UM MODELO DE QUANTIFICAÇÃO DO EFEITO RESIDUAL DA CALAGEM PARA ANÁLISE ECONÔMICA ([1])

Edgar A. Lanzer ([2])

1 - OBJETIVO

O efeito residual da calagem do solo tem sido objeto de diversas pesquisas por parte de especialistas em fertilidade de solos no Rio Grande do Sul.

Para fins de análise econômica tem-se geralmente admitido um efeito residual de cinco anos (2,3), embora se saiba que este efeito depende, entre diversos outros fatores, da necessidade inicial de calagem e do calcário efetivamente incorporado ao solo.

O objetivo do presente trabalho é o de propor um modelo relativamente simples de quantificação do efeito residual do calcário e aplicá-lo a um caso específico, desenvolvendo-se a partir daí sua análise econômica e sugestões para novas pesquisas.

Os rigorismos e formalismos matemático-estatísticos foram abandonados na medida do possível para facilitar a compreensão do modelo de análise por técnicos não diretamente relacionados à área de Economia Agrícola.

([1]) Trabalho apresentado na IV Reunião Conjunta de Pesquisa da Soja RS/SC, Santa Maria-RS. Agosto de 1976.

([2]) Professor-Assistente no Centro de Estudos e Pesquisas Esconômicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

O autor agradece as críticas e sugestões recebidas, particularmente dos Profs. Atos F. Grawunder (IEPE/UFRS) e João Mielniczuck (FA/UFRS). Evidentemente os erros remanescentes são de responsabilidade exclusiva do autor.

2 - MÉTODOS

Aceitamos, em princípio, que o rendimento de um dado cultivo é função do calcário incorporado ao solo e do tempo transcorrido desde esta incorporação. Mais especificamente:

$$R_{jt} = f\,(Ca_j,\ t)$$

sendo R_{jt} o rendimento relativo da parcela j transcorridos t anos de aplicação da dose Ca_j de calcário. Considera-se o rendimento da testemunha em cada ano como 100.

Para valores de Ca_j até pouco mais de 1 SMP esperamos que a função f(.) satisfaça as seguintes condições:

$$\frac{\partial R_{jt}}{\partial Ca_j} > 0 \quad ; \quad \frac{\partial^2 R_{jt}}{\partial Ca_j^2} < 0 \quad \text{e} \quad \frac{\partial R_{jt}}{\partial t} < 0$$

isto é, espera-se que o rendimento relativo aumente menos que proporcionalmente com o aumento das doses de calcário e diminua na medida em que mais tempo transcorre desde sua aplicação.

Uma forma funcional que satisfaz estas condições é:

$$R_{jt} = 100 + \alpha Ca_j^{\beta}\ e^{\gamma t}$$

onde:

$\alpha > 0$,

$0 < \beta < 1$;

$e = 2,7183 \ldots$

$\gamma < 0$.

Note-se que:

a) se nenhum calcário é aplicado temos $R_{jt} = 100$ para $t = 0, 1, 2, \ldots$;

b) se algum calcário é aplicado temos as seguintes respostas ao mesmo:

b1) na safra imediata a incorporação (t=0):

$$R_{jo} = 100 + \alpha Ca_j^{\beta}$$

b2) na safra seguinte, isto é, um ano após incorporação (t=1):

$$R_{j1} = 100 + e^{\gamma}\ \alpha\ Ca_j^{\beta}$$

b3) na safra de dois anos após incorporação (t=2):

$$R_{j2} = 100 + e^{2\gamma}\ \alpha Ca_j^{\beta}$$

b4) na safra de n anos após incorporação (t=n):

$$R_{jn} = 100 + e^{n^{\gamma}}\ \alpha Ca_j^{\beta}$$

Conclui-se então que a resposta do rendimento relativo da cultura ao calcário é dividida em duas partes. A primeira delas, $\alpha\ Ca^{\beta}$, é a resposta a aplicação de calcário propriamente dita, enquanto que a segunda, $e^{\gamma t}$, representa a deterioração percentual da resposta ao longo do tempo.

