A_K K)^\sigma (1 - \alpha) (A_L L)^\sigma]^\frac{1}{\sigma} \tag{2}$$

Em que  $\alpha \in (0, 1)$ ,  $\sigma < 1$  e os termos  $A_K$  e  $A_L$  representam respectivamente uma medida de produtividade específica ao capital e uma medida de produti-

<sup>12</sup>Devido à necessidade de manter a consistência nas estimativas da renda do capital e do trabalho nesta seção a análise será feita entre 1992 e 2009.

<sup>13</sup>Caselli (2005) trabalha com capital humano, mais a frente os efeitos do capital humano na produtividade do trabalho serão analisados.

vidade específica ao trabalho<sup>14</sup>.

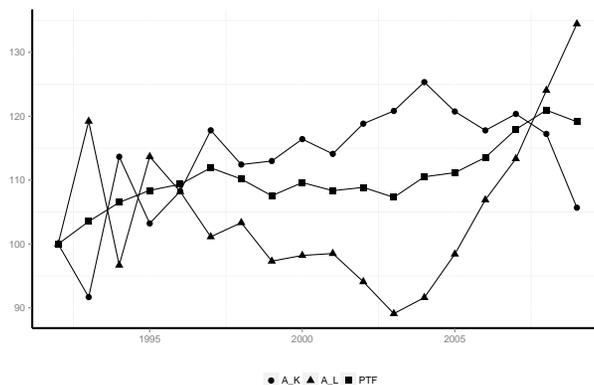
Claro está que a Equação (2) sozinha não permite determinar os valores de  $A_K$  e de  $A_L$ . Mesmo conhecidos os valores do produto, do estoque de capital e das horas trabalhadas não é possível determinar duas incógnitas com apenas uma equação. Mais uma vez seguindo Caselli (2005) serão utilizadas as condições de primeira ordem para maximização de lucros sobre competição perfeita. Essas condições determinam que<sup>15</sup>:

$$A_K = \left( \frac{S_K}{\alpha} \right)^{\frac{1}{\sigma}} \frac{Y_t}{K_t} \quad (3)$$

$$A_L = \left( \frac{S_L}{1-\alpha} \right)^{\frac{1}{\sigma}} \frac{Y_t}{L_t} \quad (4)$$

Em que  $S_K$  e  $S_L$  representam a fração da renda pertencente ao capital e a fração da renda pertencente ao trabalho respectivamente.

Para estimar a produtividade foi utilizado um valor de  $\alpha$  igual a 0,4. Esse é o valor médio da fração da renda do capital na renda total observado no Brasil<sup>16</sup>. De acordo com Lopes & Murata (2007) a elasticidade de substituição entre capital e trabalho no Brasil pós Plano Real é 1,68. Esse valor para elasticidade de substituição entre fatores implica em valor de  $\sigma$  igual a 0,4<sup>17</sup>. A Figura 5 ilustra o comportamento da produtividade do capital, da produtividade do trabalho e da produtividade total dos fatores entre 1992 e 2009.



**Figura 5:** Produtividade do Capital, Produtividade do Trabalho e Produtividade Total dos Fatores

Note que a partir de 2003 a produtividade específica do trabalho começa a crescer de forma significativa, enquanto a produtividade do capital cai a partir de 2004. Entre 2007 e 2008 o crescimento acumulado da produtividade

<sup>14</sup>No decorrer desta seção os termos  $A_K$  e  $A_L$  serão chamados de produtividade do capital e produtividade do trabalho.

<sup>15</sup>As duas condições de primeira ordem associadas a cada fator mais a função de produção formam um sistema de três equações e duas incógnitas, o resultado abaixo pode ser obtido a partir de quaisquer duas equações do sistema.

<sup>16</sup>Note que  $\alpha$  é o valor médio da participação da renda do capital durante todo o período enquanto  $S_K$  representa a participação da renda do capital a cada período.

<sup>17</sup>Caselli (2005) mostra que para a função de produção descrita na Equação (2) a elasticidade de substituição é dada por  $\frac{1}{1-\sigma}$ .

do trabalho ultrapassa o da produtividade do capital. Observado todo o período a produtividade do trabalho cresceu 34,4% enquanto a produtividade do capital cresceu apenas 5,6%. Como era de se esperar a PTF fica entre a produtividade do capital e a produtividade do trabalho.

