

Produção de conhecimento e crescimento da firma no Brasil

João Alberto De Negri

Luiz Esteves

Fernando Freitas

1. INTRODUÇÃO

É relativamente grande o consenso entre economistas de que o crescimento econômico dos países está associado à inovação tecnológica. O consenso é menor se o assunto é como fazer inovação tecnológica. É razoável supor que uma parte da inovação tecnológica das firmas de países em desenvolvimento é realizada por meio da compra de bens de capital, geralmente importada dos países desenvolvidos. As máquinas e equipamentos têm tecnologia embutida e permitem a inovação tecnológica das empresas.

A generalização de interpretações sobre a dinâmica econômica de países em desenvolvimento pode, entretanto, mascarar características específicas de economias que são muito diferenciadas. O Brasil tem cerca de 180 milhões de habitantes e possui uma indústria relativamente grande com 80 mil firmas industriais com mais de 10 pessoas ocupadas, onde estão empregados mais de 6 milhões de trabalhadores e onde as firmas investem cerca de USD 3 bilhões ao ano em P&D. Esses indicadores podem colocar o Brasil em posição diferenciada quando comparado com a média dos países em desenvolvimento, mas é evidente, entretanto, que os indicadores de inovação tecnológica do Brasil estão muito distantes dos países desenvolvidos e de países emergentes da Ásia. No Brasil, aproximadamente 30% das empresas são inovadoras. Em média as empresas inovadoras nos países da União Européia representam 50%. Cerca de 5 a 7 mil empresas brasileiras realizaram gastos com P&D. Em 2003 as empresas brasileiras investiram 0,6% do faturamento em P&D. Na Alemanha este percentual é de 2,7% e na França é de 2,5%. Apenas

2,8% das empresas industriais brasileiras fizeram alguma inovação de produto para o mercado em 2003. Das 28036 empresas inovadoras apenas 177 inovaram para o mercado internacional (0,6%).

Fomentar o investimento em P&D das empresas causa aumento no investimento em capital físico e acelera o crescimento da firma no Brasil? Essa é uma pergunta relevante para países que desejam migrar para posições mais avançadas de desenvolvimento econômico. Este artigo testa a hipótese de que o investimento em P&D das empresas aumenta a taxa de investimento em capital fixo das empresas no Brasil. A comprovação dessa hipótese é importante do ponto de vista de políticas públicas porque implicaria que uma das ações que o governo deveria programar para aumentar o investimento na economia é incentivar P&D nas empresas.

Por que investimento em P&D das empresas poderia causar aumento do investimento físico das empresas? O que estaria por trás dessa relação causal? A empresa que investe em atividades criativas, em conhecimento e em P&D, gera novos produtos e processos que necessitam ser produzidos e introduzidos no mercado. As atividades de fabricação e de comercialização necessitam ser reformuladas para adequar a empresa a essas inovações. Neste sentido, a empresa realiza novos investimentos em capital físico para expansão ou para mudanças na sua produção que acabam por impulsionar o crescimento da empresa.

Para testar essa hipótese este artigo utilizou informações de 23892 empresas brasileiras durante o período de 1996 a 2003, que representam mais de 95% do valor adicionado da indústria. O banco de dados foi organizado pelo Instituto de Pesquisas Econômicas e Aplicadas (Ipea) e contém informações das empresas e dos trabalhadores a elas vinculados. As informações são provenientes de diversos bancos de dados do governo brasileiro. A Pesquisa Sobre Inovação Tecnológica na Indústria Brasileira (Pintec) forneceu as informações sobre a inovação tecnológica nas firmas.

Na segunda seção deste artigo são apresentadas as estatísticas descritivas das empresas que mais cresceram e mais investiram no Brasil no período de 1996 a 2003. Na terceira seção são estimados modelos econométricos que correlacionam a variável investimento em P&D com investimento em capital físico e procuram resolver problemas causados por seleção e variáveis endógenas. Na quarta seção os modelos

econométricos estão voltados para identificar causalidade entre P&D e investimento em capital físico. A quinta seção conclui.

2. QUAIS AS CARACTERÍSTICAS DAS EMPRESAS QUE MAIS CRESCERAM NO BRASIL?

Para analisar as características das empresas que mais cresceram no Brasil, no período de 1996 a 2003, as empresas foram classificadas de acordo com o seu crescimento em quatro grupos correspondentes aos quartis da taxa de crescimento. Cada quartil recebeu a seguinte nomenclatura: 1) crescimento inferior; 2) crescimento médio inferior; 3) crescimento médio superior; 4) crescimento superior. Crescimento foi definido como a taxa de crescimento do faturamento da empresa em relação à taxa de crescimento do faturamento do seu setor industrial no período 1996/2003. Considerou-se o setor industrial a Classificação Nacional de Atividade Econômica (CNAE) a três dígitos. Depois de classificadas foram observadas as seguintes características das firmas: escala de produção, produtividade do trabalho, exportação, inovação, investimento em inovação tecnológica e escolaridade média dos trabalhadores. Esse procedimento indica características que poderiam estar associadas ao crescimento das firmas. Os resultados estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Características das empresas brasileiras classificadas de acordo com o seu crescimento. 1996-2003

Crescimento da empresa	Faturamento (MI R\$)	Produtividade do trabalho (Mil R\$)	Percentual exportadoras (%)	Percentual inovadoras (%)	Escolaridade e média do trabalhador (anos)	Investimento em inovação em relação ao faturamento (%)
Inferior	14,35	29,814	26	27	7,42	2,1
Médio inferior	67,09	45,788	37	39	7,82	2,63
Médio superior	69,40	57,895	45	48	8,16	3,04
Superior	72,12	60,826	47	48	8,25	3,38

Os resultados mostram que a escala de produção é menor na categoria de empresas que tiveram crescimento inferior ao seu setor industrial. A produtividade do trabalho é maior quanto maior é a taxa de crescimento das firmas. Nesse caso, os dados sinalizam que pode existir associação positiva entre escala, produtividade e crescimento das

empresas, ou seja, cresceu mais quem tem escala de produção maior e é mais produtiva.

O diferencial de tamanho entre as categorias de firmas pode representar um diferencial importante de competitividade entre as firmas. Sempre que a produção da firma aumentar mais que proporcionalmente ao aumento dos fatores de produção utilizados por ela, há rendimentos crescentes de escala internos à firma. Na presença de tais rendimentos, o aumento do tamanho da firma aumenta a produtividade total dos fatores de produção. Os diferenciais de produtividade do trabalho mais acentuados do que os diferenciais de escala entre os grupos de firmas podem indicar que existem outros fatores associados ao aumento e produtividade que não estão necessariamente associados à escala. Entre esses fatores podem ser destacados a inovação tecnológica e o desempenho exportador das firmas.

O percentual de empresas exportadoras e inovadoras é maior nos dois grupos de empresas que tiveram crescimento superior. Araújo (2007) mostrou que as empresas que exportam são as mais produtivas, mas o engajamento da firma no comércio internacional também aumenta a produtividade da empresa porque há ganhos de eficiência que são decorrentes do conhecimento que a empresa adquire no comércio internacional. Nesse sentido, os indicadores mostram que cresce mais quem inova e exporta.

Os indicadores de escolaridade média do trabalhador nas empresas brasileiras mostram que cresceram mais quem emprega mão-de-obra com maior qualificação. A escolaridade da mão-de-obra ocupada é uma variável especialmente relevante na análise da estratégia competitiva das firmas. Essa variável é uma *proxy* para o nível tecnológico da firma, pois é razoável supor que empresas com maior conteúdo tecnológico demandem mão-de-obra mais qualificada. Firms que ocupam mão-de-obra mais qualificada têm mais condições de diferenciar e garantir a qualidade do produto produzido. Ao mesmo tempo em que a melhor qualificação da mão-de-obra amplia as potencialidades disponíveis nas firmas, o posicionamento competitivo da empresa é positivamente influenciado pela possibilidade da firma operar com conteúdo tecnológico maior.

