

Escala e modernização agrícola*

Paulo Brígido Rocha Macedo**

Sumário: 1. Introdução; 2. O modelo teórico; 3. Escala e modernização agrícola; 4. Insumos modernos e escala: evidência empírica; 5. Conclusões.

Feder e O'Mara (1981) analisam como o tamanho da propriedade afeta a adoção de insumos modernos na agricultura. Consideram que a alocação da área da propriedade é feita ou para a agricultura moderna, de maior retorno e risco, ou para a agricultura tradicional, supostamente sem risco; e mostram que os custos fixos de adquirir informação técnica sobre a tecnologia nova resultam em efeito escala. Este estudo generaliza essa formulação, pressupondo que *ambas* as atividades agrícolas envolvam risco, embora a agricultura com insumos modernos seja mais arriscada do que a agricultura tradicional, e incluindo uma terceira atividade agrícola de retorno mínimo e risco zero. Considerando a hipótese de existência de custos fixos de mudança da agricultura tradicional para a moderna, o estudo prevê tanto o efeito escala, quanto a possibilidade de o agricultor fazer "cobertura de risco" nos seus esforços de adoção (ao alocar terra para ambas as tecnologias), porque os respectivos retornos não são perfeitamente correlacionados. A análise de uma base de dados construída a partir das informações censitárias de 1970 e 1980 indica efeito escala para a classe de propriedades agrícolas com tamanho de até cinco hectares em cinco municípios de São Paulo.

Feder and O'Mara (1981) analyze how farm size affects the adoption of modern agricultural inputs. Their model considers land as being used either for risky modern cropping or for riskless traditional cropping, and they show that fixed costs in acquiring technical information bring about scale effects. This study generalizes their formulation by assuming that *both* agricultural activities are risky, although modern cropping is riskier than traditional cropping, and by including a riskless third farming activity. Under the assumption that there are fixed costs of switching to modern cropping, the theory predicts scale effects and that the farmer may hedge adoption efforts by allocating land to both risky technologies since their returns are not perfectly correlated. The analysis of a data base constructed from census data of 1970 and 1980 show scale effects up to five hectares for five countries of the state of São Paulo.

1. Introdução

O ponto de partida deste estudo é o trabalho de Feder e O'Mara (1981), que analisa como o tamanho da propriedade agrícola pode se correlacionar positivamente com a intensidade de adoção de insumos modernos (sementes melhoradas, fertilizantes químicos) em presença de custos fixos associados à nova tecnologia e de aversão ao risco por parte dos agricultores. O artigo desses autores segue numa abordagem análoga ao problema de seleção de um portfólio de ativos financeiros — o agricultor deve escolher a proporção ótima de terra (riqueza) a ser alocada entre diferentes atividades agrícolas, com retornos e riscos distintos.

O modelo de Feder e O'Mara considera que a terra é alocada ou para um cultivo com *insumos tradicionais sem risco* ou para um cultivo com *insumos modernos de retorno*

* Artigo recebido em fev. e aprovado em jun. 1994.

** Professor adjunto da Face/UFMG e membro do Cedeplar.

maior mas envolvendo risco. Os insumos modernos são divisíveis e neutros em relação à escala da propriedade, mas envolvem custos fixos de aquisição de informação técnica e custos de transação associados aos problemas de estabelecimento da rede de distribuição de insumos. Havendo aversão ao risco, a existência de custos fixos faz com que somente os agricultores cuja propriedade tenha área maior do que determinado tamanho crítico L_0 adotem a inovação tecnológica. Os agricultores com área de terra superior a L_0 alocam, para cultivo com insumos modernos, áreas que aumentam proporcionalmente ao tamanho da propriedade.

O modelo aqui desenvolvido generaliza o trabalho de Feder e O'Mara, ao assumir que *tanto* o cultivo com *insumos tradicionais quanto* aquele com *insumos modernos envolvem riscos*, embora estes sejam maiores no segundo caso. A decisão de alocar terra a cultivos com insumos modernos deve, portanto, ser avaliada contrapondo-se o custo representado pelo risco maior ao benefício proporcionado pelo aumento da produtividade. Além disso, a análise inclui, entre as opções disponíveis ao agricultor, *uma terceira atividade agrícola com retorno mínimo e sem risco*, que pode ser associada ao fluxo de serviços do fator de produção terra (taxa cobrada por aluguel a terceiros). Como no estudo mencionado, o tamanho da propriedade afeta as proporções alocadas a cada atividade agrícola, dada a existência de custos fixos associados à adoção de insumos modernos e a aversão ao risco por parte dos agricultores. Entretanto, o sentido desse efeito escala depende também da "cobertura de risco" que os agricultores fazem ao alocarem terra a cultivos com os dois tipos de tecnologias, sempre que os respectivos retornos não sejam perfeitamente correlacionados. Outro resultado importante é o fato de o tamanho crítico da propriedade, L_0 , declinar com os custos fixos associados à tecnologia nova. À medida que o sistema de distribuição de insumos modernos é aperfeiçoado e a incerteza quanto à sua utilização reduzida pela experiência acumulada com a nova tecnologia, os custos fixos se reduzem, o que implica a diminuição de L_0 típica do processo de difusão da inovação.

A seção 2 apresenta a formulação do modelo e a seção 3 desenvolve os resultados fundamentais. A seção 4 discute brevemente a simulação ilustrativa de Feder e O'Mara e a evidência estatística de correlação entre proporções de área alocada a cultivo com insumos modernos e tamanho da propriedade rural, para uma base de dados censitários de cinco municípios de São Paulo em 1970 e 1980. Finalmente, a seção 5 resume as conclusões do estudo.