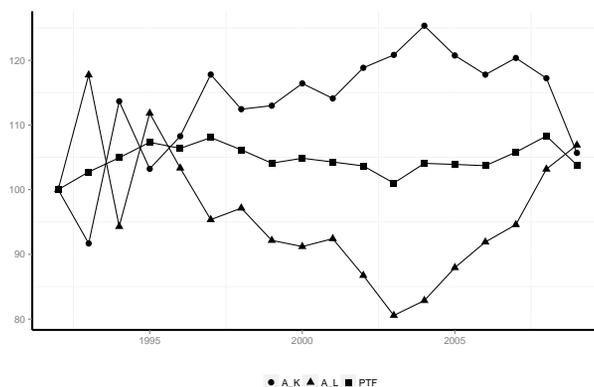
O resultado acima permite deduzir que entre 1995 e 2004 o crescimento da PTF foi decorrente de ganhos de produtividade no uso do capital, porém no final da década, precisamente a partir de 2007, os ganhos na produtividade do trabalho foram superiores aos ganhos na produtividade do capital. Esse comportamento pode ser devido à perspectiva de reversão das reformas, possibilidade que começou a ser aventada em torno de 2005, ou pode decorrer de efeitos no mercado de fatores induzidos pela política de elevação do salário mínimo. Estudos posteriores podem avaliar essa segunda possibilidade por meio de uma modelagem mais sofisticada do mercado de trabalho no Brasil.

#### 4.1 Capital Humano e Produtividade do Trabalho

Um fator comumente apontado para explicar o aumento da produtividade do trabalho é o aumento do capital humano. Para avaliar essa possibilidade serão feitas novas estimativas das produtividades do capital e do trabalho. Nessas estimativas, o fator trabalho será ajustado pelo estoque de capital humano. Para fazer o ajuste será usada uma especificação minceriana para o capital humano conforme descrito em Gomes et al. (2003). Dessa forma, o capital humano será dado por:

$$H_t = e^{\phi(h_t)}, \text{ em que } \phi(h_t) = \frac{\varphi}{1-\psi} h_t^{1-\psi} \tag{5}$$

Em que  $H_t$  representa o capital humano e  $h_t$  representa os anos de estudo da população com 25 anos ou mais. Mais uma vez seguindo Gomes et al. (2003) os valores dos parâmetros serão tais que  $\varphi = 0,32$  e  $\psi = 0,58$ . A Figura 6 reproduz a Figura 5, porém nesta o insumo do trabalho é calculado como o produto entre o capital humano e as horas trabalhadas.



**Figura 6:** Produtividade do Capital, Produtividade do Trabalho com Capital Humano e Produtividade Total dos Fatores

A inclusão do capital elimina praticamente todo o ganho de produtividade do trabalho encontrado na estimativa anterior. Quando não foi considerado

o capital humano a produtividade do trabalho aumentou 27,5% entre 1992 e 2009, uma vez considerado o capital humano, esse crescimento cai para 6,9% no mesmo período. A conclusão é que os ganhos de produtividade do trabalho no período entre 1992 e 2009 foram quase que totalmente devidos ao aumento do capital humano observado nesse período. A inclusão de capital humano também reduz de forma significativa o aumento da PTF entre 1992 e 2009, dessa forma, também é possível deduzir que a maior parte dos ganhos de produtividade na economia brasileira nos últimos anos foi devida ao aumento no capital humano.

Observe que o aumento da produtividade do trabalho ocorre a partir de 2003, ou seja, bem depois do período em que ocorre o aumento da produtividade do capital. Uma possível explicação para esse fenômeno é que o ganho de produtividade do capital tornou mais efetivo o capital humano existente na economia.

A conclusão desta seção é que até 2004 o motor do crescimento da produtividade foi o aumento da produtividade do capital, a partir daí os ganhos de produtividade foram devidos ao aumento da produtividade do trabalho. O aumento do capital humano explica a maior parte do aumento da produtividade do trabalho, entretanto, a partir de 2003, a produtividade do trabalho cresce mesmo quando controlada pelo capital humano. A próxima seção tratará da produtividade do capital.

## 5 Tecnologia Específica ao Capital e Produtividade do Capital

Parte significativa dos ganhos de produtividade do capital ocorre por meio de novas tecnologias embutidas em novas máquinas e equipamentos. Dessa forma, cada novo investimento implica em um tipo de capital com produtividade diferente da anterior. Uma forma de pensar é que existem safras diferentes de máquinas e equipamentos e que cada safra tem um determinado nível de produtividade. Dessa forma, uma correta agregação do capital deveria ponderar cada safra de capital por alguma medida de produtividade específica à safra onde ocorreu o investimento.