O indicador de investimentos em atividades voltadas para a inovação tecnológica como proporção do faturamento mostra que as empresas

que mais cresceram são aquelas que fazem mais esforço para inovar. Cresceu mais quem investiu em inovação.

Quem investe em P&D investe mais em capital físico? Para procurar responder essa pergunta foram analisados os indicadores de investimento de um painel de 3130 empresas presentes na Pintec de 2000 e de 2003. Na tabela 2 são apresentados indicadores de investimento em capital físico das empresas que realizaram investimento em P&D.

Tabela 2. Média do Investimento em capital fixo de firmas brasileiras com e sem investimento em P&D no período de 2000-2003

Variável	Todas as firmas	Firmas com P&D contínuo	Firmas com P&D eventual	Firmas sem P&D
Investimento em capital físico por trabalhador (R\$)	40.225 (180.842)	63.545 (150.000)	33.517 (54.309)	33.196 (199.834)
Investimento em capital físico como proporção da receita líquida (%)	21 (36)	24 (38)	23 (54)	19 (33)
Lucro por trabalhador (R\$)	13.939 (354.456)	49.275 (354.456)	3.583 (241.442)	3.309 (291.181)

Desvio padrão entre parênteses

*Painel de empresas presentes na Pintec de 2000 e de 2003

As estatísticas descritivas mostram que as empresas com P&D contínuo ou eventual sempre apresentaram uma taxa de investimento maior quando comparadas com as empresas que não investiram em P&D. Quando se considera os investimentos por trabalhador, é verificado que o nível de investimentos das empresas com P&D contínuo é 90% superior ao das empresas que investiram em P&D eventualmente ou que não investiram em P&D. No caso dos investimentos como proporção da receita líquida de vendas, verifica-se que o nível de investimentos das empresas com P&D contínuo e P&D eventual não apresentam diferenças significativas. Porém, o nível de investimentos dessas é 25% superior ao das empresas que não investem em P&D. Verifica-se também que o lucro por trabalhador nas empresas com P&D contínuo é 14 vezes maior que o das empresas com P&D eventual ou sem P&D.

Em síntese, os dados mostraram as características das empresas que obtiveram maiores taxas de crescimentos no período de 1996 a 2003.

As empresas que mais cresceram são as mais produtivas. Parece também existir associação entre o crescimento da empresa, escala, exportação, inovação, escolaridade da mão-de-obra e investimento em atividades de inovação. O investimento em capital físico também é maior nas empresas que investem em P&D. Isso indica que o crescimento das empresas e da economia no Brasil pode estar associado à inovação e ao investimento em conhecimento.

3. A FUNÇÃO DE PRODUÇÃO DO CONHECIMENTO E A ACUMULAÇÃO DE CAPITAL FÍSICO

As análises baseadas em estatísticas descritivas da seção anterior são importantes para descrever os dados e identificar variáveis que poderiam estar associadas ao investimento e ao crescimento das firmas, mas não levam em conta a heterogeneidade das firmas. Para encontrar resultados mais robustos algumas estimativas econométricas foram realizadas para identificar condicionantes do investimentos em capital físico nas empresas. Foram estimados três modelos econométricos.

No primeiro modelo, o investimento em capital físico como proporção da receita líquida da empresa e o investimento por trabalhador no período 2000-2003 foram regredidos como função da firma ser inovadora. Com essa especificação busca-se correlação estatística entre investimento e inovação, seguindo a hipótese deste artigo. Na especificação do modelo usa-se também como variáveis explicativas a escala da firma (número de trabalhadores), taxa de lucro (lucro como proporção da receita líquida de vendas), *dummies* de controle para firmas exportadoras e multinacionais e escolaridade do trabalhador. *Dummies* de controle de setor industrial e de local de produção também foram utilizadas nessa especificação. Espera-se que firmas maiores invistam proporcionalmente mais do que pequenas empresas. Quanto maior a taxa de lucro maior seria também a propensão da firma a investir. Empresas com mão-de-obra mais escolarizada tenderiam a investir mais. Fatores associados à concorrência resultante da maior exposição das empresas ao mercado internacional, como no caso das empresas exportadoras e multinacionais, fariam com que as firmas investissem mais.

No segundo modelo, as variáveis explicativas são as mesmas do primeiro modelo, mas agora é retirada a variável inovadora e introduzida

uma variável para empresas que realizaram gastos contínuos ou ocasionais em P&D.

O terceiro modelo é um sistema de duas equações estimadas em dois estágios. Na primeira equação é modelada a probabilidade da firma inovar em função da firma ter investido em P&D de forma contínua ou ocasional. As outras variáveis explicativas são escala de produção, escolaridade média dos trabalhadores, controles para exportadoras, multinacionais, setor e local. Na segunda equação, o somatório do investimento como proporção da receita líquida de vendas e o investimento por trabalhador são regredidos em função das mesmas variáveis do primeiro modelo e também da probabilidade estimada de firma ser inovadora.

Tabela 3. Variáveis explicativas do investimento em capital fixo das firmas brasileiras no período 2000-2003.

Variáveis independentes	Modelo 1		Modelo 2		Modelo 3	
	Ln(INV/RLV) 2000-2003	Ln(INV/PO) 2000-2003	Ln(INV/RLV) 2000-2003	Ln(INV/PO) 2000-2003	Ln(INV/RLV) 2000-2003	Ln(INV/PO) 2000-2003
Constante	-2,58*** (-5,28)	4,33*** (8,13)	-2,60*** (-5,28)	4,46*** (8,11)	-2,52*** (-5,10)	4,57*** (8,29)
Ln do Número de trabalhadores (2000)	0,16*** (5,62)	0,24*** (7,73)	0,17*** (5,43)	0,24*** (7,30)	0,15*** (4,66)	0,22*** (6,34)
Ln(π / RLV) 2000-2003	0,14*** (6,92)	0,34*** (17,74)	0,14*** (6,86)	0,34*** (17,61)	0,14*** (6,87)	0,34*** (17,62)
Inovadoras (2000-2003)	0,24*** (4,18)	0,31*** (5,03)				
Investe em P&D (2000-2003)			0,09** (2,17)	0,13** (2,99)		
Probabilidade estimada da firma inovar ^a					0,35** (2,65)	0,50*** (3,49)
Exportadoras (2000)	0,09 (1,34)	0,31*** (4,99)	0,09 (1,31)	0,31*** (4,32)	0,08 (1,17)	0,30*** (4,13)
Multinacionais (2000)	0,25** (2,38)	0,49*** (4,21)	0,25** (2,30)	0,48*** (4,10)	0,24** (2,24)	0,47*** (4,03)
Escolaridade do trabalhador (2000)	-0,002 (-0,12)	0,07*** (3,55)	-0,0001 (-0,01)	0,07*** (3,56)	-0,005 (-0,27)	0,06*** (3,16)
Setor (CNAE 2 dígitos)	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Local (Unidade da Federação)	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
R ²	0,26	0,54	0,25	0,53	0,25	0,53
F	4,96	16,43	4,82	16,15	4,84	16,21
N	1.835	1.860	1.835	1.860	1.835	1.860

*** significativo a 1%, ** significativo a 5%, * significativo a 10%, estatística t entre parênteses. INV = investimento, RLV = receita líquida de vendas, PO = número de trabalhadores

^aProbabilidade da firma inovar – 2000-2003

Variáveis explicativas	Variável dependente inovadora (2000-2003)
Constante	-0,20 (1,42)
Ln do número de trabalhadores (2000)	0,03*** (3,74)
Investe em P&D (2000-2003)	0,31*** (26,03)
Exportadoras (2000)	0,02 (1,20)
Multinacionais (2000)	0,017 (0,59)
Escolaridade do trabalhador (2000)	0,01** (2,14)
Setor (CNAE 2 dígitos)	Sim
UF	Sim
R ²	0,32
F	11,7
N	3.219

*** significativo a 1%, ** significativo a 5%, * significativo a 10%, estatística t entre parênteses.

As equações estimadas por meio desses procedimentos não corrigem possíveis problemas de variáveis endógenas que possam estar presentes. A relação de causalidade não é bem definida do ponto de vista empírico. Não há problemas, entretanto, quanto à significância estatística da correlação entre as variáveis. No terceiro modelo, o sistema de equações corrige viés de seleção resultante do aumento de investimento ocasionada pela decisão da firma de realizar gastos em P&D para inovar. Os resultados das estimativas são apresentados na Tabela 3.

