

Comunicação (VIII)

## Um modelo de otimização para a expansão agrícola: o Triângulo Mineiro \*

BRUCE W. CONE \*\*

LUDWIG M. EISGRUBER \*\*\*

### 1 — Introdução

O presente trabalho tem a finalidade de descrever um modelo utilizado com o fim de determinar a alocação ótima de capital na região do Triângulo Mineiro. O Triângulo Mineiro possui um considerável potencial para expansão agrícola. Ao longo dos rios que o delimitam existem bons solos que vêm sustentando uma agricultura viável por mais de meio século. Sem o emprego de fertilizantes, contudo, a fertilidade natural desses solos vem sendo diminuída. Nas terras altas centrais da região encontram-se os solos do *Campo Cerrado*, nome local para uma vegetação composta de árvores pequenas e tortas, indicativa de terras deficientes em elementos nutrientes. Experimentos agrícolas aí realizados demonstraram impressionante resposta aos fertilizantes. Os resultados dos experimentos levaram à especulação de que o futuro desenvolvimento da região deverá ocorrer em consequência do desmatamento e fertilização dos solos do *Campo Cerrado*. Essas opiniões deram margem a um ativo debate entre os que defendem o uso de recursos para fertilizar os solos de boa qualidade das bacias dos rios e os que acham que os solos potencialmente produtivos das terras altas centrais devem ser desmatados e fertilizados.

\* Divulgado originalmente como Battelle — Northwest Laboratory Article 3672. A pesquisa foi financiada pelo Agricultural Development Council e Purdue University.

\*\* Do Battelle-Northwest, Richland, Washington.

\*\*\* Purdue University, West Lafayette, Indiana.

O objetivo da pesquisa aqui descrita foi o de auxiliar os formuladores de política a decidir entre as duas alternativas. A região é caracterizada por preços instáveis, altas taxas de inflação, numerosas e variadas taxas de juros, e uma grande variedade de tamanho de propriedades. Além disso, o desenvolvimento de um mercado potencial para os fertilizantes provavelmente alterará o preço desse insumo. Desse modo decisões baseadas em um único valor histórico dos preços de fertilizantes e produtos, taxas de juros e inflação, e tamanho da propriedade, poderão ter pouco sucesso. O modelo apropriado para a solução do problema deve ser capaz de determinar o uso ótimo dos recursos para valores específicos dessas cinco variáveis exógenas, assim como levar em conta o efeito de suas prováveis variações.

## 2 — Uma consideração teórica

A maximização do valor atual do fluxo futuro de renda líquida do empresário constitui um critério objetivo comumente utilizado em estudos sobre a alocação de fatores de produção. A alocação de recursos é função da taxa de juros utilizada para desconto da renda futura. Uma taxa real de juros é relevante, caso se espere que o valor do dinheiro varie durante o horizonte de planejamento considerado. Não se dispondo de uma taxa de juros real, a equação de desconto deverá incluir a taxa de inflação e uma taxa monetária de juros. Num mercado de capital imperfeito existe uma taxa monetária de juros diferente para os casos de capital tomado de empréstimo e do capital emprestado. Se as oportunidades produtivas forem de ordem tal que se possam obter maiores retornos com a produção do que com o empréstimo, a taxa de tomada, e não a de empréstimo, é apropriada.<sup>1</sup> A equação de desconto pode ser escrita da seguinte maneira:

$$PV = K_0 + K_1 (1 + j) (1 + i_b)^{-1} \quad (1)$$

<sup>1</sup> I. Fisher, *Appreciation and Interest* (American Economic Association, 1896), pp. 6-11; J. Hirshleifer, "On the Theory of Optimum Investment Decisions", *Journal of Political Economy* (agosto, 1958), pp. 329-352.

onde:  $PV$  é o valor atual da renda,  
 $K_0$  é a renda no primeiro período,  
 $K_1$  é a renda no segundo período,  
 $j$  é a taxa de inflação, ou mudança no valor do dinheiro,  
 $i_b$  é a taxa monetária de juros sobre o capital tomado de empréstimo.