A literatura sobre modelos de safra de capital é bastante vasta, nesta seção será apresentado o modelo proposto em Solow (1960) tal como descrito em Boucekkine et al. (2011). Existem infinitas safras de capital  $\nu \in (-\infty, t)$ . Cada safra de capital produz uma quantidade de produto dada por  $Y(\nu, t) = e^{\gamma\nu} K(\nu, t)^{1-\alpha} L(\nu, t)^\alpha$ , dessa forma, o produto total em um dado período será  $Y_t = \int_{-\infty}^t Y(\nu, t) d\nu$ . Seja  $L_t = \int_{-\infty}^t L(\nu, t) d\nu$  a oferta de trabalho da economia e seja  $K_t = \int_{-\infty}^t e^{\varsigma\nu} I(\nu) e^{-\delta t}$  o estoque de capital da economia. Na expressão anterior  $I(\nu)$  representa o investimento em máquinas da safra  $\nu$ ,  $\delta$  é a taxa de depreciação do capital e  $\varsigma = \delta + \frac{\gamma}{1-\alpha}$  é a taxa de crescimento da produtividade de cada safra de capital.

Supondo que o trabalho é homogêneo e tem a mesma produtividade independente da safra de capital com que ele opera, a função de produção agregada será dada por  $Y(t) = K(t)^\alpha L(t)^{1-\alpha}$ . Isso significa que quando  $\gamma = 0$  o modelo com safras de capital descrito em Solow (1960) se iguala a um modelo neoclássico com taxa de depreciação do capital igual a  $\delta$ .

O estoque de capital evolui de acordo com a expressão  $\dot{K} = e^{\gamma_q t} I(t) - \delta K(t)$  onde  $\gamma_q = \frac{\gamma}{1-\alpha}$  é a taxa de crescimento da tecnologia embutida nas máquinas. Note que quanto maior for  $\gamma_q$  maior será a quantidade de capital obtida

por meio de uma unidade de investimento, ou seja, o termo  $e^{\gamma q}$  representa a produtividade no setor de bens de capital. Considere que o bem produzido nessa economia possa ser utilizado livremente para consumo ou para investimento. Nesse caso, uma unidade do bem utilizada para investir implica em abrir mão de uma unidade do bem destinado ao consumo. Essa uma unidade de consumo sacrificada para permitir o investimento vai gerar exatamente  $e^{\gamma q}$  unidades de capital, ou seja, o preço relativo dos bens de capital será dado por  $e^{-\gamma q}$ .

Como o conceito de safras de bens de capital se aplica a máquinas e equipamentos é necessário separar do investimento total o montante destinado a construção de novas estruturas. Dessa forma, ainda seguindo Boucekkin et al. (2011), o cálculo da PTF deve ser feito levando em conta dois tipos de investimento. As equações para contabilidade do crescimento seriam descritas por:

$$Y(t) = A(t)K_e(t)^{\alpha_e} K_s(t)^{\alpha_s} L(t)^{1-\alpha_e-\alpha_s} \quad (6)$$

$$\dot{K}_e = e^{\gamma q t} I_e(t) - \delta_e K_e(t) \quad (7)$$

$$\dot{K}_s = I_s(t) - \delta_s K_s(t) \quad (8)$$

$$Y(t) = I_e(t) + I_s(t) + C(t) \quad (9)$$

Em que variáveis com o subscrito  $e$  dizem respeito a máquinas e equipamentos, variáveis com subscrito  $s$  dizem respeito a estruturas<sup>18</sup> e  $C$  representa o consumo.