O presente modelo pressupõe que a diminuição da resposta a calcário nos anos subseqüentes a sua aplicação seja devida puramente a queda do efeito residual desta prática. Não é válida a aplicação do modelo em situações em que nos anos subseqüentes a calagem o decréscimo de resposta advem do esgotamento do solo em nutrientes, decorrente de adubações insuficientes para os tetos de rendimento obtidos em solos com acidez corrigida.

Os parâmetros do modelo proposto podem ser estimados por métotos convencionais de regressão múltipla da seguinte maneira:

1º) Transformam-se os resultados obtidos em cada parcela em percentuais relativos a testemunha do ano, que é considerada como 100. Assim obtemos as observações R_{jt}.

2º) Criamos a variável operacional X_{jt}, sendo $X_{jt}=R_{jt}-100$

3º) Notando que $X_{jt} = \alpha\ Ca_j^{\beta}\ e^{\gamma t}$, então anomorfose:

$$\ln X_{jt} = \ln \alpha + \beta \ln Ca_j + \gamma t$$

(sendo ln a representação do operador logarítmo natural ou neperiano)

4º) Estimamos $\ln\alpha$, β e γ por regressão linear, tendo-se o cuidado de não incluir as observações da testemunha na massa de dados, de vez que o logarítmo de zero é menos infinito.

5º) Obtidas estimativas dos parâmetros podemos confrontar os resultados esperados pelo uso do modelo com os observados na realidade através do coeficiente de determinação entre ambos, (R^2).

O modelo proposto é testado a seguir, tendo-se para tanto utilizado resultados de um experimento conduzido por DALL'AGNOL ET ALII (1) no Centro Nacional de Pesquisa com Trigo em Passo Fundo e apresentados na IIa. Reunião Conjunta de Pesquisa com Soja em 1974.

3 - DADOS

O experimento conduzido por Dall'Agnol et alii em Passo Fundo no período 1970-74 visava estimar efeitos residuais de fósforo e calcário na sucessão trigo-soja. No presente trabalho nos concentramos apenas nos resultados da soja, sobre a qual o fósforo não demostrou efeito significativo segundo análise de variância executada pelos autores supra-citados.

Assim, no presente trabalho foram utilizados como repetições de cada tratamento de calcário, as médias apresentadas para cada tratamento de fósforo, contando-se ao todo com 60 observações (excluídas as testemunhas).

Um sumário dos resultados obtidos por Dall'Agnol et alii é apresentado no quadro 1. Maiores detalhes podem ser encontrados na publicação referida, ressaltando-se aqui apenas a informação de que a necessidade de calagem inicial (SMP) era em torno de 10 t/ha, tendo o calcário sido incorporado todo antes da primeira safra.

QUADRO 1. - Efeito Residual do Calcário sobre o Rendimento da Soja. Os Valores em Parêntesis são Proporções em Relação a Cada Safra. Passo Fundo,MG, 1970/71 a 1973/74

(kg/ha)

Calagem (t/ha)	1970/71	1971/72	1972/73	1973/74
0	1680 (100)	1989 (100)	1090 (100)	1628 (100)
3	3300 (196)	2856 (144)	1617 (148)	1815 (111)
6	3490 (208)	3268 (164)	1629 (149)	2141 (132)
9	3680 (219)	3501 (176)	1668 (153)	2271 (139)

Fonte: DALL'AGNOL ET ALII (1).

Examinando-se os valores em parêntesis no quadro 1, nota-se, de imediato, conformidade com as hipóteses do modelo genérico, isto é, os rendimentos relativos aumentam com as dosagens de calcário e diminuem ao longo do tempo.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizando-se o programa de regressão múltipla REG-D no computador IBM-1130 da UFRS segundo o esquema anteriormente estabelecido obteve-se as seguintes funções estimada:

$$\hat{R}_t = 100 + 45{,}237\ Ca^{0{,}505}\ e^{-0{,}4375t} \quad (t=0,1,2,\ldots)$$

Note-se, em primeiro lugar, que as estimativas obtidas para os parâmetros da função estão de acordo com o esperado. A estimativa do parâmetro α apresentou em erro-padrão de 0,085 enquanto que a do γ foi de 0,035. Portanto, em ambos os casos os valores de t-student são, obviamente, altos o suficiente para rejeitar as hipóteses $\beta = 0$ e $\gamma = 0$ com uma probabilidade de confiança de 0,99 (GL = 57).