### 3 — O modelo conceitual

O modelo conceitual consiste das funções de produção e de lucro da fazenda, de investimento do empresário, de desmatamento da terra e de resposta ao uso dos fertilizantes. Essas funções constam das equações 2 a 7 abaixo.

A função de produção relaciona níveis de insumo e produto de cada período durante todo o horizonte de planejamento, uma vez que os insumos adquiridos em um período podem contribuir para a produção durante todos os períodos subseqüentes. Supõe-se que os insumos são adquiridos no primeiro dia de cada período e vendidos no último. A função de produção toma a forma seguinte:

$$F(q_{12}, \dots, q_{sT+1}, q_{s+11}, \dots, q_{mT}) = 0 \quad (2)$$

onde:  $q_{nt}$  ( $n = 1, \dots, s$ ) ( $t = 2, \dots, T+1$ ) é a quantidade do *nésimo* produto obtido durante o período  $t-1$  e vendida na *tésima* data de comercialização,

$q_{nt}$  ( $n = s+1, \dots, m$ ) ( $t = 1, \dots, T$ ) é a quantidade do *nésimo* insumo adquirido na data  $t$  de comercialização e utilizado no processo de produção durante todo o período  $t$ , sendo os níveis de insumo designados pelo sinal negativo e os de produto pelo sinal positivo.

Durante qualquer período dentro do horizonte de planejamento, o empresário incorre em um lucro ( $\pi_t$ ). Esse lucro, que pode ser negativo, zero ou positivo, pode ser expressado como:

$$\pi_t = \sum_{n=1}^m P_{nt} q_{nt} \quad (3)$$

onde:  $P_{nt}$  é o preço do  $n$ ésimo produto vendido na data  $t$  de comercialização.

O empresário inicia a produção com um feixe especificado de recursos no princípio do período  $t$ . Anualmente, a firma gera renda ( $\pi_t$ ), parte da qual é consumida pelo empresário e sua família. O restante pode ser reinvestido na fazenda e toma a seguinte forma:

$$q_{nt} = G(\pi_{t-1}) \quad (4)$$

onde:  $q_{nt}$  é definido como a quantidade de fatores adquiridos no início do ano  $t$ .

Supõe-se que o objetivo do empresário é maximizar o valor de sua receita líquida inflacionada, sujeito às restrições técnicas impostas pela função de produção e dado o seu nível de consumo. Este objetivo é formulado da seguinte maneira:

$$\text{Maximizar } PV = \sum_{t=2}^{T+1} \sum_{n=1}^m P_n q_{nt} (1+j)^t (1+i_b)^{-t} \quad (5)$$

$$\text{sujeito a } F(q_{12}, \dots, q_{mT}) = 0,$$

onde:  $PV$  é o valor atual do fluxo inflacionado da renda líquida ao longo do horizonte de planejamento,  
 $j$  é a taxa de inflação,  
 $i_b$  é a taxa de juros sobre o capital tomado de empréstimo, e  
 $P_n$  é o preço do  $n$ ésimo fator ou produto durante o ano inicial.

Conforme especificado na equação 5, são exógenas à firma as quantidades de recursos que o fazendeiro controla quando começa o período inicial de produção, o nível de preços do produto, preços dos fertilizantes e a taxa real de juros. A quantidade ótima de fertilizantes usados e a terra desmatada durante cada período dependem do valor de cada uma dessas variáveis exógenas. Pode-se esperar

que mudanças em seus respectivos valores alterem o uso ótimo dos recursos e o resultante curso da expansão agrícola. O modelo, por conseguinte, é completado com as funções de resposta ao uso de fertilizante e a terra desmatada. Considerando que o fertilizante é também aplicado à terra que foi desmatada, as duas equações devem ser simultaneamente determinadas e são expressas como:

$$LC_T = H_1(FS_t, j_T, i_{bT}, P_{uT}, P_{fT}) \quad (6)$$

$$FA_T = H_2(FS_t, j_T, i_{bT}, P_{uT}, P_{fT}, LC_T) \quad (7)$$

onde:

- $LC_T$  representa os hectares de terras desmatadas durante o horizonte de planejamento,
- $FA_T$  é o índice da quantidade de macronutrientes aplicados ao solo durante o horizonte de planejamento,
- $FS_t$  é o tamanho da propriedade agrícola no início do horizonte de planejamento, incluindo o volume de terra e capital que um empresário individual dispõe ao iniciar a produção,
- $j_T$  é a taxa anual de inflação,
- $i_{bT}$  é a taxa anual de juros sobre o capital tomado de empréstimo,
- $P_{uT}$  é o nível dos preços dos produtos,
- $P_{fT}$  é o nível dos preços dos fertilizantes.

