



Nova Economia

ISSN: 0103-6351

ne@face.ufmg.br

Universidade Federal de Minas Gerais  
Brasil

Andrade Rocha, Leonardo; Saeed Khan, Ahmad; Pinheiro Sales Lima, Patrícia Verônica  
Construindo competências tecnológicas na agricultura brasileira: articulando a Política  
Nacional de Inovação com os investimentos em infraestrutura  
Nova Economia, vol. 25, núm. 3, septiembre-diciembre, 2015, pp. 621-645  
Universidade Federal de Minas Gerais  
Belo Horizonte, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=400444485007>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica  
Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

# Construindo competências tecnológicas na agricultura brasileira:

articulando a Política Nacional de Inovação com os investimentos em infraestrutura

Leonardo Andrade Rocha\*

Ahmad Saeed Khan\*\*

Patrícia Verônica Pinheiro Sales Lima\*\*\*

## Palavras-chave

produtividade  
agrícola, fronteira  
tecnológica, Política  
Nacional de Inovação

## Classificação JEL

Q16, O31

## Keywords

*agricultural  
productivity, technological  
frontier, National  
Innovation Policies*

## JEL Classification

Q16, O31

## Resumo

Este trabalho analisa os impactos do fundo setorial CT-AGRONEGÓCIO e dos investimentos em infraestrutura no crescimento da produtividade agrícola dos Estados brasileiros. Os resultados apontam que o efeito de cada investimento depende do grau de proximidade com a fronteira tecnológica. Isso sugere que uma política bem coordenada precisa distribuir os investimentos de forma diferenciada conforme o estágio de desenvolvimento de cada economia. Nos Estados mais afastados, as necessidades de investimentos em infraestrutura são relativamente maiores em relação aos gastos de C,T&I. A ausência dessa compreensão pode conduzir a uma política desequilibrada com custos para a convergência.

## Abstract

*This paper analyzed the impacts of the sector fund CT AGROBUSINESS and of infrastructure investments over the growth of agricultural productivity in Brazilian states. The results indicate that the effect of each investment depends on the degree of closeness to the technological frontier. This suggests that a well coordinated policy must distribute investments differently depending on the stage of development of each economy. In states farther removed, the need for infrastructure investments is relatively higher compared to expenses with ST & I. The absence of this understanding can lead to an unbalanced policy with costs for convergence.*

\*Professor da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA).

\*\*Professor do Departamento de Economia Agrícola, do Mestrado Acadêmico em Economia Rural e do Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Ceará (UFC).

\*\*\*Professora do Departamento de Economia Agrícola, do Mestrado Acadêmico em Economia Rural e do Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente da UFC.

## 1\_Introdução

A agricultura brasileira vem apresentando, nos últimos anos, importantes transformações em sua estrutura. Ao longo dessas modificações, o governo vem sustentando ampla parcela por meio de uma política direcionada de desenvolvimento tecnológico. Tal política pode ser facilmente compreendida quando se analisa a composição do Agronegócio brasileiro (34% do PIB), distribuído entre agropecuária (30%), insumos agropecuários (6%), agroindústria (31%) e distribuição (33%) (Gasques *et al.*, 2004). Somando-se a agroindústria e a distribuição, essas respondem por mais de 60% de todo o agronegócio. Esse destaque mostra que a articulação entre os investimentos de Ciência, Tecnologia e Inovação (C,T&I) e Infraestrutura afeta significativamente o dinamismo do setor (Vieira Filho, 2012).

Dentro dessa articulação, a Política de Inovação na Agricultura tem centrado em três importantes temáticas de oportunidades tecnológicas: segurança alimentar, matriz energética e sustentabilidade ambiental. Conforme Vieira Filho (2012, p.7) afirma: “Tais temas se inserem no debate do crescimento sustentável. Assim, o fornecimento de alimentos essenciais a custos competitivos, a diversificação da matriz energética com a inclusão cada vez maior do uso de biomassa e a incorporação da questão ambiental na dinâmica produtiva fazem parte de uma estratégia mais ampla de crescimento com incorporação tecnológica”.

Todas essas questões também estão sendo pautadas nas discussões sobre o futuro da agricultura no cenário mundial. Na recente *Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável* (Rio+20), as preocupações acerca da dinâmica populacional e do aumento da demanda por energia, alimentos e fontes de água potáveis têm questionado as consequências sobre as futuras pressões no uso da terra, especialmente para a agricultura

(UNCCD, 2012). Dentro desse debate, a pesquisa vinculada às restrições de infraestrutura, em várias economias, tem assombrado as previsões de muitos especialistas. Até 2030, espera-se que a demanda por energia, alimentos e água potável crescerá, em média, 50%, 45% e 30%, respectivamente (High-Level Panel on Global Sustainability, 2012).

Especialmente no Brasil, as diferenças de infraestrutura e de mercado têm limitado o crescimento do país, uma vez que o processo de desenvolvimento vem se apresentando de forma cada vez mais assimétrica entre os Estados e as regiões. Para contornar as consequências negativas de uma política desequilibrada, a concepção interligada entre progresso técnico e estágios de desenvolvimento tem sido cada vez mais necessária nos estudos de crescimento (Rocha, 2011). Tal concepção vem sendo apresentada como uma característica fundamental nos novos modelos de crescimento endógeno.

Diante dessa perspectiva, os modelos de crescimento neoschumpeterianos liderados pelas contribuições de Aghion e Howitt (1998) vêm ganhando um importante espaço em razão de incorporar as consequências da política no crescimento sustentável dos países. Contudo, poucas aplicações nessa abordagem têm-se aventurado em aplicar as modernas técnicas da *Teoria do Controle Ótimo*, diagnosticando os efeitos de uma determinada política nas condições de longo prazo da economia. Além dessa restrição, uma parcela ainda menor tem aplicado ambas as abordagens nas questões da agricultura ou mesmo a níveis agregados. Essa “janela de oportunidades” de pesquisa revela que os avanços da Ciência Econômica estão migrando dos modelos limitados de crescimento em condições de *laissez-faire* para estruturas monopolistas, mais adequadas à realidade do “paradigma da tecnologia” (Aghion; Howitt, 2009).

Diante dessas considerações, o presente estudo busca analisar as consequências de uma Política Nacional de Inovação (CT-AGRONEGÓCIO) e de Infraestrutura no crescimento da produtividade agrícola dos Estados, quando incorporada à análise diferentes estágios de desenvolvimento. Para isso, construiu-se um modelo de crescimento schumpeteriano, que aborda a problemática da agricultura e as consequências da política, em longo prazo, na demanda por recursos naturais. Para testar as hipóteses do modelo, foi estimada uma regressão com dados em painel adotando a metodologia GMM, ao longo de 2000 a 2009. Os resultados do estudo mostraram que, nas regiões menos desenvolvidas (mais afastadas da fronteira tecnológica), os investimentos de C,T&I precisam ser complementados com os investimentos em infraestrutura. Essa articulação aponta que, nos Estados mais afastados da fronteira, a dependência entre os investimentos é maior em decorrência dos potenciais custos de oportunidade dos recursos, ao contrário das economias mais avançadas. O trabalho está dividido em quatro partes: primeira, apresentação do modelo teórico equacionando as condições de equilíbrio (estático e dinâmico) com as armadilhas da não convergência; segunda, descrição do modelo empírico a ser estimado; terceira, exposição das análises dos resultados, e, última, as conclusões finais e as implicações para a política e para futuras pesquisas de natureza correlata.

## 2\_Modelo teórico

Primeiramente, será considerada uma economia schumpeteriana com especialidade na agricultura, admitindo que esta venha a consumir determinado fluxo de recursos naturais. Para cada nível consumido, o estoque final de recursos naturais esgota a uma taxa constante e não observada. Além

disso, as inovações serão consideradas como “verdes”, ou seja, elas reduzem o impacto negativo sobre o meio ambiente. Por fim, vamos demonstrar que a demanda de longo prazo por recursos naturais na agricultura é inversamente relacionada com a taxa de inovação do setor. A seguir, será apresentada a base teórica do modelo.

### 2.1\_Ambiente econômico

Admitindo que, numa dada economia, os recursos naturais “r” sejam usados na atividade agrícola, a função de produção pode ser representada conforme a equação (1). Os agentes possuem preferências risco-neutras e vivem apenas para maximizar seu consumo. O tempo será considerado contínuo, e os insumos intermediários contínuos entre  $[0, M]$ , que, por simplicidade, assumiremos  $M=1$ :

$$Y_t = \int_0^1 (A_{it}L)^{1-\alpha} x_{it}^\alpha r_{it}^\delta di \quad \therefore \alpha \in (0,1); \delta \geq 0 \quad (1)$$

O estado-da-arte é mensurado por “A”, que corresponde à qualidade do insumo manufaturado “x”. Cada insumo manufaturado é produzido utilizando uma tecnologia um-por-um (*one-for-one technology*), consumindo uma unidade de um bem agrícola “B”, por meio do parâmetro tecnológico “A”. A mão de obra alocada na produção é definida por “L”. Os bens agrícolas são produzidos utilizando como insumo fundamental e principal os recursos naturais “r”. Esses recursos englobam desde a disponibilidade de terras férteis às condições climáticas (fatores naturais) e biológicas das culturas. Para todo elemento natural que pertence ao conjunto de recursos naturais  $r \in R$ , implica uma *commodity*  $b \in B$ , produzida por meio de um processo natural  $\Omega$ , tal que:

$$\begin{aligned} \Omega : R &\rightarrow B \therefore \forall r \in R \Rightarrow b \in B \\ A : B &\rightarrow X \therefore \forall b \in B \Rightarrow x \in X \end{aligned} \quad (2)$$

Os insumos intermediários “x” são medidos em valor de transformação industrial, de forma que tal valor não está relacionado com a produção agrícola ou com a utilização dos recursos naturais. Desta forma, o PIB da economia é medido pela produção final menos o adicionado na manufatura. Logo, integrando todos os setores:

$$PIB_t = Y_t - \int_0^1 x_{it} di \quad (3)$$

Os recursos naturais estão limitados a um estoque final que cada economia ou cada país possui – S. Neste sentido, o fluxo de recursos demandados pela agricultura reduz o estoque final à medida que o consumo aumenta. O estoque final se acumula no tempo de acordo com a equação diferencial:

$$\dot{S}_t = -r_{it} \therefore S \geq 0 \quad (4.a)$$

$$\dot{r}_{it} = -qr_{it}; q > 0 \quad (4.b)$$

A equação (4.a) mostra que o estoque final de recursos naturais reduz no tempo quanto maior for a demanda por consumo. O consumo de recursos é limitado e fiscalizado pelo governo, de forma que esse se esgota no tempo de acordo com uma taxa exponencial e negativa “q” – equação (4.b). O setor de bem final e agrícola é competitivo, entretanto o setor de insumo manufaturado intermediário é monopolizado pela firma inovadora que desfruta dos lucros por cada período quando inova e acerta com a inovação. Sendo assim, o preço de cada insumo é dado pela sua demanda:

$$p_{it} \equiv \frac{\partial Y_t}{\partial x_{it}} = \alpha (A_{it} L)^{1-\alpha} x_{it}^{\alpha-1} r_{it}^\delta \quad (5)$$

A firma monopolista busca maximizar seus lucros conforme a produção dos seus insumos manufaturados:

$$\Pi_{it} = \max_{x \in X} \{p_{it} x_{it} - x_{it}\} \quad (6)$$

$$x_{it} = \operatorname{argmáx} \{p_{it} x_{it} - x_{it}\} \equiv \alpha^{\frac{2\alpha}{1-\alpha}} r_{it}^{\frac{\delta}{1-\alpha}} A_{it} L \quad (7)$$

Substituindo na equação (3), temos o produto interno bruto da economia:

$$Y_t = \int_0^1 (A_{it} L)^{1-\alpha} \left[ \alpha^{\frac{2\alpha}{1-\alpha}} r_{it}^{\frac{\delta}{1-\alpha}} A_{it} L \right]^\alpha r_{it}^\delta di \quad (8)$$

$$Y_t = \alpha^{\frac{2\alpha}{1-\alpha}} r_t^{\frac{\delta}{1-\alpha}} A_t L \quad (9)$$

$$PIB_t = Y_t - \alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} r_t^{\frac{\delta}{1-\alpha}} A_t L = \alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} (\alpha^{-2} - 1) r_t^{\frac{\delta}{1-\alpha}} A_t L \quad (10)$$

A equação (10) mostra como o PIB de uma economia é acumulado ao longo do tempo, considerando as equações de equilíbrio (5) e (7). A seguir, a equação de crescimento é dada por:

$$\frac{\dot{PIB}}{PIB} = \frac{\dot{A}}{A} + \left( \frac{\delta}{1-\alpha} \right) \frac{\dot{R}}{R} \therefore g_Y = g_A + \left( \frac{\delta}{1-\alpha} \right) g_R \quad (11)$$

A equação acima revela que a taxa de crescimento do PIB numa economia é composta de dois fatores de crescimento: o aumento na utilização dos recursos naturais voltados à agricultura e o componente do progresso tecnológico.

