

VARIÁVEIS DERIVADAS NA ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA

Leonardo Deane de Abreu Sá
Fausto Carlos de Almeida

RESUMO

Estuda-se a inclusão de variáveis derivadas da precipitação, temperatura ou horas de brilho solar em modelo de previsão da produtividade agrícola baseado no método dos períodos críticos, elaborado por CELASCHI e ALMEIDA (2) e CELASCHI (3).

A utilização de variáveis derivadas em vez das primitivas é justificada pela própria resposta, qualitativamente diferente, das culturas a estímulos meteorológicos extremos tais como deficiência e excesso de água, ou deficiência e excesso de horas de brilho solar. Há, então, uma variável meteorológica que exprime deficiência hídrica, outra que aponta excesso de umidade, e assim sucessivamente.

São processados dados meteorológicos diários, reagrupados em médias móveis correspondentes a 10 dias, para levar em consideração as interações solo/planta/atmosfera, sendo dada ênfase às seguintes situações:

- 1) previsão da produtividade agrícola de milho para Ribeirão Preto, com dados históricos de produtividade, precipitação, temperatura e horas de brilho solar disponíveis até 1984;
- 2) discussão dos períodos críticos obtidos pelo procedimento mencionado acima em comparação com aqueles obtidos por CELASCHI (3), o qual usou temperatura e precipitação como variáveis meteorológicas na estimativa da produção de milho no Estado de São Paulo até 1981.

1. INTRODUÇÃO

A constatação que estimulou a elaboração deste trabalho foi a de que as variáveis meteorológicas primitivas, ou seja, aquelas que são diretamente medidas pelos instrumentos (termômetros, pluviômetros, etc.) não são as que melhor se correlacionam com as respostas das plantas aos estímulos do ambiente. Um exemplo particularmente importante de variável primitiva é a precipitação, cujo excesso ou escassez poderá determinar reações qualitativamente diferentes por parte da planta. Considerações como esta sugerem, para fins fenológicos, a decomposição da variável primitiva (no caso, a precipitação) em duas variáveis derivadas, uma que exprime excesso e a outra que aponta déficit.

Embora as observações feitas acima sejam uma decorrência natural da experiência agrônoma, e portanto aceitas sem muita constestação, ainda há muita polêmica sobre a melhor maneira de quantizar o problema. Neste estudo, procurar-se-á formular

proposições que contribuam para a intensificação da discussão do problema.

É importante lembrar que o presente estudo partiu da premissa da utilização de modelos simples de estimativa de produtividade agrícola, como é o caso dos modelos de regressão. Não é tentada nesta fase de desenvolvimento destes estudos a utilização de modelos mais complexos como os modelos do tipo fisiológico.

A exploração de tentativas de melhorar a eficácia preditiva (antecedência + acuidade) dos modelos de regressão, parece ser justificada, dados os resultados apresentados por CELASCHI e ALMEIDA (2) e ALMEIDA e SÁ (1).

2. METODOLOGIA

A idéia central do método formulado por CELASCHI e ALMEIDA (2) e CELASCHI (3) foi a de determinar estatisticamente os períodos críticos do desenvolvimento das culturas. Admitiu-se, para tanto, que as flutuações da produtividade agrícola em relação à tendência tecnológica eram determinadas essencialmente por fenômenos meteorológicos, os quais impunham eventuais estresses hídricos às plantas. Estas, dependendo do seu estágio de crescimento, responderiam de maneiras qualitativamente diferentes aos estímulos externos. Os períodos críticos, corresponderiam a esses estágios do desenvolvimento da cultura que se caracterizam por uma alta correlação entre uma variável meteorológica e a produtividade agrícola. Para prever a evolução do desenvolvimento de uma cultura agrícola seria, portanto, crucial conhecer as condições meteorológicas nesses períodos críticos.