Em resumo, no primeiro modelo os resultados indicam que as empresas que inovaram em processo ou em produto durante 2000-2003 investiram 24% a 31% a mais em capital físico do que as empresas que não inovaram. No segundo modelo, os resultados mostram que as empresas que investiram em P&D durante o período de 2000-2003 investiram em capital físico de 9% a 13% a mais do que as empresas que não investem em P&D.

No terceiro modelo, o sistema de equações indica que as empresas que realizam investimentos em P&D investem em 10,8% a mais em capital físico como proporção da receita líquida de vendas do que as firmas que não realizam investimentos em P&D. O investimento em capital físico por trabalhador é também 15,5% maior nas empresas que investiram em P&D quando comparado com as empresas que não investiram em P&D.¹

¹ Nas regressões do terceiro modelo os efeitos de P&D para o investimento são obtidos indiretamente a partir das seguintes multiplicações de derivadas parciais como segue:

$$\frac{\partial \sum_{t=2000}^{2003} \frac{INV_t}{RLV_t}}{\partial Inova} \frac{\partial Inova}{\partial P \& D} = 0,35 * 0,31 = 0,108 \quad \frac{\partial \sum_{t=2000}^{2003} \frac{INV_t}{PO_t}}{\partial Inova} \frac{\partial Inova}{\partial P \& D} = 0,50 * 0,31 = 0,155$$

Para aprofundar a análise, este artigo propõe um modelo estrutural que relaciona os gastos em P&D, a inovação tecnológica e a acumulação de capital físico. A idéia é utilizar uma função de produção de conhecimento onde os gastos em P&D são os insumos e a inovação é o produto tangível do conhecimento.

Na grande maioria dos trabalhos empíricos a variável para crescimento de firma é a taxa de crescimento do pessoal ocupado da empresa, porém nada impede que essa variável seja representada pela taxa de crescimento do estoque de capital. Uma função de crescimento da firma teria a seguinte especificação:

$$\text{Ln}K_t = f(K_{t-1}, P \& D_{t-1}, X_{t-1}) \quad (1)$$

Onde $\text{Ln}K_t$ é o logaritmo natural do estoque de capital no período t , $P \& D_{t-1}$ é o logaritmo natural dos gastos em $P \& D$ no período $t-1$, X_{t-1} é um vetor de variáveis explicativas de controle da empresa no período $t-1$. Uma forma alternativa de especificação da função de crescimento da firma seria:

$$\text{Ln}K_t = f(K_{t-1}, \text{INOV}_{t-1}, X_{t-1}) \quad (2)$$

Onde INOV_{t-1} é uma variável que especifica se a empresa efetuou uma inovação de processo ou de produto no período $t-1$.

As especificações da função de crescimento (1) e (2) implicam hipóteses muito restritivas: 1) a ortogonalidade do erro com as variáveis de caráter tecnológico em ambas as equações; e, 2) na primeira equação considera-se que o gasto em P&D tenha implicações diretas sobre a performance de crescimento da firma e, adicionalmente, tal estimativa pode incorrer em viés de seleção.

A função de produção de conhecimento que foi originalmente desenvolvida por Griliches (1979) ajuda a compreender melhor essas restrições. A função de produção de conhecimento sugere que os gastos em P&D constituem insumos e a inovação constitui o produto do conhecimento gerado dentro da firma. A idéia é que os gastos em P&D não necessariamente se transformarão em resultados tangíveis para as firmas em termos de novos produtos ou processos. Uma ineficiência

dos gastos em P&D poderá ter efeitos nulos para a acumulação de capital da firma. Um exemplo de tal possibilidade seria o fato de uma empresa falhar ao investir P&D para a geração de uma inovação de produto que demandaria a aquisição de novas máquinas e equipamentos para a sua produção.

A última geração desses modelos é representada pelos modelos CDM desenvolvidos por Crepon, Duguet e Mairesse (1998). A idéia dos modelos CDM é constituir um sistema de equações que garante a relação entre produtos da função produção de conhecimento e a produtividade e, ao mesmo tempo, corrige os vieses de endogeneidade e seletividade na estrutura do sistema. O sistema de equações do modelo CDM é especificado conforme as equações abaixo:

$$dP \& D = f(X^1) \quad (3)$$

$$P \& D^* = f(X^2) \quad (4)$$

$$INOV = f(P \& D^*, X^3) \quad (5)$$

$$q = f(INOV^*, X^4) \quad (6)$$

Onde $dP \& D$ assume:

$$dP \& D = 1 \quad se \quad P \& D = \beta_0 + \beta X^1 + \varepsilon^0 > 0 \quad (7.1)$$

$$dP \& D = 0 \quad se \quad P \& D = \beta_0 + \beta X^1 + \varepsilon^0 \leq 0 \quad (7.2)$$

A equação (3) é a estimativa de um modelo probit sobre a decisão da empresa realizar investimentos em P&D. O vetor X_1 é composto das variáveis explicativas desta decisão. Na equação (4) $P \& D^*$ é uma variável latente onde:

$$P \& D = P \& D^* = \beta_0 + \beta_1 X^2 + \varepsilon^1 \quad se \quad dP \& D = 1 \quad (8.1)$$

$$P \& D = 0 \quad se \quad dP \& D = 0 \quad (8.2)$$

É assumido que os erros ε^0 e ε^1 tem distribuição normal bivariada com média 0 e variância $\sigma_\varepsilon^2 = 1$ e coeficiente de correlação $\rho_{\varepsilon\varepsilon}$. O objetivo dessas duas equações do sistema é corrigir o viés de seleção da decisão das firmas em investir em P&D.

A equação (5) representa a função de produção de conhecimento. O insumo é a P&D estimada e o produto é a inovação. Finalmente, a

equação (6) representa a função de produtividade da firma onde a variável explicativa *INOV* é obtida junto à função de produção de conhecimento².

Lach and Rob (1996) argumentam que os modelos CDM consideram conhecimento e capital físico dentro da função de produção neoclássica, que tem as propriedades de substituição e de complementaridade entre os fatores de produção. Essa racionalidade dificulta estabelecer relações de causalidade entre investimento em P&D e investimento em capital físico. O modelo desenvolvido por Lach e Rob (1996) garante maior proximidade com a hipótese desse trabalho, pois sugere que novas idéias quando se transformam em inovação precisam ser implementadas por meio de novas máquinas e equipamentos e, portanto, novos investimentos em capital físico são realizados.