2. O modelo teórico

A área total da propriedade L é alocada na proporção m para o cultivo com insumos modernos, na proporção t para o cultivo com insumos tradicionais e na proporção $1 - m - t$ para atividades não-associadas a culturas temporárias, tais como alugar terras a outros agricultores ou mantê-las como ativo real. Supõe-se que o custo do trabalho empregado por hectare seja o mesmo, e igual a w , para ambos os cultivos. As produtividades por hectare para os cultivos com insumos modernos e tradicionais são $M = \varepsilon_M \cdot y_M - p - w$ e $T = \varepsilon_T \cdot y_T - w$, respectivamente, onde y é a produtividade média esperada por hectare e p é o custo por hectare dos insumos modernos (os insumos tradicionais são disponíveis a custo zero). A renda da atividade econômica sem risco é R unidades monetárias por hectare. As produtividades esperadas e suas respectivas variabilidades guardam as seguintes relações:

$$y_M > y_T > R, E\{\varepsilon_M\} = 1, E\{\varepsilon_T\} = 1, \text{var}\{\varepsilon_M\} > \text{var}\{\varepsilon_T\} \quad (1)$$

O cultivo com insumos modernos incorre também no custo fixo C , devido ao tempo requerido para o processo de aprendizagem associado ao uso da tecnologia nova e a um sistema de distribuição de insumos inicialmente ineficiente que se aperfeiçoa com o decorrer do tempo. A renda líquida do agricultor Π é expressa por:

$$\Pi = L \cdot [m \cdot M + t \cdot T + (1 - m - t) \cdot R] - I_M \cdot C \quad (2)$$

onde $I_M = 1$ para $m > 0$.

O agricultor maximiza sua utilidade esperada escolhendo as proporções m e t de cultivos com insumos modernos e tradicionais de forma similar à solução da otimização do portfólio de ativos financeiros:

$$\max_{(m,t)} Z = EU\{L \cdot [m \cdot M + t \cdot T + (1 - m - t) \cdot R] - I_M \cdot C\} \quad (3)$$

Supondo-se que $m > 0$, $t > 0$, e $(1 - m - t) > 0$, as condições de primeira ordem (CPO) para uma alocação ótima de terra entre as três atividades agrícolas alternativas são:

$$\frac{\partial Z}{\partial m} = E\{U' \cdot L \cdot (M - R)\} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial Z}{\partial t} = E\{U' \cdot L \cdot (T - R)\} = 0 \quad (5)$$

Obtêm-se as condições de segunda ordem (CSO) diferenciando (4) e (5) com respeito a m , t , L e levando em conta o fato de que um dos dois componentes das derivadas parciais da CPO com respeito a L é zero no ponto estacionário (máximo da função):

$$E\{L^2 \cdot (M - R) \cdot U'' \cdot (M - R)\} \partial m + E\{L^2 \cdot (M - R) \cdot U'' \cdot (T - R)\} \partial t + E\{U'' \cdot (M - R) \cdot L \cdot A\} \partial L = 0 \quad (6)$$

$$E\{L^2 \cdot (M - R) \cdot U'' \cdot (T - R)\} \partial m + E\{L^2 \cdot (T - R) \cdot U'' \cdot (T - R)\} \partial t + E\{U'' \cdot (T - R) \cdot L \cdot A\} \partial L = 0 \quad (7)$$

onde: $A = m \cdot M + t \cdot T + (1 - m - t) \cdot R$, $L \cdot A = \Pi + C$

A forma matricial de (6) e (7) é assim expressa:

$$\begin{bmatrix} E\{L^2 \cdot (M - R)^2 \cdot U''\} & E\{L^2 \cdot (M - R) \cdot (T - R) \cdot U''\} \\ E\{L^2 \cdot (M - R) \cdot (T - R) \cdot U''\} & E\{L^2 \cdot (T - R)^2 \cdot U''\} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \partial m \\ \partial t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -E\{U'' \cdot (M - R) \cdot (\Pi + C)\} \partial L \\ -E\{U'' \cdot (T - R) \cdot (\Pi + C)\} \partial L \end{bmatrix} \quad (8)$$

As condições de segunda ordem (CSO) para a maximização de (3) requerem que $E\{L^2 \cdot U'' \cdot (M - R)^2\} < 0$, $E\{L^2 \cdot U'' \cdot (T - R)^2\} < 0$ e que o determinante da matriz 2×2 no lado esquerdo da equação (8) seja positivo. Os dois primeiros requisitos são satisfeitos pela hipótese da utilidade marginal da renda Π decrescente ($U'' < 0$); o terceiro requisito é satisfeito se os retornos devidos à atividade agrícola com insumos modernos e tradicionais não forem perfeitamente correlacionados, isto é:

$$E\{(M - R) \cdot (T - R)\}^2 < \{E(M - R)^2\} \cdot \{E(T - R)^2\} \quad (9)$$

Os agricultores envolvidos em todas as três atividades econômicas descritas no início da seção alocam proporções m e t de terra para agricultura com insumos modernos e tradicionais, a fim de maximizar a utilidade esperada da renda e fazer cobertura do risco associado à adoção da tecnologia moderna. Essa cobertura de risco ocorre sempre que os retornos associados às atividades agrícolas moderna e tradicional têm correlação menos do que perfeita ($|\rho_{MT}| < 1$), o que é expresso pela equação (9).