Para calcular a produtividade total dos fatores é interessante escrever as versões em tempo discreto das Equações (6) a (9). Essas novas equações serão dadas por:

$$Y_t = A_t K_{e,t}^{\alpha_e} K_{s,t}^{\alpha_s} L_t^{1-\alpha_e-\alpha_s} \quad (10)$$

$$K_{e,t+1} = (1 - \delta_e) K_{e,t} + q I_{e,t} \quad (11)$$

$$K_{s,t+1} = (1 - \delta_s) K_{s,t} + I_{s,t} \quad (12)$$

$$Y(t) = I_{e,t} + I_{s,t} + C_t \quad (13)$$

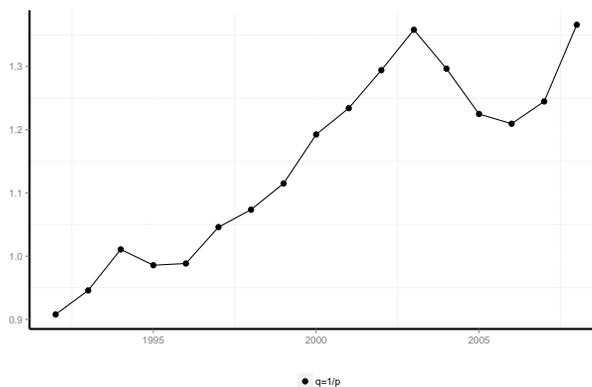
Em que  $q = e^{\gamma q}$  representa a produtividade no setor de produção de máquinas e equipamentos. O preço relativo das máquinas e equipamentos será dado então por  $\frac{1}{q}$ . Note que conhecido esse preço relativo será possível determinar a produtividade do setor de produção de máquinas e equipamentos.

O preço relativo das máquinas e equipamentos será calculado como a razão entre um índice de preços de máquinas e equipamentos e um índice geral de preços<sup>19</sup>. A Figura 7 mostra a evolução da produtividade no setor de produção de máquinas e equipamentos.

Repare que entre 1992 e 2003 o setor de produção de máquinas e equipamentos apresentou ganhos constantes de produtividade. A produtividade

<sup>18</sup>A hipótese de que a eficiência do setor de produção de estruturas é constante é desafiada pelo aumento do preço relativo das construções, resta saber se o aumento representa uma queda na produtividade das construções ou se é relacionado a outros fatores, por exemplo: distorções no mercado imobiliário.

<sup>19</sup>Especificamente, serão usados o IPA – Máquinas, Veículos e Equipamentos com base em agosto de 1994 e o IPA geral com base em agosto de 1994.



**Figura 7:** Produtividade no Setor de Produção de Máquinas e Equipamentos

desse setor cai em 2003 e volta a se recuperar em 2006. Em 2008 a produtividade do setor de produção de máquinas e equipamentos retorna ao nível de 2003. Essa queda ocorre no mesmo ano em que começa a aumentar a produtividade do trabalho e precede em um ano a queda na produtividade do capital conforme calculada na terceira seção. Até que ponto a queda na produtividade na produção de máquinas e equipamentos pode ter influenciado na queda da produtividade do capital é assunto para futuras pesquisas. O fato de uma ter se recuperado e a outra não sugere que a relação não é direta e existem nuances a serem desvendadas<sup>20</sup>.

Para o cálculo da produtividade total dos fatores será necessário estimar os parâmetros das Equações (10) a (12). Seguindo Ferreira et al. (2008) os valores utilizados para os parâmetros serão  $\theta_e = 0,29$ ,  $\theta_s = 0,11$ ,  $\delta_e = 0,1$  e  $\delta_s = 0,01$ . A Figura 8 ilustra o comportamento da PTF calculada pelas Equações (10) a (12) e compara com a PTF calculada sem a correção induzida pelo modelo de safras de capital.

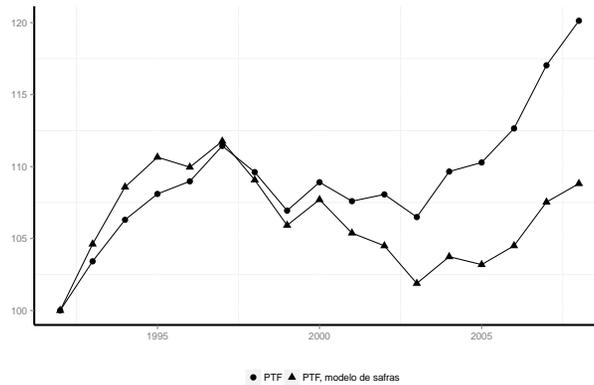
Note que a correção pelos ganhos de produtividade no setor de produção de máquinas e equipamentos reduz o crescimento da PTF. A estimativa feita com ajuste tem uma variação de 20,1% entre 1992 e 2008, quando o ajuste é introduzido, a variação passa a ser de 8,8% no mesmo período. Esses 8,8% de crescimento podem ser explicados por melhor uso dos recursos disponíveis na economia ou por ganho de eficiência do trabalho.