Este trabalho relaciona a inovação e o investimento em capital físico dentro de uma estrutura de equações semelhante àquela desenvolvida pelo modelo CDM. A proposta aqui desenvolvida substitui a equação de produtividade pela equação de crescimento da firma. O sistema faz a correção de endogeneidade por meio de variáveis instrumentais e, adicionalmente, soluciona o problema da seletividade por meio da introdução dentro do sistema de uma equação de sobrevivência da firma. A introdução dessa equação parte da intuição de que a variável dependente é medida em taxas de crescimento e não é possível garantir que todas as empresas da amostra sobrevivam no período. A perda de observações por motivo de falência das firmas ao longo do período não deve ser um fenômeno aleatório, e tais falências devem ser mais prováveis em empresas com menores níveis de investimentos em capital físico, capital humano, P&D, etc. O quadro abaixo resume as equações a serem estimadas:

$$dP \& D = f(X^1) \quad (9)$$

$$P \& D^* = f(X^2) \quad (10)$$

$$INOV = f(P \& D^*, X^3) \quad (11)$$

$$Survive = f(X^4) \quad (12)$$

$$\Delta k = f(INOV^*, X^5, Mills) \quad (13)$$

² Detalhamentos do modelo CDM pode ser encontrado em Crepon, Duguet e Mairesse (1998). Um survey com os principais trabalhos empíricos utilizando o modelo CDM pode ser encontrado em Hall e Mairesse (2006). Variantes do modelo CDM foram estimados para a França (Duguet, 2000), Alemanha e Suécia (Janz, Löf e Peters, 2004), Holanda (van Leeuwen e Klomp, 2006), Chile (Benavante, 2006), Sweden (Löf e Heshmati, 2002), China (Jefferson, et al. 2006) e França, Alemanha, Espanha e Reino Unido (Griffith, et al. 2006).

A equação (12) é a equação de sobrevivência. Essa equação é usada como uma regressão auxiliar para o controle da seletividade das empresas que permaneceram ativas durante todo o período considerado para o cálculo das taxas de crescimento do estoque de capital físico. Finalmente, a equação (13) é uma equação de crescimento da firma, nos moldes da equação (2), porém incluindo a variável inversa de Mills para o controle da seletividade e onde Δk é a taxa de crescimento do capital físico.

O sistema desenvolvido por Griliches (1979) assume a completa ortogonalidade de todos os erros do sistema com os regressores de suas respectivas equações o que torna possível a estimativa em OLS. Já o modelo CDM assume que todo o sistema é composto por uma estrutura de erros não ortogonais e correlacionados, ou seja, o coeficiente de correlação $\rho_{\epsilon\epsilon}$ para qualquer combinação dos erros do sistema de equações é diferente de zero, o que implicaria a necessidade de estimar o sistema conjuntamente utilizando, por exemplo, o ALS (Asymptotic Least Square).

Neste artigo considera-se uma hipótese de estrutura de correlação de erros intermediária entre a proposta por Griliches e pelos modelos CDM. A hipótese de estrutura dos erros segue aquela desenvolvida por Loof e Heshmati (2002): 1) utilização explícita de variáveis instrumentais; e, 2) separação da estrutura da correlação dos erros em duas partes. A separação da estrutura da correlação dos erros nesse modelo parte da hipótese de que os erros das equações (9) e (10) não estariam diretamente correlacionados com os erros da equação de crescimento (13).

A idéia é que as variáveis omitidas da decisão de engajamento em P&D no tempo t poderiam estar correlacionadas com a elasticidade da decisão de investimento no período t . No entanto, vale lembrar que a variável dependente neste trabalho é a taxa de crescimento do estoque de capital no período $\Delta k = (t + k) - t$, desta forma, nada é inferido sobre uma correlação entre os erros da equação de engajamento em P&D e de crescimento da firma. A argumentação é análoga à utilização de variáveis defasadas como instrumentos.

A amostra utilizada para estimar esse sistema de equações é constituída de 23892 empresas que tem 30 ou mais pessoas ocupadas entre as quais: 1) 18421 permaneceram ativas e sem qualquer mudança

de propriedade ao longo de todo o período de análise; 2) 3830 perderam escala no período e deixaram de constituir fonte de informação censitária da PIA³; 3) 1526 empresas encerraram atividades no período; 4) 115 empresas foram adquiridas por outras; e, 5) 372 empresas expandiram negócios por conta de fusões e aquisições. A divisão das empresas nessas categorias é relevante para a análise de crescimento da firma. A informação a respeito da sobrevivência das empresas no período ajuda a controlar o viés de seleção quanto às taxas de crescimento das firmas. O fato de uma empresa expandir seu estoque de capital por conta de aquisições ou fusões também é relevante para a análise de crescimento do estoque de capital físico, pois o objetivo desse trabalho é isolar o efeito da inovação tecnológica no crescimento do capital físico da empresa.

Os resultados obtidos para o sistema de equações são reportados nas Tabelas 4 a 7. Todos os resultados dos testes foram obtidos separadamente para os casos de empresas que inovaram em produto ou em processo. As equações de crescimento dividem-se ainda por tamanho de firma em duas classes: 1) firmas menores, aquelas empresas que apresentavam um estoque de capital em 2000 inferior ao da média das empresas para aquele ano; e, 2) empresas maiores, ou seja, empresas com estoque de capital maior que a média das empresas em 2000.

O procedimento de estimar diferentes regressões por tamanho das empresas é justificado no sentido de contribuir para testar hipóteses alternativas sobre o comportamento de crescimento das firmas. A Lei de Gilbrat estabelece que o crescimento da firma, sob quaisquer condições, é um passeio aleatório, ou seja, a taxa de crescimento da firma no período t e $t+1$ não seria influenciada pelo tamanho da firma no período t . Já a versão fraca da Lei de Gilbrat, desenvolvida originalmente por Simon e Bonini (1958), estabelece que tal passeio aleatório se verificaria entre as empresas que já produzem com eficiência de escala.

As estimativas das equações de crescimento incorporam a idade da empresa entre seus regressores. O objetivo é testar a hipótese de

³ A Pesquisa Industrial Anual é censitária para empresas acima de 30 pessoas ocupadas. Se a empresa reduz seu tamanho ela sai do extrato de empresas censitárias e para o extrato de empresas que são amostradas. De acordo com este procedimento amostral uma empresa pode sair do painel somente por questões amostrais não significando que tenha falido ou sido adquirida por outra empresa.

aprendizado de Jovanovic (1982) que estabelece que firmas mais jovens crescem a taxas superiores às taxas apresentadas por firmas mais velhas. As equações de crescimento foram estimadas a partir de dois métodos econométricos distintos, 3SLS e FIML.

Tabela 4. Condicionantes da decisão da firma investir em P&D e de quanto gastar P&D – 2000

Variáveis independentes	Variável dependente	
	Decisão de investir em P&D (modelo Probit)	P&D por trabalhador (modelo Tobit)
Competição - Mercado nacional é o principal mercado da firma	-0,08 (0,09)	0,11 (0,16)
Cooperação - Firma coopera para inovar	-	0,39*** (0,07)
Número de depósito de patentes no setor que a firma atua	1,14*** (0,07)	0,90*** (0,09)
Firma recebeu financiamento público para inovação	0,57*** (0,07)	0,57*** (0,16)
Escolaridade média do trabalhador na firma	0,08*** (0,01)	0,26** (0,11)
Firma atribui a lta importância do governo como fonte de informação para inovação:	-	-0,03 (0,06)
Firma atribui a lta importância dos fornecedores como fonte de informação para inovação:	-	0,13 (0,11)
Firma atribui alta importância da universidade como fonte de informação para inovação:	-	-0,11 (0,14)
Firma recebeu apoio do governo para inovação	-	0,11* (0,07)
Firma atribui a lta importância dos clientes como fonte de informação para inovação:	-	0,01 (0,09)
Firma atribui a lta importância dos concorrentes como fonte de informação para inovação:	-	0,02*** (0,00)
Participação da firma no mercado	-	0,37 (0,50)
Concentração no mercado da firma (índice HHI)	-	0,19*** (0,02)
Escala da firma - número de trabalhadores	Sim	-
Setor	Sim	Sim
Local	Sim	Sim
Constante	-1,82*** (0,49)	
RHO	0,58*** (0,04)	
Mills	0,87*** (0,08)	