O progresso tecnológico surge com a probabilidade de sucesso das inovações multiplicada pelo tamanho de seu incremental. Admitindo como a variação percentual do parâmetro tecnológico, o estado-da-arte pode avançar no período seguinte ou não conforme a definição:

$$A_{it} = \begin{cases} \gamma A_{it-1}, \Phi(\tilde{n}_{it}) \therefore \gamma > 1 \\ A_{it-1}, 1 - \Phi(\tilde{n}_{it}) \end{cases} \quad (12)$$

A equação (12) mostra que o sucesso da inovação  $\gamma$  depende dos gastos em pesquisa em razão do nível tecnológico quando a inovação ocorre  $\frac{N_{it}}{\gamma A_{it-1}} \equiv \tilde{n}_{it} \in (0,1)$ . Essa razão

explica que, quanto maior o nível da tecnologia, menor a probabilidade de sucesso das futuras inovações, em decorrência do aumento da complexidade tecnológica. A função  $\Phi(\cdot)$  corresponde a produtividade da pesquisa e admite-se ser suficientemente pequena para garantir o nível de probabilidade, além de ser linear no nível dos gastos ajustados pela tecnologia –  $\Phi \tilde{n}_{it}$ .

Agora, o entendimento centra-se na definição da intensidade dos gastos em pesquisa  $\tilde{n}_{it}$ . Conforme Aghion e Howitt (2009), quanto maior o número de setores que inovam, maiores a frequência e a taxa de progresso tecnológico. Outros autores, como Dosi, Marengo e Pasquali (2006), destacam as oportunidades como o grau com que a inovação é motivada pelos agentes na economia e, portanto, constituem o incentivo básico para a inovação. Entretanto, outros fatores são igualmente importantes para garantir as inovações e a alocação dos gastos em pesquisa: as condições de propriabilidade e de cumulatividade tecnológica. O primeiro diz respeito ao alcance com que as firmas podem se apropriar dos benefícios econômicos das inovações. Esse coeficiente depende presumivelmente de dois fatores – das políticas de proteção às inovações (destacando a proteção à propriedade intelectual) e das assimetrias tecnológicas. As assimetrias representam o padrão de cumulatividade tecnológica, que corresponde ao grau com que as gerações do novo conhecimento são construídas sobre o conhecimento corrente (Malerba, 2004).

Desta forma, os gastos em pesquisa são definidos pela fração de setores que inovam, pela oportunidade esperada das inovações e pela própria política de proteção à inovação, ou seja:

$$n_{it} = \mu \pi_{\gamma t+1}^e + (1 - \mu)(1 - \chi) \pi_{\eta t+1}^e \therefore \pi_{\gamma t+1}^e > \pi_{\eta t+1}^e \quad (13)$$

As variáveis  $\mu$ ,  $\pi_{\gamma t+1}^e$ ,  $\chi$ ,  $\pi_{\eta t+1}^e$  correspondem, respectivamente, à proporção dos setores que inovam, aos lucros esperados das inovações, a política de proteção à propriedade privada e aos lucros esperados das práticas de imitação. Lembrando que os retornos das inovações são sempre superiores aos das imitações.

Agora, a equação do crescimento da produtividade pode ser representada da seguinte forma:

$$\frac{\dot{A}}{A} = g_A = E(\gamma - 1) = (\gamma - 1) \Phi \tilde{n} \quad (14)$$

Com base no conhecimento da equação de progresso tecnológico, a equação do crescimento (11) pode ser modificada:

$$g_Y = (\gamma - 1) \Phi \tilde{n} + \left[ \frac{\delta}{1 - \alpha} \right] [-qr] \quad (15)$$

O componente das inovações  $(\gamma - 1) \Phi \tilde{n}$  é positivo, enquanto o componente dos recursos naturais  $[-qr]$  é negativo. À medida que a economia vai explorando mais a agricultura, apenas pelo consumo exagerado dos recursos naturais, a taxa de crescimento vai-se reduzindo graças ao esgotamento do insumo. Desta forma, o crescimento da economia será sustentável somente se:

$$\begin{aligned} g_Y > 0 &\Rightarrow (\gamma - 1) \Phi \tilde{n} - \left[ \frac{\delta}{1 - \alpha} \right] [qr] > 0 \Rightarrow \\ &\Rightarrow (\gamma - 1) \Phi \tilde{n} > \left[ \frac{\delta}{1 - \alpha} \right] [qr] \end{aligned} \quad (16)$$

O lado direito da inequação (16) mostra a taxa de decréscimo do estoque de recursos naturais, que, juntamente com o sinal negativo, passa a ser positiva. O lado esquerdo mostra a taxa de crescimento das inovações, que implicitamente é positiva.

$$\tilde{n} > \frac{\left(\frac{\delta}{1-\alpha}\right)[qr]}{(\gamma-1)\Phi} \leq 1 \Leftrightarrow \left(\frac{\delta}{1-\alpha}\right)[qr] \leq (\gamma-1)\Phi \quad (17)$$

Quanto maior o tamanho da inovação, maior os incentivos na pesquisa, em razão do maior o retorno econômico das futuras descobertas. Entretanto, para os gastos serem equilibrados, o número de setores que inovam deva ser consideravelmente maior. Além disso, os retornos devam estar protegidos, o que eleva o custo de oportunidade das atividades imitadoras. Isso destaca a importância de setores como a biotecnologia para contrapor com a escassez dos recursos naturais.

Além dessas considerações, alguns importantes pontos ficaram de fora desta análise. Em primeiro, quais os fatores em longo prazo que afetam a demanda por recursos naturais? Em segundo, como o governo pode controlar o consumo de recursos naturais evitando um futuro desequilíbrio ambiental? As respostas a esses questionamentos serão apresentadas a seguir considerando um modelo aplicado da teoria do controle ótimo.

## 2.2\_A escolha ótima do planejador econômico

Nesta seção, será apresentada a escolha do planejador social em função da intensidade da pesquisa e da taxa de esgotamento, considerando uma trajetória equilibrada e ótima de crescimento. Para isso, vamos considerar que os indivíduos apresentam uma função de utilidade com aversão relativa ao risco constante ou preferências isoelásticas. Além disso, vamos supor que as preferências dos indivíduos são estritamente iguais, de forma a admitir um único indivíduo representativo na economia.

A função de utilidade é representada da seguinte forma:  $u(c_t) = \frac{c_t^{1-\sigma}}{1-\sigma}$ . O consumo é dado pela razão entre o

consumo agregado e o estoque de trabalhadores  $L$ . O PIB da economia é distribuído entre o consumo e o investimento, representado pelos gastos agregados em pesquisa e desenvolvimento – P&D:  $PIB_t \geq C_t + N_t$ . Considerando em unidades por trabalhador, temos:

$$pib_t \geq c_t + n_t \therefore pib_t \equiv \frac{PIB_t}{L}; c_t \equiv \frac{C_t}{L}; n_t \equiv \frac{N_t}{L} \quad (18)$$

O planejador econômico busca maximizar o bem-estar da economia, representado pelo consumo descontado a uma taxa constante –  $\rho$  – e às restrições de acumulação tecnológica ( $\dot{A}_t = (\gamma-1)\Phi\tilde{n}_t A_t$ ) e de esgotamento do estoque de recursos naturais ( $\dot{S}_t = -r_t$ ):

$$\begin{aligned} \max W[n_t, r_t, \lambda] &\stackrel{\text{def}}{=} \int_0^{+\infty} e^{-\rho t} u(c_t) dt \\ \text{s.a.} \left\{ \begin{array}{l} \dot{A}_t = \Phi\tilde{n}_t (\gamma-1) A_t \\ \dot{S}_t = -r_t \end{array} \right. \\ pib_t - n_t &= c_t \\ pib_t &= \underbrace{\alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} (\alpha^{-2} - 1)}_{\equiv \Psi > 0} r_t^{\frac{\delta}{1-\alpha}} A_t \\ \lambda &= [\lambda_A, \lambda_S] \end{aligned} \quad (19)$$

Para garantir uma solução única ao problema, precisamos satisfazer algumas condições básicas de otimalidade.<sup>1</sup> Uma vez garantido, o problema pode ser resumido através de uma função especial, denominada hamiltoniana de valor corrente.

$$\mathcal{H}(n_t, r_t, \lambda) = u(c_t) + \lambda_A (\Phi\tilde{n}_t (\gamma-1) A_t) - \lambda_S (r_t) \quad (20)$$

A solução do hamiltoniano de valor-corrente é dada conforme as condições necessárias e suficientes de uma trajetória ótima:

$$\frac{\partial \mathcal{H}(n_t, r_t, \lambda)}{\partial n_t} = 0; \frac{\partial \mathcal{H}(n_t, r_t, \lambda)}{\partial r_t} = 0 \quad (20.A)$$

As equações de Euler são:

$$\dot{\lambda}_A = \rho \lambda_A - \frac{\partial \mathcal{H}(n_t, r_t, \lambda)}{\partial A_t} \quad (20.B)$$

$$\dot{\lambda}_S = \rho \lambda_S - \frac{\partial \mathcal{H}(n_t, r_t, \lambda)}{\partial S_t} \quad (20.C)$$

Com as condições de transversalidade:<sup>2</sup>

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e^{-\rho t} \lambda_A A_t = 0 \quad (20.D)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e^{-\rho t} \lambda_S S_t = 0 \quad (20.E)$$

Tomando as soluções das primeiras equações, temos:

$$u'(c_t) = \lambda_A \Phi(\gamma - 1);$$

$$u'(c_t) \cdot \left[ \left( \frac{\delta}{1 - \alpha} \right) \Psi r_t^{\frac{\delta}{1 - \alpha}} A_t \right] = \lambda_S \therefore \varphi \equiv \frac{\delta + \alpha - 1}{1 - \alpha}$$

A solução da primeira equação de Euler é dada a seguir:

$$\dot{\lambda}_A = \rho \lambda_A - u'(c_t) \cdot \left[ \Psi r_t^{\frac{\delta}{1 - \alpha}} \right], \text{ tomando } \frac{\partial \mathcal{H}(n_t, r_t, \lambda)}{\partial n_t} = 0;$$

$$\frac{\dot{\lambda}_A}{\lambda_A} = - \left[ \Phi(\gamma - 1) \Psi r_t^{\frac{\delta}{1 - \alpha}} - \rho \right], \text{ que, por definição,}$$

$$\Phi(\gamma - 1) \Psi r_t^{\frac{\delta}{1 - \alpha}} - \rho > 0.$$

A solução acima permite definir as condições de transversalidade para a variável co-estado<sup>3</sup> -  $\lambda_A$ . Com base nessa condição, podemos determinar as condições de longo prazo (estado-estacionário) que afetam a demanda por recursos naturais.

Continuando com as soluções do modelo, agora apresentaremos as condições de longo prazo que afetam o flu-

xo de recursos consumidos pela agricultura. Ao nível de estado-estacionário, o fluxo de recursos naturais demandados na produção é inversamente proporcional à taxa de inovação e à produtividade da pesquisa.