O coeficiente de determinação entre os valores de $\hat{R}_t$ e as sessenta observações disponíveis foi $R^2 = 0{,}893$. Assim sendo, conclui-se que cerca de 89% das variações dos rendimentos relativos podem ser atribuídos a concomitantes variações nas doses aplicadas de calcário e ao tempo decorrido desde sua aplicação, dada a forma funcional usada para expressar o inter relacionamento das variáveis.

A figura 1 apresenta a função de rendimentos relativos estimados para as diversas safras de soja a partir do calcário aplicado antes da primeira safra.

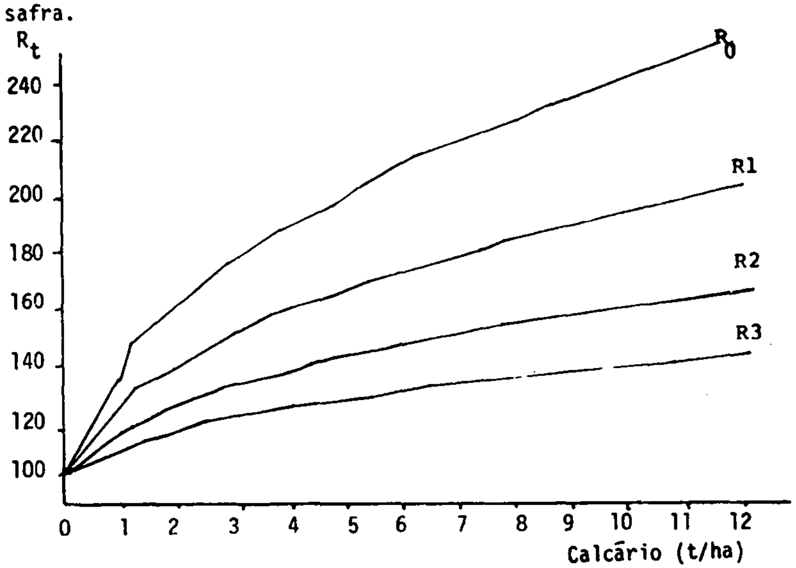

FIGURA 1. - Efeito Imediato e Residual do Calcário sobre a Produtividade (Relativa) de Soja.

O exame da função estimada mostra que:

1º) a resposta da soja (em termos relativos) na safra imediata a incorporação de calcário - $t = 0$ é:

$$R_0 = 100 + 45,237 \ Ca^{0,505}$$

2º) a resposta da soja (em termos relativos) na segunda safra após incorporação do calcário, isto é, transcorrido um ano desde sua incorporação - $t = 1$ - é:

$$R_1 = 100 + 0,647 \ (45,237 \ Ca^{0,505})$$

isto é, se considerarmos o efeito do calcário na primeira safra com peso 1.000, o efeito do mesmo na segunda safra terá um valor relativo de 0,647 ou 64,7%. Em outras palavras: o acréscimo na produtividade relativa da segunda safra é igual a cerca de 65% do acréscimo proporcionado na primeira safra.

3º) os coeficientes de manutenção do efeito proporcionado ao longo do tempo podem ser obtidos, então, através do cálculo de $e^{-0.435t}$, fazendo-se $t = 0, 1, 2, \ldots$

Neste caso, obtivemos

- para a primeira safra: $e^{-0,4354\ (0)} = 1.000$ ou 100%
- para a segunda safra: $e^{-0,4354\ (1)} = 0,647$ ou 64,7%
- para a terceira safra: $e^{-0,4354\ (2)} = 0,419$ ou 41,9%
- para a quarta safra: $e^{-0,4354\ (3)} = 0,271$ ou 27,1%
- para a quinta safra: $e^{-0,4354\ (4)} = 0,175$ ou 17,5%
- etc ...