*** significativo a 1%, ** significativo a 5%, * significativo a 10%.

Tabela 5. Condicionantes da probabilidade da firma inovar em processo e em produto – 2000

Variável independente	Variável dependente	
	Inovação de produto	Inovação de processo
Ln P&D por trabalhador estimado	0,65*** (0,03)	0,37*** (0,03)
Firma recebeu financiamento público para inovação	0,02 (0,04)	1,02*** (0,05)
Firma atribui alta importância do governo como fonte de informação para inovação:	0,51*** (0,06)	0,30*** (0,05)
Firma atribui alta importância dos fornecedores como fonte de informação para inovação:	0,23*** (0,02)	1,30*** (0,03)
Firma atribui alta importância da universidade como fonte de informação para inovação:	0,55*** (0,06)	-0,07 (0,06)
Firma atribui alta importância dos clientes como fonte de informação para inovação:	0,82*** (0,03)	0,38*** (0,03)
Firma atribui alta importância dos concorrentes como fonte de informação para inovação:	0,37*** (0,03)	0,52*** (0,03)
Firma atribui alta importância para elevados custos como obstáculo para inovação	-0,40*** (0,04)	-0,27*** (0,04)
Escala da firma - número de trabalhadores	Sim***	Sim***
Setor	Sim***	Sim***
Local	Sim***	Sim***
Constante	-2,75*** (0,25)	1,51 (0,20)
R2	0,28	0,29
N	15905	15909
χ^2	5645***	6255***

*** significativo a 1%, ** significativo a 5%, * significativo a 10%.

Tabela 6. Determinantes do crescimento do estoque de capital fixo da firma 2000-2003 – Inovação de produto

Variáveis independentes	Variável dependente					
	Ln da taxa de crescimento do estoque de capital -2000-2003					
	Todas firmas sobreviventes		Firmas sobreviventes com estoque de capital maior do que a média do seu setor		Firmas sobreviventes com estoque de capital menor do que a média do seu setor	
	3SLS	FIML	3SLS	FIML	3SLS	FIML
Ln Estoque de capital em 2000	-0,04* (0,02)	-0,04*** (0,01)	-0,09 (0,09)	-0,07 (0,07)	0,16*** (0,06)	0,15*** (0,03)
Ln (Estoque de capital em 2000) ²	-0,0009 (0,0009)	0,0009* (0,0005)	0,001 (0,02)	0,0006 (0,02)	-0,009*** (0,002)	-0,009*** (0,001)
Idade da firma	-0,41** *(0,07)	-0,42*** (0,04)	-0,35*** (0,07)	-0,17*** (0,04)	-0,42*** (0,11)	-0,27*** (0,04)
(Idade da firma) ²	0,05*** (0,01)	0,05*** (0,01)	0,04*** (0,01)	0,01 (0,01)	0,05*** (0,02)	0,03*** (0,01)
Inovação de produto estimado	0,17*** (0,03)	0,19*** (0,01)	0,13*** (0,02)	0,14*** (0,02)	0,19*** (0,05)	0,24*** (0,03)
Controles ^c	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
R ²	0,11		0,13		0,12	
F	16,54***		10,95***		8,05***	

*** significativo a 1%, ** significativo a 5%, * Significativo a 10%. c Controles: empresas sobreviventes compradoras, tempo de estudo, escala, seletividade das empresas sobreviventes, setor, local. d Variáveis Instrumentais para o 3SLS e FIML: risco econômico e depósito de patentes defasada.

Tabela 7. Determinantes do crescimento do estoque de capital fixo da firma - 2000-2003 – Inovação de processo

Variáveis independentes	Variável dependente					
	Ln da taxa de crescimento do estoque de capital -2000-2003					
	Todas firmas sobreviventes		Firmas sobreviventes com estoque de capital maior do que a média do seu setor		Firmas sobreviventes com estoque de capital menor do que a média do seu setor	
	3SLS	FIML	3SLS	FIML	3SLS	FIML
Ln Estoque de capital em 2000	-0,04* (0,02)	-0,04*** (0,01)	-0,09 (0,09)	0,15 *** (0,03)	0,15*** (0,06)	0,15*** (0,03)
Ln (Estoque de capital em 2000) ²	-0,0009 (0,0009)	0,0008* (0,0005)	0,001 (0,002)	-0,009 *** (0,001)	-0,009*** (0,003)	-0,009*** (0,001)
Idade da firma	-0,40*** (0,06)	-0,42*** (0,04)	-0,32*** (0,07)	-0,28*** (0,04)	-0,43*** (0,11)	-0,28*** (0,04)
(Idade da firma) ²	0,05*** (0,01)	0,05*** (0,007)	0,03*** (0,01)	0,03 *** (0,008)	0,06*** (0,02)	0,03*** (0,008)
Inovação de processo estimado	0,17*** (0,02)	0,17*** (0,01)	0,13*** (0,02)	0,21*** (0,02)	0,19*** (0,04)	0,21*** (0,02)
Controles ^c	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
R ²	0,12		0,13		0,12	
F	17,04***		11,21***		10,94***	

*** significativo a 1%, ** significativo a 5%, * Significativo a 10%. c Empresas Sobreviventes Compradoras, Tempo de Estudo, Escala, Seletividade das empresas sobreviventes, Setorial, Unidade da Federal. d Variáveis Instrumentais para o 3SLS e FIML: risco econômico e depósito de patentes defasada.

Os determinantes da decisão em Investir em P&D e de quanto gastar seguem exatamente as variáveis utilizadas nos trabalhos que empregam o modelo CDM. No entanto, foi acrescentada a variável escolaridade do trabalhador, por entender que essa é relevante na decisão de investir em P&D e também na decisão de quanto investir em P&D.

Os resultados encontrados na equação da decisão da firma em investir em P&D no caso brasileiro são muito semelhantes aos encontrados em Griffith et al (2006) para a França, Alemanha, Espanha e Reino Unido. A única diferença é a variável competição. Para todos os quatro países desenvolvidos, firmas que tem como principal foco o mercado internacional tem uma maior probabilidade de investir em P&D. Sendo a significância estatística menor que 1%. No Brasil foi encontrado o mesmo resultado, no entanto quando a equação foi controlada pela variável escolaridade do trabalhador, a variável competição perdeu a significância estatística. Isso é, o que aumenta a chance das firmas engajarem em P&D não é o mercado que ela concorre e sim a maior qualificação da mão de obra dessas firmas.

Todas as demais variáveis apresentam sinais e significâncias parecidas com as encontradas para os quatro países europeus: 1) empresas maiores têm uma maior probabilidade de investir em P&D; 2) firmas que recebem financiamento do governo têm maior chance de investir em P&D vis a vis firmas que não recebem; 3) empresas em indústrias onde patentes são mais usadas para proteger as inovações são mais prováveis de investir em P&D; 4) firmas com maior escolaridade do trabalhador têm uma probabilidade maior de investir em P&D.

Para o caso brasileiro, a equação de quanto investir condicionada a decisão de investir se diferencia dos quatro países desenvolvidos em alguns aspectos: novamente a variável competição internacional se mostrou não significativa quando a equação é controlada pela variável escolaridade do trabalhador. Na França e Alemanha o mercado principal em que a firma atua aumenta o investimento em P&D. Firms envolvidas em arranjos cooperativos com outra organização investem mais em P&D, tal resultado é semelhante para os cinco países. Empresas em indústrias que usam mais patentes para proteger as inovações investem mais em P&D. No entanto, tal variável não é significativa para todos os quatro países europeus considerados. No caso brasileiro, o fato das firmas receberem

financiamento do governo aumenta os investidos em P&D. Esse resultado é semelhante ao encontrado para a Alemanha e Espanha.