Assim, diferenciando  $\frac{\partial \mathcal{H}(n_t, r_t, \lambda)}{\partial n_t}$  com relação ao tempo, temos:

$$u''(c_t) \dot{c}_t = \dot{\lambda}_A \Phi(\gamma - 1), \text{ dividindo ambos os lados por } u'(c_t);$$

$$\frac{u''(c_t)}{u'(c_t)} \dot{c}_t = \frac{\dot{\lambda}_A}{\lambda_A} \equiv - \left[ \Phi(\gamma - 1) \Psi r_t^{\frac{\delta}{1 - \alpha}} - \rho \right]$$

Sabendo que a função de utilidade possui coeficiente de aversão relativo ao risco constante -  $\frac{u''(c_t)}{u'(c_t)} c_t = -\sigma$ , tem-se:

$$\frac{\dot{c}_t}{c_t} = \frac{1}{\sigma} \left[ \Phi(\gamma - 1) \Psi r_t^{\frac{\delta}{1 - \alpha}} - \rho \right] \quad (21)$$

Na condição de estado-estacionário  $\exists r^* \in \text{int}(\mathbb{R}) \Rightarrow \dot{c}_t = 0$ , a solução da equação (21) que satisfaz tal condição é dada por:

$$r^* = \left( \frac{\rho}{\Phi(\gamma - 1) \Psi} \right)^{\frac{1 - \alpha}{\delta}}$$

$$\frac{\partial r^*}{\partial \gamma} = - \left( \frac{1 - \alpha}{\delta(\gamma - 1)} \right) \left( \frac{\rho}{\Phi(\gamma - 1) \Psi} \right)^{\frac{1 - \alpha}{\delta}} \leq 0$$

$$\frac{\partial r^*}{\partial \Phi} = - \left( \frac{1 - \alpha}{\delta \Phi} \right) \left( \frac{\rho}{\Phi(\gamma - 1) \Psi} \right)^{\frac{1 - \alpha}{\delta}} \leq 0 \quad (22)$$

A visível relação inversa entre o fluxo de recursos naturais de longo prazo e a inovação resgata um importante ponto da política: (a) a necessidade de amplo planejamento estatal na construção de competências tecnológicas na agricultura tende a reduzir, no longo prazo, a demanda por recursos naturais aplicados na produção e; (b) os investimentos em P&D inova-



dora dependem, especialmente, dos investimentos em infraestrutura como forma de complementação entre os recursos.<sup>4</sup>

Dessa forma, alguns fatores afetam a taxa de esgotamento dos recursos naturais, que também é controlado pelo governo. Simplificando a diferenciação da equação com  $\frac{\partial \mathcal{H}(n_t, r_t, \lambda)}{\partial r_t}$  relação ao tempo, temos:

$$u''(c_t)\dot{c}_t + u'(c_t)\varphi\frac{\dot{r}_t}{r_t} + u'(c_t)\frac{\dot{A}_t}{A_t} = u'(c_t)\frac{\dot{\lambda}_s}{\lambda_s}$$

Simplificando por  $u''(c_t)$ , temos a equação:

$$-\sigma\frac{\dot{c}_t}{c_t} - \varphi q + \Phi\tilde{n}_t(\gamma - 1) = \rho \leftrightarrow \varphi q = \Phi\tilde{n}_t(\gamma - 1) - \sigma\frac{\dot{c}_t}{c_t} - \rho$$

A condição de estado-estacionário implica que  $\frac{\dot{c}_t}{c_t} = 0$ , para

o nível  $r^* \in \text{int}(R)$ . Isso facilmente demonstra que:

$$q^* = \frac{\Phi\tilde{n}_t(\gamma - 1) - \rho}{\varphi}$$

Pela última demonstração, a taxa de esgotamento, que é controlada pela política, é diretamente proporcional à taxa de inovação, à produtividade da pesquisa, aos gastos de P&D ajustados pela tecnologia e, conseqüentemente, ao progresso técnico. Essa relação destaca, pelo menos, algumas considerações da teoria.

Primeiramente, nas economias com elevada taxa de inovação, a tecnologia complementa o fator de maior produtividade que, neste caso, consiste na pesquisa, representada pelos gastos em P&D inovadora. Em segundo lugar, essa complementaridade aumenta os custos de oportunidade relativos ao consumo de unidades adicionais de recursos naturais pela produção, especialmente na agricultura. Em

terceiro, em longo prazo, os incentivos à pesquisa, seja em decorrência dos padrões tecnológicos, seja pelas pressões ambientais, alteram gradativamente a taxa de esgotamento, fazendo migrar os recursos de baixa produtividade (técnicas produtivas obsoletas baseadas na exclusiva exploração dos recursos naturais) para os fatores de elevada produtividade, à medida que a economia se aproxima da fronteira tecnológica. Isso mostra que o desenvolvimento de setores específicos é influenciado pelas condições globais da tecnologia. Em quarto lugar, um “efeito Rybczynski” comprova que o desenvolvimento é sensível às flutuações de proximidade com a fronteira. Ou seja, nas economias com altas taxas de inovação, o esgotamento do meio ambiente não ocorre apenas como função do consumo descoordenado de recursos naturais, mas também da transferência de oportunidades que a pesquisa exerce sobre os demais fatores. Resumidamente, a taxa de esgotamento reflete, além da disponibilidade dos recursos naturais, o custo de oportunidade em se consumi-los, que, especialmente, é mais elevado nas economias tecnologicamente mais desenvolvidas.<sup>5</sup>

Essas conclusões, porém, precisam de um refino mais analítico. Isso revela que, nas economias mais atrasadas, limitadas tanto em recursos para pesquisa quanto na defasagem de aprendizado e de competências tecnológicas, as barreiras são bem maiores ao desenvolvimento. As estratégias de inovação dependem em grande parte de volumosos investimentos em infraestrutura, permitindo que as firmas locais reduzam seus custos de transação e aloquem grande parte de suas receitas nas estratégias de maior lucratividade, especialmente afetadas pela política econômica. À medida que o aprendizado e as competências vão aumentando, a distância relativa à fronteira diminui, intensificando as estratégias que demandam unidades extras de gastos em P&D para manutenção da tecnologia (Grossman; Helpman, 1994). Essa dinâmica da economia será apresentada a seguir.

### 2.3\_A dinâmica da tecnologia

Vimos anteriormente que a demanda por recursos naturais de longo prazo é inversamente proporcional à taxa de inovação. Além disso, a política econômica afeta os incentivos direcionando o consumo de recursos naturais para as pesquisas aplicadas, por meio de investimentos estratégicos na criação de competências tecnológicas. Contudo, a tecnologia depende de ampla carteira de investimentos que envolva desde recursos básicos em infraestrutura a gastos estratégicos em P&D inovadora. Nesse sentido, a escolha ótima entre os recursos depende do nível de aprendizado das firmas, que é diretamente afetado pelo grau de proximidade com a fronteira.

Agora, considerando que a tecnologia é afetada por duas importantes estratégias (imitação e inovação), as instituições locais podem conduzir, por meio de uma política direcionada, avanços de melhoria na produtividade conforme o maior retorno ao crescimento:

$$A_{it} = \eta \bar{A}_{it-1} + \gamma A_{it-1} \quad (23)$$

De acordo com a equação (23), os componentes  $\eta \bar{A}_{it-1}$ ,  $\gamma A_{it-1}$  representam, respectivamente, os elementos de imitação e de inovação responsáveis pelo crescimento da produtividade. A fronteira tecnológica cresce a uma taxa constante  $\bar{g}$ ,  $\bar{A}_{it} = (1 + \bar{g}) \bar{A}_{it-1}$ . Dividindo por  $\bar{A}_{it}$ , integrando todos os setores e simplificando a equação (23), temos:

$$a_t = (1 + \bar{g})^{-1} (\eta + \gamma a_{t-1}), a_t \equiv \frac{A_t}{\bar{A}_t} \therefore A_t \int_0^1 A_{it} di \quad (24)$$

A equação (24) mostra a importância relativa da inovação para as economias aderentes à fronteira ( $a_t \rightarrow 0$ ) e da imitação para as economias mais afastadas ( $a_t \rightarrow 1$ ). Uma vez que os valores dos parâmetros são limitados ( $\eta \in \{\underline{\eta}, \bar{\eta}\}$  e  $\gamma \in \{\underline{\gamma}, \bar{\gamma}\}$ ) e admitindo que as instituições locais influen-

ciem as decisões das firmas entre imitar e inovar, vamos considerar que existam dois importantes arranjos institucionais: (i) instituições promotoras da qualificação-técnica, com baixa intensidade inovadora e alta intensidade imitadora –  $(\bar{\eta}, \underline{\gamma})$  e as; (ii) instituições promotoras da inovação, com alta intensidade inovadora e baixa intensidade imitadora –  $(\bar{\eta}, \underline{\gamma})$ .

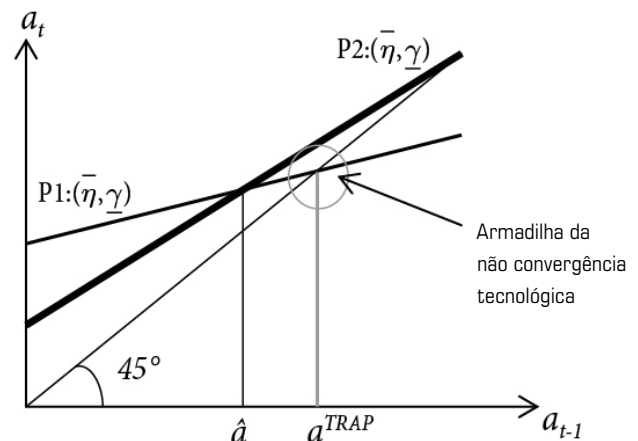
Para esboçar os dois grupos institucionais, reescrevemos a equação (24) considerando cada tipo:

$$P1: a_t = (1 + \bar{g})^{-1} (\eta + \underline{\gamma} a_{t-1})$$

$$P2: a_t = (1 + \bar{g})^{-1} (\eta + \bar{\gamma} a_{t-1}) \quad (25)$$

Cada equação corresponde ao limite de possibilidades para cada conjunto de valores aos parâmetros ( $\eta \in \{\underline{\eta}, \bar{\eta}\}$  e  $\gamma \in \{\underline{\gamma}, \bar{\gamma}\}$ ), dados valores predefinidos e não nulos em  $\eta$  e  $\gamma$ . Graficamente, podemos visualizar as curvas-fronteira em um plano- $(a_t, a_{t-1})$  da seguinte forma:

Figura1. Relação entre os tipos de instituição e o crescimento da produtividade



Conforme a curva P2, a economia sempre converge para a fronteira, condição visível quando ( $a_t = a_{t-1} = 1$ ). Ao longo dessa curva, a economia desfruta de grandes incentivos para inovação, mesmo nos estágios iniciais do desenvolvimento. Uma vez que os investimentos públicos são limitados, nos estágios iniciais do desenvolvimento ( $a_t \rightarrow 0$ ), os recursos de infraestrutura, responsáveis pela criação de oportunidades tecnológicas e de redução nos custos de transação das firmas, geram uma velocidade de crescimento relativamente superior aos investimentos estratégicos de inovação. Isso ocorre porque tais investimentos complementam e reforçam os gastos de P&D inovadora nos períodos seguintes.

