

## LEI DE VERDOORN LOCAL PARA A AGRICULTURA

**Eduardo Simões de Almeida**  
**Universidade Federal de Juiz de Fora**  
[eduardo.almeida@ufjf.edu.br](mailto:eduardo.almeida@ufjf.edu.br)

### RESUMO

Do ponto de vista regional, a agricultura brasileira é muito diversificada e heterogênea por causa de diferenças em fatores econômicos e climáticos. É importante avaliar se relações, tais como retornos de escala e efeitos de *catch-up*, são estacionárias através das microrregiões no período de 1993 a 2003. Para isso, elabora-se a equação de Verdoorn local para a produtividade agrícola, incorporando teoricamente idéias da nova geografia econômica. Metodologicamente, adota-se a abordagem das regressões ponderadas geograficamente (RPG) por meio de modelos econométrico-espaciais locais. Os principais resultados revelam que existem tanto retornos crescentes de escala quanto efeitos de *catch-up* em termos globais e locais para a agricultura. Ademais, a dependência espacial foi representada por um modelo de defasagem espacial local.

**PALAVRAS-CHAVE:** lei de Verdoorn local; regressões ponderadas geograficamente; produtividade agrícola.

**CÓDIGO JEL:** R11, C21, Q10

### ABSTRACT

From a regional point of view, the Brazilian agriculture is very diversified and heterogeneous because of differences in economic and climatic factors. It is important to evaluate if relationships, such as returns to scale and catch-up effects, are stationary across microregions over the period 1993-2003. To do this, local Verdoorn's equation is elaborated for the agricultural productivity, incorporating theoretically ideas from new economic geography. Methodologically, the approach of geographically weighted regressions (GWR) is adopted by means of local spatial econometric models. The main findings reveal that there are both increasing returns to scale both *catch-up* effects in global and local terms for agriculture. Furthermore, the spatial dependence was represented by a local spatial lag model.

**KEY WORDS:** local Verdoorn's law; geographically weighted regressions; agricultural productivity.

**JEL CODE:** R11, C21, Q10

**ÁREA ANPEC:** área 9 – Economia Regional e Urbana

## LEI DE VERDOORN LOCAL PARA A AGRICULTURA

### 1. INTRODUÇÃO

As mudanças políticas que ocorreram na década de 1990, tais como a maior abertura externa, a desregulamentação dos mercados e as novas políticas públicas para o setor agrícola fizeram com que este setor passasse a operar dentro de uma estrutura mais competitiva. Desse modo, tais mudanças expuseram o setor a mais concorrência, tanto interna como externamente. Isso levou a uma tendência geral de aumento de produtividade agrícola e redução de custos (REZENDE, 2003).

Principalmente ao longo das últimas três décadas, a agricultura brasileira teve grandes ganhos de produtividade pela montagem bem sucedida de um aparato de pesquisa agropecuária que abrange o sistema Embrapa, as universidades brasileiras e institutos agrônômicos espalhados pelo país. Cabe notar que esse sistema tem uma estrutura regionalizada, sendo que o exemplo mais ilustrativo é a organização da própria Embrapa.

Nesse sentido, tal estrutura regionalizada está em consonância com o que McCunn e Huffman (2000) observam como uma importante implicação para o planejamento de pesquisas regionais que é o fato de que investimentos públicos em pesquisas agrícolas devem ser feitos de forma regional, pois, neste caso, o efeito de transbordamento é maior. Em outros termos, a instalação de um centro de pesquisas em um determinado local causa um efeito de transbordamento tecnológico entre as fazendas, proporcionando maiores ganhos de escala no que diz respeito ao aumento da produtividade. Desse modo, a tecnologia é expandida entre as regiões de maneira mais eficiente e equânime.

A tabela 1 exibe a evolução da produtividade média agrícola no Brasil e nas unidades da federação ao longo de alguns sub-períodos selecionados, cobrindo o ano de 1991 até 2003. Esse intervalo de tempo testemunhou vários eventos que marcaram indelevelmente o desenvolvimento agrícola no Brasil, tais como a abertura econômica, a estabilização dos preços, a apreciação cambial (1994-1999) e a posterior depreciação cambial (a partir de fevereiro de 1999) que acarretou a expansão extraordinária das exportações, impulsionada também pela expansão do crescimento econômico do mundo. Com referência a esses eventos, os sub-períodos foram definidos.

**Tabela 1 - Variação Percentual da Produtividade Média agrícola em sub períodos**

	1991/94	1995/99	2000/03	1991/2003
BRASIL	5,00	8,31	7,81	29,33
Acre	-14,27	6,05	-1,55	-11,01
Alagoas	14,42	17,99	8,48	47,63
Amapá	-9,53	10,47	-6,17	-17,26
Amazonas	0,26	37,19	-29,85	-14,32
Bahia	2,86	7,74	-4,99	4,52
Ceará	-19,54	7,02	-10,16	-15,03
Distrito Federal	-3,15	13,26	0,48	32,31
Espírito santo	20,17	25,90	-2,38	37,44
Goiás	7,30	34,22	9,24	81,52
Maranhão	-4,04	-14,64	5,34	-9,39
Mato Grosso	12,77	17,73	22,72	84,19
Mato Grosso do Sul	13,82	17,44	86,83	165,22
Minas Gerais	-2,55	10,15	12,69	31,89
Para	0,02	14,08	-11,31	-0,30
Paraíba	-24,02	-13,61	19,40	-3,67
Paraná	35,52	13,87	19,65	87,98
Pernambuco	-14,47	-14,79	19,14	1,16
Piauí	-35,23	-16,46	0,04	-34,93
Rio de Janeiro	-2,52	11,36	2,14	16,75
Rio Grande do Norte	-16,74	-10,69	11,90	8,88
Rio Grande do Sul	33,55	-0,32	9,50	60,26
Rondônia	-1,04	-34,18	15,57	-24,89
Roraima	-9,70	9,62	12,51	18,19
Santa Catarina	17,73	6,58	10,61	28,93
São Paulo	19,64	10,10	6,91	50,53
Sergipe	-15,44	1,45	9,41	-13,71
Tocantins	7,27	13,38	-18,76	5,62

Fonte: IBGE

No período de 1991 a 2003, os maiores crescimento da produtividade ficaram com os Estados pertencentes à fronteira agrícola: Mato Grosso do Sul (165%), Mato Grosso (84%) e Goiás (82%). A taxa de crescimento médio brasileiro situou-se em 29%. O Estado de São Paulo aparece com destaque, registrando um aumento no período de mais de 50%, sobretudo em decorrência da expansão da produção de cana-de-açúcar e de cítricos. O Estado que apresentou o pior desempenho foi o Piauí, com redução de mais de 34%.

O exposto acima permite, de maneira sucinta, mostrar a importância da produtividade para o setor agrícola e este para a economia brasileira. Tal tema foi explorado ultimamente pela análise de convergência da produtividade numa adaptação da discussão de convergência da renda, tema para o qual existe um grande número de trabalhos empíricos que tratam dessa questão. O fundamento teórico para a análise de convergência, como proposto por Baumol (1986) e por Barro e Sala-i-Martin (1995), é derivado do modelo de Solow (1956), cujos pressupostos principais são retornos constantes de escala e a homogeneidade da tecnologia através do espaço. Por meio de seu modelo, Solow demonstra que existe uma tendência de convergência absoluta da renda per capita para o estado estacionário e, para isso, as regiões pobres precisam crescer mais rapidamente que as regiões ricas. Se a variável de convergência for a produtividade, as regiões com menor produtividade tenderiam a crescer mais aceleradamente até atingir o estado estacionário.