As relações entre as proporções m e t de terra alocada para agricultura com cada tipo de tecnologia, e o tamanho da propriedade agrícola L são obtidos das equações (6) e (7):

$$\begin{aligned} (\partial m / \partial L) = & -\{E\{L^2 \cdot (T - R)^2 \cdot U''\} \cdot E\{U'' \cdot (M - R) \cdot (\Pi + C)\} / \Delta + \\ & \{E\{L^2 \cdot (M - R) \cdot (T - R) \cdot U''\} \cdot E\{U'' \cdot (T - R) \cdot (\Pi + C)\} / \Delta \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} (\partial t / \partial L) = & -\{E\{L^2 \cdot (M - R)^2 \cdot U''\} \cdot E\{U'' \cdot (T - R) \cdot (\Pi + C)\} / \Delta + \\ & \{E\{L^2 \cdot (M - R) \cdot (T - R) \cdot U''\} \cdot E\{U'' \cdot (M - R) \cdot (\Pi + C)\} / \Delta \end{aligned} \quad (11)$$

onde:

$$\Delta = E\{L^2 \cdot U'' \cdot (M - R)^2\} \cdot E\{L^2 \cdot U'' \cdot (T - R)^2\} - E\{L^2 \cdot U'' \cdot (M - R) \cdot (T - R)\}^2$$

As equações (10) e (11) serão usadas para analisar o efeito escala resultante da existência de custos fixos na modernização agrícola em um contexto em que se leva em conta a aversão dos agricultores ao risco. A equação (12) reproduz o resultado correspondente, apresentado por Feder e O'Mara (1981), e será utilizada para ilustrar como as relações (10) e (11) estendem aquela interpretação. A análise é apresentada na seção 3.

$$(\partial m / \partial L) = -\{E\{U'' \cdot (M - R) \cdot (\Pi + C_M)\} / E\{U'' \cdot (M - R)^2 \cdot L^2\} \quad (12)$$

3. Escala e modernização agrícola

A análise a seguir se fundamenta na hipótese de os agricultores serem avessos ao risco.¹ Seguindo o procedimento adotado por Feder e O'Mara, supõe-se que a utilidade dos agricultores seja uma função logarítmica da renda Π , isto é, $U = \ln \Pi$, o que implica aversão ao risco absoluta decrescente de acordo com a renda (ou riqueza) e aversão ao risco relativa constante.²

Dados os pressupostos citados, são válidas as seguintes relações:

$$E[U'' \cdot (M - R) \cdot \Pi] = 0, E[U'' \cdot (T - R) \cdot \Pi] = 0 \quad (13)$$

pela hipótese da aversão ao risco relativa R_R constante (Arrow, 1971:120); e

$$E[L^2 \cdot U'' \cdot (M - R)] > 0, E[L^2 \cdot U'' \cdot (T - R)] > 0 \quad (14)$$

pela hipótese da aversão ao risco absoluta R_A decrescente (Arrow, 1971:119).

O sentido do efeito escala ($\partial m / \partial L$ e $\partial t / \partial L$) nas equações (10) e (11) depende, portanto, apenas de $E\{L^2 \cdot U'' \cdot (M - R) \cdot (T - R)\}$, cujo sinal é função de $E\{(M - R) \cdot (T - R)\}$ porque $U'' < 0$ para qualquer valor da renda Π . Em consequência, a correlação ρ_{MT} entre os retornos associados das atividades agrícolas moderna e tradicional é fator determinante do sentido daquele efeito. Recorde-se que

$$\rho_{MT} = \{E[(M - R) \cdot (T - R)]\} / \{E[(M - R)^2]\}^{0,5} \{E[(T - R)^2]\}^{0,5}$$

e, portanto,

¹ De acordo com Arrow (1971), duas medidas simples do grau de aversão de um indivíduo ao risco são a "aversão ao risco absoluta", $R_A = -U''(Y) / U'(Y)$, e a "aversão ao risco relativa", $R_R = [-U''(Y) \cdot Y] / U'(Y)$. As medidas são interpretadas da seguinte forma: considere-se um indivíduo com riqueza Y , a quem é oferecida uma aposta que envolva ganhar ou perder uma soma h com probabilidades p e $(1 - p)$, respectivamente. O indivíduo aceitaria a aposta para p grande (aceitaria com certeza caso $p = 1$) e a rejeitaria para p pequeno (rejeitaria com certeza caso $p = 0$). Um indivíduo avesso ao risco recusaria a aposta caso $p \leq 0,5$. A aversão ao risco absoluta mede a insistência de uma pessoa em obter $p > 0,5$ em uma aposta referente a uma dada soma h , enquanto a aversão ao risco relativa avalia a mesma insistência para uma proporção $n = h/Y$ da riqueza Y .

² Arrow (1971) considera que a aversão ao risco absoluta decrescente e a aversão ao risco relativa crescente são as hipóteses mais plausíveis, tanto do ponto de vista teórico como do ponto de vista do comportamento observado dos agentes econômicos. A primeira significa que a disposição de uma pessoa em participar de apostas que envolvem uma soma fixa h aumenta com sua riqueza Y , no sentido de que as probabilidades p demandadas decrescem na mesma proporção. Já a aversão ao risco relativa crescente é, segundo Arrow (1971:98-9), compatível com o fato observado de que a elasticidade-riqueza (renda) de demanda por encaixes monetários reais é maior ou igual a 1. Arrow também argumenta, entretanto, que a teoria da "utilidade esperada" impõe a existência de um limite superior e outro inferior à função utilidade. Em consequência, a aversão ao risco relativa R_R tende a um valor ligeiramente abaixo de 1 quando a riqueza Y tende para 0, e a um valor ligeiramente acima de 1 quando a riqueza Y tende para valores muito grandes. O argumento prossegue considerando a função logarítmica $U(Y) = \ln Y$ uma boa aproximação da função utilidade ideal na faixa relevante para a análise de decisões econômicas sob incerteza, ainda que ela não seja limitada quando $Y \rightarrow 0$ ou $Y \rightarrow \infty$. A aversão ao risco relativa da função logarítmica é constante e igual a 1.

$$E\{L^2 \cdot U'' \cdot (M - R) \cdot (T - R)\} > 0, \text{ caso } \rho_{MT} < 0$$

$$E\{L^2 \cdot U'' \cdot (M - R) \cdot (T - R)\} < 0, \text{ caso } \rho_{MT} > 0$$

Os resultados são apresentados nas proposições a seguir.