#### 4 — Estrutura matemática

A estrutura matemática consiste de três partes, um algoritmo de programação linear dinâmica, um desenho experimental e um par de equações simultâneas. A equação 5 foi resolvida com um algoritmo de programação linear dinâmica. Supoz-se que os preços e os coeficientes técnicos eram conhecidos e se considerou explicitamente o tempo. As equações 6 e 7 foram estimadas através do método dos mínimos quadrados. A fim de gerar observações suficientes para es-

timar a forma funcional das equações 6 e 7, tornou-se necessário resolver a equação 5 para vários valores dos preços de fertilizantes e produtos, taxa de inflação e juros, e tamanho da fazenda. Se fossem usadas todas as combinações de três valores para cada uma das cinco variáveis, seria necessário resolver 243 vezes a equação 5. A fim de se ganhar eficiência na computação, utilizou-se um desenho experimental,<sup>2</sup> do tipo fatorial fracional, sendo assim necessário resolver apenas 27 vezes a equação 5. Este procedimento atenua a limitação determinística da programação linear, onde se supõe que todos os coeficientes são constantes conhecidas.

## 5 — Os dados

Os dados usados nesta análise foram coletados no Triângulo Mineiro e áreas limítrofes. As funções de produção que descrevem a resposta do arroz, milho, feijão, algodão, soja e pastagens ao uso de calcário e de fertilizantes nos quatro tipos de solos, foram subjetivamente estimadas por agrônomos locais baseados em experimentos de campo por eles realizados. Os dados sobre os preços dos fertilizantes foram compilados entre fornecedores locais, estabelecendo-se intervalos de variação com base na evidência histórica e previsões da indústria. Os preços dos produtos foram determinados com fundamento em séries de três anos, pagos na fazenda no Triângulo Mineiro. Os custos de produção e desmatamento foram coletados entre gerentes das fazendas locais e dados publicados. As taxas de inflação e juros baseiam-se em séries de dados históricos considerando-se também a existência de programas locais de subsídio ao capital.

## 6 — O modelo empírico

O modelo empírico consistiu de uma matriz de programação linear contendo 171 equações e 747 vetores de atividade, e representavam as principais oportunidades técnicas e condições econômicas históricas do Triângulo Mineiro. O horizonte de planejamento de oito anos

<sup>2</sup> W. G. Cochran, G. M. Cox, *Experimental Design* (Londres: John Wiley, 1957), pp. 272, 273 e 290.

foi dividido em dois períodos de produção de um ano, um período de dois anos e um de quatro. As três situações iniciais de recursos foram representadas por três vetores de condições iniciais. O desenho experimental implicou em 27 variações da equação funcional.

*Atividades.* Os processos de produção, desmatamento da terra, compra de insumos, oportunidades de financiamento, transferência de recursos e vendas dos produtos foram incluídos nos vetores de atividades. Existiam possibilidades de produção de arroz, milho, feijão, soja, algodão e gado de corte, isto é, seis atividades básicas que podem ser introduzidas em uma das quatro qualidades de terra consideradas utilizando uma das três quantidades de fertilizantes estipuladas e uma das três práticas organizacionais durante os quatro períodos de tempo.