Com base nesse tipo de análise, existem alguns trabalhos sobre convergência da produtividade na literatura internacional, tais como Lusigi e Thirtle (1998), Suhariyanto e Thirtle (2001), Mukherjee e Kuroda (2003) e McLearn e Wu (2003). Entre os artigos relacionados ao tema publicados no Brasil, destacam-se o trabalho de Lopes (2004) e Almeida *et al.* (2006). Em Lopes (2004), analisa-se a evolução da produtividade da terra das 11 principais culturas brasileiras, avaliando o processo de convergência tanto absoluta quanto condicional dessa variável entre os estados produtores no período

de 1960 a 2001. Em Almeida *et al.* (2006), analisa-se a convergência absoluta espacial da produtividade agrícola da terra para as microrregiões brasileiras entre o período de 1991 a 2003, detectando a existência de convergência, mas em ritmo muito lento.

A análise de convergência, na sua versão absoluta ou condicional, é útil, mas não capta vários aspectos relevantes sob uma perspectiva da análise regional empírica das atividades econômicas. Um dos princípios da economia regional é de que existem economias internas e externas de escala. Tais economias, ao lado de outras forças centrípetas, levam ao fenômeno da aglomeração (*clustering*) das atividades econômicas no espaço.

Assim sendo, os modelos de convergência baseados na produtividade são limitados em conseguir capturar outros aspectos relevantes para a teoria do crescimento endógeno (ROMER, 1990 e LUCAS, 1988) e da nova geografia econômica (FUJITA *ET AL.*, 1999; KRUGMAN, 1991), tais como progresso técnico endógeno, retornos crescentes de escala, processo de *catch-up*, externalidades e efeitos espaciais.

Contudo, adotar como um dos referenciais teóricos a nova geografia econômica levanta desafios, uma vez que se revela difícil construir modelos empíricos a partir dessa teoria por conta da sua abstração (FINGLETON, 1999). Mesmo um dos autores mais destacados desta corrente, Paul Krugman, reconhece tal falha (KRUGMAN, 1998).

A abordagem da Lei de Verdoorn é um caminho promissor de se montar um arcabouço teórico que leve em conta aspectos importantes para a economia regional e agrícola e que permita o confronto da teoria com o mundo empírico. A Lei de Verdoorn estabelece uma relação linear positiva entre a produtividade e a produção, conforme desenvolvido em um conjunto de estudos (FINGLETON, 2004a; FINGLETON, 2004b; FINGLETON e McCOMBIE, 2001).

A Lei de Verdoorn tem uma versão estática em que tal relação entre as variáveis é posta em termos de nível, bem como uma versão dinâmica em que a relação entre as variáveis é medida em termos de taxa de crescimento. O fundamento teórico para essa Lei repousa no fato de que o crescimento da produção engendraria transformações na estrutura produtiva e na composição da demanda que induziriam a introdução de novos processos de produção e novos produtos gerando, com isso, ganhos de produtividade (MARINHO *et al.*, 2002, p. 459).

Uma outra fundamentação teórica dessa relação empírica, proposta por Kaldor (1975), é que as atividades industriais estão sujeitas a tecnologias que proporcionam retornos crescentes de escala, internos e externos (economias de aglomeração). Assim, o aumento dos fatores de produção em certa proporção provoca um aumento numa proporção maior ainda da produção, fazendo com que a produtividade cresça.

Evidentemente, a formulação da Lei de Verdoorn original é muito simples para conseguir explicar todos os determinantes da produtividade. Por isso, é preciso ampliar o seu escopo, introduzindo componentes em sua equação básica, como será efetuado em seções posteriores deste trabalho.

Por fim, é preciso controlar para os efeitos espaciais (dependência espacial e heterogeneidade espacial),<sup>1</sup> cuja presença é esperada no setor agrícola, e se não levados em consideração, acarretam graves danos para a inferência estatística, tais como a inconsistência das estimativas dos coeficientes das regressões, inviabilizando recomendações de políticas públicas.

Não é difícil perceber que a agricultura é muito sensível aos efeitos espaciais. Ao contrário da análise da convergência da produtividade que assume que a tecnologia é a mesma em todas as regiões, a abordagem da Lei Dinâmica de Verdoorn procura relaxar esse pressuposto, permitindo que haja diferenciação tecnológica entre as regiões, bem como a difusão da tecnologia que daí é advinda. O

---

<sup>1</sup> Para maiores informações sobre a metodologia da econometria espacial, ver Anselin (1988), Anselin e Bera (1998) e LeSage (1999).

desenvolvimento das culturas agrícolas através do espaço é baseado numa estrutura muito heterogênea, pois depende de diferentes técnicas de produção, condições de climas, solo e topografia.

Em segundo lugar, vinculado diretamente ao progresso tecnológico, existem as externalidades que emergem das interações inter-regionais. É pouco provável que uma região seja capaz de internalizar todas as externalidades espaciais provenientes do avanço tecnológico dentro dos seus limites geográficos. Por outro lado, os efeitos de interdependência nas diferentes regiões produtoras manifestam-se de diversas formas, tais como a difusão espacial de certos fenômenos que influenciam os vizinhos, processos de competição espacial no âmbito da expansão da fronteira agrícola ou na formação de cinturões agrícolas.

Fingleton (2004a) usa a metodologia da econometria espacial tradicional para controlar os efeitos espaciais. Este trabalho pretende usar a metodologia das regressões ponderadas geograficamente (RPG) com dependência espacial para fazer o controle local destes efeitos, que se propugna mais apropriada. Para isso, são desenvolvidos o modelo de defasagem espacial local, o modelo de erro espacial local e o modelo cruzado regressivo espacial local. Esses modelos conseguem tratar tanto a heterogeneidade espacial extrema dos coeficientes das variáveis explicativas quanto a dependência espacial extrema, refletida na estimação local dos parâmetros, ou seja, um para cada região (unidade espacial).

Portanto, é elaborado um modelo empírico para investigar a produtividade agrícola brasileira sob a perspectiva da análise regional com base em aspectos abordados teoricamente pela nova geografia econômica, usando métodos quantitativos adequados para tal investigação. Por isso, propugna-se que a abordagem da lei dinâmica de Verdoorn local, a ser desenvolvida neste trabalho, é um avanço por incorporar esses elementos dentro do arcabouço da nova geografia econômica. As vantagens desta abordagem são claras, pois permitem levantar evidências empíricas da presença ou não de progresso técnico endógeno, retornos crescentes de escala, processo de *catch-up*, externalidades e do controle extremo dos efeitos espaciais.

Os principais resultados revelam que existem retornos crescentes para a agricultura brasileira tanto globalmente quanto localmente. Há, também, consideráveis efeitos de alcance (*catch-up*) tanto globalmente quanto localmente para a maioria das microrregiões. Ademais, a lei de Verdoorn local foi representada pelo modelo de defasagem espacial local.

Além desta seção eminentemente introdutória, o artigo está organizado do seguinte modo. Na próxima seção, é apresentado o modelo teórico subjacente à equação dinâmica de Verdoorn. Na terceira seção, expõe-se a metodologia de regressões ponderadas geograficamente (RPG) para o desenvolvimento da versão local da equação de Verdoorn. A quarta seção apresenta o banco de dados usado para a estimação da equação de Verdoorn local para a agricultura brasileira. A quinta seção exhibe os resultados econométricos e faz a sua discussão. Para a última seção, reservam-se as considerações finais, bem como recuperam-se as conclusões de relevo do artigo.

## 2. MODELO<sup>2</sup>

Para derivar a Lei de Verdoorn na sua versão dinâmica para a agricultura, considere uma função de produção Cobb-Douglas:

$$Q = A_0 \exp(\theta) F^\alpha T^\beta \quad (1)$$

---

<sup>2</sup> O desenvolvimento dessa seção está baseado no modelo alternativo da equação dinâmica de Verdoorn descrito em Fingleton e McCombie (1998), Fingleton e López-Bazo (2006), Fingleton (2001a, 2001b, 2004a e 2004b) e Martinho (2005).

na qual  $Q$  é o nível de produção agrícola,  $F$  é quantidade de um composto de fatores (trabalho e capital) e  $T$  é a quantidade do fator terra, ao passo que  $\alpha$  e  $\beta$  são as elasticidades. O fator  $\theta$  é o crescimento da produtividade total dos fatores, enquanto  $t$  representa o fator tempo.