4º) É evidente que, em termos de rendimentos absolutos (em kg/ha), os acréscimos serão tanto maiores quanto mais alta a dose de calcário aplicada no início. Vamos supor duas doses alternativas de calcário, 3 e 9 t/ha por exemplo. Na terceira safra o efeito de ambas é 27,1% do seu próprio efeito inicial, mas como este é maior para a dose maior, o rendimento em kg/ha nesta safra será também maior para o tratamento de 9 t/ha.

$$R_3 = 100 + 0,271\ (45,237\ Ca^{0,505})$$

temos, portanto, para Ca = 3 $\rightarrow$ $R_3 = 130,6$,
e para Ca = 9 $\rightarrow$ $R_3 = 153,2$.

Supondo agora que o rendimento médio da testemunha fosse 1200 kg/ha teremos na terceira safra após (a) aplicação de 3 t/ha de calcário um rendimento esperado de 1200 x 1,306 = 1567,2 kg/ha de soja e (b) aplicação de 9 t/ha de calcário, um rendimento esperado de 1200 x 1,532 = = 1838,4 kg/ha de soja.

5º) É possível estimar uma dose de "manutenção" de calcário Ca* que, se aplicada ano após ano, estabilizaria o rendimento relativo em torno de um valor desejado R*. Isto pode ser feito a partir da observação que a função estimada pode ser escrita alternativamente como:

$$R_t = 100 + 45.237\ (Ca\ e^{-0,9376t})^{0,505}$$

Agora, a expressão entre parêntesis na equação acima, é interpretada como "equivalente-calcário na primeira safra". Em outras palavras, para uma determinada aplicação do insumo, Ca = 9 por exemplo, e uma dada defasagem t = 1 por exemplo, o valor obtido entre parêntesis nos diz a quantidade de calcário necessária para obter o mesmo rendimento relativo de agora (t = 1), mas na primeira safra (t = 0). Senão vejamos um exemplo: com a dose Ca = 9 e transcorrido um ano desde sua aplicação (i.é.na 2a. safra), t = 1, teríamos um rendimento relativo de:

$$R_1 = 100 + 45.237\ (9\ e^{-0,9376(1)})^{0,505}$$

ou $$R_1 = 100 + 45.237\ (3.524)^{0,505}$$

ou $$R_1 = 185,46.$$

Observa-se então que um rendimento relativo de 185,46 poderia ser obtido na safra imediata após a incorporação de 3,524 t/ha de calcário (t= 0), pois:

$$R_0 = 100 + 45.237\ (3.524\ e^{-0,9376(0)}) = 185,46$$

Notamos então que uma aplicação de Ca t/ha de calcário após transcorrido um ano produz o mesmo ganho relativo que Ca $e^{-0,9376(1)}$ (ou 0,392 Ca) t/ha produz na safra imediata a incorporação. Assim, supondo que a dose aplicada logo antes da safra 1970/71 fosse Ca_0 e que a dose aplicada logo antes da safra 1971/72 fosse Ca_1, a produtividade 1971/72 em relação a testemunha (sem calcário tanto em 1970/71 quanto em 1971/72) seria:

$$R_1 = 100 + 45.237\ (Ca_0\ e^{-0,9376} + Ca_1)^{0,505}$$

Em continuação: se imediatamente antes da safra 1972/73 aplicássemos a dose Ca_2, dado que Ca_0 foi aplicado em 1970 e Ca_1 foi aplicado em 1971, teríamos uma produtividade relativa a testemunha de 1972/73 que não recebeu calcário algum em qualquer das safras de:

$$R_2 = 100 + 45.237\ (Ca_0\ e^{-0,9376(2)} + Ca_1\ e^{-0,9376(1)} + \\ + Ca_2)^{0,505}$$