Semelhante aos resultados encontrados para os quatro países europeus, o efeito da intensidade de P&D é estatisticamente e economicamente muito significativo. O aumento nos esforços de P&D por empregado implica em uma maior probabilidade de êxito tanto para a inovação de processo como para a inovação de produto. Para inovação de produto esse impacto é maior. Firms que recebem financiamento do governo possuem maior probabilidade de inovar em processo, entretanto, essa probabilidade não é significativa para a inovação de produto. Esses resultados indicam que os incentivos do governo brasileiro são direcionados a compra de máquinas e equipamentos e não para a acumulação do conhecimento via P&D. Todas as fontes de informação são importantes para aumentar a probabilidade das firmas industriais brasileiras inovarem em produto, com destaque para as fontes de informação dos clientes. Para inovação de processo apenas fontes de informação das universidades não contribuem.

No caso das equações de crescimento, em todos os casos estimados a variável inovação de produto apresentou parâmetros com sinais positivos e estatisticamente significativos. As estimativas em FIML sempre apresentaram valores dos parâmetros superiores aos estimados de 3SLS. Para o caso de todas as empresas sobreviventes, pode-se constatar que os parâmetros da variável “Ln Estoque de capital em 2000” apresentam sinais negativos e estatisticamente significativos. Tais resultados contribuem para refutar a hipótese de que o crescimento das firmas é um passeio aleatório. Finalmente, pode-se constatar que os parâmetros da variável idade da firma apresentam sinais negativos e estatisticamente significativos, o que implica a corroboração da hipótese de aprendizado das firmas.

Analisando as estimativas para grandes e pequenas empresas, pode-se constatar que os valores dos parâmetros para a variável inovação de produto é maior para as estimativas com o subgrupo das empresas pequenas. Pode-se verificar que as empresas maiores, ao contrário das de menor porte, apresentam parâmetros da variável “Ln Estoque de capital em 2000” não significativos. Isso implica que a taxa de crescimento das empresas maiores é um passeio aleatório, corroborando assim a hipótese

da versão fraca da lei de Gilbrat. Tanto no caso das empresas grandes como pequenas os resultados corroboram com a hipótese de aprendizado.

Em termos gerais, podemos concluir que uma inovação de produto implica em uma taxa de crescimento do estoque de capital físico entre 13 e 24% superior ao crescimento das empresas não-inovadoras. No caso da inovação de processo, esse percentual variou de 13 e 21%. Verificou-se ainda que esse diferencial de crescimento entre empresas inovadoras e não-inovadoras é superior (inferior) no subgrupo das empresas de menor (maior) porte.

4. P&D CAUSA INVESTIMENTO EM CAPITAL FÍSICO NO BRASIL?

A relação causal pressuposta no modelo teórico deste artigo é aprofundada do ponto de vista empírico nesta seção. Bond and Reenen (1999) sintetizaram achados da literatura empírica sobre os determinantes do investimento das firmas e mostraram que existem evidências em estudos para países desenvolvidos de causalidade entre P&D e investimento em capital físico. Uma grande parte da evidência empírica disponível sobre a relação entre investimentos em capital físico e investimento em P&D é encontrada em análises de séries de tempo que usam o teste de causalidade de Granger conforme pode ser visto em Chiao (2001), Lach e Rob (1996) e Lach e Schankerman (1989).⁴

Para corroborar com a hipótese de que o investimento em P&D causa crescimento da firma e impulsiona o seu investimento na produção foi realizado um procedimento para análise contra-factual.

No primeiro passo desse procedimento, um painel de 15694 firmas presentes nos bancos de dados de 1996 a 2003 foram reunidas em clusters de acordo com a similaridade das características da sua produção e das características de seus trabalhadores. As variáveis utilizadas para agrupar as firmas nos clusters foram: número de empregados, faturamento, investimento em capital físico, produtividade (faturamento/número de empregados), salário, escolaridade média do trabalhador na empresa, coeficiente de exportação (exportação como proporção do faturamento),

⁴ Ver também Nickell and Nicolitsas (1996), Toivanen and Stoneman (1998), Pakes (1985), Griliches, Hall, and Pakes (1991), Yang e Huang (2005).

gastos com marketing. Os clusters foram formados com as características do ano de 1997. Três conjuntos de firmas foram considerados: 1) todas as firmas da indústria de transformação; 2) somente firmas inovadoras; e, 3) somente firmas pertencentes às indústrias de maior intensidade tecnológica.

No segundo passo, as empresas que investiram em P&D em 2000 e as empresas que não investiram em P&D nesse período foram separadas dentro de cada cluster e foram analisados os indicadores de investimento e de crescimento no período 1997/2003.

A intuição por trás desse procedimento é estabelecer relação de causalidade por meio de uma análise contra-factual. As empresas foram agrupadas de acordo com a similaridade das suas características produtivas e posteriormente foram acompanhadas ao longo do tempo para verificar se aquelas que decidiram investir em P&D cresceram e investiram na produção mais do que as outras empresas. Se em 1997 as empresas eram similares em termos de suas características estruturais, e a única diferença entre elas é que algumas em 2000 investiram em P&D e outras não, pode-se inferir que o possível diferencial de crescimento e de investimento em capital fixo resulta em alguma medida das suas atividades de P&D. Os resultados dessa análise contra-factual estão descritos na Tabela 8.

Tabela 8. Número de cluster nos quais as empresas que investiram em P&D realizaram investimentos em capital fixo e tiveram crescimento superior e inferior às empresas que não investiram em P&D, 1997 - 2000

	Investimento		Investimento como proporção do faturamento		Crescimento do faturamento		Total	
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Toda indústria	4	2	4	2	6	2	14	6
Somente firmas inovadoras	5	1	5	1	8	0	18	2
Indústria de maior intensidade tecnológica	6	1	5	2	6	2	17	5
Total	15	4	14	5	21	4	49	13

Conforme demonstrado na Tabela 2, em 79% dos clusters, as empresas que investiram em P&D investiram em capital fixo e cresceram mais do que as demais empresas. Esse procedimento contribui na direção

de aceitar a hipótese de relação causal entre investimento em P&D e investimento em capital físico, ou seja, investimento em P&D gera investimento em capital físico e, portanto, gera crescimento.

Para aumentar a robustez desses resultados e medir o impacto dos gastos em P&D e das inovações tecnológicas sobre o crescimento das firmas foi utilizando o método diferenças em diferenças. Esse tipo de procedimento é largamente utilizado para análise de políticas públicas. O método consiste em avaliar as mudanças no comportamento ou no desempenho médio dos indivíduos antes e depois de um tratamento e comparar essas mudanças com o grupo de controle.

Foi considerado como o grupo tratamento as firmas que inovaram produto e ou processo e grupo controle as firmas que não inovaram. A medida de desempenho a ser testada é o gasto com investimento em capital físico feito pelas firmas no período anterior ou posterior a inovação. Foi considerado como o período compreendido entre 1996 a 1998 como o período anterior e o período de 2001 a 2003 como período posterior. A variável inovação foi considerada para o período de 1998 a 2000. Foram consideradas todas as firmas que permaneceram ativas e com 30 ou mais funcionários entre 1996 e 2003.

A equação de primeiras diferenças foi assim especificada:

$$\Delta k_{i(t-1)-(t+1)} = f(INOV_t, X_{it}) \quad (14)$$

Onde $\Delta k_{i(t-1)-(t+1)}$ mede a diferença dos investimentos em capital físico das firmas no tempo anterior (t-1) e posterior (t+1) a inovação, X_{it} é o vetor de variáveis explicativas das firmas i no tempo t, $INOV$ é uma variável *dummy* que assume valor 1 se a firma inovou no período de t e zero caso contrário.