Aplicando logaritmo natural, posteriormente diferenciando com relação ao tempo e fazendo os rearranjos apropriados, obtém-se a equação vinculando o crescimento da produtividade agrícola ( $p$ ) ao crescimento da produção ( $q$ ) e o crescimento do estoque dos outros fatores ( $f$ ):

$$p = \theta/\beta + ((\beta - 1)/\beta)q + (\alpha/\beta)f + v \quad (2)$$

em que  $v$  representa choques aleatórios.

Como dados regionais de fatores de produção não estão disponibilizados, outros que não área plantada e colhida, assume-se que a taxa de crescimento dos outros fatores ( $f$ ) é igual à taxa de crescimento da produção ( $q$ ).<sup>3</sup> Sob esse pressuposto, a equação (2) transforma-se em:

$$p = \theta/\beta + ((\alpha + \beta - 1/\beta))q + v \quad (3)$$

Essa última equação é a chamada Lei de Verdoorn dinâmica. Defina  $b_1$  como sendo:

$$b_1 = (\alpha + \beta - 1/\beta) \quad (4)$$

Se esse coeficiente for maior que zero, tem-se que  $\alpha + \beta > 1$  e, portanto, ocorrem retornos crescentes de escala. Se  $b_1$  for negativo, têm-se retornos decrescentes de escala. Um coeficiente nulo para  $b_1$  representa uma situação em que operam retornos constantes de escala. Esse termo é denominado de coeficiente de Verdoorn.

Dentro de uma perspectiva de análise regional empírica, deve-se ampliar o alcance da Lei Dinâmica de Verdoorn. Seguindo a teoria do crescimento endógeno, pode-se considerar, neste modelo, progresso técnico endógeno. Para isso, considere:

$$\theta = \theta' + \varphi q + \zeta \quad (5)$$

A equação (5) informa que o crescimento da produtividade total de fatores depende não apenas de um componente exógeno, mas também do crescimento da produção agrícola, além de choques aleatórios ( $\zeta$ ). Nesta equação,  $\varphi$  é o parâmetro de resposta de  $\theta$  para mudanças em  $q$ .

Substituindo (5) em (3), obtém-se:

$$p = \theta'/\beta + (\varphi + \alpha + \beta - 1/\beta)q + u \quad (6)$$

em que  $u = v + \zeta$ .

Será adotada neste artigo a especificação teórica denotada pela equação (3) em detrimento dessa especificação.

Pode-se incorporar outras variáveis para explicar a resposta da taxa de crescimento da produtividade agrícola ( $p$ ), especialmente aquelas representando a influência de políticas agrícolas. Chamando essas variáveis de  $Z$ , a equação (3) é reescrita como:

<sup>3</sup> Similarmente, Fingleton (2004a) assume, na sua adaptação para a equação dinâmica de Verdoorn, que a taxa de crescimento do capital é igual à taxa de crescimento da produção.

$$p = b_0 + b_1q + b_2Z + u \quad (7)$$

em que  $b_0 = \theta/\beta$  e  $b_1 = (\alpha + \beta - 1/\beta)$

Processos de difusão tecnológica ocorrem no espaço, fazendo com que regiões menos desenvolvidas em termos de produtividade busquem alcançar regiões mais desenvolvidas. Como na análise de convergência, é possível incluir a variável do nível de produtividade do início do período ( $P_0$ ):

$$p = b_0 + b_1q + b_2Z + b_3P_0 + u \quad (8)$$

Todavia, vale a pena tentar capturar com mais precisão a difusão tecnológica, tão presente na evolução da agricultura brasileira. Para acomodar mais precisamente essa dinâmica tecnológica, deve-se construir uma medida de *gap* de produtividade (FINGLETON, 2004a):

$$G_0 = 1 - (P_0/P_0^*) \quad (9)$$

em que  $P_0$  é o nível da produtividade da região no ano-base e  $P_0^*$  é o maior nível de produtividade no ano-base. Com  $G_0$  pode-se analisar se está ocorrendo um mecanismo de *catch-up* (alcance) tecnológico. De acordo com Fingleton (2000, p. 287), a variável de *catch-up* justifica-se pelo “pressuposto de que diferenças em tecnologia causam diferenças em crescimento da produtividade e que a difusão tecnológica para países com menores níveis iniciais de tecnologia causa um crescimento mais rápido”. Incluindo tal variável em (7), vem que:

$$p = b_0 + b_1q + b_2Z + b_3G_0 + u \quad (10)$$

Uma outra forma de expressar a diversidade tecnológica entre regiões, mesmo que indiretamente, é incorporar na equação *dummies* estaduais.

Falta, ainda, controlar a equação de Verdoorn para os chamados efeitos espaciais, ou seja, a dependência espacial e a heterogeneidade espacial. No entanto, antes de incluir componentes espaciais para capturar isso, é preciso apresentar a metodologia que permite controlar para a manifestação extrema dos efeitos espaciais na próxima seção.

### 3. METODOLOGIA

Esta seção procura construir modelos que possam controlar para os dois efeitos espaciais de tal sorte que tenha condições de acomodar a heterogeneidade espacial, relacionada à não-estacionariedade das relações, bem como a dependência espacial, vinculada à interação inter-regional. Em outros termos, o objetivo é elaborar a equação de Verdoorn local.

Para isso, será adotada a metodologia das regressões ponderadas geograficamente (RPG), desenvolvida a partir de um conjunto de trabalhos de Fotheringham, Brundson e Charlton. Originalmente, essa metodologia foi elaborada para tratar da heterogeneidade extrema, manifestada nos coeficientes na presença de não-estacionariedade das respostas das variáveis explicativas através do espaço. Assim, de acordo com Fotheringham *et al.* (2000, p. 108), o método RPG reconhece que é possível existir variações espaciais nas relações (não-estacionariedade), que se reflete em diferentes coeficientes, um para cada região  $i$ .

Fotheringham *et al.* (2002) admitem que o método incorpore a dependência na forma de defasagem espacial. Para acomodar outras formas de dependência espacial extrema, o que será feito

neste artigo é expandir o método RPG a fim de incorporar a dependência espacial na forma de erro auto-regressivo e na forma de transbordamentos espaciais das variáveis explicativas.

Para apresentar esta metodologia, considera-se, em primeiro lugar, o modelo de regressão linear clássico para dados espaciais em corte transversal da equação (10). Convém notar que  $b_k$  são coeficientes globais estimados, fornecendo uma resposta média das relações em análise, supostamente a mesma para qualquer região.

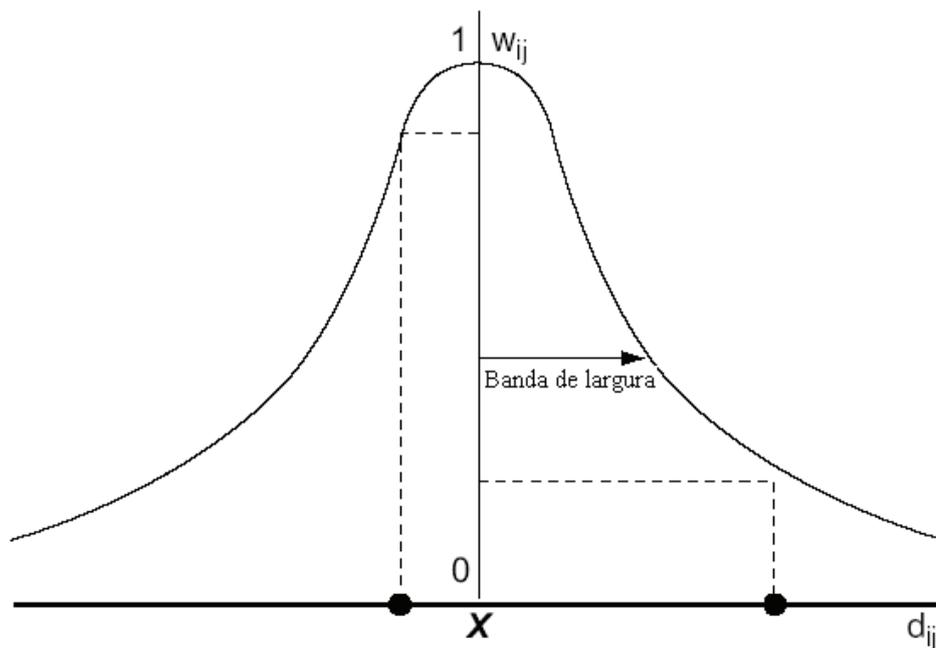
O modelo de regressão ponderada geograficamente é um desenvolvimento do modelo (10) para permitir que exista a estimação de coeficientes locais, refletindo a não-estacionariedade das respostas das variáveis explicativas. É especificado como:

$$p_i = b_0(u_i, v_i) + b_1(u_i, v_i)q_i + b_2(u_i, v_i)Z + b_3(u_i, v_i)G_{i0} + \varepsilon \quad (11)$$

em que  $(u_i, v_i)$  representa as coordenadas do ponto  $i$  no espaço e  $b_k(u_i, v_i)$  é a realização da função contínua  $b_k(u, v)$  no ponto  $i$ .