A terra foi qualitativamente dividida em terra de boa qualidade, terra de cultivo antigo, cerrado bom e cerrado pobre. As terras em que se podiam obter bons rendimentos das colheitas sem o uso de fertilizantes foram classificadas como boas. As antigas eram constituídas simplesmente de terra boa que, por cultivo sucessivo, foram esgotadas de elementos nutrientes. Definiu-se o cerrado bom com a terra coberta por vegetação de pequenas árvores, que precisaria ser desmatada e fertilizada antes de poder ser cultivada. O cerrado pobre, de maneira semelhante ao cerrado bom, podia ser desmatado a custo mais baixo, porém exigia mais fertilizantes para que se pudessem obter os mesmos rendimentos. Os usos alternativos foram determinados pela qualidade da terra. Por exemplo, o cerrado poderia ser plantado com arroz ou pastagens somente, pelo menos, um ano depois do desmatamento.

A fim de representar os métodos atuais de cultivo, bem como as possíveis adaptações tecnológicas, foram incluídos dentre as práticas organizacionais de produção o cultivo intensivo em mão-de-obra (intensivo em capital), e o sistema de meação. Os coeficientes das atividades intensivas em mão-de-obra foram calculados com base no produto obtido com esforço humano ou tração animal, associado a equipamento e ferramentas manuais. As atividades intensivas em capital supuseram o uso de tratores de 40 h.p. e equipamento compatível de duas fileiras. As atividades de meação levaram em conta

que o proprietário arava a terra e pagava metade das despesas em dinheiro, sementes, fertilizantes, calcário e produtos químicos, em troca de metade da colheita.

A fim de simular as opções financeiras abertas ao agricultor na região, incluíram-se vários vetores de modo a permitir a mobilidade de recursos financeiros entre as várias atividades. Durante o primeiro período, o capital de giro podia provir de uma dotação inicial de fundos empresariais ou de um empréstimo bancário. Em períodos subseqüentes, poderia ter origem na poupança, uma vez que se supôs que 16% da receita líquida fossem economizados e servissem como capital de giro nos períodos subseqüentes. Os fundos podiam ser emprestados a uma taxa de juros 3% menor que a taxa de tomada de empréstimo. Considerando que a poupança é incluída na função objetiva ao fim do período final, foi possível acompanhar o fluxo de caixa através de todo o horizonte de planejamento.

Num modelo que se baseia na oportunidade de melhorar a qualidade da terra ao longo do tempo, tornou-se necessário incluir certas atividades de transferência, possibilitando a mudança de um nível mínimo para um nível máximo de melhoramento da terra. Exemplificando, durante o primeiro ano, parte da terra de cultivo antigo poderia ser deixada ociosa em virtude da insuficiência de capital para desenvolvê-la. Fundos suficientes poderiam ser gerados durante o segundo período para cultivá-la com o emprego de mais fertilizantes. Em um período subseqüente, um volume suficiente de capital poderia ser gerado de modo a tornar lucrativa a aplicação de um alto grau de fertilizantes. A fim de considerar tal eventualidade foram incluídas atividades que utilizavam terra de uma dada qualidade, certa quantidade de calcário e fertilizante, e que produziam terra da qualidade seguinte mais alta. Isso levava em conta o melhoramento contínuo da terra ao longo do horizonte de planejamento.

*Restrições.* Terra, capital, mão-de-obra e consumo da família figuravam como restrições do modelo. As três condições iniciais de recursos foram derivadas da faixa de tamanhos de fazendas existentes na região. Supôs-se que os pequenos proprietários (80 hectares) possuíam menos capital de giro, podiam tomar menos empréstimos, e tinham hábitos de consumo mais modestos que os grandes pro-

prietários (1.000 hectares). A utilização de mão-de-obra foi limitada a 300 dias, sem nenhum dispêndio de capital em cada um dos três tamanhos de fazenda.

*Função objetivo.* Todas as compras, vendas e atividades de tomada e concessão de empréstimos continham um elemento não nulo na função objetivo. Esses valores foram descontados pela taxa de juros real apropriada, conforme a equação 1. Este o motivo das 27 variações da função objetivo.