Proposição 1. a) Na ausência de custos fixos ($C = 0$), a não-alocação de terras a cultivo com insumos modernos ($m = 0$) não é política ótima; b) há um tamanho mínimo de propriedade L_0 , de tal forma que agricultores com área menor do que L_0 não alocam terras a cultivos com insumos modernos, enquanto os agricultores com área maior o fazem em pelo menos parte de suas propriedades; e c) o tamanho crítico da propriedade para a adoção de insumos modernos L_0 diminui com a redução dos custos fixos C (redução da incerteza).

A parte (a) da proposição tem demonstração análoga à apresentada por Feder e O'Mara (1981) para o caso de o portfólio incluir apenas cultivo com insumos modernos que envolve risco (mas custos fixos iguais a zero) e cultivo com insumos tradicionais sem risco. De acordo com o argumento discutido no apêndice daquele artigo, se $m^* = 0$, então a condição de primeira ordem (equação 4) $E\{U' \cdot L \cdot (M - R)\} = 0$ torna-se $E\{U' \cdot L \cdot (M - R)\} < 0$, o que implica $E(M - R) < 0$, em vista de $U' > 0$ e $L > 0$. Entretanto, esse resultado contradiz a hipótese inicial de que o retorno médio do cultivo com insumos modernos seria maior do que o retorno R da atividade agrícola que não envolve risco.

Com relação à parte (b) da proposição, considere-se a função

$$\begin{aligned} \Psi(L, C) &= EU\{[m^* \cdot (M - R) + t^* \cdot (T - R) + R] \cdot L - C\} - \\ &EU\{[t \cdot (T - R) + R] \cdot L\} = \\ &EU(\Pi_1) - EU(\Pi_2) \end{aligned}$$

que expressa a diferença entre os níveis de utilidade esperada com e sem adoção de insumos modernos, onde

$$\begin{aligned} \Pi_1 &= [m^* \cdot (M - R) + t^* \cdot (T - R) + R] \cdot L - C \\ \Pi_2 &= [t \cdot (T - R) + R] \cdot L \end{aligned}$$

Para um dado valor de C a função Ψ é crescente em L , isto é:

$$\begin{aligned} (\partial \Psi / \partial L) &= EU' \cdot (\Pi_1 + C) - EU' \cdot \Pi_2 = \\ &E\{L \cdot m^* \cdot U' \cdot (M - R)\} + E\{L \cdot t^* \cdot U' \cdot (T - R)\} + E\{L \cdot U' \cdot R\} + \\ &EU' \cdot C - E\{L \cdot t \cdot U' \cdot (T - R)\} - E\{L \cdot U' \cdot R\} > 0 \end{aligned}$$

porque:

- $E\{L \cdot m^* \cdot U' \cdot (M - R)\} = 0$, $E\{L \cdot t^* \cdot U' \cdot (T - R)\} = 0$ como condições de primeira ordem para alocação ótima de terra entre os cultivos com insumos modernos e tradicionais;

- $E\{L \cdot t \cdot U' \cdot (T - R)\} = 0$, dado que se supõe que a agricultura tradicional não envolve custos fixos e $t > 0$, isto é, que alocar parte da propriedade àquela atividade é sempre uma decisão ótima quando a agricultura moderna não é opção válida por causa dos custos fixos.

Há, portanto, um único valor de $L = L_0$ tal que $\Psi(L, C) = 0$. A alocação de pelo menos parte da área da propriedade a cultivo com insumos modernos ocorrerá sempre que:

$$EU\{[m \cdot (M - R) + t \cdot (T - R) + R] \cdot L - C\} \geq EU\{[t \cdot (T - R) + R] \cdot L\}$$

Em conseqüência, agricultores com área de propriedade $L < L_0$ optam pela não-adoção de insumos modernos, enquanto agricultores com $L \geq L_0$ optam, pelo menos, por adoção parcial.

Com respeito à parte (c) da proposição 1, considere-se a função $\Psi(L, C)$ no ponto crítico L_0 , ou seja, $\Psi(L_0, C) = 0$. Diferenciando-se totalmente com relação a L e C :

$$(\partial\Psi / \partial L)dL + (\partial\Psi / \partial C)dC = \{EU' \cdot (\Pi_1 + C) - EU' \cdot \Pi_2\}dL - \{EU'\}dC = 0$$

$$(dL_0 / dC) = \{[EU'] / [EU' \cdot (\Pi_1 + C) - EU' \cdot \Pi_2]\} > 0$$

Proposição 2. Na ausência de custos fixos ($C = 0$), a proporção de terras alocadas a atividades agrícolas que envolvem risco não é afetada pela escala da propriedade. Esse resultado decorre das relações derivadas por Arrow (1971) — segundo a hipótese de aversão ao risco relativa constante, reproduzida em (13). Os numeradores das equações (10') e (11') — (equações (10) e (11) para $C = 0$) — tornam-se iguais a zero e o resultado é análogo ao obtido por Feder e O'Mara (reproduzido na equação 12) no contexto de uma única atividade agrícola que envolve risco.

$$\begin{aligned} (\partial m / \partial L) &= -\{E[L^2 \cdot (T - R)^2 \cdot U''] \cdot E[U'' \cdot (M - R) \cdot \Pi]\} / \Delta + \\ &\quad \{E[L^2 \cdot (M - R) \cdot (T - R) \cdot U''] \cdot E[U'' \cdot (T - R) \cdot \Pi]\} / \Delta = 0 \end{aligned} \quad (10')$$

$$\begin{aligned} (\partial t / \partial L) &= -\{E[L^2 \cdot (M - R)^2 \cdot U''] \cdot E[U'' \cdot (T - R) \cdot \Pi]\} / \Delta + \\ &\quad \{E[L^2 \cdot (M - R) \cdot (T - R) \cdot U''] \cdot E[U'' \cdot (M - R) \cdot \Pi]\} / \Delta = 0 \end{aligned} \quad (11')$$

Proposição 3. Caso haja correlação negativa entre os retornos dos cultivos com insumos modernos e tradicionais, isto é, $\rho_{MT} < 0$, as proporções m e t de terra alocada a cultivos com insumos modernos e tradicionais aumentam segundo a escala da propriedade.