Em consonância com a lei de Tobler, o método RPG admite que os dados mais próximos do ponto da regressão têm uma probabilidade maior de influenciá-lo. Dessa forma, o modelo RPG pressupõe uma ponderação geográfica da estimação dos parâmetros da equação (11): cada observação da amostra é ponderada de acordo com a sua distância para o ponto em que se baseia a regressão. As observações mais próximas possuem um peso maior, ao passo que as observações mais distantes, um menor peso.

A largura da banda é um outro conceito importante na metodologia RPG. A largura da banda pode ser considerada como um parâmetro de suavização: quanto maior a banda, maior é a suavização dos coeficientes locais, pois mais observações serão usadas em volta do ponto de calibragem; por sua vez, quanto menor a banda, mais heterogeneidade nas respostas se terá, pois menos observações serão usadas ao redor do ponto de calibragem. A figura 1 mostra a representação gráfica desses conceitos.

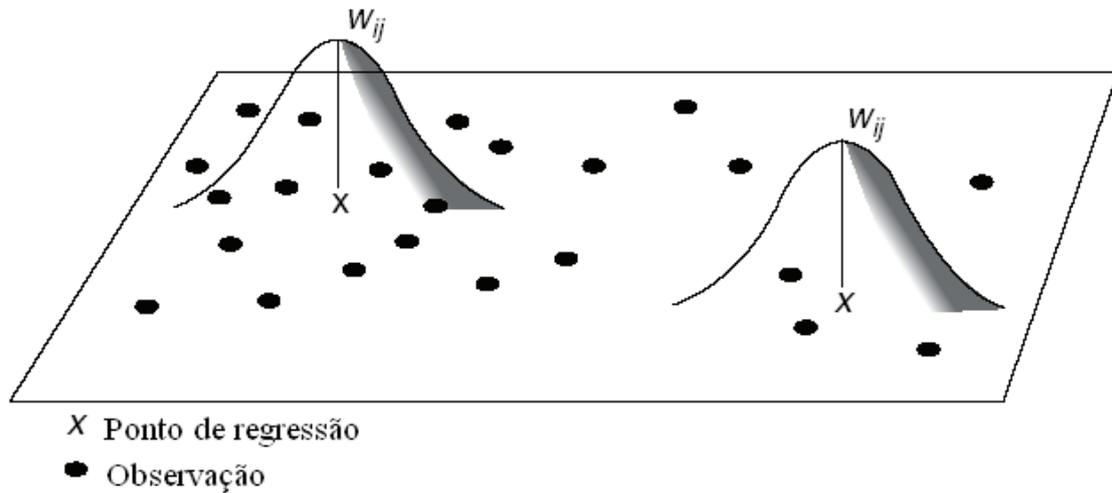


- X** Ponto de regressão     $w_{ij}$  É o peso da observação  $j$  no ponto de regressão  $i$   
**●** Observação             $d_{ij}$  É a distância entre o ponto de regressão  $i$  e a observação  $j$

Fonte: Fotheringham et al. (2002).

Tal ponderação é feita pelo kernel espacial. A figura 2 abaixo mostra como o kernel espacial opera:

Figura 2. O Kernel Espacial Fixo



Fonte: Fotheringham et al. (2002).

O kernel espacial fixo permite fazer a calibragem do modelo para  $n$  sub-amostras em torno do ponto de regressão  $i$ . Cada sub-amostra é definida pelo kernel espacial. Cabe frisar que a calibragem do modelo não necessariamente precisa ser feita com base em pontos de regressão que façam parte da amostra de dados. A calibragem pode ser feita para qualquer ponto definido no espaço pelas coordenadas  $(u_i, v_i)$ .

Com o kernel espacial fixo (ver figura 2), significando uma largura de banda também constante, pode redundar em certas sub-amostras, localizadas em regiões densas em dados, em levar em conta muitas observações para calibrar o modelo, podendo os coeficientes sofrerem de viés. Inversamente, o problema do kernel fixo em regiões em que os dados são escassos é de ineficiência: o kernel é menor do que precisava ser para calibrar apropriadamente os coeficientes locais, sendo usadas poucas observações e, por conseqüência, poucas informações (FOTHERINGHAM *ET AL.* 2002, p. 57).

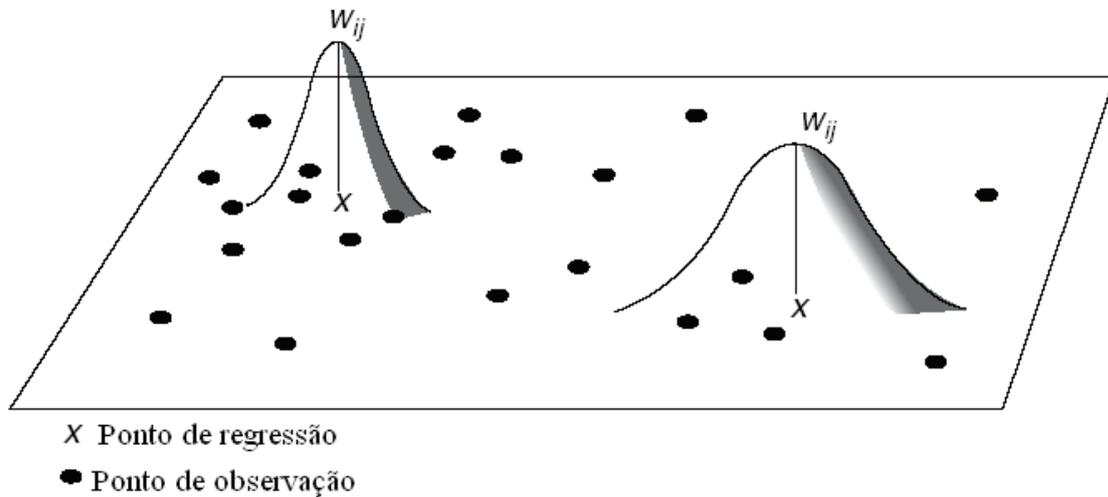
Esse é o problema com o kernel espacial de natureza fixa. Para contornar tal limitação, é preciso definir a função de ponderação espacial que gere um kernel adaptativo no sentido em que ele se expanda em áreas em que as observações sejam escassas e encolha em áreas em que as observações são abundantes, ou seja, regiões com alta densidade de dados.

Uma função de ponderação adaptativa é a função bi-quadrada definida como:

$$w_{ij} = \begin{cases} [1 - (d_{ij}/b)^2]^2 & \text{se } d_{ij} < b_i \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (12)$$

Até a distância crítica  $b_i$ , os pesos decaem conforme uma curva normal dada pela função gaussiana. Depois de  $b_i$ , os pesos não contribuem para calibrar os coeficientes locais da regressão. A largura da banda ( $b$ ) é definida de tal sorte que haja o mesmo número de observações em torno de cada ponto de regressão. A representação gráfica do kernel espacial adaptativo pode ser vista na figura 3.

Figura 3. O Kernel Espacial Adaptativo



Fonte: Fotheringham et al. (2002).