## 7 — Resultados analíticos

A solução da equação 5, para cada uma das vinte e sete variações do modelo empírico, gerou dados suficientes para estimar os coeficientes das equações 6 e 7. As equações estimadas são:

$$\widehat{LC} = -293 + 20.17 \left( \frac{1+j}{1+i} \right) + 10.54i + 196.03 P_Y + 69.78 P_X + 0.43 FS \quad (R^2 = 0.92) \quad (8)$$

$$\widehat{TCL} = LC + FS/2 \quad (9)$$

$$\widehat{FA} = -26.20 - 31.34 \left( \frac{1+j}{1+i} \right) - 102.24 i + 92.31 P_Y - 8.38 P_X + 0.19 \widehat{TLC} - 282.54 \left( \frac{P_X}{\widehat{LC}} \right) \quad (R^2 = 0.83) \quad (10)$$

onde:

- $\widehat{LC}$  é o número estimado de hectares de terra desmatada num horizonte de planejamento de oito anos,
- $j$  é a taxa anual de inflação,
- $i$  é a taxa anual de juros sobre o capital tomado de empréstimo,
- $P_Y$  é o nível dos preços dos produtos no início do horizonte de planejamento,
- $P_X$  é um índice de preços dos fertilizantes, tendo como base o início do horizonte de planejamento,
- $FS$  é o tamanho da fazenda, em hectares,

$\widehat{TCL}$  é o número estimado do total de hectares desmatados, isto é, terra de boa qualidade, terra antiga e cerrado desmatado no fim do horizonte de planejamento,

$\widehat{FA}$  é um índice de fertilizantes aplicados ao longo do período de oito anos e que combina o valor do nitrogênio, fósforo e potassa nas proporções geralmente requeridas na região.

## 8 — Conclusões

O modelo revelou-se eficaz na determinação do uso ótimo dos recursos quando se espera que variem os preços dos produtos e fertilizantes, as taxas de juros e inflação, e o tamanho da fazenda. A pesquisa indica que não tem razão de ser o debate entre os que defendem o desenvolvimento de novas terras e os que argumentam pelo aumento do uso de fertilizantes em terras que estão atualmente sob cultivo. Segundo os resultados de pesquisa, quando a razão preços dos produtos/fertilizantes e a taxa de juros real era de tal ordem que não parecia lucrativo desmatar a terra, tampouco era lucrativo usar grande volume de fertilizantes. Nos casos em que era lucrativo fertilizar abundantemente as lavouras, descobriu-se ser também lucrativo desmatar toda a terra disponível. Nos casos em que os níveis de preços dos produtos tornavam prejudicial desmatar o cerrado do tipo pobre, os fertilizantes não eram usados em algumas lavouras. Dentre as 27 soluções, em todas aquelas em que toda a terra foi desmatada foi também utilizado um alto nível de fertilizantes. Por outro lado, tampouco houve caso em que todas as culturas foram fertilizadas em alto grau deixando ao mesmo tempo parte do cerrado sem ser desmatado. Se era absolutamente lucrativo desmatar a terra, era igualmente lucrativo usar fertilizantes.

As taxas de inflação e juros, preços dos produtos e dos fertilizantes e o tamanho das fazendas afetaram por igual o volume da terra desmatada e volume de fertilizantes aplicado. Altos preços dos produtos estimularam a expansão agrícola, ao passo que baixos preços resultaram em terras ociosas. Taxas mais altas de inflação produziram mais

desmatamento de terra e menor utilização de fertilizantes do que taxas mais baixas. A redução das taxas de juros resultou em mais desmatamento e níveis mais altos de emprego de fertilizantes. Como seria de esperar o volume de fertilizantes usado variou inversamente com seus preços. Em igualdade de condições, as pequenas fazendas foram desmatadas antes das grandes, simplesmente porque havia mais mão-de-obra (do proprietário e sua família) disponível por hectare.

O modelo é satisfatório nos casos em que a inflação precisa ser incluída explicitamente e quando diversas variáveis exógenas produzem considerável impacto sobre a utilização ótima dos recursos. Esse é o caso de vários países onde existe oportunidade de expansão agrícola através da derrubada de florestas, drenagem de pântanos, e uso de fertilizantes ou irrigação. Os preços dos fatores e produtos são, às vezes, estabelecidos no mercado internacional sendo assim exógenos à economia local. Tais preços, entretanto, podem variar em função de fatores políticos. A inclusão de tais possibilidades poderia ampliar a vida útil dos resultados da pesquisa e expandir a aplicação de seus resultados.