Prosseguindo da mesma forma para um total de t períodos (ou t - 1 safras) e supondo agora que as aplicações de calcário fossem sempre iguais, isto é, $Ca_0 = Ca_1 \ldots = Ca_{t-1} = Ca_t = Ca^*$, obtemos a seguinte representação para o rendimento relativo R_t :

$$R_t = 100 + 45.237\ (Ca^* \sum_{j=0}^{t} e^{-0,9376\ j})^{0,505}$$

E se considerarmos um número de safras suficientemente longo, teremos:

$$\lim_{t\to\infty} \sum_{j=0}^{t} e^{-0,9376j} = 1.6396$$

Conseqüentemente, após a decorrência de muitas safras, a produtividade relativa tenderia a se estabilizar em R*:

$$R^* = 100 + 45.237\ (1.6396\ Ca^*)^{0,505}$$

$$\text{ou} \quad R^* = 100 + 58,07\ Ca^{*0,505}$$

A equação anterior nos dá uma estimativa de em quanto o ganho em produtividade relativa se estabilizaria se mantivéssemos aplicações anuais na ordem de Ca* t/ha de calcário.

Uma forma equivalente de apresentar a mesma equação é:

$$Ca^* = \left[\frac{R^* - 100}{58,07} \right]^{1,98}$$

Esta última expressão nos permite estimar a dose de "manutenção" de calcário para obter um rendimento relativo anual de R*. Por exemplo, se quisermos manter um ganho anual de 25% sobre a testemunha, isto é, R* = = 125, a dosagem anual Ca* a ser aplicada seria:

$$Ca^* = \left[\frac{125 - 100}{58{,}07}\right]^{1{,}98} = 0{,}190 \text{ t/ha}$$

Usando o mesmo princípio temos as seguintes doses de "manutenção" para diversos ganhos relativos:

- para manter a produtividade 25% acima da testemunha:
  Ca* = 0,19 t calc./ha/ano
- para manter a produtividade 50% acima da testemunha:
  Ca* = 0,74 t calc./ha/ano
- para manter a produtividade 75% acima da testemunha:
  Ca* = 1,66 t calc./ha/ano
- para manter a produtividade 100% acima da testemunha:
  Ca* = 2,93 t calc./ha/ano

Note-se, todavia, que uma dosagem de "manutenção" de 2,93 t/ha por exemplo, não subentende que, se repetida desde a primeira safra, os rendimentos relativos serão duplicados desde a primeira safra. O significado é outro: se a dose Ca* é aplicada todos os anos desde a primeira safra, então transcorrido um certo número de safras, a produtividade relativa terá pouco a pouco se elevado até se estabilizar em torno de R*. Este crescimento pode ser, inclusive, muito lento, embora não o seja no caso estudado. Veja-se o efeito cumulativo de doses anuais de 2,93 t/ha, sobre os rendimentos relativos de safras consecutivas:

$$R_0 = 100 + 45.237\ (2{,}93)^{0{,}505} = 177{,}8$$

$$R_1 = 100 + 45.237\ (2{,}93\ e^{-0{,}9376} + 2{,}93)^{0{,}505} = 192{,}0$$

$$R_2 = 100 + 45.237\ (2{,}93\ e^{-0{,}9376(2)} + 2{,}93\ e^{-0{,}9376} + 2{,}93)^{0{,}505} = 197{,}0$$

etc. ...

6º) Tendo em vista os resultados acima, pode-se estabelecer a questão se não seria possível estimar as dosagens anuais de calcário necessárias para elevar os rendimentos relativos de soja imediatamente até um nível prédeterminado e mantê-los em torno deste nível ao longo do tempo. Neste caso seria de se esperar que as dosagens iniciais fossem relativamente elevadas e decrescessem paulatinamente. Tal determinação pode ser feita com o uso da função estimada, estabelecendo-se a seguir o procedimento através de um exemplo. Vamos supor que, por qualquer razão fosse desejado manter uma produção relativa de 200 durante um certo número de safras.