Em seu modelo, CELASCHI e ALMEIDA (2) utilizaram dados diários de precipitação e temperatura como variáveis meteorológicas. Dentre as razões para tal escolha deve-se apontar: a) a facilidade em obter séries históricas razoavelmente longas dessas variáveis; b) a possibilidade de se simular deficiência de água no solo em termos de precipitação (escassez) e temperatura (valores elevados). Deve-se, contudo, ressaltar que a utilização direta destas variáveis nos modelos de estimativa de produtividade agrícola pode se deparar com algumas adversidades dentre as quais se incluem: a) o caráter não-linear da relação entre rendimento agrícola e precipitação ou temperatura; b) o caráter necessariamente não-independente das variáveis precipitação e temperatura em qualquer função que simule disponibilidade de água no solo. Ademais, a possibilidade da inclusão da variável total de horas de brilho solar, cuja medida é efetuada em muitas das estações climatológicas brasileiras, não deve ser descartada do ponto de vista fenológico. Algumas vezes períodos com longas exposições das plantas aos raios solares e muita evapotranspiração não são acompanhados por acentuadas elevações da temperatura média do dia, pois esta exprime média das temperaturas diurnas e noturnas. Estes problemas sugeriram uma pesquisa de variáveis meteorológicas mais adequadas ao modelo de estimativa de produtividade agrícola. Foram, assim, procuradas variáveis derivadas da precipitação, total de horas de brilho solar e temperatura os quais pudessem exprimir melhor os estímulos a uma maior ou menor produtividade agrícola. A investigação constou basicamente da construção de séries de variáveis derivadas do

total de horas de brilho solar, temperatura e precipitação, as quais, depois de submetidas ao processo de médias móveis (médias com passos de dez dias), foram correlacionadas com a série de resíduos dos rendimentos anuais de milho (definição dos períodos críticos) da Divisão Regional Agrícola (DIRA) de Ribeirão Preto, no Estado de São Paulo. Os correlogramas assim obtidos e os testes estatísticos correlatos (t de Student a 0,05) serviram para apontar aquelas variáveis que mais se adequavam à cultura em questão e indicaram os períodos críticos da planta. Dentre as muitas variáveis pesquisadas destacaram-se: total de horas de brilho solar, excesso de brilho solar, total de horas de brilho solar acompanhado de escassez de precipitação, temperatura máxima do dia acompanhada de escassez de precipitação. Estudados os diversos correlogramas, as variáveis que mais significativamente se correlacionaram com a produtividade agrícola foram: a) escassez de precipitação; b) total de horas de brilho solar acompanhada de escassez de precipitação. Estas variáveis são definidas pelas equações abaixo:

$$DP(n) = \begin{cases} 0 & \text{se } P(n) \geq \bar{P} \\ (\bar{P} - P(n)) / \tau_p & \text{se } P(n) < \bar{P} \end{cases} \quad (1)$$

e

$$DI(n) = \frac{I(n)}{1 + \sum_{j=0}^4 P(n-j)}, \quad (2)$$

onde:

$P(n)$ é a precipitação do dia de ordem n ,

$I(n)$ é o total de horas de brilho solar do dia de ordem n ,

\bar{P} é a precipitação média mensal (indicada pela normal climatológica).

τ_p é o desvio padrão da precipitação mensal (apontado pela normal climatológica).

$DP(n)$ é a variável derivada "escassez de precipitação" no dia n .

$DI(n)$ é a variável derivada "brilho solar acompanhado de escassez de precipitação" no dia n .

Nestas definições, talvez fosse mais adequada a definição da média climatológica \bar{P} e desvio para τ_p , em relação ao período crítico definido, ao invés da média mensal. Havendo informação teórica referente às características fenológicas do milho, conviria exprimir \bar{P} como a "precipitação ótima" para a planta no período crítico em questão, e não necessariamente precipitação média.

O significado físico das duas variáveis DP e DI é bem claro: ambas procuram simular deficiência de água no solo. A primeira delas é mais sensível em captar situações em que há deficiência moderada de água no solo, e a segunda tenta apontar situações em que ocorrem estresses hídricos mais fortes. No caso particular da estimativa de produtividade agrícola de milho em Ribeirão Preto, as variáveis críticas selecionadas foram:

VC1 - valor médio de DI entre 30 de setembro e 18 de outubro,
 VC2 - valor médio de DP entre 23 de outubro e 10 de novembro,
 VC3 - valor médio de DP entre 23 de novembro e 7 de dezembro,
 VC4 - valor médio de DI entre 4 de dezembro e 5 de janeiro,
 VC5 - valor médio de DI entre 7 de janeiro e 25 de janeiro.

Considera-se como ano agrícola o período de 01 de setembro até 31 de março do ano seguinte.

Todas as variáveis acima foram submetidas ao método de seleção "stepwise" (DRAPPER and SMITH (4)), pois o próprio método induz à exclusão das variáveis altamente correlacionadas (NETER and WASSERMAN (6)). Desta derradeira escolha de variáveis resulta a equação final:

$$\text{REND} = a_0 + (a_1 \times \text{ANOC}) + (a_2 \times \text{VC}_j) + \dots + (a_k \times \text{VC}_\ell) + e, \quad (3)$$

onde:

REND = rendimento publicado,

a_i = coeficiente de regressão, $0 \leq i \leq k$

ANOC = variável tecnológica (ano de colheita),

$\text{VC}_j, \dots, \text{VC}_\ell$ = variáveis climáticas críticas,

e = resíduo não-explicado pela regressão.