Um dos pressupostos para que o estimador de diferenças não seja viesado, segundo Woldridge (2002), é que a mudança de política não seja sistematicamente relacionada a outros fatores que afetem k . Aplicando primeiras diferenças, pode ser diferenciada todas as variáveis da equação estrutural e com isso controlar toda a heterogeneidade existente.

Uma segunda análise de robustez foi considerar um subgrupo do painel. Foi estimada novamente a equação 14 considerando apenas as

firmas do grupo controle e do grupo tratamento que eram similares no período t. Essa subamostra é composta por firmas que são parecidas no ano de 1998 com respeito à escala, investimento em capital físico, estratégia de Investimento, escolaridade da mão-de-obra, inserção Internacional, capital controlador da firma setor e local. Foi utilizado o método de *Propensity Score Matching* para encontrar os pares de firmas gêmeas. Para testes de robustez foi realizado diversas alternativas de pareamento como vizinhança, 1 para K e Kernel. Os resultados estão reportados nas Tabelas 9 e 10.

Tabela 9. Equação diferenças em diferenças. Inovação de produto

Variáveis independentes	Variável dependente: Diferença do investimento no período 1996-1998 e 2001-2003					
	Painel Efeito Fixo			Amostra Matching Painel Efeito Fixo		
	Inova em produto 2000	0,10 (2,14)	0,12 (2,43)	0,12 (2,39)	0,14 (2,09)	0,14 (2,08)
Ano	-0,31 (10,09)	-0,31 (10,21)	-0,46 (7,74)	-0,34 (7,00)	-0,34 (7,03)	-0,47 (5,30)
Setor	-	SIM	SIM	-	SIM	SIM
Controles	-	-	SIM	-	-	SIM
N	9308	9308	9298	4035	4035	4028
R2	0,03	0,04	0,05	0,03	0,05	0,06

Estatística t entre parênteses. Controles: escolaridade do trabalhador, escala, idade da empresa, local

Tabela 10. Equação diferenças em diferenças. Inovação de processo

Variáveis independentes	Variável dependente: Diferença do investimento no período 1996-1998 e 2001-2003					
	Painel Efeito Fixo			Amostra Matching Painel Efeito Fixo		
	Inova em processo 2000	0,16 (3,48)	0,17 (3,58)	0,16 (3,34)	0,18 (2,62)	0,17 (2,44)
Ano	-0,35 (10,38)	-0,35 (10,39)	-0,49 (8,11)	-0,37 (7,09)	-0,37 (6,99)	-0,49 (5,41)
Setor	-	SIM	SIM	-	SIM	SIM
Controles	-	-	SIM	-	-	SIM
N	9308	9308	9298	4035	4035	4028
R2	0,03	0,04	0,05	0,03	0,05	0,06

Estatística t entre parênteses. Controles: escolaridade do trabalhador, escala, idade da empresa, local.

Os resultados corroboram com a hipótese de causalidade e mostram que o fato das firmas terem inovado em produto aumentam os investimentos em capital físico em torno de 10% a 12% em comparação com o grupo controle. Para inovação de processo, o aumento é de

aproximadamente de 16% a 17%. No caso da amostra Matching Paineil Efeito Fixo o fato de elas terem feito inovação de produto aumentou seus investimentos em capital físico entre 13% e 14%, e para as firmas inovadoras de processo entre 15% e 18%.

5. CONCLUSÃO

Este artigo encontrou fortes evidências favoráveis à hipótese de que investimentos em P&D das empresas causam aumento no investimento em capital físico e aceleram o crescimento das firmas no Brasil. O artigo utiliza informações de 23892 empresas industriais que representam mais de 95% do valor adicionado da indústria no Brasil. Diversos procedimentos estatísticos foram aplicados, conforme apresentado a seguir no quadro resumo dos procedimentos e resultados deste artigo.

Os procedimentos estatísticos aplicados seguiram uma seqüência de passos com o objetivo de dar robustez às evidências que comprovariam a hipótese de causalidade entre investimento em P&D e investimento em capital físico das empresas no Brasil. Nesse sentido, três etapas foram seguidas.

Na primeira etapa do trabalho, as estatísticas descritivas mostraram que o investimento em capital físico, no período de 1996 a 2003, foi maior nas empresas que investiram em P&D. Esse procedimento teve o objetivo de apresentar e descrever os principais indicadores deste artigo.

Na segunda etapa do trabalho, procurou-se encontrar correlação estatística entre investimentos em P&D e investimentos em capital físico, e corrigir o viés de seleção e problemas relacionados com variáveis endógenas. Para isso, inicialmente foi estimado um modelo em OLS para regredir o investimento por trabalhador e o investimento como proporção da receita líquida de vendas em função da condição da firma ser inovadora e a da condição da firma investir em P&D. Para corrigir o viés de seleção, um modelo em dois estágios foi estimado, relacionando P&D, inovação e investimentos em capital físico.

Em seguida, o artigo estima um sistema de cinco equações e relaciona a inovação e investimento em capital físico dentro de uma

estrutura de equações semelhante àquela desenvolvida por Crepon, Duguet e Mairesse (1998). Para especificação do modelo, utilizou-se também como referência o modelo desenvolvido por Lach e Rob (1996) que sugere que novas idéias quando se transformam em inovação precisam ser implementadas por meio de novas máquinas e equipamentos e, portanto, novos investimentos em capital físico são realizados. Diferente dos modelos CDM, o sistema de equações estimado substitui a equação de produtividade pela equação de crescimento da firma e introduz uma equação auxiliar de sobrevivência para corrigir o viés de seleção. Considera-se uma hipótese de estrutura de correlação de erros intermediária entre a proposta por Griliches (1979) e pelos modelos CDM. A hipótese de estrutura dos erros segue Loof e Heshmati (2002).

Na terceira etapa do trabalho, a relação de causalidade entre investimento em P&D e investimento em capital físico é aprofundada por meio de dois procedimentos. No primeiro, procura-se reproduzir um experimento quase-natural agrupando as firmas em clusters de acordo com as suas características. Acompanhando as firmas ao longo do tempo foi possível separar as firmas que investiram em P&D das que não investiram em P&D dentro de todos os clusters, e em seguida foi possível verificar quais firmas investiram mais em capital físico. No segundo, foi estimado um modelo em diferença e um modelo de *propensity score matching* com diferenças em diferenças.

Em síntese, após a correção dos problemas de viés de seleção, de variáveis endógenas e de verificar a relação de causalidade, os resultados são favoráveis a comprovação da hipótese de que as firmas brasileiras que investem em P&D investiram em média 17% a mais em capital físico. Verificou-se, ainda, que a taxa de crescimento do estoque de capital físico das pequenas empresas apresentou correlação com seu estoque de capital do período inicial de análise. A taxa de crescimento do estoque de capital físico das grandes empresas segue um passeio aleatório, corroborando assim a versão fraca da Lei de Gilbrat desenvolvida por Simon e Bonini (1958). Os resultados obtidos também corroboraram com a hipótese de aprendizado de Jovanovic (1982).