A primeira aplicação de calcário, Ca_0, pode ser obtida resolvendo

$$200 = 100 + 45.237\ Ca_0^{0,505}$$

de onde: $Ca_0 = 4,81$ t/ha

Dado que antes da primeira safra se aplicariam 4,81 t/ha de calcário, para calcular a dose necessária para manter o rendimento relativo em torno de 200 na segunda safra deveremos aplicar Ca_1 t/ha antes da mesma:

$$200 = 100 + 45.237\ (4,81\ e^{-0,9376} + Ca_1)^{0,505}$$

de onde: $Ca_1 = 4,81 - 4,81\ e^{-0,9376} = 2,95$ t/ha

Dado que antes da primeira safra se aplicaram 4,81 t/ha e antes da segunda safra se aplicaram 2,95 t/ha de calcário, então, para manter o rendimento relativo em torno de 200 na terceira safra, deveremos aplicar Ca_2 t/ha antes da mesma:

$$200 = 100 + 45.237\ (4,81\ e^{-0,9376(2)} + 2,95\ e^{-0,9376} + $$
$$+ Ca_2)^{0,505}$$

de onde $Ca_2 = 4,81\ e^{-0,9376(2)} - 2,93\ e^{-0,9376} = 2,93$ t/ha

Evidentemente as dosagens consecutivas serão também iguais a 2,93 t/ha, de vez que já vimos que esta é a dose de "manutenção" necessária para estabilizar o rendimento relativo em torno de $R^* = 200$.

7º) Os resultados acima são fruto de elaborações algébricas com uma função de efeito residual estimada a partir de um experimento no qual não houve reaplicação de calcário. Assim sendo, são resultados não comprovados experimentalmente. Sua utilidade maior é, possivelmente, a de fonte de informação no desenho de delineamentos específicos.

8º) Um aspecto básico que o correto emprego do modelo proposto pressupõe, é o de que o nível de todos nutrientes esteja sempre em disponibilidade suficiente para não confundir aquilo que se deseja medir, isto é, a perda de efeito residual da calagem. No caso examinado existe uma possibilidade bastante acentuada do Potássio ter-se tornado um fator limitante nos dois últimos anos de experimentação. Neste caso ocorreria uma superestimação da perda do efeito residual da aplicação do calcário.

9º) Além disto, cabe lembrar que os resultados aqui obtidos são específicos para o experimento analisado e, portanto, sua generalização é extremamente limitada. O objetivo maior é de órdem metodológica, pelo que a análise econômica que se segue também é pouco mais do que um exercício.

5 - ANÁLISE ECONÔMICA

Para iniciar a análise econômica é necessário, em primeiro lugar, transformar a função estimada de modo a obter rendimentos absolutos (kg/ha de soja) como variável dependente. Supondo que um rendimento médio de 1.100 kg/ha possa ser atingido sem o uso de calcário no caso em questão ([3]), a resposta (absoluta) ao calcário seria dada por uma simpes regra de três:

$$Y_t = \frac{1.100}{100} R_t = 1100 + 497{,}61\ Ca^{0{,}505}\ e^{-0{,}4735t}$$

onde Y_t é o rendimento esperado de soja (kg/ha) dado que uma dose de Ca toneladas de calcário tenha sido aplicada t anos antes.

A equação anterior será usada para fins de análise econômica simplificada que se segue. A análise é feita segundo o princípio neoclássico de maximização (da expectância) de lucros, não se atentando para riscos. Duas estratégias são analisadas e comparadas: a primeira examina o caso da aplicação única de calcário para diversos horizontes de planejamento e a segunda examina o caso em que reaplicações para estabilizar o nível de produ

---

([3]) O rendimento médio da testemunha em quatro anos de experimentação foi de 1596 kg/ha, mas acredita-se que seria menor em condições de campo. Assim preferiu-se 1100 kg/ha, que reflete a média estadual.

tividade são permitidas. Os preços utilizados são de Cr$ 200,00 por t de calcário incorporado e Cr$ 60,00 por saco de soja vendido. A relação de preços escolhida é propositalmente "conservadora".

5.1 - Estratégia 1: Correção sem Manutenção

Nesta seção consideramos o caso convencional em que o produtor aplica calcário uma vez em cada cinco anos. O pressuposto básico é o de maximização (da expectância) do valor presente de lucros (VPL):

$$VPL = \left[\sum_{t=0}^{n} \frac{1}{(1+j)^{t}} (Y_t P_y - CF) \right] - P_c C_a$$

sendo:

n: horizonte de planejamento (número de safras menos um)

Y_t: produção de soja decorridos t anos da aplicação de calcário (em kg/ha)

P_y: preço da soja (Cr$/kg)

P_c: preço do calcário (Cr$/t)

C_a: quantidade de calcário aplicado no ano zero, antes da primeira safra (em t/ha)

CF: outros custos de produção além do calcário (Cr$/ha).