À medida que a economia se aproxima da fronteira, a dinâmica tecnológica impõe restrições sobre o comportamento das firmas, fazendo com que os gastos adicionais sejam alocados nas atividades inovadoras. Junto a isso, a política pode oferecer grandes subsídios por meio de financiamento para as pesquisas, legislando penalidades que incentivem as práticas inovadoras e oferecendo uma educação de qualidade que permita aos trabalhadores a aplicação do conhecimento nas atividades produtivas. Neste caso, a economia inicia sua trajetória sobre a curva P1 e permuta para a curva P2 no ponto de mudança estrutural da política ( $\tilde{a}$ ).<sup>6</sup> Em sentido oposto, a economia pode gravitar em direção a uma armadilha do crescimento ( $a^{TRAP}$ ), em que a convergência se torna cada vez mais improvável em função do “paradoxo da política”.<sup>7</sup>

### 3 Modelagem empírica

#### 3.1 Definição da amostra e operacionalização das variáveis

Para testar as hipóteses do modelo teórico apresentado, foram utilizados os gastos do Fundo CT-AGRONEGÓCIO considerando as 27 Unidades Federativas (26 Estados mais o Distrito Fede-

ral). O corte de tempo considerado correspondeu ao período de 2000 a 2009, conforme a disponibilidade dos dados obtidos pela Parceria IPEA/MCTI. Em seguida, foram calculados os investimentos em infraestrutura básica por meio da composição de gastos específicos em cada Unidade Federativa: (1) Segurança Pública; (2) Saúde; (3) Saneamento; (4) Urbanismo; (5) Habitação; (6) Energia e; (7) Transporte.<sup>8</sup> Esses dados foram obtidos na Coordenação-Geral das Relações e Análise Financeira dos Estados e Municípios (COREM), na Secretaria do Tesouro Nacional e no Ministério da Fazenda.<sup>9</sup> Para controlar os efeitos da utilização dos recursos naturais na agricultura, aplicou-se a participação da lavoura temporária em relação à área total de cada Unidade Federativa, informações disponíveis no IBGE.<sup>10</sup>

A fim de construir o indicador de produtividade na agricultura, foram adotadas as variáveis: (VA), valor adicionado bruto na agricultura – obtido pelo IPEA e; (L), o número de trabalhadores empregados na agricultura – disponibilizado pelo IBGE. Os indicadores tradicionais de produtividade são construídos utilizando a simples razão entre o valor adicionado e o número de trabalhadores:  $A = VA/L$ . Contudo, esse cálculo desconsidera a contribuição de cada Estado no cenário brasileiro, conduzindo a distorções entre os Estados de baixa representatividade. Para contornar tal equívoco, foi empregada a mesma metodologia apresentada em Rocha e Silveira (2009).<sup>11</sup>  $A = (VA/L) * \Omega$ , em que a variável  $\Omega$  representa a participação do valor adicionado de cada Estado em relação ao valor adicionado do país. Por fim, foi utilizado, como parte dos instrumentos, o dispêndio dos governos estaduais em Ciência e Tecnologia (C&T), obtidos pelo MCTI.

#### 3.2 Metodologia econométrica

Para analisar os impactos dos fundos setoriais no aumento da produtividade da agricultura, aplicou-se um modelo de regressão com dados em painel relacionando o índice de

produtividade com os gastos do fundo CT-AGRONEGÓCIO, visando calcular a sua elasticidade parcial:

$$\ln A_{it} = \alpha + \gamma L_{it} + W'_{it-1} \beta + \mu_i + \delta_j + \tau_t + \varepsilon_{it} \quad \text{ME.1}$$

Conforme a equação ME.1, as variáveis  $A_{it}$  e  $L_{it}$  representam, respectivamente, o índice de produtividade e a proporção da área plantada da lavoura temporária em relação à área total no estado  $i$  no tempo  $t$ . O parâmetro a ser estimado  $\gamma$  mede o efeito da distribuição da lavoura temporária no aumento da produtividade. O vetor  $W'_{it-1}$  corresponde ao conjunto de variáveis endógenas representado pelo índice de proximidade com a fronteira ( $a_{it-1} \equiv A_{it-1} / \max \{A_{it-1}\}$ ), logaritmo dos gastos em infraestrutura ( $\ln(G - \text{INFRAEST.})_{it-1}$ ), ao logaritmo dos gastos do fundo CT-AGRONEGÓCIO ( $\ln(CT - \text{AGRO})_{it-1}$ ) e a variável de interação entre o indicador de proximidade com a fronteira e cada gasto ( $a_{it-1} * \ln(G - \text{INFRAEST.})_{it-1}$ ;  $a_{it-1} * \ln(CT - \text{AGRO})_{it-1}$ ).

Em adição ao modelo,  $\mu_i, \delta_j$ , representam os conjuntos de efeitos fixos relativos às características ou fatores de heterogeneidade observável entre os Estados e as regiões, respectivamente, sendo necessário o controle no processo de estimação. Analogamente,  $\tau_t$ , representa os efeitos de tempo que capturam choques comuns entre os Estados e as regiões, mas de natureza aleatória. Por último, tem-se o termo do erro estocástico,  $\varepsilon_{it}$ , que corresponde a todos os demais fatores comuns, mas que estão de fora do controle estatístico, satisfazendo a condição:  $\varepsilon_{it} \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$  para todo  $i$  e  $t$ .

A interpretação do vetor de parâmetros das variáveis endógenas, a ser estimado, deve ser feita com bastante cautela. Pela teoria econômica, tem-se que a elasticidade mede o grau de sensibilidade com que uma variável exerce sobre outra. Assim, um aumento de 1% nos gastos de um fundo específico pode contribuir ou não para uma elevação relativa na produtividade da agricultura no período seguinte.

Contudo, esse efeito final a ser observado depende do estágio de desenvolvimento de cada Estado, que é capturado pelo indicador de proximidade com a fronteira.

Assim, aplicando a metodologia tradicional para se calcular a elasticidade à presente investigação, podemos estimar o efeito relativo do fundo CT-AGRO no aumento da produtividade pela seguinte fórmula:

$$\epsilon \equiv \frac{\partial \ln A_{it}}{\partial \ln(CT - \text{AGRO})_{it-1}} = \beta_1 + \beta_2 * a_{it-1} \quad \text{ME.2}$$

Segundo a equação ME.2, a relação entre a produtividade e os fundos setoriais ocorre em períodos diferentes, uma vez que os recursos aplicados na geração de outras tecnologias e consequentemente de outro conhecimento não são instantaneamente observados no crescimento da produtividade. Assim, os resultados econômicos advindos dos investimentos em P&D são, em média, capturados somente nos períodos seguintes.

Para a compreensão adequada do coeficiente de elasticidade, a dois importantes cenários é dada maior ênfase, especificamente nos limites em que  $\lim a_{it-1} \rightarrow 1$  e  $\lim a_{it-1} \rightarrow 0$ . No primeiro caso, estamos aprofundando a análise para o grupo de economias que se encontram na vizinhança da fronteira. No segundo, estamos abordando o grupo de economias com relativo atraso em relação à fronteira. No caso do Estado com a maior produtividade (fronteira), o efeito total da elasticidade parcial do fundo é representado por  $\epsilon = \beta_1 + \beta_2$ , tendo em vista que  $a = 1$ . Assim, conforme o grau de proximidade, o efeito total da elasticidade se altera, dando peso maior aos Estados com estágios mais avançados de desenvolvimento.<sup>12</sup>

Partindo dessa premissa, podemos considerar algumas possibilidades plausíveis à estimativa em ME.2:

$$\hat{\epsilon} \equiv \frac{\partial \ln A_{it}}{\partial \ln(CT - \text{AGRO})_{it-1}} = \hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 * a_{it-1} > 0 \quad \text{ME.2 (A)}$$

**Cenário [1]:**  $\hat{\beta}_1 > 0; \hat{\beta}_2 > 0 \rightarrow \hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 * a_{it-1}$

Neste caso, o fundo CT-AGRO tem impactos positivos para todos os Estados, de forma que, naqueles mais avançados e situados próximos da fronteira tecnológica, o seu efeito na melhoria da produtividade é maior em relação aos Estados mais afastados. Esse cenário contraria a possibilidade de convergência na amostra, uma vez que os Estados mais avançados utilizam os recursos de P&D inovadora com maior eficiência em relação aos mais atrasados, obtendo taxas de crescimento superiores na sua produtividade.

**Cenário [2]:**  $\hat{\beta}_1 > 0; \hat{\beta}_2 < 0 \rightarrow \hat{\beta}_1 - \hat{\beta}_2 * a_{it-1}$

Esse cenário mostra uma possível convergência dentro da amostra, em decorrência de os Estados mais avançados apresentarem um coeficiente de elasticidade inferior aos mais atrasados. Neste caso, as oportunidades tecnológicas da pesquisa tendem a apresentar padrões de dispersão do centro para a periferia, contrariando a hipótese do “paradigma schumpeteriano” (Aghion; Howitt, 1998).

**Cenário [3]:**  $\hat{\beta}_1 < 0; \hat{\beta}_2 > 0 \rightarrow -\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 * a_{it-1}$

Neste último caso, somente a partir de um determinado grau de proximidade com a fronteira ( $\tilde{a}_{it-1} > \hat{\beta}_1 / \hat{\beta}_2$ ), é que as economias apresentam uma utilização mais eficiente dos recursos de pesquisa, gerando futuros aumentos na produtividade. Assim, os gastos em P&D inovadora não são autosuficientes para garantir, de imediato, novos aumentos na produtividade.

No presente diagnóstico, as economias mais atrasadas exibem baixas oportunidades tecnológicas vinculadas a mecanismos ineficientes de propriabilidade.<sup>13</sup> Como praticamente inexistem restrições na migração de recursos entre os Estados, muitos resultados da pesquisa tendem a migrar na busca de oportunidades melhores, que, em última instância, estão mais presentes nas “economias da fronteira”. Assim,

os aspectos globais da tecnologia tendem a influenciar consideravelmente o desempenho econômico entre os Estados. Para suavizar esse resultado, os investimentos em infraestrutura oferecem um efeito complementar aos gastos em C,T&I, especialmente para os Estados mais atrasados. Tal possibilidade mostra que os padrões de desenvolvimento são influenciados de maneira relativa e não absoluta entre as economias, de forma que os setores, os Estados, as regiões ou mesmo os países são afetados positiva ou negativamente pela fronteira, conforme o estágio de desenvolvimento em que a economia se encontra (Rocha, 2011).

O outro coeficiente de elasticidade corresponde ao efeito dos gastos em infraestrutura no aumento da produtividade:

$$\hat{\epsilon} \equiv \frac{\partial \ln A_{it}}{\partial \ln (G - \text{INFRAEST.})_{it-1}} = \hat{\beta}_3 + \hat{\beta}_4 * a_{it-1} \quad \text{ME.2}$$

Conforme ME.2, a elasticidade parcial dos gastos em infraestrutura depende dos sinais esperados das estimativas. Assim, têm-se as seguintes possibilidades:

**Cenário [1]:**  $\hat{\beta}_3 > 0; \hat{\beta}_4 > 0 \rightarrow \hat{\beta}_3 + \hat{\beta}_4 * a_{it-1}$

Nesse caso, os investimentos em infraestrutura resultam em um aumento superior na produtividade das economias situadas próximas da fronteira. Isso parece pouco plausível, tendo em vista que os Estados mais afastados se encontram mais limitados em relação a sua infraestrutura local. Desta forma, unidades adicionais de recursos investidos na infraestrutura sinalizam novas oportunidades em decorrência da redução de custos consideráveis de transação (Rocha; Silveira, 2009). Para representar esse “efeito reverso” dos investimentos em infraestrutura, é mais provável analisar o seguinte cenário alternativo:

**Cenário [2]:**  $\hat{\beta}_3 > 0; \hat{\beta}_4 < 0 \rightarrow \hat{\beta}_3 - \hat{\beta}_4 * a_{it-1}$

Assim, os retornos dos investimentos em infraestrutura são maiores para as economias mais afastadas da fronteira. Ao contrário disso, nas economias mais avançadas, as atividades intensivas em P&D inovadora demandam mais por recursos destinados ao avanço gradual da tecnologia em direção à fronteira ou no próprio deslocamento dessa, em decorrência das novas descobertas. Assim, quanto mais a economia se aproxima da fronteira, unidades extras de investimentos em P&D inovadora vão sendo mais necessárias para a manutenção da tecnologia, baixando os custos de oportunidade da pesquisa. Esse cenário é completamente oposto para as economias mais atrasadas, uma vez que os investimentos em infraestrutura, nos estágios iniciais do desenvolvimento, complementam os futuros investimentos na pesquisa (Aghion; Howitt, 2009).

A fim de estimar de forma fidedigna o efeito das elasticidades sem incorrer a interpretações tendenciosas, precisamos definir o método adequado de estimação na equação ME.1. A próxima seção discute os vários métodos e qual o mais apropriado para a metodologia vigente.