Consoante Fotheringham *et al.* (2002), o estimador de RPG é um estimador de mínimos quadrados ponderados (MQP), com a distinção de que os pesos não são fixos, mas modificam-se de acordo com a proximidade do ponto de regressão  $i$ , identificado pelas coordenadas  $(u_i, v_i)$ , como expresso na equação 12.

Até aqui é patente que a metodologia RPG logra êxito em acomodar o efeito espacial representado pela heterogeneidade espacial extrema, manifestada nos coeficientes (de intercepto quanto de inclinação). A pergunta que permanece, todavia, é: e quanto ao segundo efeito no espaço, a dependência espacial?

A metodologia RPG também pode aninhar os dois efeitos conjuntamente. A dependência espacial pode ser levada em conta tanto globalmente quanto localmente.

Se uma região passa por um avanço tecnológico vigoroso, muito raramente será capaz de internalizar todos os seus benefícios. Parte desses benefícios transbordará espacialmente para outras regiões, sobretudo as mais próximas ou as mais conectadas. Ademais, a interação inter-regional provocará efeitos do tipo vizinhança ou de imitação. Enfim, para se levar em conta os efeitos espaciais, é necessário incorporar diversos componentes espaciais manifestados na variável dependente, nas variáveis explicativas ou, ainda, no termo de erro.

Um primeiro caso de controle para efeitos espaciais é a situação em que a produtividade de uma região é influenciada pela produtividade das regiões vizinhas ou de seu entorno. Para ver isso, considere o seguinte modelo, incorporando a dependência espacial na forma da variável dependente defasada espacialmente dentro da metodologia RPG:

$$p_i = \rho(u_i, v_i)Wp_i + b_0(u_i, v_i) + b_1(u_i, v_i)q_i + b_2(u_i, v_i)Z + b_3(u_i, v_i)G_{i0} + \varepsilon \quad (13)$$

em que  $Wp_i$  é a variável dependente defasada espacialmente (neste caso, a média da taxa de crescimento da produtividade agrícola nos vizinhos) de acordo com uma matriz de pesos espaciais que define um arranjo a fim de que a interação inter-regional aconteça.<sup>4</sup> A defasagem espacial da produtividade,  $Wp$ , pode ser considerada a média da produtividade nas regiões vizinhas.

<sup>4</sup> Para maiores detalhes técnicos sobre matrizes de pesos espaciais, consulte Anselin (1988) ou LeSage (1999).

Duas observações precisam ser feitas a respeito da equação (13). O intercepto é estimado localmente,  $b_0(u_i, v_i)$ . O parâmetro espacial  $\rho$  fornece a informação a respeito do grau de autocorrelação espacial. Contudo, nesta especificação,  $\rho(u_i, v_i)$  é um coeficiente espacial estimado localmente. Em outros termos, para cada região  $i$ , tem-se a informação local de qual é a magnitude do valor de  $\rho$  e o seu sinal, positivo ou negativo. Esse é o único modelo econométrico-espacial local considerado em Fotheringham et al. (2002). São desenvolvidos, pioneiramente, dentro da abordagem de RPG, dois outros modelos econométrico-espaciais locais a seguir.

Em vez de ser a média da produtividade nos vizinhos, o efeito espacial pode se manifestar no termo de erro, caracterizando efeitos não-modelados (ou não-medidos) que estejam autocorrelacionados espacialmente. Assim, o modelo de erro espacial local pode ser expresso:

$$p_i = b_0(u_i, v_i) + b_1(u_i, v_i)q_i + b_2(u_i, v_i)Z + b_3(u_i, v_i)G_{i0} + \varepsilon \quad (14.1)$$

$$\varepsilon = \lambda(u_i, v_i)W\varepsilon + \xi \quad (14.2)$$

na qual permanece a mesma notação como antes, com exceção de que  $\lambda$  é o coeficiente espacial, estimado localmente, e o termo de erro ( $\xi$ ) é idêntica e independentemente distribuído (iid), com média zero e variância constante.

Um outro modelo é o regressivo cruzado espacial local, procurando investigar se existem transbordamentos da média das taxas de crescimento da produção, do *gap* de produtividade e de outras variáveis (política agrícola) dos vizinhos sobre a região:

Pode-se, assim, especificar o modelo RPG com dependência espacial na forma de transbordamentos espaciais locais para a equação dinâmica de Verdoorn:

$$p_i = b_0(u_i, v_i) + b_1(u_i, v_i)q_i + b_2(u_i, v_i)Z + b_3(u_i, v_i)G_{i0} + \tau_1(u_i, v_i)q_i + \tau_2(u_i, v_i)Z + \tau_3(u_i, v_i)G_{i0} + \varepsilon \quad (15)$$

em que  $Wx_{ik}$  são as variáveis independentes defasadas espacialmente segundo um critério de matriz de pesos espaciais.

Os coeficientes  $\tau_k$  são estimados localmente. Isso significa que para cada região há um coeficiente indicando o grau da dependência espacial referente ao transbordamento espacial de uma variável  $Wx_{ik}$  específica, dado por  $\tau_k(u_i, v_i)$ . Essa é uma informação que pode ser muito útil para a formulação de políticas públicas.

Nota-se que, na especificação da regressão, caso haja alguma justificativa teórica, algumas variáveis independentes espacialmente defasadas podem ser excluídas. Assim, os  $\tau_k$  associados a essas variáveis não serão estimados.

#### 4. DADOS

Este trabalho utiliza a base de dados gerada por intermédio do SIDRA (Sistema IBGE de Recuperação Automática), do qual se extraem informações referentes ao setor agrícola, oriundas da Pesquisa Agrícola Mensal (PAM), realizada pelo IBGE.

Devido à incompatibilidade de unidade de medida, já que a PAM não apresenta todos os dados referentes à produção total em toneladas, utilizou-se um conversor de unidade de medida para transformar as diversas unidades de medidas de grandeza (*i.e* mil cachos, mil frutos) para tonelada. Foi construído um indicador parcial de produtividade agrícola média da terra, formado pela razão entre a produção agrícola total (em tonelada) e a área plantada (em hectares) em nível de microrregião,

Um outro aspecto relevante é o período mais recente selecionado para a análise. Esse período recente pode ser considerado promissor para a agricultura em termos de expansão da produção e de obtenção de ganhos de produtividade. Sem sombra de dúvida, neste período, consolida-se a posição do País como um dos mais importantes e competitivos produtores agrícolas do mundo.

Como descrito anteriormente, é possível colocar variáveis de política agrícola ( $Z$ ) para explicar o crescimento da produtividade. Com esse intuito, é usada a variável de crédito rural, na modalidade para investimento, disponível no período de 1993 a 2003. Em virtude dessa disponibilidade do crédito rural, utilizam-se a produção agrícola total e a área plantada total para os anos de 1993 a 2003 por microrregião.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, serão regredidos os modelos para a equação de Verdoorn local, de acordo com os passos do seguinte procedimento:

- i) Em primeiro lugar, estima-se o modelo básico, representado pela equação (11), com apenas o controle para a heterogeneidade espacial dos coeficientes, pelo método dos mínimos quadrados ponderados.
- ii) Posteriormente, averiguam-se os resíduos para a presença de dependência espacial. Se não houver indicação de dependência espacial, considera-se o modelo básico para a equação de Verdoorn local como o mais apropriado e encerra-se o procedimento. Caso contrário, segue-se para o passo iii;
- iii) Regridem-se os modelos de defasagem espacial local (equação 13), de erro espacial local (equações 14.1 e 14.2) e de transbordamentos espaciais locais (equação 15) dentro da abordagem RPG;
- iv) Seleciona-se o melhor modelo pelo critério de informação AIC e averiguam-se os resíduos para checar a independência espacial.

Os resultados globais das regressões estão reportados na tabela 2. A equação de Verdoorn básico, denominada como regressão A, foi estimada e seus resultados encontram-se na segunda coluna. Dois resultados classificam esse modelo como insatisfatório. Primeiro, o valor do critério de informação é o mais elevado de todos os modelos estimados. Segundo, os resíduos desta regressão foram testados para dependência espacial, rejeitando-se a hipótese nula de que os resíduos são distribuídos aleatoriamente, com base na estatística de  $I$  de Moran.