Os sinais dos elementos componentes das desigualdades (15) e (16) são apresentados a seguir:

$$E\{U'' \cdot (T - R) \cdot (\Pi + C)\} = E\{U'' \cdot (T - R) \cdot C\} > 0$$

$$E\{U'' \cdot (M - R) \cdot (\Pi + C)\} = E\{U'' \cdot (M - R) \cdot C\} > 0$$

$$E\{L^2 \cdot U'' \cdot (T - R)^2\} < 0$$

$$E\{L^2 \cdot U'' \cdot (M - R)^2\} < 0$$

$$E\{L^2 \cdot U'' \cdot (M - R) \cdot (T - R)\} > 0$$

Nesse caso, o lado esquerdo das desigualdades (15) e (16) são negativos, enquanto os respectivos lados direitos são positivos. Portanto, o efeito escala positivo se faz presente em

ambos os tipos de tecnologia, independentemente da magnitude da correlação entre os respectivos retornos.

$$\frac{\partial m}{\partial L} > 0, \text{ se}$$

$$E\{L^2 \cdot U'' \cdot (M - R) \cdot (T - R)\} E\{U'' \cdot (T - R) \cdot (\Pi + C)\} > \\ E\{L^2 \cdot U'' \cdot (T - R)^2\} E\{U'' \cdot (M - R) \cdot (\Pi + C)\}$$

o que requer:

$$\frac{E\{U'' \cdot (T - R) \cdot C\}}{E\{L^2 \cdot U'' \cdot (T - R)^2\}} < \frac{E\{U'' \cdot (M - R) \cdot C\}}{E\{L^2 \cdot U'' \cdot (M - R) \cdot (T - R)\}} \quad (15)$$

$$\frac{\partial t}{\partial L} > 0, \text{ se}$$

$$E\{L^2 \cdot U'' \cdot (M - R) \cdot (T - R)\} E\{U'' \cdot (T - R) \cdot (\Pi + C)\} > \\ E\{L^2 \cdot U'' \cdot (T - R)^2\} E\{U'' \cdot (M - R) \cdot (\Pi + C)\}$$

o que requer:

$$\frac{E\{U'' \cdot (M - R) \cdot C\}}{E\{L^2 \cdot U'' \cdot (M - R)^2\}} < \frac{E\{U'' \cdot (T - R) \cdot C\}}{E\{L^2 \cdot U'' \cdot (M - R) \cdot (T - R)\}} \quad (16)$$

Proposição 4. Caso haja correlação positiva entre os retornos dos cultivos com insumos modernos e tradicionais, isto é, $\rho_{MT} > 0$, o sentido do efeito escala depende das seguintes hipóteses adicionais: a) se a magnitude da correlação é baixa, então as proporções m e t de terra alocada a cultivos com insumos modernos e tradicionais aumentam segundo a escala da propriedade; e b) se a magnitude da correlação é alta, o retorno do cultivo com insumos modernos é muito maior que o do cultivo com insumos tradicionais e os riscos associados às duas atividades agrícolas não são significativamente distintos (magnitudes das variâncias não muito diferentes), então a proporção m de terra alocada à agricultura moderna cresce segundo a escala da propriedade, enquanto a proporção t alocada à agricultura tradicional diminui.

Os sinais dos elementos componentes das desigualdades (17), (18), (19) e (20) são:

$$E\{U'' \cdot (T - R) \cdot (\Pi + C)\} = E\{U'' \cdot (T - R) \cdot C\} > 0$$

$$E\{U'' \cdot (M - R) \cdot (\Pi + C)\} = E\{U'' \cdot (M - R) \cdot C\} > 0$$

$$E\{L^2 \cdot U'' \cdot (T - R)^2\} < 0$$

$$E\{L^2 \cdot U'' \cdot (M - R)^2\} < 0$$

$$E\{L^2 \cdot U'' \cdot (M - R) \cdot (T - R)\} < 0$$

Neste caso, o sentido do efeito escala depende também da magnitude da correlação entre os retornos dos dois tipos de tecnologia, porque os dois lados das desigualdades (17), (18), (19) e (20) a seguir têm o mesmo sinal e a comparação se dá entre dois números negativos.

A existência de correlação baixa entre os retornos dos cultivos com insumos modernos e tradicionais (proposição 4a) implica as relações (17) e (18), que representam efeito escala positivo para ambas as atividades agrícolas.

$$\frac{\partial m}{\partial L} > 0, \text{ se}$$

$$E\{L^2 \cdot U'' \cdot (M - R) \cdot (T - R)\} E\{U'' \cdot (T - R) \cdot (\Pi + C)\} > \\ E\{L^2 \cdot U'' \cdot (T - R)^2\} E\{U'' \cdot (M - R) \cdot (\Pi + C)\}$$

o que requer:

$$\frac{E\{U'' \cdot (T - R) \cdot C\}}{E\{L^2 \cdot U'' \cdot (T - R)^2\}} > \frac{E\{U'' \cdot (M - R) \cdot C\}}{E\{L^2 \cdot U'' \cdot (M - R) \cdot (T - R)\}} \quad (17)$$

$$\frac{\partial t}{\partial L} > 0, \text{ se}$$

$$E\{L^2 \cdot U'' \cdot (M - R) \cdot (T - R)\} E\{U'' \cdot (M - R) \cdot (\Pi + C)\} > \\ E\{L^2 \cdot U'' \cdot (M - R)^2\} E\{U'' \cdot (T - R) \cdot (\Pi + C)\}$$

o que requer:

$$\frac{E\{U'' \cdot (M - R) \cdot C\}}{E\{L^2 \cdot U'' \cdot (M - R)^2\}} > \frac{E\{U'' \cdot (T - R) \cdot C\}}{E\{L^2 \cdot U'' \cdot (M - R) \cdot (T - R)\}} \quad (18)$$