### 3.3 Método de estimação

A equação ME.1 pode ser estimada por meio da abordagem tradicional de mínimos quadrados ordinários com dados agrupados – MQO *Pooled*. Essa metodologia exclui os efeitos fixos de Estados, regiões e tempo no processo de estimação, tornando-os parte integrante do erro estocástico. Entretanto, caso o modelo verdadeiro inclua os efeitos fixos, a omissão pode levar a um sério erro de especificação, fazendo com que a covariância entre os regressores e a perturbação estocástica seja estatisticamente diferente de zero.<sup>14</sup> Esse provável resultado indica precariedade da metodologia tradicional de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), quando os efeitos fixos não estão controlados.

Nessa ordem de ideias, é mais razoável admitir a influência dos efeitos fixos nos resultados das estimativas, sendo necessária a estimação por painel com a inclusão dos efeitos. Contudo, tal metodologia ainda não se encontra isenta de algumas peculiaridades. A consistência das estimativas por painel com efeitos fixos depende da covariância estatisticamente igual a zero entre os regressores e o erro estocástico,  $cov(w_{(it-1)}^j, \varepsilon_{it}) = 0$ , para algum  $j$  e  $cov(L_{it}, \varepsilon_{it}) = 0$ .

Ao contrário dessa restrição, forças de natureza geopolítica exercem importante influência nas decisões sobre os gastos em C,T&I. Esse “vetor de influência” faz com que os resultados passados dos gastos estejam correlacionados com os futuros investimentos, levando a uma covariância diferente de zero:  $cov(w_{(it-1)}^j, \varepsilon_{it}) \neq 0$ , para algum  $j$ . Tal padrão de influência ocorre porque, na medida em que a economia se aproxima da fronteira, os recursos de P&D vão sendo mais necessários para a convergência tecnológica, criando significativa associação entre os investimentos em diferentes pontos do tempo. Essa associação é mais forte para a vizinhança da fronteira e mais “suave” para as economias mais afastadas, em decorrência dos diferentes custos de oportunidade com que a pesquisa se defronta (Aghion; Howitt, 2009).

Essa violação de pressuposto faz com que a metodologia de painel com efeitos fixos seja inconsistente, levando a necessidade de uma abordagem alternativa denominada de “variáveis instrumentais”.

### 3.4 Variáveis instrumentais e

#### método dos momentos generalizados

A metodologia de variáveis instrumentais tem apresentado uma maneira bastante prática na solução de problemas de endogeneidade nos modelos de regressão linear. Resumidamente, a abordagem de variáveis instrumentais supõe que exista um conjunto de variáveis, denominado de instrumentos ( $Z$ ), bastante correlacionados com as variáveis

endógenas (X); porém, não correlacionados com o erro estocástico:

$$Y = X\beta + \varepsilon \quad \text{VI.1}$$

$$X = Z\theta + \eta \quad \text{VI.2}$$

O estimador de variáveis instrumentais,  $\hat{\beta}_{VI}$ , é definido da seguinte maneira:

$$\hat{\beta}_{VI} = (X'P_Z X)^{-1} X'P_Z Y$$

onde  $P_Z = Z(Z'Z)^{-1}Z'$ , corresponde à matriz de projeção de Z. Isso é numericamente equivalente a estimar VI.1 e VI.2 por mínimos quadrados em dois estágios (MQO2E). Contudo, para que esse método produza estimativas não tendenciosas dos parâmetros, é preciso satisfazer as seguintes condições de validade (Hsiao, 2003): (a) ortogonalidade entre os instrumentos e a perturbação estocástica ( $cov(z^j, \varepsilon) = 0$ , para todo j); e (b) a correlação entre X e Z ser suficientemente elevada, captada pelo  $R_{X,Z}^2$  em VI.2. Isso pode ser facilmente demonstrado da seguinte forma:<sup>15</sup>

$$\begin{aligned} plim \hat{\beta}_{VI} &= \beta + cov(\hat{X} = Z\hat{\theta}; \varepsilon) / var(X); \\ plim \hat{\beta}_{MQO} &= \beta + cov(X; \varepsilon) / var(X) \end{aligned} \quad \text{VI.3}$$

Em primeiro lugar, sabemos que  $var(X) \neq 0$ , o que evidencia a tendenciosidade do estimador de MQO dependendo apenas da possível correlação entre regressores e erro estocástico. Uma vez que se admite  $cov(X; \varepsilon) \neq 0$ , as estimativas de MQO ficam claramente tendenciosas, trazendo a necessidade de um estimador por variáveis instrumentais. Contudo, a consistência do estimador VI depende da ortogonalidade entre os valores preditos de X e o erro,  $cov(\hat{X} = Z\hat{\theta}; \varepsilon) = 0$ .

A fim de testar a hipótese da  $cov(\hat{X} = Z\hat{\theta}; \varepsilon) = 0$ , a estatística J de Hansen será útil na análise, tendo em vista que ela testa a hipótese de os instrumentos serem ortogonais ao erro estocástico. Sob a hipótese nula, os instrumentos (incluídos e excluídos) são exógenos em relação ao termo do erro da equação VI.1; portanto, a covariância entre a perturbação estocástica e os instrumentos é estatisticamente igual a zero,  $H_0 : cov(Z; \varepsilon) = 0$ . Assim, a rejeição da hipótese nula implica que os instrumentos não satisfazem um dos critérios de validade do modelo.

Reorganizando VI.3, podemos facilmente encontrar a importância do critério (b) de validade instrumental:

$$\frac{plim \hat{\beta}_{VI}}{plim \hat{\beta}_{MQO}} = \left( cov(\hat{X} = Z\hat{\theta}; \varepsilon) / cov(X; \varepsilon) \right) / R_{X,Z}^2 \quad \text{VI.4}$$

Em VI.4, temos que, na existência de alguma correlação entre os valores preditos de X e o erro estocástico, uma baixa associação entre os instrumentos e os regressores endógenos (captado pelo  $R^2$  parcial entre instrumentos e regressores no primeiro passo da estimação) potencializa grandes distorções assintóticas entre o estimador  $\hat{\beta}_{VI}$  e o verdadeiro parâmetro  $\beta$ . Isso torna o estimador de variáveis instrumentais tão inconsistente quanto o de MQO, quando a correlação entre os instrumentos e os regressores endógenos for baixa.

Para testar tal possibilidade, a estatística de Kleibergen e Paap (2006) será necessária na presente investigação. Assim, a hipótese nula será de uma covariância estatisticamente igual a zero entre os instrumentos excluídos e os regressores endógenos, acarretando a rejeição da validade (b). Neste sentido, os instrumentos não são relevantes para a análise em questão, implicando uma potencial tendenciosidade das estimativas de VI.

Resumidamente, o teste de Kleibergen e Paap (2006) pode ser facilmente representado como:

$$\Omega_{xz} = \begin{bmatrix} 1 & E(z_i) \\ E(x_i) & E(x_i z_i) \end{bmatrix} \cdot \det(\Omega_{xz}) \neq 0$$

A estatística padrão testa a hipótese de o determinante da matriz  $\Omega_{xz}$  ser nulo. Se o determinante de  $\Omega_{xz}$  for estatisticamente igual a zero, isso pressupõe que a covariância entre os regressores endógenos e os seus instrumentos também será zero. Desta forma, poucas informações serão extraídas no processo de estimação entre  $\mathbf{X}$  e  $\mathbf{Z}$ , tornando as estimativas de variáveis instrumentais tão inconsistentes quanto MQO.

Até agora, nada se cogitou nos problemas clássicos dos modelos de regressão linear, especialmente no método de variáveis instrumentais com dados em painel: heterocedasticidade e autocorrelação serial. Na existência de ambas as violações de pressuposto estatístico, o método de VI torna-se consistente, porém, ineficiente. Desta maneira, os testes tradicionais de validade instrumental, J de Hansen e de Posto,<sup>16</sup> manifestam-se inválidos, e suas interpretações, tendenciosas. Esses problemas podem ser resolvidos com a utilização de matrizes robustas e consistentes. Ainda assim, o estimador convencional de VI é não desejável na presença de tais problemas, especialmente quando a forma funcional da heterocedasticidade é desconhecida. Diante disso, a abordagem usual mais apropriada nessas circunstâncias corresponde à metodologia desenvolvida por Hansen (1982), denominada de “Método dos Momentos Generalizados” ou GMM.<sup>17</sup>

Especialmente na presença de heterocedasticidade, o método GMM apresenta estimativas mais eficientes em relação aos tradicionais estimadores de VI. Contudo, o estimador padrão de VI é um caso especial de GMM. Sob o pressuposto de que os instrumentos são exógenos e podem ser expressos como  $E(\mathbf{Z} \cdot \varepsilon) = 0$ , têm-se L condições de momentos referentes aos instrumentos excluídos:

$$g_i(\hat{\beta}) = z_i' \varepsilon_i = z_i' (y_i - x_i \hat{\beta}) \quad \text{GMM.1}$$

onde  $g_i$  é um vetor ( $L \times 1$ ). As condições de ortogonalidade dos instrumentos implica que existam L condições de momentos, que serão satisfeitas para o verdadeiro valor do parâmetro,  $E(g_i(\hat{\beta})) = 0$ . Cada uma das L equações de momento correspondem a L momentos amostrais, representados por:

$$\bar{g}(\hat{\beta}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n g_i(\hat{\beta}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i' (y_i - x_i \hat{\beta}); n = N * T \quad \text{GMM.2}$$

A metodologia GMM implica encontrar um estimador para  $\beta$  que resolva o problema  $\bar{g}(\hat{\beta}) = 0$ . Para a solução ser facilmente encontrada, porém, precisamos analisar o número de incógnitas e equações no sistema. Se a equação a ser estimada for exatamente identificada, tem-se que o número de instrumentos L é igual ao número de equações no primeiro estágio K ( $L = K$ ), que corresponde ao número de regressores. Neste caso, o sistema é perfeitamente solucionado, e o estimador GMM se iguala ao tradicional de VI.

Outra possibilidade consiste no número de instrumentos ser superior ao número de regressores, gerando um sistema sobreidentificado ( $L > K$ ). Nesse caso, não será possível encontrar  $\hat{\beta}$  que solucione o problema, uma vez que os momentos amostrais superam as equações do sistema. Nessa situação, precisamos definir uma “Matriz de Ponderação” –  $\mathbf{W}$  ( $L \times L$ ) – para criar uma forma quadrática nas condições de momento. Essa nova formulação gera a função-objetivo da abordagem GMM:

$$J(\hat{\beta}) = n \bar{g}(\hat{\beta})' \mathbf{W} \bar{g}(\hat{\beta}) \quad \text{GMM.3}$$

O estimador GMM corresponde à solução do problema de minimização  $\hat{\beta} = \text{argmin} \{J(\hat{\beta})\}$ . A maior vantagem do estimador GMM consiste na sua robustez na presença de heterocedasticidade e autocorrelação. Assim, o estimador é mais eficiente, preservando as propriedades de consistência



assintótica em relação ao tradicional VI. Nesse conjunto de informações, tal metodologia tem sido aplicada em diversos estudos de crescimento (Durlauf; Johnson; Temple, 2005). Além disso, essa metodologia apresenta uma capacidade superior ao tradicional VI, especialmente na análise de variáveis com restrições de estacionariedade, comum nos modelos de painel (Bond; Hoeffler; Temple, 2001).

Essas vantagens não isentam a metodologia GMM de alguns cuidados. É preciso destacar que, as mesmas fragilidades do método VI também estão susceptíveis à abordagem GMM. Essas restrições correspondem às condições de validade dos instrumentos, especialmente na relevância desses. Na utilização de instrumentos com “fraca” correlação, as variáveis endógenas podem induzir a um sério viés nas estimativas dos parâmetros. Desta maneira, o estimador GMM perde propriedades de consistência assintótica da mesma forma que o estimador de VI (Bond; Hoeffler; Temple, 2001). Portanto, os testes de validade instrumental (exogeneidade – teste J de Hansen – e relevância – teste de posto de Kleibergen e Paap (2006)) serão necessários para evitar estimativas tendenciosas dos parâmetros.