Tabela 2. Resultados Globais da Estimação das Regressões Espaciais Locais

Coeficientes	Regressões			
	A	B	C	D
Constante	0,181	0,023	0,178	0,127
	12,444	1,160	12,759	6,481
q	0,147	0,119	0,141	0,135
	13,550	11,615	13,447	12,232
G0	0,037	0,024	0,041	0,067
	3,785	2,617	4,376	3,903
ci	-0,012	-0,007	-0,009	-0,010
	-2,042	-1,343	-1,576	-1,770
Wp		0,624		
		10,534		
Wε			0,890	
			6,838	
Wq				0,082
				4,109
WG0				-0,053
				-2,464
R <sup>2</sup> ajustado	0,281	0,400	0,335	0,303
AIC	176,940	76,935	133,686	161,276

Fonte: resultados da pesquisa.

Dando continuidade ao procedimento, foram estimadas três equações de Verdoorn local, incorporando dependência espacial em diversas formas. Regrediram-se o modelo de defasagem espacial local (regressão B da tabela 2), o modelo de erro espacial local (regressão C) e o modelo de transbordamentos espaciais locais (regressão D). Desses modelos, aquele que apresentou o mais baixo valor do critério de informação (76,94) foi o modelo de defasagem espacial local para a equação de Verdoorn (regressão B, apresentado na terceira coluna da tabela 2).

Ademais, foi averiguada, ainda, a presença de dependência espacial nos resíduos. Pelo teste I de Moran, não foi possível rejeitar a hipótese nula de que os resíduos são distribuídos aleatoriamente através do espaço. Assim, o modelo de defasagem espacial local para a equação de Verdoorn é considerado o mais apropriado.

Com base nesse modelo, é possível analisar os coeficientes globais estimados. O coeficiente de Verdoorn  $b_1$  que acompanha a variável da taxa de crescimento da produção agrícola ( $q$ ) tem sinal positivo (0,12) e revela-se altamente significativo, em termos estatísticos, em 1%. Por assumir um valor acima de zero, esse coeficiente indica a existência de retornos crescentes de escala na agricultura.

Como pode ser depreendido do coeficiente que acompanha a variável  $G0$ , existe um significativo efeito de *catch-up* na agricultura, ou seja, microrregiões que estão distantes da fronteira de produtividade no início do período (1993) apresentam uma elevada taxa de crescimento da produtividade ( $p$ ), tendendo a alcançar as regiões com os maiores níveis de produtividade.

O coeficiente da variável de política agrícola, introduzida no modelo, a saber, a taxa de crescimento do crédito para investimento agrícola, não se mostrou estatisticamente significativo no nível de 5%.

A variável dependente espacialmente defasada ( $Wp$ ), ou seja, a média da taxa de crescimento da produtividade agrícola nas microrregiões vizinhas, tem uma influência positiva sobre  $p$ .

Toda a análise prévia envolveu coeficientes globais estimados. A grande vantagem da metodologia RPG é prover coeficientes locais, isto é, reconhecer que as respostas de uma variável não precisam ser a mesma para todas as regiões (não-estacionariedade). Para verificar a hipótese da estacionariedade das relações representadas pelas variáveis da regressão B, adota-se o teste de Monte Carlo<sup>5</sup>, reportado na tabela 3.

Tabela 3. Teste de Monte Carlo para a Estacionariedade dos Parâmetros

Parâmetro	P-valor
Constante	0,000
q	0,070
G0	0,000
ci	0,270
Wp	0,580

Fonte: resultados da pesquisa.

Pela tabela 3, observa-se que se rejeita, em 1%, a hipótese nula de estacionariedade para os coeficientes da constante e para a variável do efeito *catch-up* ( $G0$ ). Assim sendo, existem evidências estatísticas de que os coeficientes que acompanham o efeito *catch-up* sejam locais. Mesmo não sendo um nível de significância convencional, pode-se rejeitar, em 10%, a hipótese de estacionariedade para a variável  $q$ . Assim, os coeficientes de Verdoorn,  $b_1$ , que acompanham essa variável - e que fornecem a informação dos retornos de escala - são locais.

A figura 4 exibe os coeficientes locais ( $b_2$ ) para o efeito de *catch-up* ( $G0$ ). Claramente, existem três faixas de efeitos de *catch-up* (alcance). Uma das faixas, representada por tonalidade mais clara de rosa, mostra as microrregiões que tem uma menor resposta para o efeito de alcance. Uma outra faixa, em vermelho, mostra microrregiões com uma maior resposta do efeito de alcance. Finalmente, uma faixa, de cor marrom, exibe as microrregiões que estão alcançando mais aceleradamente as microrregiões que têm maior produtividade. Tais faixas acompanham a evolução da fronteira agrícola brasileira, que começou próximo do litoral e expandiu pelo Centro-Oeste e Norte.

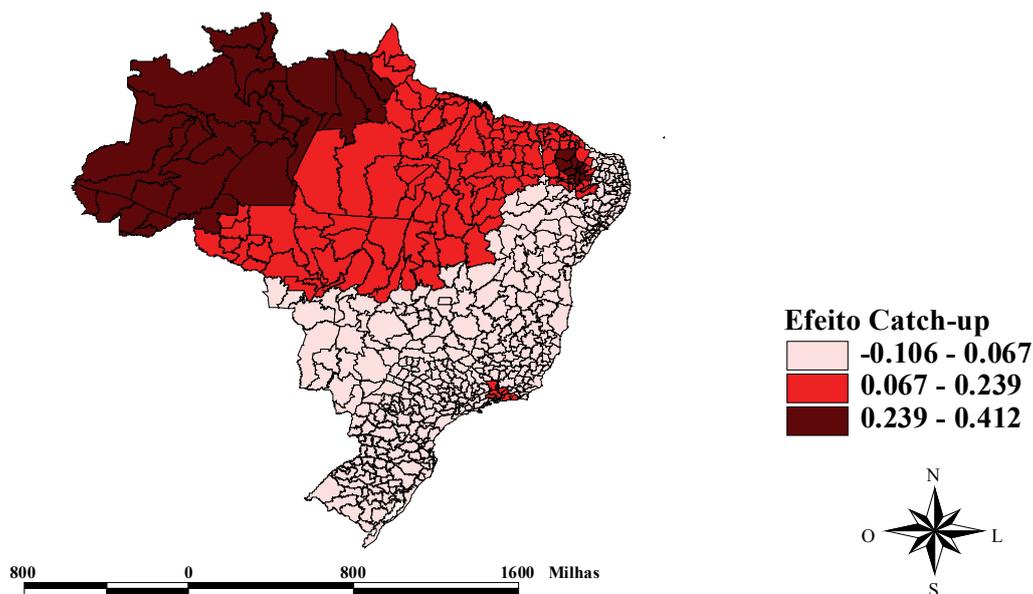
Existem alguns enclaves dentro dessas faixas relativamente homogêneas. O primeiro enclave, de cor vermelha, localiza-se dentro da primeira faixa (cor de rosa). Esse enclave informa que essas microrregiões têm um efeito de *catch-up* mais intenso que as microrregiões que fazem parte dessa faixa. Tal enclave é composto pelas seguintes microrregiões: Andrelândia (MG), Barra do Piraí (RJ), Vale do Paraíba Fluminense (RJ), Bananal (SP), Vassouras (RJ), Itaguaí (RJ) e Rio de Janeiro (RJ).

O outro enclave, de cor marrom, está situado na segunda faixa relativamente homogênea, de cor vermelha. Esse enclave é composto por um conjunto de microrregiões que estão alcançando mais rapidamente a fronteira de maior produtividade agrícola. As microrregiões que fazem parte desse

<sup>5</sup> Para detalhes técnicos sobre o teste de significância de Monte Carlo para verificar a estacionariedade das relações, consulte Fotheringham *et al.* (2002).

enclave são, a saber: Sertão de Quixeramobim (CE), Sertão de Senador Pompeu (CE), Médio Jaguaribe (CE), Serra do Pereiro (CE), Iguatu (CE), Lavras de Mangabeira (CE), Serra de São Miguel (RN), Pau dos Ferros (RN), Cajazeiras (PB) e Sousa (PB).