A presença de correlação alta entre os retornos da agricultura com insumos modernos e tradicionais (proposição b), em um contexto de produtividade significativamente maior para o primeiro tipo de tecnologia e variabilidade semelhante, implica as relações (19) e (20), que indicam efeito escala positivo para o setor moderno e negativo para o setor tradicional.

$$\frac{\partial m}{\partial L} > 0, \text{ se}$$

$$E\{L^2 \cdot U'' \cdot (M - R) \cdot (T - R)\} E\{U'' \cdot (T - R) \cdot (\Pi + C)\} > \\ E\{L^2 \cdot U'' \cdot (T - R)^2\} E\{U'' \cdot (M - R) \cdot (\Pi + C)\}$$

o que requer:

$$\frac{E\{U''.(T-R).C\}}{E\{L^2.U''.(T-R)^2\}} > \frac{E\{U''.(M-R).C\}}{E\{L^2.U''.(M-R).(T-R)\}} \quad (19)$$

$$\frac{\partial t}{\partial L} < 0, \text{ se}$$

$$E\{L^2.U''.(M-R).(T-R)\}E\{U''.(M-R).(\Pi+C)\} < \\ E\{L^2.U''.(M-R)^2\}E\{U''.(T-R).(\Pi+C)\}$$

o que requer:

$$\frac{E\{U''.(M-R).C\}}{E\{L^2.U''.(M-R)^2\}} < \frac{E\{U''.(T-R).C\}}{E\{L^2.U''.(M-R).(T-R)\}} \quad (20)$$

4. Insumos modernos e escala: evidência empírica

Tanto o modelo desenvolvido por Feder e O'Mara como o discutido acima são versões estilizadas da realidade, onde os agricultores dispõem, em geral, de um portfólio de atividades agrícolas mais amplo do que o considerado naquelas formulações. Portanto, duas possibilidades se abrem para corroborar quantitativamente tais desenvolvimentos analíticos: simulação com dados especificamente criados para este fim, ou evidência empírica indireta obtida de dados reais gerados no setor agrícola.

Feder e O'Mara optam por simular dados sobre uma amostra hipotética de propriedades agrícolas, cuja distribuição é apresentada na tabela 1(A). Supõem a existência de apenas dois tipos de atividades agrícolas: agricultura tradicional com sementes comuns e agricultura moderna com sementes melhoradas (SM). Pressupondo, ainda, dados sobre a função utilidade dos agricultores e a forma como a incerteza sobre a produtividade das SM se reduz ao longo do tempo, os autores conseguem representar os aspectos dinâmicos da difusão da inovação em presença de custos fixos e incerteza. A função utilidade é expressa por:

$$U = \ln \Pi$$

onde Π denota a renda do agricultor. Por outro lado, a variância da produtividade (por acre) das SM no período t é representada por:

$$(\sigma_t)^2 = (\sigma_0)^2 \cdot \exp(-\alpha \cdot t - \beta \cdot \sum_i Q_i)$$

onde $i = 1, 2, \dots, t-1$, e Q_i denota a área total plantada com SM no ano i .

Supõem que o valor inicial de (σ_0) seja igual a 0,8, que o parâmetro relacionado à redução exógena da incerteza α (melhoria de serviços de extensão rural e do sistema de distribuição de SM ao longo do tempo, por exemplo) seja igual a 0,09, e que o parâmetro associado ao efeito "aprender-fazendo" β (que reflete o fato de o aumento da área cultivada tender a

reduzir a incerteza sobre a agricultura moderna por causa da acumulação de experiência e informação) seja igual a 0,12/1.300.

Tabela 1
Simulação de Feder e O'Mara (1981)

A. Distribuição de terra															
Área da propriedade agrícola (em acres) (1 acre = 0,4ha)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30	40	50	90
Famílias (N)	26	24	22	20	18	16	14	12	10	8	5	4	3	2	1

B. Taxas de adoção de sementes melhoradas* (proporções da área plantada) ao longo do tempo e por tamanho de propriedade (três entradas da tabela 2 da simulação de Feder e O'Mara) ($\alpha = 0,09$, $\beta = 0,12 / 1.300$)									
Tamanho da propriedade (acres)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tempo									
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,598	0,710	0,720
11	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Tamanho da propriedade (acres)						
	10	20	30	40	50	90
Tempo						
0	0,0	0,304	0,314	0,319	0,322	0,327
5	0,727	0,762	0,774	0,780	0,783	0,789
11	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

* Taxa de adoção é a proporção da área da propriedade plantada com sementes melhoradas.

Feder e O'Mara simulam o modelo para 11 períodos sucessivos, dos quais três são apresentados na tabela 1(B). Os resultados do exercício são compatíveis com as previsões da formulação teórica:

a) nos períodos iniciais, os agricultores com maior extensão de propriedade rural optam por fazer adoção parcial da SM, enquanto os agricultores com propriedades de tamanho médio e pequeno continuam a praticar a agricultura tradicional;

b) com a passagem do tempo, os agricultores com propriedade de tamanho médio iniciam a adoção parcial, enquanto os grandes proprietários aumentam a taxa de adoção. Os pequenos proprietários adotam as SM mais tarde, mas, como se beneficiam da experiência e da informação acumulada pelos demais, podem passar da não-adoção à adoção completa sem experimentação (sob a forma de adoção parcial).