Para esclarecer essa questão será calculada a série de PTF conforme o modelo de safras de capital, porém usando o capital humano utilizado na Seção 3 no lugar das horas trabalhadas. O resultado é apresentado na Figura 9.

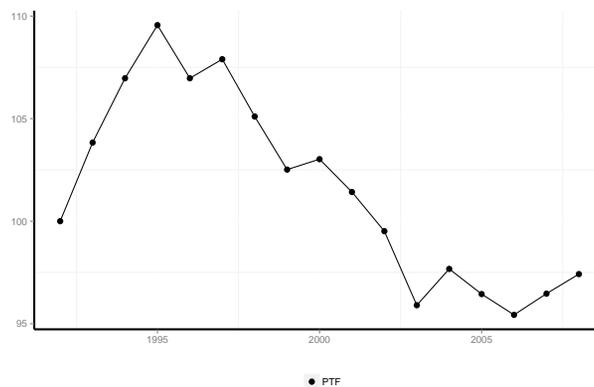
O resultado é claro. Praticamente toda a variação da PTF observada no Brasil entre 1992 e 2008 pode ser creditada à melhora na qualidade da mão de obra e a melhora na qualidade da produção de máquinas e equipamentos. Uma vez controlados esses dois fatores a variação da PTF no período é de -2,6%, ou seja, quase zero<sup>21</sup>. Dito de outra forma as empresas brasileiras não

<sup>20</sup>Um fator a ser considerado é a presença de viés na série de produtividade do setor de produção de máquinas e equipamentos devido à inexistência de uma série de preços de máquinas ajustados pela qualidade da máquina no Brasil.

<sup>21</sup>Na terceira seção foi visto que a correção por preços relativos aumentou a taxa de crescimento da PTF. Esse resultado, aparentemente contraditório com o resultado da quinta seção, se



**Figura 8:** Produtividade Total dos Fatores no Modelo de Safras de Capital



**Figura 9:** Produtividade Total dos Fatores, Modelos de Safras de Capital com Capital Humano

melhoraram em aspectos ligados ao uso eficiente dos fatores tais como melhor gestão, o que ocorreu foi que os fatores ficaram mais eficientes.

O período onde ocorreu maior ganho de eficiência não associada a melhoria dos fatores foi o decorrido entre 1992 e 1995, justamente onde as empresas estavam se ajustando à competição das empresas estrangeiras. Aparentemente a redução no ritmo de abertura da economia no primeiro mandato do Presidente Fernando Henrique Cardoso (1995-1998) retirou o incentivo das empresas em melhorar técnicas de gestão e uso dos recursos. A partir daí os ganhos de produtividade foram derivados de melhoria na qualificação da mão de obra e de safras de capital mais produtivas.

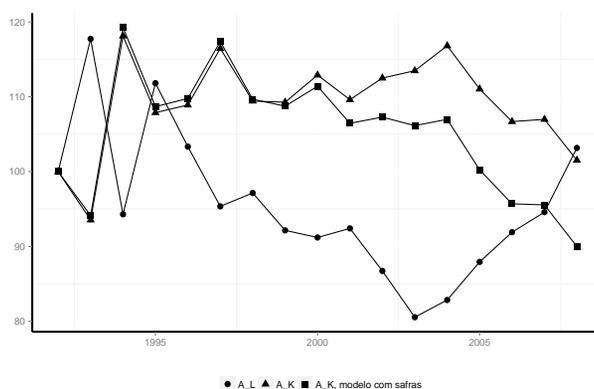
---

explica devido ao aumento do preço relativo das estruturas. Para efeito de cálculo de PTF o aumento do preço relativo significa uma queda na eficiência do setor de construções. Uma interpretação possível para o resultado da terceira seção é que o aumento da ineficiência no setor de construções explica parte considerável da baixa taxa de crescimento da PTF no Brasil.

## 6 Produtividade na Produção de Máquinas e Equipamentos e Função de Produção CES

Devido à falta de estimativas para a elasticidade de substituição entre máquinas e estruturas não será possível utilizar uma função CES com três fatores<sup>22</sup> (máquinas, estruturas e capital humano) para estimar a produtividade de cada um deles. Uma alternativa seria excluir as construções do estoque de capital e retirar a renda dos aluguéis do PIB. Apesar de tentadora tal alternativa exclui completamente das estimativas os efeitos advindos do mercado imobiliário e, como foi visto, esses efeitos podem ser relevantes.