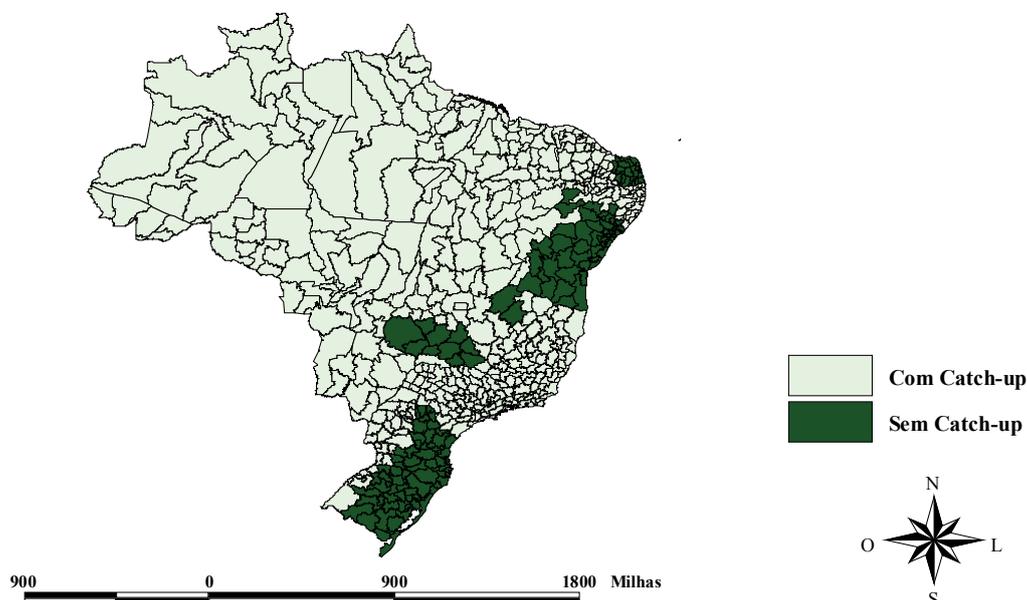
Figura 4. Distribuição Espacial dos Coeficientes Locais de *Catch-up*



Fonte: resultados da pesquisa.

Pela figura 4, percebe-se que existem microrregiões que apresentam efeito *catch-up* negativos na faixa rosa, ou seja, não exibem efeito de alcance, significando, assim, que estão se distanciando da fronteira de produtividade agrícola. Trata-se de 146 microrregiões nesta situação dentro de um total de 558. Esse conjunto de regiões está mapeado na figura 5, na cor verde escuro.

Figura 5. Microrregiões sem Efeito de *Catch-up*



Fonte: resultados da pesquisa.

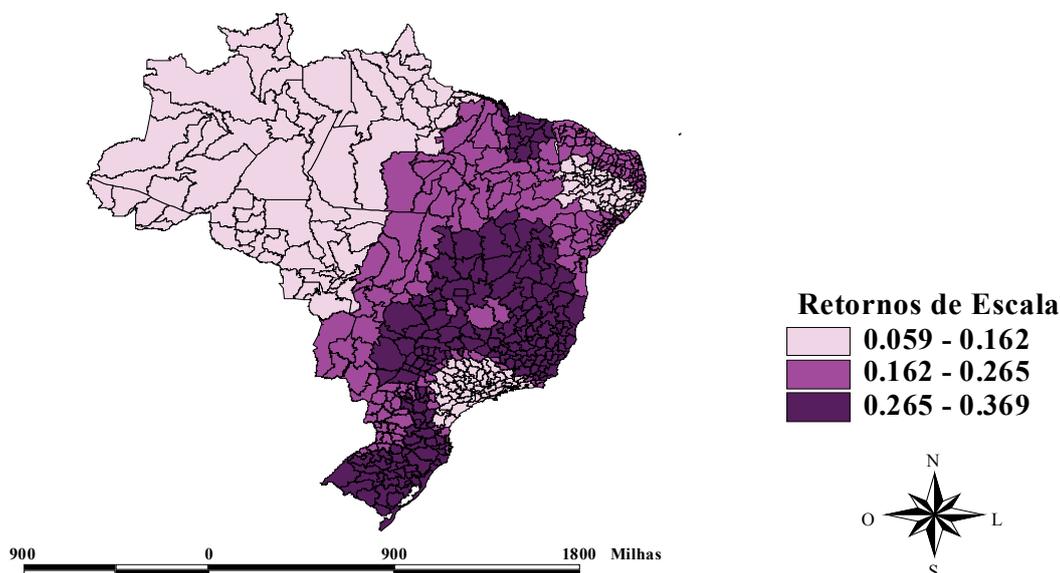
A figura 6 mostra a distribuição dos coeficientes locais de Verdoorn ( $b_1$ ), que fornecem a informação sobre os retornos de escala para cada microrregião. A respeito da figura 6, a primeira observação a ser destacada é que existem evidências de retornos crescentes de escala para todas as microrregiões. Esse não é um resultado trivial, pois se considera como pressuposto teórico em vários modelos que a agricultura seria um setor em que operariam retornos constantes de escala.

Kaldor (1975), por exemplo, não encontrou resultados significativos para a equação de Verdoorn aplicada à agricultura. Daí surgiu a tese kaldoriana que propugna que, na agricultura, há uma inexpressiva relação entre emprego dos fatores e a produção (Guimarães, 2002). A expectativa teórica é de que a atividade agrícola tenha retornos decrescentes, em virtude tanto da inelasticidade da demanda quanto a oferta desajustada (Martinho, 2005).

Na agricultura brasileira, não há, portanto, evidências estatísticas que sustentam tal proposição. No caso do Brasil, isso ocorre provavelmente em virtude da expansão da fronteira agrícola, primeiro para o Centro-Oeste e mais recentemente para a região Norte (sobretudo Rondônia, Acre e Tocantins) e para a região Nordeste (Oeste Baiano, Sul do Piauí e Sul do Maranhão), a oferta agrícola tem uma maior possibilidade de se ajustar às condições de mercado, o que contorna esse óbice para a ocorrência de retornos crescentes de escala.<sup>6</sup> Além disso, essa oferta elástica mais que compensa uma possível inelasticidade da demanda.

<sup>6</sup> Por outro lado, Martinho (2005) encontrou evidências empíricas da existência de economias de escala no setor agrícola para Portugal, aplicando a equação de Verdoorn.

Figura 6. Distribuição Espacial dos Retornos de Escala por Microrregião



Fonte: resultados da pesquisa.

Um problema econométrico que precisa ser averiguado empiricamente é a possibilidade de haver endogeneidade na equação de Verdoorn. A proposição, até o momento, é de que taxa de crescimento da produção agrícola ( $q$ ) influencia a taxa de crescimento da produtividade ( $p$ ). Contudo, esta última pode também influenciar a taxa de crescimento da produção agrícola. Em outros termos, existiria a causalidade entre  $p$  e  $q$  nos dois sentidos (causação circular).

Teoricamente, a possibilidade de endogeneidade é razoável. Suponha que a produtividade tenha crescido acima da média do setor. Isso acarreta uma redução dos custos relativos que devem se refletir, em concorrência perfeita, numa redução de preços, fazendo com que haja um aumento da quantidade demandada, provocando, conseqüentemente, um crescimento da produção que geram economias de escala que levam a um aumento da produtividade.

Mesmo que se admita que haja concorrência imperfeita, o mecanismo do crescimento da produtividade ainda pode ter uma natureza circular. Para ver isso, se a produtividade aumenta, isso leva a uma redução de custos que conduz a aumentos de lucros. Portanto, não há repasse da redução de custos a preços, fazendo com os ganhos de produtividade sejam transformados em lucros. O aumento de lucros eleva a capacidade de realizar investimentos produtivos que podem se manifestar em novos processos produtivos (inovações), aumentando a produção e, com a geração de economias de escala, elevam a produtividade.