Além dos referidos testes, uma importante estatística corresponde ao teste RESET de Ramsey adaptado para o método GMM. Na versão tradicional de Ramsey (1969), se o modelo de regressão proposto está corretamente especificado,<sup>18</sup> a adição de qualquer função não linear dos valores preditos da variável dependente deve ter influência irrelevante sobre essa, sob a hipótese nula de os parâmetros estimados (dos polinômios preditos) serem estatisticamente iguais a zero. Na rejeição da hipótese nula, efeitos não lineares, causados por diversos fatores,<sup>19</sup> exercem influência significativa na variável dependente, de forma que a equação não se encontra corretamente especificada. A falha ao rejeitar a hipótese nula implica que os “resquícios” de efeitos não lineares não afetam a especificação do modelo, de forma que esse

se encontra adequadamente bem formulado. O maior problema desse teste no método de VI e GMM corresponde à restrição de que os valores preditos da variável dependente  $\hat{y} \equiv W'_{it-1} \hat{\beta}$  incluem regressores endógenos correlacionados com a perturbação estocástica. Em vez da metodologia tradicional de Ramey (1969), vamos considerar os “*forecast values*” da variável independente, tomando os instrumentos (incluídos e excluídos) como fator de predição:  $\hat{y} \equiv Z' \hat{\beta}$ .

Para se calcular a estatística de teste, duas metodologias são mais apropriadas: (1) a abordagem de Pagan e Hall (1983); e (2) o método de Pesaran e Taylor (1999). A principal diferença entre as duas estatísticas consiste no modo em que os instrumentos são aplicados na forma funcional do teste.<sup>20</sup> Quando a equação é sobre identificada, no caso do presente modelo, o teste de Pesaran e Taylor (1999) se apresenta mais adequado, uma vez que os valores previstos de são transformados em “valores ótimos de previsão”.<sup>21</sup>

#### 4 Análise dos resultados

A Tabela 1 apresenta as estimativas do modelo empírico conforme o método GMM com efeitos fixos. No primeiro modelo (I), foi calculada a elasticidade dos investimentos do fundo CT-AGRO na produtividade da agricultura. Segundo os resultados, o indicador de elasticidade interagido com o coeficiente de proximidade com a fronteira apresentou-se positivo e significativo (1%). Isso sugere, *coeteris paribus*, que o aumento nos gastos do fundo tem resultados positivos, porém com intensidade diferente, no crescimento da produtividade dos Estados. Para aqueles com 80% de proximidade com a fronteira, um aumento de 1% no fundo gera um crescimento de 0,32% em média na produtividade. Considerando os Estados mais afastados, com aproximadamente 30% de proximidade, a elasticidade cai para 0,12% (isso considerando apenas o coeficiente de interação, tendo em vista que o

coeficiente isolado não apresentou significância estatística). Mesmo excluindo as demais variáveis da estimação, o teste RESET não rejeitou a hipótese nula de especificação adequada do modelo. No conjunto de testes de validade instrumental,<sup>22</sup> o teste de posto rejeita a hipótese de covariância nula entre instrumentos e regressores endógenos (que são relevantes), além de não rejeitar a hipótese de ortogonalidade entre os instrumentos e a perturbação estocástica (instrumentos válidos e devidamente excluídos). A proporção da área cultivada com lavoura temporária tem efeito negativo no crescimento da produtividade, tendo em vista que tal técnica não representa ganhos, em termos de aumento do valor adicionado na produção (significante a 5%). Esses resultados são semelhantes com o modelo (V), ressaltando que somente os Estados situados acima de 62% de proximidade com a fronteira apresentam elasticidade positiva (cenário 3), dentre eles, os Estados das Regiões Sudeste, Centro-Oeste (MatoGrosso) e Sul. O teste RESET não rejeita a hipótese nula de o modelo estar bem especificado (p-valor = 0,1946). Novamente os instrumentos apresentaram boa validade – estatisticamente relevantes e não correlacionados com a perturbação estocástica.

Analisando o modelo (II), temos uma inversão de interpretações ao se comparar com os impactos do fundo CT-AGRO no crescimento da produtividade. Comparando a estimativa de interação ( $[a^{AGRO} * \log(G-INFRAEST.)]_{it-1}$ ), o efeito aumentador dos gastos em infraestrutura na produtividade é maior para os Estados mais afastados da fronteira. Avaliando o resultado total da elasticidade dos gastos, tem-se que os Estados situados abaixo de 40% de proximidade (regiões Norte e Nordeste), o efeito aumentador da produtividade é visível em relação aqueles com maior proximidade. Para os Estados com 30% de proximidade com a fronteira, 1% de aumento nos gastos em infraestrutura gera um crescimento de 0,08% na produtividade agrícola, ao passo que, para os

Estados com 20% de proximidade, o crescimento salta para 0,16%, variação bastante expressiva considerando diferentes estágios de desenvolvimento. Confrontando esses resultados com os efeitos do fundo CT-AGRO, tem-se a importante conclusão: *os recursos estratégicos destinados à formação de competências tecnológicas, como os investimentos em C,T&I, precisam ser complementados com recursos em infraestrutura (tanto básica quanto científica e tecnológica), especialmente para as economias mais afastadas da fronteira ou nos estágios iniciais do desenvolvimento. A ausência dessa compreensão pode desencadear uma distribuição de recursos ineficientes, conduzindo a um precário crescimento da economia.*

Comparando o modelo os modelos (II) e (IV), percebe-se uma diferença entre os parâmetros de interação (-0,78007 contra -1,1172), garantido efeito positivo dos gastos em infraestrutura para as economias com 44% de proximidade com a fronteira (contra 40% no modelo (II)). Essa diferença pode ser explicada pela inclusão dos efeitos fixos de Estado e ano. Mesmo assim, ambos os modelos falharam em rejeitar a hipótese nula de um modelo bem especificado (p-valor = 0,2521 em (II) contra p-valor = 0,1896 em (IV)). No teste de posto, ambos os modelos rejeitaram a hipótese de os instrumentos serem redundantes (p-valor = 0,0026 em (II) contra p-valor = 0,0003 em (IV)).

Com relação ao teste de exogeneidade dos instrumentos, os dois modelos falharam em rejeitar a hipótese nula, sugerindo que, em ambos os casos, os instrumentos eram estatisticamente relevantes e devidamente excluídos do modelo principal. Com base nos dois últimos testes, pode-se concluir que os instrumentos satisfazem os critérios de relevância, apresentando-os como bons candidatos ao presente método. Em todos os modelos estimados que incluíam a proporção da lavoura temporária em relação à área total de cada Estado, apresentou-se um efeito negativo no crescimento da produtividade (significante nos modelos (I)-5%, (II)-1% e (IX)-1%).

Tabela1\_ Resultados do modelo empírico segundo os métodos de estimação

	Variável Dependente: Log(Produtividade da Agricultura) <sub>it</sub>								
	(I)	(II)	(III)	(IV)	(V)	(VI)	(VII)	(VIII)	(IX)
	GMM / Ef. Fixos	GMM / Ef. Fixos	GMM / Ef. Fixos	GMM / Ef. Fixos	GMM / Ef. Fixos	GMM / Ef. Fixos	GMM / Ef. Fixos	GMM / Ef. Fixos	GMM / Ef. Fixos
$a_{it-1}^{AGR}$	-	20,751**	-	28,3154*	-	33,500*	-	39,517**	3,639*
		9,0014		8,5598		7,6833		19,3058	0,915
$[a^{AGR*} \log(G-INFRAEST.)]_{it-1}$	-	-0,78007*	-	-1,1172*	-	-1,3142*	-	-1,5886***	-
		0,39899		0,1415		0,11841		0,8542	
$\log(G-INFRAEST.)_{it-1}$	-	0,31252**	-	0,4999*	-	0,5615*	0,7178**	-	0,5344***
		0,13765		0,3806		0,3415	0,3179		0,3116
$[a^{AGR*} \log(CT-AGRO)]_{it-1}$	0,40219*	-	0,3294*	-	0,3296*	-	0,2259*	-	-
	0,0687		0,0422		0,051		0,05026		
$\log(CT-AGRO)_{it-1}$	0,10206	-	-	-	-0,2036***	-	-0,5805**	0,406	-0,2581
	0,19187				0,1238		0,2357	0,2679	0,2493
$L_{it-1}$	-5,3440**	-	-3,7795*	-	-2,6599	-	-	-	-3,2718*
	2,6223		1,2466		1,7341				1,1152

**Efeitos Fixos**

Região	sim	sim	sim	sim	sim	não	sim	sim	sim
Estado	não	não	não	sim	não	não	não	não	não
Ano	não	não	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim

**Teste RESET de Ramsey/Pesaran-Taylor(a)**

P-Valor (Qui2)	0,1628	0,2521	0,2191	0,1896	0,1946	0,0254	0,4874	0,7682	0,3063
----------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

**Teste de Posto [Multiplicador Lagrangeano de Kleibergen e Paap (2006)]**

P-Valor (Qui2)	0,0052	0,0026	0,0014	0,0003	0,0035	0,0000	0,0049	0,0032	0,0049
----------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

**Estatística F**

F	36,7300	76,9300	31,3000	48,4700	22,2400	29,1800	28,9000	21,7900	30,6900
P-Valor	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

**Estatística J de Hansen**

P-Valor (Qui2)	0,5157	0,8258	0,1682	0,3441	0,1291	0,4746	0,4136	0,7922	0,3858
----------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

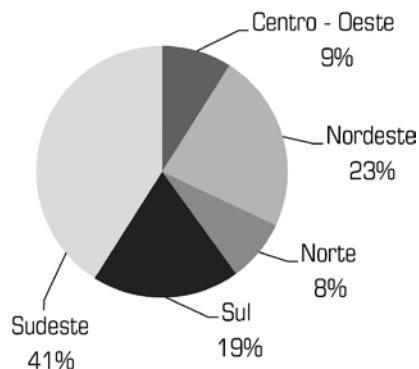
Nota: As estimativas de erro padrão estão destacadas em negrito e itálico. Testes de autocorrelação e heterocedasticidade confirmaram a presença, fazendo necessário o recálculo da matriz de covariância para dar robustez quanto às violações de pressuposto estatístico. Os asteriscos \*, \*\*, \*\*\* correspondem, respectivamente, aos parâmetros significativos aos níveis de 1%, 5% e 10%. Os instrumentos utilizados na estimação dos painéis consistiram nas variáveis endógenas com segunda defasagem ( $t-2$ ) e na proporção dos gastos estaduais em C&T com relação à receita com dupla defasagem ( $t-2$ ).<sup>(a)</sup> O teste de especificação linear de Ramsey/Pesaran-Taylor é robusto quanto à existência de heterocedasticidade e autocorrelação serial. Para isso, a estatística de teste foi recalculada com base no método GMM com matriz de covariância robusta.

Considerando as estimativas da variável proximidade com a fronteira ( $a_{it-1}^{AGR}$ ), em todos os modelos, essa apresentou sinal positivo e significativo a 1% (modelos (IV), (V) e (IX)) e 5% (modelos (II) e (VIII)). Tal resultado sugere rejeitar a possibilidade de convergência, uma vez que, à medida que a produtividade se aproxima da fronteira, maior a contribuição para um novo crescimento da produtividade no período seguinte.<sup>23</sup> Desta forma, as economias situadas na vizinhança da fronteira apresentam taxas de inovação e de crescimento na produtividade superior às economias mais atrasadas, já que esses Estados absorvem com maior eficiência os resultados da pesquisa.

O Gráfico 1 apresenta a distribuição dos projetos financiados ao longo de 2000 a 2008 por região:

A evidente concentração dos projetos financiados na região Sudeste (41%) mostra que os desafios da política no “desenvolvimento assimétrico” ainda são grandes. Entretanto, sabe-se que a demanda por tais projetos é maior nessa região em decorrência de uma ampla infraestrutura instalada, o que repercute em uma utilização mais eficiente dos recursos (Rocha; Silveira, 2009).