No que segue será feita uma agregação dos estoques de máquinas e equipamentos e do estoque de estruturas. Para essa agregação será utilizado um agregador do tipo  $K_t = K_e^{\theta_e} K_s^{1-\theta_e}$  onde  $\theta_e = \frac{\alpha_e}{\alpha_e + \alpha_s}$  é a participação da renda das máquinas e equipamentos na renda do capital. O cálculo da PTF então será feito a partir da função de produção descrita na Equação (2) usando  $K_t$  agregado da forma descrita acima como medida de capital e a série de insumo de trabalho aumentada por capital humano utilizada na Seção 4. O resultado é ilustrado na Figura 10.



**Figura 10:** Produtividade do Trabalho, Produtividade do Capital e Produtividade do capital no Modelo de Safras

Até 1999 o efeito do aumento da produtividade no setor de máquinas e equipamentos não se reflete na produtividade do capital. A partir desse ponto, o aumento da produtividade do capital passa a depender de forma significativa do aumento da produtividade no setor de máquinas e equipamentos. Uma possível explicação para esse efeito é que foi a partir de 1999 que as tecnologias, que passaram a ser acessíveis com a abertura da economia começaram a ser introduzidas no processo produtivo brasileiro.

<sup>22</sup>Não se pode falar que é uma versão do Modelo de Safras da seção anterior porque a hipótese de função Cobb-Douglas é necessária para realizar a agregação da função de produção. A referência entre as análises desta seção e da seção anterior advém do fato de ambas fazerem menção à produtividade no setor de produção de máquinas e equipamentos.

## 7 Conclusões

Este trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento da produtividade total dos fatores no Brasil a partir de 1992. Foram feitos vários cálculos de produtividade que permitiram avaliar os efeitos de diversas variáveis no cálculo da PTF, de particular relevância foram os cálculos que consideraram a função de produção do tipo CES posto que as análises anteriores, notadamente Gomes et al. (2003) e Ferreira et al. (2008), usam funções do tipo Cobb-Douglas.

Inicialmente foi apresentada uma estimativa da PTF feita com o uso de séries de horas trabalhadas. O resultado foi que a PTF cresceu 24,3% entre 1992 e 2011, isto equivale a uma taxa de crescimento média de menos de 1% ao ano. Embora essa taxa de crescimento esteja aquém do esperado deve-se ressaltar que no período anterior às reformas a PTF cresceu a taxas negativas. Dessa forma, se levaram ao desejado alto crescimento da PTF, as reformas foram capazes de fazer com que a PTF voltasse a crescer.

Na terceira seção foi apresentado o cálculo da PTF a partir de séries que desconsideravam a variação dos preços relativos no período. Com essa nova estimativa a PTF cresceu 44,1% entre 1992 e 2011, isto implica em uma taxa média próxima a 2% ao ano. O valor é bem mais significativo que o encontrado anteriormente. A conclusão é que parte significativa da baixa taxa de crescimento da PTF no Brasil pode ser explicada pelo aumento do preço relativo dos bens de capital; retirado esse efeito a PTF cresce a taxas bem mais altas. Uma explicação para esse fenômeno é que o preço maior do bem de capital significa que mais unidades de consumo deverão ser sacrificadas para obter uma unidade de capital, ou seja, o aumento do preço relativo do capital reflete uma queda na produtividade na produção de bens de capital. Esse aumento do preço relativo do capital foi devido ao preço das estruturas, o preço relativo das máquinas e equipamentos caiu no período. Portanto uma primeira conclusão é que a PTF no Brasil cresceu pouco porque o custo das estruturas aumentou muito.

Na sequência optou-se por separar a produtividade do trabalho da produtividade do capital. O resultado foi que a maior parte dos ganhos de produtividade no Brasil foi devida ao aumento da produtividade do trabalho. O aumento do capital humano explica quase que totalmente o aumento da produtividade do trabalho. A conclusão da quarta seção foi que a produtividade do trabalho puxou a produtividade da economia, particularmente a partir de 2003<sup>23</sup>, e que o aumento do capital humano explica o aumento da produtividade.