Para averiguar empiricamente a ocorrência de endogeneidade entre a variável dependente  $p$  e a variável explicativa  $q$ , foi implementado, no modelo básico da equação de Verdoorn, o teste de exogeneidade de Durbin-Wu-Hausman. O valor da probabilidade desse teste assumiu 0,92, o que não permite que se rejeite a hipótese nula da exogeneidade entre as variáveis  $p$  e  $q$ .

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo teve o objetivo de elaborar uma equação de Verdoorn local para a agricultura. O modelo teórico foi adaptado para a agricultura com base no desenvolvimento da lei de Verdoorn num contexto regional, incorporando idéias da nova geografia econômica. Em termos metodológicos, foi feito uma extensão do método de regressões ponderadas geograficamente (RPG) para acomodar os efeitos espaciais extremos, ou seja, tanto a heterogeneidade espacial extrema, manifestada nos coeficientes (intercepto e, ou coeficientes de inclinação) estimados para cada região, quanto a dependência espacial extrema, refletida na estimação de parâmetros espaciais também para cada região.

Nesse sentido, dentro da abordagem de RPG, além do modelo de defasagem espacial local, descrito em Fotheringham *et al.* (2002), foram desenvolvidos, neste artigo, o modelo de erro autorregressivo local e o modelo de transbordamentos espaciais locais.

Os resultados mostraram que o melhor modelo para representar a lei de Verdoorn para a agricultura no período de 1993 a 2003 foi o modelo de defasagem espacial local. Houve evidências de ocorrência de retornos crescentes de escala para a agricultura tanto globalmente quanto localmente. A evidência de ocorrência local de retornos crescentes foi revelada para todas as microrregiões.

Há, também, evidências de efeito de alcance (*catch-up*) tanto globalmente quanto localmente. Em termos locais, o efeito de alcance opera para a maioria das microrregiões que estão logrando êxito em alcançar as microrregiões que detinham os maiores níveis de produtividade no começo do período (1993).

Os resultados obtidos fornecem um incentivo que se estenda a equação de Verdoorn local para a análise da produtividade de outros setores, sobretudo do setor industrial. Por último, no reconhecimento de que muitos fenômenos têm não-estacionariedade nas respostas das relações modeladas, vale a pena ressaltar o potencial da metodologia RPG em fornecer uma informação em nível local, que pode ser útil para a formulação de políticas públicas em diversas áreas de atuação.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, E. S., PEROBELLI, F. S. e FERREIRA, P. G. C. **Existe convergência espacial da produtividade agrícola no Brasil?** Mimeo., CMEA/FEA/UFJF, 2006.
- ANSELIN, L. **Spatial econometrics: methods and models.** Kluwer Academic, Boston, 1988.
- ANSELIN, L. e BERA, A. Spatial dependence in linear regression models with an introduction to spatial econometrics. In: Ullah A. and Giles D. E. (eds.) **Handbook of Applied Economic Statistics**, Marcel Dekker, New York, pp. 237-289, 1998.
- BARRO, R. e SALA-I-MARTIN, X. **Economic growth.** McGraw Hill. New York, 1995.
- BAUMOL, W. J. Productivity growth, convergency, and welfare: What the long-run show. **American Economic Review**, v. 76, n. 5, p. 1072-85, 1986.
- FINGLETON, B. e McCOMBIE, J. S. L. Increasing returns and economic growth: some evidence for manufacturing from the European union regions. **Oxford Economic Papers**, vol. 50, p. 89-105, 1998.
- FINGLETON, B. e LÓPEZ-BAZO, E. Empirical growth models with spatial effects. **Papers in Regional Science**, vol. 85, n. 2, p. 177-198, 2006.
- FINGLETON, B. Regional economic growth and convergence: insights from a spatial econometric perspective. In Anselin, L., Florax, R. J. G. M. e Rey, S. J. (ed.). **Advances in spatial econometrics.** Springer, New York, 2004a.
- FINGLETON, B. Theoretical economic geography and spatial econometrics: bridging the gap between theory and evidence. In Getis, A., Mur, J. e Zoller, H. G. **Spatial econometrics and spatial statistics.** Palgrave MacMillan, New York, 2004b.
- FINGLETON, B. Theoretical economic geography and spatial econometrics: dynamic perspectives. **Journal of Economic Geography**, vol. 1, p. 201-225, 2001a.
- FINGLETON, B. Equilibrium and economic growth: spatial econometric models and simulations. **Journal of Regional Science**, vol. 41, p. 117-147, 2001b.

- FINGLETON, B. **Economic geography with spatial econometrics: a “third way” to analyse economic development and “equilibrium”, with application to the EU regions.** Mimeo., Department of Land Economy, University of Cambridge, 1999.
- FOTHERINGHAM, A. S., BRUNSDON, C. e CHARLTON, M. **Geographically weighted regressions: the analysis of spatially varying relationships.** John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, 2002.
- FOTHERINGHAM, A. S., BRUNSDON, C. e CHARLTON, M.. **Quantitative Geography: perspectives on spatial data analysis.** Sage publications, Londres, 2000.
- FUJITA, M., KRUGMAN, P. e VENABLES, A. **The spatial economy: cities, regions and international trade.** MIT Press, Cambridge, 1999.
- GUIMARÃES, P. W. **A lei Kaldor-Verdoorn na economia brasileira.** Dissertação de Mestrado, ESALQ/USP, Piracicaba, 2002.
- KALDOR, N. Economic growth and Verdoorn’s law: a comment on Mr Rowthorn’s abide. **Economic Journal**, vol. 85, p. 891-896, 1975.
- KRUGMAN, P. Increasing returns and economic geography. **Journal of Political Economy**, vol. 9, p. 483-499, 1991.
- KRUGMAN, P. Space: the final frontier. **Journal of Economic Perspectives**, vol.12, p. 161-174, 1998.
- LeSAGE, J. P. **Spatial econometrics.** Mimeo., Department of Economics, University of Toledo, 1999.
- LOPES, J. L. **Avaliação do processo de convergência da produtividade da terra na agricultura brasileira no período de 1960 a 2001.** Tese de Doutorado, ESALQ/USP, 2004. (mimeo).
- LUCAS, R. On the mechanics of the economic development. **Journal of Monetary Economics**, vol. 22, p. 3-42, 1988.
- LUSIGI, A. e THIRTLE, C. Convergence of per capita income and agricultural productivity in thirty-two African countries. **Journal of International Development**, v. 10, n. 1, p. 105-115, 1998.
- MARTINHO, V. J. P. **Análise dos efeitos espaciais na produtividade sectorial entre as regiões portuguesas.** Documento de Trabalho n. 30, Centro de Estudos da União Européia, Universidade de Coimbra, 2005.
- McCUNN, A. Huffman, W, E. **Convergence in U.S productivity growth for agriculture: implications of interstate research spillovers for funding agricultural Research.** American Agricultural Economics Association, 2000.
- McLEARN, S. e WU, Z. Regional agricultural labour productivity convergence in China. **Food Policy**, vol. 28, p. 237-252, 2003.
- MUKHERJEE, A. N. e KURODA, Y. Productivity growth in Indian agriculture: is there evidence of convergence across states? **Agricultural Economics**, vol. 29, p. 43-53, 2003.
- REZENDE, G. C. **Estado, Macroeconomia e Agricultura no Brasil** Porto Alegre: Editora da UFRGS/Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, 2003.
- ROMER, P. Endogenous technological change. **Journal of Political Economy**, vol. 98, 1990.
- SOLOW, R. A contribution to the theory of economic growth. **Quarterly Journal of Economics**, vol. 70, p. 65-94, 1956.
- SUHARIYANTO, K. e THIRTLE, C. Asian agricultural productivity and convergence. **Journal of Agricultural Economics**, v. 52, n. 3, p. 96-110, 2001.