Na análise que segue deram-se os seguintes valores aos parâmetros relacionados:

n: variável de zero (uma safra) a quatro (cinco safras)

j: 0,06 (correspodendo a uma taxa de juros real de 6% a.a.)

P_y: 1,00 (correspondendo a um preço de Cr$ 1,00/kg de soja)

P_c: 200,00 (correspondendo a um preço de Cr$ 200,00/t de calcário)

CF: 880,00 (uma aproximação para os demais custos de produção: Cr$ 880,00/ha)

Para encontrar a dose de calcário que maximiza VPL, basta então derivar esta função em relação a Ca e igualar o resultado a zero e resolver para Ca.

Os resultados obtidos, para diversos horizontes de planejamento, estão sumarizados no quadro 2.

QUADRO 2. - Resultado da Análise Econômica da Correção Sem Manutenção

Número de safras planejadas	n	Preço calcário (Cr$/t)	Preço soja (Cr$/sc.)	Taxa de juros real	Dose ótima de calcário (t/ha)	Valor presente dos lucros (c/calc.) (Cr$/ha)	Valor presente dos lucros (s/calc.) (Cr$/ha)
Uma	0	200,00	60,00	0,06	1,59	531,00	220,00
Duas	1	200,00	60,00	0,06	4,15	1.242,00	428,00
Três	2	200,00	60,00	0,06	5,50	1.702,00	624,00
Quatro	3	200,00	60,00	0,06	6,60	2.103,00	809,00
Cinco	4	200,00	60,00	0,06	7,37	2.428,00	983,00

Os resultados do quadro 2 mostram como a dosagem ótima de calcário aumenta a medida em que o número de safras planejadas cresce. Assim, no caso examinado, em um planejamento para a maximização do lucro em uma safra seria necessária a aplicação de toneladas e meia de calcário por hectare. Por outro lado, em um planejamento para cinco safras de sojas, a aplicação seria em torno de 7,4 t/ha de calcário. O aumento relativo no valor presente dos lucros varia entre 140 e 190%, dependendo do número de safras planejadas.

O quadro 3 apresenta os valores presentes dos lucros esperados para um plano de cinco safras,dadas aplicações alternativas de calcário antes da primeira safra.

O objetivo do quadro 3 é apenas mostrar que a função VPL é relativamente achatada em torno do seu ponto máximo. Observa-se que o valor presente dos lucros para doses que diferem até 1 tonelada/ha da dose ótima não é sensivelmente diminuído.

QUADRO 3. - Valores Presentes de Lucro para Um Plano de Cinco Safras de Soja e Níveis Alternativos de Calagem

Calcário (t/ha)	0	2	4	6	7	7,37	8	10
Valor presente de lucros (Cr$/ha)	983	2093	2326	2414	2427	2428 (max.)	2425	2388
Δ% sobre 983	0,0	112,9	136,6	146,6	146,9	147,0 (max.)	146,7	142,9

5.2 - Estratégia 2: Correção com Manutenção

Vamos supor que o agricultor se dispusesse a manter o efeito da calagem através de aplicações anuais. Mais ainda, vamos supor que o horizonte de planejamento fosse suficientemente longo para podermos usar a equação de rendimento estabilizado:

$$R^* = 100 + 58.07\ Ca^{*0,505}$$

Agora, para podermos comparar os resultados obtidos nesta seção com os anteriores, vamos usar os mesmos parâmetros de antes. Admitindo que o solo em questão produza um rendimento de 1.100 kg/ha de soja sem o uso de calcário, temos:

$$Y^* = \frac{1.100}{100}\ R^* = 1.100 + 638.77\ Ca^{*0,505}$$

Na expressão acima Y* é o rendimento estável de soja (kg/ha) dado que uma dose de Ca* t/ha de calcário seja aplicada anualmente.