A quinta seção buscou identificar os condicionantes do comportamento da produtividade do trabalho. Para isto utilizou-se o modelo de safras de capital, a ideia é que da mesma forma que o capital humano explica o aumento da produtividade do trabalho o aumento da qualidade das máquinas e dos equipamentos pode explicar a produtividade do capital. Para fazer essa avaliação foi preciso separar o estoque de estruturas do estoque de máquinas e equipamentos bem como determinar uma medida de preço relativo de máquinas e equipamentos. A conclusão foi que ganhos de produtividade na produção de máquinas e equipamentos explicam parte significativa do aumento da PTF no período analisado.

---

<sup>23</sup>Muito se fala do aumento da renda do trabalho a partir do governo do Presidente Luís Inácio Lula da Silva, uma possível explicação para esse fenômeno é o aumento da produtividade do trabalho observado no mesmo período.

A última análise retomou a abordagem da quarta seção e utilizou-se uma função CES para realizar a contabilidade do crescimento. Como insumo de trabalho foi utilizada a série ajustada por capital humano, o capital foi obtido por meio da agregação do estoque de construções e do estoque de máquinas e equipamentos. Foram feitas estimativas de produtividade do capital e do trabalho, a produtividade do capital foi feita com e sem o ajuste dos preços relativos de máquinas e equipamentos. A conclusão foi que, a partir de 1999, a produtividade do capital cresceu impulsionada pelo aumento da produtividade no setor de produção de máquinas e equipamentos.

## **8 Agradecimentos**

Agradeço os comentários de Daniel Lederman, Victor Gomes, Samuel Pessoa e de todos os que comentaram o texto nos seminários realizados no IPEA e no encontro da REAP. Esse trabalho contou com apoio do Banco Mundial.

## Referências Bibliográficas

- Bacha, E. L. (1993), *Savings and investment requirements for the resumption of growth in Latin America*, Vol. 3, Inter-American Development Bank.
- Bajona, C., Gibson, M. J., Kehoe, T. J. & Ruhl, K. J. (2008), 'Trade liberalization, growth, and productivity', *Federal Reserve Bank of Minneapolis*.
- Barbosa Filho, F. & Pessôa, S. (2009), Série de horas mensais da economia brasileira, Technical report, IBRE.
- Boucekkine, R., De La Croix, D. & Licandro, O. (2011), Vintage capital growth theory: Three breakthroughs, in 'Economic Growth and Development', Vol. 11, Emerald Group Publishing Limited.
- Bugarin, M. S., Ellery Jr, R., Gomes, V. & Teixeira, A. (2007), The brazilian depression in the 1980s and 1990s, in T. Kehoe & E. Prescott, eds, 'Great Depressions of the Twentieth Century', Federal Reserve Bank of Minneapolis.
- Caselli, F. (2005), Accounting for cross-country income differences, in 'Handbook of Economic Growth', Vol. 1A, Elsevier.
- de Carvalho Filho, I. & Chamon, M. (2012), 'The myth of post-reform income stagnation: Evidence from Brazil and Mexico', *Journal of Development Economics*.
- Edwards, S. (2010), *Left behind: Latin America and the false promise of populism*, University of Chicago press.
- Ellery Jr, R. (2014), Desafios para o cálculo da produtividade total dos fatores, in F. de Negri & L. R. Cavalcanti, eds, 'Produtividade no Brasil: Desempenho e Determinantes', IPEA.
- Ferreira, P. C., Ellery Jr, R. & Gomes, V. (2008), 'Produtividade agregada brasileira (1970-2000): declínio robusto e fraca recuperação', *Estudos Econômicos* 38(1).
- Fukuyama, F. (2008), *Falling behind: explaining the development gap between Latin America and the United States*, Oxford University Press.
- Gomes, V., Pessoa, S. & Veloso, F. (2003), 'Evolução da produtividade total dos fatores na economia brasileira: uma análise comparativa', *Pesquisa e Planejamento Econômico* 33(3).
- Kehoe, T. J. & Ruhl, K. J. (2010), Why have economic reform in Mexico not generated growth? NBER WP 16580.
- Lopes, R. L. & Murata, M. H. (2007), 'Elasticidade de substituição entre capital e trabalho da economia brasileira: uma análise de dados em painel', *A Economia em Revista* 15(2).
- Solow, R. (1960), Investment and technological progress, in K. Arrow & S. Karlin, eds, 'Mathematical Methods in Social Sciences', Stanford University Press.
- Wolff, E. N. (1991), 'Capital formation and productivity convergence over the long term', *The American Economic Review* 81(3).