**Gráfico 1\_Distribuição dos Projetos Financiados pelo FSC&T**  
– Distribuição dos financiamentos por região (nº projetos) - 2000-2008



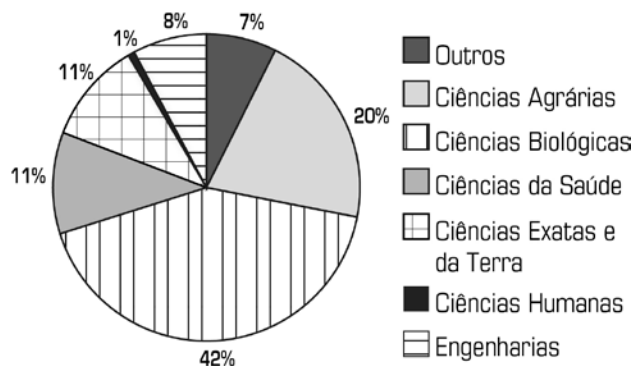
Fonte: MCT, 2009.

No Brasil, muitas inovações biológicas, que compõem importantes aplicações da biotecnologia, têm desempenhado importante papel no cenário do desenvolvimento, seja na área de saúde, seja na agricultura. A criação da RENORBIO, rede de biotecnologia de ponta no Nordeste, por meio de grandes incentivos e parcerias do Ministério da Ciência e Tecnologia e de políticas centradas do CNPQ, mostra a atualidade desse debate (Rocha; Silveira, 2009)<sup>24</sup>.

De acordo com o Gráfico 2, as áreas das Ciências Biológicas, seguidas das Ciências Agrárias, respondem por mais de 60% dos projetos financiados pelos fundos setoriais. Essa expressiva distribuição mostra que os avanços da política de Ciência, Tecnologia e Inovação vêm dando atenção especial à agricultura brasileira. Assim, tal articulação entre governo, empresas e institutos de pesquisa corresponde a um dos principais arranjos responsáveis não apenas pelo desenvolvimento sustentável do setor, mas também pela garantia de uma convergência equilibrada em direção às melhores práticas (fronteira tecnológica).

É importante ressaltar que a organização da atividade agrícola envolve amplo conjunto de atividades que engloba

**Gráfico 2\_Distribuição dos projetos por área - Distribuição de financiamentos por grande área (nº projetos) - 2000-2008**



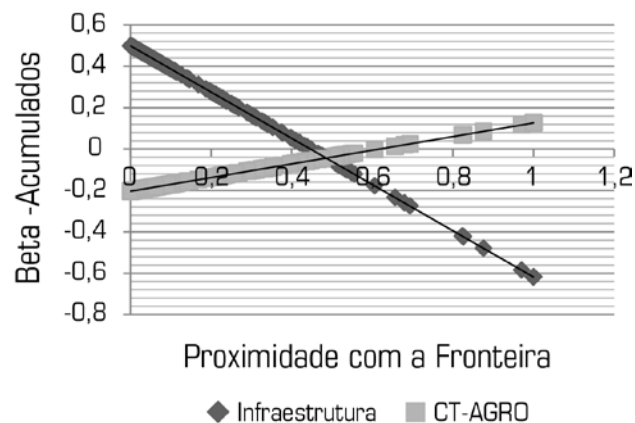
Fonte: MCT, 2009.

desde um setor fornecedor, uma unidade produtiva, a um sofisticado sistema de distribuição da cadeia produtiva. Assim, o segmento fornecedor de insumos tecnológicos responde pelas inovações mecânicas (máquinas, implementos, equipamentos de irrigação), químicas (fertilizantes e defensivos) e biológicas (sementes, micro-organismos, controle biológico, melhoramento genético, transgênicos), afetados pelos resultados de muitas pesquisas, especialmente pelos recursos do fundo CT-AGRO (Vieira Filho, 2012).

Contudo, outro importante segmento corresponde ao da distribuição, afetado diretamente pelos investimentos em infraestrutura. Em especial, a logística, a comercialização, o transporte e a armazenagem dependem especialmente dos investimentos em infraestrutura básica. Uma infraestrutura bem definida reduz a distância entre as regiões, integrando o mercado doméstico e conectando a baixo custo com o mercado em outros países e regiões (Sala-I-Martin, 2011). Contudo, essa eficiência depende de um planejamento coordenado que reduza as assimetrias de investimentos dentro do país. Na presença de grandes distorções entre as regiões, a capacidade de integração entre os mercados passa a ser deficitária, canalizando incentivos para as regiões menos desprovidas. Esta descoordenação de capacidade instalada aumenta os custos de desenvolvimento para as economias mais atrasadas. O gráfico abaixo mostra o efeito final das elasticidades para cada tipo de investimento, conforme o estágio de desenvolvimento da economia (proximidade com a fronteira).

Conforme o Gráfico 3, o efeito de “aproximação com a fronteira” vai reduzindo o retorno dos investimentos em infraestrutura em decorrência da importância relativa da pesquisa no aumento da produtividade. Desta forma, à medida que a economia reduz o “gap tecnológico”, os gastos em P&D inovadora são mais responsáveis pelo aumento da produtividade, visto no ponto crítico de interseção entre as

**Gráfico 3. Efeito da proximidade com a fronteira nos Beta-Acumulados – Efeitos da Proximidade nas Elasticidades Parciais**



Fonte: Elaboração própria. Simulação com base nos resultados do modelo econométrico.

curvas. O retorno de determinados investimentos é transferido para outros mais responsáveis pela manutenção, pela geração e pela aplicação do conhecimento no crescimento da produtividade. Tal dinâmica de oportunidades entre os investimentos é a principal característica do “paradigma schumpeteriano”. Para analisar o desenvolvimento entre os Estados e as regiões, é preciso compreender como as diferenças afetam o desempenho entre as economias. Esse processo endógeno do progresso tecnológico é a principal característica da “faceta do capitalismo”.

## 5 Conclusões e as implicações para a política

A presente investigação analisou os impactos dos investimentos em infraestrutura e dos fundos setoriais de Ciência e Tecnologia (CT-AGRONEGÓCIO) no crescimento da produtividade da agricultura entre os Estados, conforme o estágio de desenvolvimento de cada economia. Com o intuito de confirmar as hipóteses do modelo teórico, cons-

truiu-se um modelo econométrico baseado na metodologia de estimação conhecida como Método dos Momentos Generalizados – GMM, em razão do potencial grau de endogeneidade entre os regressores. Os instrumentos adotados atenderam aos critérios de validade instrumental, permitindo boa qualidade assintótica dos parâmetros estimados. As estimativas do modelo revelaram que, nos Estados situados próximos da fronteira tecnológica, os investimentos do fundo CT-AGRO são responsáveis por maior crescimento da produtividade em relação àqueles mais “atrasados”. Em direção oposta, os investimentos em infraestrutura são relativamente mais importantes no aumento da produtividade para os Estados mais afastados da fronteira. Esse comportamento mostra que os investimentos apresentam padrões de complementaridade, garantindo uma convergência entre os Estados quando o planejamento estatal incorpora a influência dos diferentes estágios de desenvolvimento na alocação adequada entre os recursos. Ante a limitação orçamentária do governo, a demanda por recursos nas economias mais afastadas é consideravelmente mais crítica graças às barreiras impostas por um desenvolvimento assimétrico.

As economias da fronteira apresentam notória diferença em suas taxas de crescimento em relação aos seguidores da tecnologia (economias mais afastadas da fronteira). Tal controvérsia revela a dualidade do sistema econômico, no qual a proximidade dos estágios de desenvolvimento, por meio do grau de distância em relação à fronteira, corrobora com a hipótese do “paradigma schumpeteriano” (Rocha, 2011). Esse paradigma pode ser representado por consequências, tanto positivas quanto normativas da análise econômica. Uma análise positiva implica a possibilidade de padrões de crescimento cíclico, representado pelo processo com que as novas técnicas tornam as atuais tecnologias “obsoletas”, aproximando-se do conceito de *destruição criadora* de Schumpeter

(1943). Já a análise normativa corresponde às externalidades positivas das inovações correntes às futuras pesquisas e ao próprio desenvolvimento, que também pode ser representado pelos efeitos negativos da entrada de novos *incumbentes* ou pela distorção de determinada política. Esse efeito, característico do padrão tecnológico *Mark Schumpeter II*,<sup>25</sup> introduz a possibilidade de o crescimento ser limitado nas condições de *laissez-faire*, tornando uma difícil compreensão da estrutura econômica nos modelos de concorrência perfeita (Aghion; Howitt, 2009). Assim, para entender as diferentes trajetórias tecnológicas, é preciso resgatar, para dentro da investigação, o desenho da estrutura cuja tecnologia molda o desenvolvimento e vice-versa. Essa compreensão é fundamental para entender como o desenvolvimento ocorre e se projeta dentro da agricultura brasileira.

## Notas

<sup>1</sup> Neste problema, tanto a função de produção quanto a função de utilidade instantânea são estritamente côncavas garantindo que o hamiltoniano também seja. Isso permite a unicidade do máximo global em  $W[n_t, r_t, \lambda]$ . Para demonstrações rigorosas, veja as *Condições de Suficiência de Mangasarian* em: Mangasarian (1966), Caputo (2005, p.53-55; p.94-95) e Acemoglu (2009, p.236-239).

<sup>2</sup> Caputo (2005) sugere uma forma alternativa, mas equivalente para as condições de transversalidade:  $\lim_{t \rightarrow \infty} e^{-\rho t} \lambda_A [A_t - A^*] \geq 0$  e  $\lim_{t \rightarrow \infty} e^{-\rho t} \lambda_S [S_t - S^*] \geq 0$ , onde as variáveis com asterisco representam os níveis de estado-estacionário. Esse artifício é definido quando as condições de convergência para o estado-

estacionário não estão bem definidas nas funções de controle e de dinâmica de Estado.

<sup>3</sup> A condição de transversalidade é dada pela solução da equação diferencial, que determina a trajetória da variável co-estado:

$$\lambda_A(t) = \lambda_A(0) \cdot \exp$$

$$\left\{ - \int_0^t \left[ f(\gamma - 1) \Psi r_t^{\frac{\delta}{1-\alpha}} - \rho \right] dt \right\}$$

Substituindo na equação de transversalidade e simplificando, assumindo que  $\lambda_A(0) > 0$ , uma vez que  $u'(c(0)) > 0$  e  $\Phi(\gamma - 1) \neq 0$  (primeira equação das condições de otimização em (19.a)), temos a seguinte modificação na condição de transversalidade,

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \left[ A_t \cdot \exp \left\{ - \int_0^t \left[ \Phi(\gamma - 1) \Psi r_t^{\frac{\delta}{1-\alpha}} \right] dt \right\} \right] = 0.$$

<sup>4</sup> No próximo capítulo, esse debate será novamente abordado de acordo com o estágio de desenvolvimento da economia.

<sup>5</sup> Essas conclusões reafirmam a aplicação teórica de um modelo com degradação ambiental proposto por Acemoglu et al.(2012).

<sup>6</sup> Segundo Lee (2000), existem três estágios de desenvolvimento: o estágio da imitação, o estágio da internalização e o estágio da criação.

<sup>7</sup> Caso a economia falhe em mudar de política, a economia pode ser conduzida para uma armadilha com elevados custos de oportunidade para as práticas de inovação. Isso porque a parcela dos lucros que deveria ser remetida para as atividades de P&D inovadora passa a ser alocada para o financiamento de práticas improdutivas como a corrupção e o lobby político (Aghion; Howitt, 2009).

<sup>8</sup> Gastos em Infraestrutura = (1)+(2)+(3)+(4)+(5)+(6)+(7).

<sup>9</sup> Disponível no site: <[http://www.tesouro.fazenda.gov.br/estados\\_municipios/](http://www.tesouro.fazenda.gov.br/estados_municipios/)>.

<sup>10</sup> Esta importante variável mostra a distribuição da área total destinada ao plantio de culturas temporárias. Desta forma, o aumento da área plantada visa compreender os impactos no aumento da produtividade da agricultura, levando em consideração a disponibilidade de áreas para futura expansão.