Admitindo os mesmos preços de antes, isto é, Cr$ 1,00/kg de soja e Cr$ 200/t de calcário, o lucro anual é:

$$L^* = Y^* - 200\ Ca^* - 880 \qquad \text{(sendo 880=CF como em 5.1)}$$

Então, fazendo $\frac{\partial L^*}{\partial Ca^*}=0$ encontramos que a dose de calcário anual que maximiza lucros é da ordem de 2,63 t/ha. A esta dose corresponde um rendimento estável de 2.141 kg/ha/ano de soja (ou 194,6 em termos relativos).

Para obter este rendimento logo na primeira safra é necessária uma dosagem de 4,31 t/ha de calcário (calculado item 6 da seção 4). O rendimento é mantido com doses anuais consecutivas de 2,63 t/ha.

Neste caso, o valor presente de lucros de cinco safras consecutivas é dado por:

$$VPL = (2141 - 200 \times 4{,}31 - 880) + \sum_{j=1}^{4} \frac{(2141 - 200 \times 2{,}63 - 880)}{1{,}06^{j}} = \text{Cr\$ } 2.946/\text{ha}$$

O resultado acima deve ser comparado com o obtido na análise anterior para o mesmo número de safras (cinco, no caso). Antes concluiu-se que , sem manutenção, a dose inicial única e ótima, era de 7,37 t/ha de calcário e o conseqüente valor presente de lucros era de Cr$ 2.428/ha. Agora,para uma estratégia de aplicar 4,31 t/ha antes da primeira safra e 2,63 t/ha antes das quatro safras seguintes, temos um valor presente de lucros de .... Cr$ 2.946/ha (note que o total de calcário aplicado no período é de 14,83 t/ha). O aumento relativo na rentabilidade econômica é da ordem de 21,3%, não podendo portanto ser considerado desprezível. É de se salientar que a estratégia de manutenção usada é ótima, estritamente para um período de planejamento muito longo, mas mesmo assim apresente vantagem sobre a estratégia de dose única num prazo relativamente curto.

6 - CONCLUSÃO

O modelo conceptual proposto para a quantificação do efeito residual do calcário apresentou resultados estatísticos satisfatórios, evidenciando possibilidades de uso em outros trabalhos.

No caso estudado verificou-se que a deterioração do efeito residual da calagem sobre a produtividade de soja era relativamente acentuada,de modo que a estratégia de aplicações anuais a fim de evitar a queda de rendimentos físicos apresentou nítida vantagem econômica sobre a alternativa de uma dose única de calcário ([4]). Evidentemente esta vantagem não será tão pronunciada para aqueles solos nos quais o efeito da calagem seja mais estável ao longo do tempo.

([4]) Note, todavia, que a "estratégia de aplicações anuais" não deve ser entendida como sinônimo de "fracionamento da alternativa de dose única".

Todavia, como parte da análise foi baseada apenas no desenvolvimento matemático da função ajustada, sugere-se que o problema de estabilização de rendimentos através de dosagens de "manutenção" de calcário seja verificado experimentalmente, nos solos mais representativos do Estado.

LITERATURA CITADA

1. DALL'AGNOL ET ALII - Efeito Residual do Fósforo e Calcário na Cultura do Trigo Sobre os Rendimentos da Soja - in Pesquisa com Soja na Estação Experimental de Passo Fundo. Relatório apresentado para II Reunião Conjunta de Pesquisa de Soja - EMBRAPA - Porto Alegre, 1974.

2. LANZER, Edgar A. - Análise Econômica de um Grupo de Experimentos de Fertilizantes e Calagem do Solo na Cultura do Trigo - Tese de MS em Economia Rural - Instituto de Estudos e Pesquisas Econômicas - UFRS - Porto Alegre, 1970.

3. MACHADO, M.O. - Estudo Agro-Econômico de Aplicação de Calcário na Sucessão Trigo-Soja em Oxissolos das Unidades de Mapeamento Durox e Vacaria - Tese de MS em Agronomia - Faculdade de Agronomia UFRS - Porto Alegre, 1975.