Estudos empíricos diversos apresentam evidência de que a adoção de insumos modernos é afetada pelo tamanho da propriedade agrícola. Por exemplo, Parthasarathy e Prasad (1978) obtêm uma associação significativa (correlação positiva) entre o tamanho da propriedade e a

adoção de insumos modernos apenas para a categoria de agricultores com área de propriedade menor ou igual a quatro hectares³ na Índia. Prahladachar (1983) amplia a abrangência dessa conclusão, ao fazer uma resenha sobre diversos estudos acerca do assunto na Índia dando suporte a hipótese de que os grandes agricultores tendem a adotar aquele tipo de insumo mais cedo.

No que diz respeito ao modelo desenvolvido nas seções 2 e 3 do presente texto, uma evidência empírica indireta de sua plausibilidade foi obtida a partir de dados dos censos agropecuários de 1970 e 1980 de cinco municípios contíguos do estado de São Paulo: Aguai, Leme, Mogi-Guaçu, Pirassununga e Santa Cruz da Conceição. Os dados foram obtidos a partir dos censos agropecuários daqueles anos, em nível de informante, sendo que para *todas* as unidades agrícolas dos cinco municípios dispõem-se das seguintes informações: área da propriedade (obtida diretamente do censo); proporção da área alocada a culturas temporárias com insumos modernos (construída, considerando-se aquelas culturas que empregam sementes melhoradas e fertilizantes químicos); proporção da área alocada a culturas temporárias com insumos tradicionais. O número de unidades agrícolas dos cinco municípios é de 3.066 e de 2.425 em 1970 e 1980, respectivamente.

Diferentemente da simulação de Feder e O'Mara, as áreas das propriedades agrícolas nos dados censitários não se concentram em um número limitado de valores discretos, mas se distribuem de maneira mais regular numa faixa ampla de valores. Nesse caso, a existência de correlação positiva entre a proporção da propriedade alocada à agricultura moderna e sua respectiva área total em um dado instante do tempo (corte transversal) é consistente com a noção de que a difusão da inovação tecnológica envolve custos fixos (associados à adoção) em presença de incerteza e um processo de aprendizado cumulativo.

Por outro lado, o número de atividades agrícolas diversas nas quais o agricultor se engaja cresce, com toda probabilidade, tanto em função do tamanho da propriedade como em função do horizonte temporal de investimento. Em relação ao último fator, tanto o modelo de Feder e O'Mara quanto o desenvolvido neste artigo trabalham com o horizonte temporal de um período, excluindo, portanto, do portfólio aquelas atividades que envolvem investimento de maturação mais longa. Este é tipicamente o caso das chamadas culturas permanentes, como café e laranja.

A limitação do número de atividades agrícolas nos modelos mencionados (duas ou três, respectivamente) os torna, portanto, mais adequados para representar decisões de alocação de recursos em propriedades agrícolas de um certo tamanho.

A análise estatística a seguir considera uma amostra que abrange todas as propriedades agrícolas dos cinco municípios paulistas mencionados e outra amostra que contém apenas aquelas propriedades com área menor ou igual a cinco hectares. Os resultados constam das tabelas 2 a 6.

A tabela 2 apresenta evidência estatística sobre os diferentes níveis de intensidade de adoção de insumos modernos nas duas amostras e, para cada amostra, entre os anos de 1970 e 1980. A hipótese de igualdade da proporção média de área de insumos modernos (PMOD) em cada categoria é rejeitada ao nível de significância de 5%. Os resultados indicam níveis de adoção mais moderados para o grupo de propriedades com área menor ou igual a cinco

³ Cento e setenta das 185 propriedades agrícolas consideradas na simulação de Feder e O'Mara (92%) têm área igual ou inferior a 10 acres, isto é, quatro hectares.

hectares e a intensificação do processo de difusão de insumos modernos nos dois grupos entre os anos 1970 e 1980.

Tabela 2
Teste da hipótese de desigualdade da proporção média de área alocada para insumos modernos (PMOD)

A. Entre grupos de propriedade por tamanho em 1970						
	N	Média	DSV PAD	Variância	T	Prob > T
Todas	3.066	0,2273	0,3094	Desigual	2,0070	0,0456
Área ≤ 5ha	274	0,1849	0,3369	Igual	2,1549	0,0312
B. Entre grupos de propriedade por tamanho em 1980						
	N	Média	DSV PAD	Variância	T	Prob > T
Todas	2.425	0,3522	0,3647	Desigual	3,5318	0,0005
Área ≤ 5ha	237	0,2625	0,3740	Igual	3,6055	0,0003
C. No período 1970-80, todas as propriedades						
	N	Média	DSV PAD	Variância	T	Prob > T
1970	3.066	0,2273	0,3094	Desigual	-13,4671	0,0001
1980	2.425	0,3522	0,3647	Igual	-13,7260	0,0000
D. No período 1970-80, área ≤ 5ha						
	N	Média	DSV PAD	Variância	T	Prob > T
1970	274	0,1849	0,3369	Desigual	-2,4486	0,0147
1980	237	0,2625	0,3740	Igual	-2,4672	0,0139

A análise de correlação está sumariada nas tabelas 3 a 6. Deve-se ter em mente que, enquanto o modelo desenvolvido na seção 2 considerava um portfólio composto de uma atividade econômica sem risco, uma cultura temporária com insumos modernos e a mesma cultura temporária com insumos tradicionais, a agregação das culturas temporárias efetuada na presente análise estatística supõe implicitamente que o agricultor decida também sobre a composição do conjunto daquelas culturas. A evidência estatística, entretanto, é forte o bastante para sugerir a presença de economias de escala no que respeita a decisão de alocar recursos a culturas com diferentes níveis de retorno e risco, no caso de propriedades com área igual ou menor que cinco hectares. Quanto ao ano de 1970, a tabela 4 mostra uma correlação positiva significativa igual a 0,1266 entre o tamanho da propriedade e a proporção de área plantada com insumos modernos; quanto ao ano de 1980, a tabela 6 indica que as respectivas correlações entre tamanho de propriedade e proporções de áreas plantadas com insumos modernos e tradicionais são altamente significativas e de sinais opostos: 0,2846 e -0,3730. O efeito escala presente nesta amostra indica que, para algum tamanho crítico de propriedade menor que cinco hectares, o cultivo com insumos modernos possivelmente não é rentável o suficiente para superar os custos fixos a eles associados.