<sup>11</sup> Outra maneira de calcular a produtividade seria considerando o método do resíduo de Solow com base em uma função de produção:  $Y = K^\alpha (AL)^\alpha$ . Essa técnica permitiu a construção de várias metodologias – calibragem da produtividade valendo-se de valores específicos em , método DEA, análise de fronteira estocástica, etc. Contudo, em todos os métodos, importantes restrições são feitas na construção do modelo, destacando: estruturas de mercado perfeitamente competitivas, ausência de externalidades tecnológicas e da pesquisa, falta de arranjos institucionais regulatórios, inexistência de custos de oportunidade da pesquisa e dos talentos locais, dentre outras limitações. Essa restrição não se ajusta ao “paradigma da tecnologia”, especialmente quando consideramos a influência dos estágios de desenvolvimento na construção de trajetórias tecnológicas, vice-versa (Aghion; Howitt, 2009).

<sup>12</sup> A princípio, precisamos fazer inferências sobre o sinal dos parâmetros, admitindo que, estritamente falando,  $\beta_j > 0$ . Isso porque, à medida que a economia se aproxima da fronteira, os recursos necessários para execução de estratégias voltadas para a inovação vão apresentando importância relativamente maior, o que torna a aplicação de recursos de P&D inovadora mais eficiente

em relação às economias mais atrasadas (Aghion; Howitt, 2009).

<sup>13</sup> Este cenário se aproxima do regime tecnológico Mark Schumpeter I em Malerba e Orsenigo(1996) e Malerba (2004).

<sup>14</sup> Visto de outra forma, podemos definir a covariância com base em reformulação em ME.1:

$$\ln A_{it} = \alpha + \gamma L_{it} + W'_{it-1} \beta + \omega_{it} \cdot \omega_{it} \equiv \mu_i + \delta_j + \tau_t + \varepsilon_{it}.$$

Assim, temos que  $cov(L_{it}, \omega_{it}) = 0$  e  $cov(w'_{it-1}, \omega_{it}) = 0$ , para algum j. Para garantir a consistência dos parâmetros a serem estimados,  $\gamma e \beta$ , as condições de igualdade precisam estar satisfeitas. Contudo, sabe-se que uma parcela considerável dos fundos está vinculada à distribuição geográfica dos recursos, especificamente para as regiões Norte e Nordeste, o que contraria essa especificidade. Logo, movimentos sistemáticos no erro estocástico agrupado ( $\omega_{it}$ ) seriam acompanhados de mudanças em alguns dos regressores  $w'_{it-1}$ . Ademais, como estamos analisando os impactos de determinados gastos públicos em melhorias subsequentes na produtividade, estamos considerando que informações defasadas em alguns dos regressores estão contidas em , conduzindo a outro problema de endogeneidade. Para contornar esses “malefícios” estatísticos, é mais prudente admitir a hipótese de  $cov(w'_{it-1}, \omega_{it}) \neq 0$ . Caso  $cov(L_{it}, \omega_{it}) \neq 0$ , testes

estatísticos vão confirmar, por meio da sua inclusão como parte dos instrumentos (instrumentos incluídos), a violação da ortogonalidade com a perturbação estocástica, ratificando um sério erro de especificação.

<sup>15</sup> Para um detalhamento maior acerca dessa metodologia, veja Bound, Jaeger e Baker (1995).

<sup>16</sup> O teste tradicional de correlação canônica de Anderson (1984) não é robusto quanto à heterocedasticidade e à autocorrelação, resultando em interpretações tendenciosas. Mais à frente, será apresentado um procedimento de estimação robusto quanto às violações de pressuposto estatístico. Para isso, será adotada a estatística de posto de Kleibergen e Paap (2006).

<sup>17</sup> Em inglês *Generalized Method of Moments* (GMM). Para mais detalhes sobre esse tema, ver Hayashi (2000) e Baum, Schaffer e Stillman (2003).

<sup>18</sup> Além dos regressores serem ortogonais à perturbação estocástica, logo no caso em questão,  $cov(w'_{it-1}, \varepsilon_{it}) = 0$  para algum j, o que é inviável considerando as restrições do modelo. A equação na forma  $y = X\beta + Y\gamma + \varepsilon$  é estimada por mínimos quadrados ordinários, onde o vetor Y corresponde a  $\hat{y}$ .

<sup>19</sup> Os erros de especificação podem ter diversas origens, tais como: a omissão de variáveis relevantes, forma funcional incorreta, erros

de mensuração nos regressores, causalidade reversa, inclusão de valores defasados da variável dependente quando os resíduos têm correlação serial, dentre outros fatores.

<sup>20</sup> Conforme o teste de Pagan e Hall (1983), no modelo tradicional de regressão linear, (a)  $y = X\beta + u$ , o componente do erro inclui os instrumentos correlacionados com os regressores endógenos,  $u = Z\gamma + \varepsilon$ . Assim, os valores preditos da variável dependente são obtidos através da reformulação (b)  $y = X\beta + Z\gamma + \varepsilon \rightarrow \hat{y} = X\hat{\beta} + Z\hat{\gamma}$ . Se em (a) for corretamente especificado, logo é estatisticamente igual a zero.

<sup>21</sup> No caso da estatística de Pesaran e Taylor (1999), a “previsão ótima” do preditor  $\hat{y}$  é definida como  $\hat{y} \equiv \hat{X}\hat{\beta}$ , onde  $\hat{\beta}$  é obtido pelo método GMM e  $\hat{X} \equiv [Z\hat{\theta}, Z_2]$  ou seja, a forma reduzida dos valores preditos dos regressores endógenos mais os regressores exógenos (instrumentos excluídos). Se a equação for exatamente identificada, os testes serão idênticos.

<sup>22</sup> Como candidatas a instrumentos, teríamos o número de projetos aprovados em cada Estado por fundo distribuído. Contudo, não seriam bons (baixa correlação), no sentido de que muitos projetos apresentam cronogramas de execução diferentes entre si, de forma que a distribuição dos

recursos não é explicada pelo número total de projetos. Poucos projetos absorvem grande parte dos recursos e vice-versa. Para contornar esse efeito, optou-se pelo valor com dupla defasagem dos valores, uma vez que, em muitos Estados, especialmente os das regiões Norte e Nordeste, os recursos possuem limitações orçamentárias previamente definidas, como cota mínima de proporção para tais regiões. Neste sentido, sabe-se que essas cotas mínimas ocorrem como forma de compensar as diferenças entre as regiões, o que novamente demanda como instrumento o coeficiente de proximidade com a fronteira.

<sup>23</sup> Este fato confirma os resultados apresentados no estudo proposto por Aghion, Alesina e Trebbi (2008).

<sup>24</sup> Disponível em: <<http://www.mct.gov.br>>.

<sup>25</sup> Para mais detalhes sobre os regimes tecnológicos, ver Malerba (2004).



## Referências

- ACEMOGLU, D. *Introduction to modern economic growth*. UK: Princeton University Press, 2009.
- ACEMOGLU, D.; AGHION, P.; BURSZTYN, B.; HEMOUS, D. The environmental and directed technical change. *American Economic Review*, v. 102, n. 1, p.131-166, 2012.
- AGHION, P.; HOWITT, P. *Endogenous Growth Theory*. Cambridge, MA: MIT Press, 1998.
- AGHION, P.; HOWITT, P. *The economics of growth*. Cambridge, MA: MIT Press, 2009.
- AGHION, P.; ALESINA, A.; TREBBI, F. Democracy, technology and growth. In: HELPMAN, E., (Ed.). *Institutions and Economic Performance*. (p. 511-543). Cambridge: Harvard University Press, US, 2008.
- ANDERSON, T. W. *Introduction to multivariate statistical analysis*. 2<sup>nd</sup> ed. New York: John Wiley & Sons, 1984.
- BAUM, C. F., SCHAFFER, M. E.; STILLMAN, S. Instrumental variables and GMM: Estimation and testing. *Stata Journal*, 3, p. 1-31, 2003.
- BOND, S.; HOEFFLER, A.; TEMPLE, J. *GMM estimation of empirical growth models*. University of Oxford, Institute for Fiscal Studies, 2001.
- BOUND, J.; JAEGER, D. A.; BAKER, R. M. Problems with instrumental variables estimation when the correlation between the instruments and the endogeneous explanatory variable is weak. *Journal of the American Statistical Association*, v. 90, n. 430, p. 443-450, June 1995.
- CAPUTO, M. R. *Foundations of dynamic economic analysis*. New York, NY: Cambridge University Press, 2005.
- DOSI, G.; MARENGO, L.; PASQUALI, C. How much should society fuel the greed of innovators? On the relations between appropriability, opportunities and rates of innovation. *Research Policy*, Elsevier, v. 35, n. 8, p. 1110-1121, 2006.
- DURLAUF, S. N.; JOHNSON, P. A.; TEMPLE, J. R. W. Growth econometrics. *Handbook of economic growth*, v. 1, p. 555-677, 2005.
- GASQUES, J. G. et al. *Desempenho e crescimento do agronegócio no Brasil*. Brasília: Ipea (Texto para Discussão, n. 1.009), 39, p. 2004.
- GROSSMAN, G.M.; HELPMAN, E. Endogenous innovation in the Theory of Growth. *The Journal of Economic Perspectives*, v. 8, n. 1, p. 23-44, 1994.
- HANSEN, L. P. Large sample properties of generalized method moments estimators. *Econometrica*, 50, p.1029-1054, 1982.
- HAYASHI, F. *Econometrics*. Princeton: Princeton University Press, 2000.
- HIGH-LEVEL PANEL ON GLOBAL SUSTAINABILITY. *Resilient people, resilient planet: A future worth choosing*, Overview. New York: United Nations, 2012.
- HSIAO, C. *Analysis of Panel Data*. Cambridge MA: Cambridge University Press, 2003.
- KLEIBERGEN, F.; PAAP, R. Generalized reduced rank tests using the singular value decomposition. *Journal of Econometrics*, Elsevier, v. 133, n. 1, p. 97-126, July 2006.
- LEE, W. Y. The role of science and technology policy in Korea's industrial development. In: KIM, L.; NELSON, R. R. *Technology learning and innovation: Experiences of newly industrializing economies*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
- MALERBA, F. *Sectoral systems of innovations: Concepts, issues and analyses of six major sectors in Europe*. Cambridge: Cambridge University Press, 2004.
- MALERBA, F.; ORSENIGO, L. Schumpeterian patterns of innovation are technology-specific. *Research policy*, v. 25, n. 3, p. 451-478, 1996.
- MANGASARIAN, O. L. Sufficient conditions for the optimal control of nonlinear systems. *SIAM Journal of Control*, 4, p.139-152, 1966.
- MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia. *Fundos setoriais*. (tabulações especiais). Brasília, 2009.
- PESARAN, M.; TAYLOR, Larry W. Diagnostics for IV regressions. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, v. 61, n. 2, p. 255-281, 1999.
- RAMSEY, J. B. Tests for specification errors in classical linear least-squares regression analysis. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, p. 350-371, 1969.
- ROCHA, L. A. *Crescimento, fronteira tecnológica e a hipótese da relatividade do capital humano*. 2011. 145 p. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Econômico) – Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011. (mimeo)

ROCHA, L. A.; SILVEIRA, J. M. F. J.  
Fronteira tecnológica, políticas  
públicas e o crescimento  
dos Estados brasileiros. In:  
ENCONTRO NACIONAL DE  
ECONOMIA. 37., 2009, Foz do  
Iguaçu. *Anais...*; Rio de Janeiro:  
ANPEC, 2009.

SALA-I-MARTIN, X. *The Global  
Competitiveness Index*. The Global  
Competitiveness Report 2011–  
2012. World Economic Forum,  
Geneva: Switzerland, 2011.

SCHUMPETER, Joseph A.  
Capitalism in the postwar world.  
In: Harris, S.F. *Postwar Economic  
Problems*. New York and London:  
McGraw, 1943.

UNCCD (2012). *Zero Net land  
degradation: A sustainable  
development goal for Rio+20*.  
UNCCD Secretariat Policy Brief,  
May, 2012.

VIEIRA FILHO, J. E. R. *Políticas  
Públicas de Inovação no Setor  
Agropecuário: Uma avaliação dos  
fundos setoriais*. Brasília: Ipea  
(Texto para Discussão, n. 1.722),  
2012. 30 p.

E-mail de contato dos autores:

leonardoandrocha@yahoo.com.br  
saeed@ufc.br  
pvpslima@gmail.com

Artigo recebido em maio de 2014 e  
aprovado em setembro de 2014.