Quadro resumo dos procedimentos e resultados do artigo

Método	Potencialidade	Variável independente	Variável dependente	Aumento estimado do investimento em capital físico em relação à média
Estatísticas descritivas	Descrever os dados	Firmas com investimentos em P&D contínuo	Investimento em capital físico por trabalhador	57,74%
Estatísticas descritivas	Descrever os dados	Firmas com investimentos em P&D contínuo	Investimento em capital físico como proporção da receita líquida	14,28%
OLS	Estimar correlações	Inovadora	Investimento em capital físico por trabalhador	31%
OLS	Estimar correlações	Inovadora	Investimento em capital físico como proporção da receita líquida	24%
OLS	Estimar correlações	Firmas com investimentos em P&D contínuo	Investimento em capital físico por trabalhador	9%
OLS	Estimar correlações	Firmas com investimentos em P&D contínuo	Investimento em capital físico como proporção da receita líquida	13%
2 estágios: probit e OLS	Corrigir viés de seleção	Probabilidade estimada da firma inovar / P&D	Investimento em capital físico por trabalhador	15,5
2 estágios: probit e OLS	Corrigir viés de seleção	Probabilidade estimada da firma inovar / P&D	Investimento em capital físico como proporção da receita líquida	10,8%
3SLS	Corrigir viés de seleção e de variáveis endógenas	Inovação de produto / P&D	Taxa de crescimento do estoque de capital físico	17% para todas as firmas 13% para firmas pequenas 19% para firmas grandes
FIML	Corrigir viés de seleção e de variáveis endógenas	Inovação de produto / P&D	Taxa de crescimento do estoque de capital físico	19% para todas as firmas 14% para firmas pequenas 24% para firmas grandes
3SLS	Corrigir viés de seleção e de variáveis endógenas	Inovação de processo / P&D	Taxa de crescimento do estoque de capital físico	17% para todas as firmas 13% para firmas pequenas 19% para firmas grandes
FIML	Corrigir viés de seleção e de variáveis endógenas	Inovação de processo / P&D	Taxa de crescimento do estoque de capital físico	17% para todas as firmas 21% para firmas pequenas 21% para firmas grandes
Cluster com diferença - diferença	Definir sentido da causalidade	Firmas que investem em P&D	Investimento	+
Cluster com diferença - diferença	Definir sentido da causalidade	Firmas que investem em P&D	Investimento em relação ao faturamento	+
Modelo em diferença	Definir causalidade	Inovação de produto	Diferença do investimento em capital físico	12%
Modelo em diferença com PSM	Definir causalidade	Inovação de produto	Diferença do investimento em capital físico	13%
Modelo em diferença	Definir causalidade	Inovação de processo	Diferença do investimento em capital físico	16%
Modelo em diferença com PSM	Definir causalidade	Inovação de processo	Diferença do investimento em capital físico	15%

REFERÊNCIAS

BENAVANTE, J. M. The role of research and innovation in promoting productivity in Chile. *Economics of Innovation and New Technology*, n. 15, p. 301-315, 2006.

CHIAO, C. The relationship between R&D and physical investment of firms in science-based industries. *Applied Economics*, v.33, n. 13, p.23-35, 2001.

CRÉPON, B.; DUGUET, E.; MAIRESSE, J. Research and development, innovation and productivity: an econometric analysis at the firm level. *Economics of Innovation New Technology*, n. 7, p. 115-158, 1988.

EVANS, David. Tests of alternative theories of firm growth. *The Journal of Political Economy*, v. 95, n. 4; p. 657-674, 1987.

HALL, B.; MAIRESSE, J. Empirical studies of innovation in the knowledge-driven economy. *Economics of Innovation and New Technology*, n. 15, p. 289-299, 2006.

JEFFERSON, G. et al. R and D performance in chinese industry. *Economics of Innovation and New Technology*, n. 15, p. 345-366, 2002.

JOVANOVIC, Boyan. Selection and evolution of industry. *Econometrica*, v. 50, n. 3, p. 649-670, 1982.

KNELL, M.; NAS, S. O. What is missing in the analysis of input-output relationships of innovation process?. In: FORUM ON WHAT INDICATORS FOR SCIENCE, TECHNOLOGY AND INNOVATION POLICIES IN THE 21ST CENTURY, 2., 2006, Ottawa. *Proceedings...* [S.l.: s.n.], 2006.

LACH, Saul; ROB, Rafi. R&D, investment and industry dynamic. *Journal of Economics and Management Strategy*, v. 5, n. 2, p. 217-249, 1996.

_____ ; SCHANKERMAN, Mark. Dynamics of R&D and investment in the scientific sector. *Journal of Political Economy*, n. 97; p. 880-904, 1989.

LÖÖF, H.; HESHMATI, A. Knowledge capital and performance heterogeneity: a firm level innovation study. *International Journal of Production Economics*, n. 76, p. 61-85, 2002.

_____. On the relationship between innovation and performance: a sensitivity analysis. *Economics of Innovation and New Technology*, n. 15, p. 317-344, 2006.

MOHNENL, P.; MAIRESSE, J.; DAGENAIS, M. Innovativity: a comparison across seven european countries. *Economics of Innovation and New Technology*, n. 15, p. 391-413, 2006.

PAKES, A.; GRILICHES. *Patents and R&D at the firm level: a first look*. [S.l.: s.n.], 1984.

SIMON, Herbert; BONINI, Charles. The size distribution of business firms. *American Economic Review*, v. 48, n. 4, p. 607-617, 1958.

VAN LEEUWEN, G.; KLOMP, L. On the contribution of innovation to multi-factor productivity growth. *Economics of Innovation and New Technology*, n. 15, p. 367-390, 2006.

YANG, Chih-Hai; HUANG, Chia-Hui. R&D, size and firm growth in Taiwan's electronics industry. *Small Business Economics*, v. 25, p. 477-487, 2005.

Resumo

O objetivo deste trabalho é verificar o impacto da produção de conhecimento na acumulação de capital físico das empresas industriais brasileiras. A hipótese é que investimento em P&D causa aumento de investimento em capital físico nas firmas brasileiras. Os procedimentos empíricos são estimados em um banco de dados com informações de empresas e dos trabalhadores a elas vinculados no período 1996-2003. A Pintec forneceu as informações sobre a inovação tecnológica. O artigo realiza várias estimativas em três procedimentos empíricos: primeiro, descreve as características das firmas que mais cresceram e que mais investiram. Segundo, são estimados modelos econométricos que relacionam os gastos em P&D, a inovação tecnológica e a acumulação de capital físico. Um modelo de cinco equações é estimado com estrutura semelhante aos modelos CDM. O sistema faz a correção de endogeneidade por meio de variáveis instrumentais e, adicionalmente, soluciona o problema da seletividade através da introdução dentro do sistema de uma equação de sobrevivência da firma. Terceiro, busca-se relações de causalidade entre P&D e investimento em capital físico por meio de uma análise contra factual e de um modelo em diferença. Os resultados são favoráveis à hipótese de que os investimentos em P&D causam em média aumento de 17% no investimento em capital físico das empresas brasileiras.

Palavras-chave

Crescimento da firma. Produção de conhecimento. P&D. Inovação. Modelos de equações simultâneas.

Abstract

The aim of this study is to gauge the impact of the production of knowledge on the accumulation of fixed capital in Brazil. The hypothesis is that investment in R&D causes investment in fixed capital in Brazilian industrial firms. The empirical estimates rest on an Ipea database for information on firms and the workers linked to these firms during the period 1996-2003 and on the National Innovation Survey (Pintec) for information on technological development. In the article, various estimates are made using three empirical procedures. First, the firms that grew most and invested most are described. Second, econometric models relating R&D expenditures, technological innovation and the accumulation of fixed capital are estimated. A model having five equations and a structure similar to that of CDM models is estimated. The system employs instrumental variables to correct for endogeneity and solves the selection problem by including a firm-survival equation. Third, the causal relations between R&D and investment in fixed capital are sought through contrafactual

analysis and a difference model. The results support the initial hypothesis, indicating that investments in R&D lead to an average 17% increase in investments in fixed capital among Brazilian firms.

Keywords

Firm growth. Knowledge production. R&D. Innovation. Simultaneous equation.

Os autores

JOÃO ALBERTO DE NEGRI é doutor em economia e pesquisador do Instituto de Pesquisas Econômicas e Aplicadas (Ipea). E-mail: joao.denegri@ipea.gov.br

LUIZ ALBERTO ESTEVES é economista e professor da Universidade Federal do Paraná (UFPR) e consultor do Ipea.

FERNANDO FREITAS é economista e consultor do Ipea.