Em contraste, os números relativos às amostras em que todas as propriedades estão incluídas (1970 e 1980) indicam correlações negativas de pequena magnitude, embora estatisticamente significativas, tanto para 1970 quanto para 1980. Os números para 1970, obtidos da tabela 3, são -0,0876 (tamanho e proporção de área alocada à agricultura moderna) e

-0,0411 (alocada à agricultura tradicional); os valores para 1980, obtidos da tabela 5, são -0,0502 e -0,0684, respectivamente. Portanto, a proporção de área alocada a culturas temporárias (com insumos modernos e tradicionais) decresce ligeiramente segundo o tamanho da propriedade. Tais resultados sugerem que o modelo portfólio com três atividades agrícolas e horizonte temporal de um período não é representativo das decisões de alocação de recursos em presença de incerteza para uma amostra de propriedades sem restrição de tamanho.

Tabela 3
Todas as propriedades (1970)

Estatísticas da amostra			
Variável	N	Média	DSV PAD
PMOD	3.066	0,2273	0,3094
PTRA	3.066	0,1598	0,2499
Área	3.066	75,00	271,68
Coeficientes de correlação / PROB > R sob RHO = 0 / N = 3.066			
	PMOD	PTRA	Área
PMOD	1,00000 0,0		
PTRA	-0,30407 0,0001	1,00000 0,0	
Área	-0,08757 0,0001	-0,04111 0,0228	1,00000 0,0

Obs.: A unidade de área é o hectare. PMOD e PTRA são as proporções da área total da propriedade alocadas, respectivamente, a cultivos com insumos modernos e tradicionais.

Tabela 4
0 < área ≤ 5 (1970)

Estatísticas da amostra			
Variável	N	Média	DSV PAD
PMOD	274	0,1849	0,3369
PTRA	274	0,2378	0,3438
Área	274	3,29	1,28
Coeficientes de correlação / PROB > R sob RHO = 0 / N = 274			
	PMOD	PTRA	Área
PMOD	1,00000 0,0		
PTRA	-0,33610 0,0001	1,00000 0,0	
Área	0,12665 0,0361	-0,06765 0,2644	1,00000 0,0

Obs.: A unidade de área é o hectare. PMOD e PTRA são as proporções da área total da propriedade alocadas, respectivamente, a cultivos com insumos modernos e tradicionais.

Tabela 5
Todas as propriedades (1980)

Estatísticas da amostra			
Variável	N	Média	DSV PAD
PMOD	2.425	0,3522	0,3647
PTRA	2.425	0,1738	0,2992
Área	2.425	70,0	182,18

Coeficientes de correlação / PROB > IRI sob RHO = 0 / N = 2.425			
	PMOD	PTRA	Área
PMOD	1,00000 0,0		
PTRA	-0,43866 0,0001	1,00000 0,0	
Área	-0,05017 0,0135	-0,06844 0,0007	1,00000 0,0

Obs.: A unidade de área é o hectare. PMOD e PTRA são as proporções da área total da propriedade alocadas, respectivamente, a cultivos com insumos modernos e tradicionais.

Tabela 6
0 < área ≤ 5 (1980)

Estatísticas da amostra			
Variável	N	Média	DSV PAD
PMOD	237	0,2625	0,3740
PTRA	237	0,2792	0,4014
Área	237	2,91	1,60

Coeficientes de correlação / PROB > IRI sob RHO = 0 / N = 237			
	PMOD	PTRA	Área
PMOD	1,00000 0,0		
PTRA	-0,43964 0,0001	1,00000 0,0	
Área	0,28457 0,0001	-0,37298 0,0001	1,00000 0,0

Obs.: A unidade de área é o hectare. PMOD e PTRA são as proporções da área total da propriedade alocadas, respectivamente, a cultivos com insumos modernos e tradicionais.

5. Conclusões

Sendo válidos os pressupostos de que existem custos fixos associados à adoção de insumos modernos e de que os agricultores têm aversão relativa constante ao risco, o modelo desenvolvido prediz: a) retornos de escala na modernização agrícola; b) comportamento de “cobertura do risco de adoção” na alocação de terra entre agricultura tradicional e moderna, sempre que os retornos das duas atividades não forem perfeitamente correlacionados. A evidência empírica de dados censitários de cinco municípios de São Paulo indica diferenças significativas na intensidade de adoção entre duas classes de tamanho de propriedade em 1970 e 1980, e um incremento nessa intensidade no período 1970-80 para ambas as classes. O efeito escala se faz presente para a classe de propriedades de área menor ou igual a cinco hectares.

Referências bibliográficas

- Arrow, Kenneth J. The theory of risk aversion. In: Arrow, K. T. *Essays in the theory of risk bearing*. Chicago, Markham, 1971.
- Feder, G. & O'Mara, G. Farm size and the diffusion of the green revolution. *Economic Development and Cultural Change*, 30:59-76, 1981.
- Parthasarathy, G. & Prasad, D. S. Response to the impact of new rice technology by farm size and tenure — Andra Pradesh, India. In: *Interpretative analysis of selected papers from changes in rice farming in selected areas of Asia*. Los Banos, Philippines, International Rice Research Institute, 1978.
- Prahladachar, M. Income distribution effects of the green revolution in India: A review of empirical evidence. *World Development*, 11(11):927-44, 1983.