3. RESULTADOS

Na seleção por "stepwise" foram escolhidas as variáveis ANOC, VC1, VC2 e VC4 em todos os intervalos em que o modelo foi aplicado. Assim, com disponibilidade de dados desde a safra de 1959/1960, foram estimadas as produtividades agrícolas dos anos 1977/1978 a 1982/1983. Para o ano agrícola de 1976/1977, provavelmente devido à diminuição do tamanho das séries de dados disponíveis, o modelo só aceitou as variáveis críticas VC1 e VC4. Então, esta situação será discutida à parte. A Tabela a seguir mostra os resultados obtidos, seguindo a notação indicada na Equação (3).

Da Tabela I podem ser feitas duas comprovações interessantes: a) os coeficientes da equação de regressão mantêm uma estabilidade satisfatória; b) os coeficientes associados às variáveis meteorológicas são negativos, enquanto aquelas são positivas. Isto exprime o fato de as variáveis meteorológicas contribuírem apenas para reduzir o valor do rendimento final, e qualquer aumento deste só pode ser atribuído à variável ANOC (ano de colheita). Esta última constatação sugere a investigação da introdução de variáveis "dummy" no modelo (KOUTSOYIANNIS (5)), as quais indicariam também condições opostas àquelas de deficiência hídrica.

TABELA I - MODELO "STEPWISE" APLICADO ÀS VARIÁVEIS CRÍTICAS

| ANO AGRÍCOLA | α_0 | α_1 | α_2 | α_3 | α_4 | VC1 | VC2 | VC4 | REND. (PREVISTO) | REND. (PUBLIC) | ERRO % |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----|------|-----|------------------|----------------|--------|
| 78 | - 1283,7 | 60,85 | - 59,45 | - 39,61 | - 168,45 | 3,7 | 19,8 | 1,3 | 2239,4 | 2263,64 | - 1,1 |
| 79 | - 1313,1 | 61,27 | - 58,01 | - 39,67 | - 167,69 | 2,4 | 18,0 | 0,6 | 2573,4 | 2802,23 | - 8,2 |
| 80 | - 1524,8 | 64,76 | - 51,76 | - 41,44 | - 168,58 | 0,4 | 17,7 | 0,0 | 2901,8 | 2934,89 | - 0,8 |
| 81 | - 1552,0 | 65,09 | - 52,86 | - 40,92 | - 170,10 | 0,8 | 18,1 | 0,1 | 2920,3 | 2944,70 | - 0,8 |
| 82 | - 1570,9 | 65,32 | - 53,29 | - 40,63 | - 170,92 | 0,1 | 16,5 | 0,1 | 3092,5 | 2946,40 | 4,7 |
| 83 | - 1492,5 | 63,66 | - 50,51 | - 38,92 | - 171,92 | 0,1 | 18,9 | 0,0 | 3050,6 | 3209,70 | - 5,0 |
| MÉDIA | - 1489,5 | 63,49 | - 54,31 | - 40,20 | - 169,61 | | | | | | 3,4 |
| D. PADRÃO | 130,6 | 1,97 | 3,58 | 0,95 | 1,64 | | | | | | |

4. CONCLUSÕES

As estimativas de produtividade obtidas neste estudo justificam a busca de variáveis derivadas que melhor exprimam as características físicas com relação às quais as plantas reagem. Para que se tenha uma idéia da eficácia preditiva deste modelo (isto é, sua acuidade, ligada à antecedência da estimativa), em comparação com outros modelos, é apresentada a Tabela II para rendimento de milho em Ribeirão Preto.

TABELA II - COMPARAÇÃO ENTRE RESULTADOS DE MODELOS DIFERENTES

| ANO | RENDIMENTO/ERRO (kg/ha) | | | RENDIMENTO PUBLICADO (IEA) |
|-----------|-------------------------|-------------------|----------------|----------------------------|
| | Modelo Atual | Períodos Críticos | Média Mensal* | |
| 1977/1978 | 2239,4 (-1,1) | 2430,1 (7,3) | 2233,6 (-1,3) | 2263,6 |
| 1978/1979 | 2573,4 (-8,2) | 2605,3 (-7,0) | 2571,8 (-8,2) | 2802,2 |
| 1979/1980 | 2901,8 (-0,8) | 2709,7 (-7,6) | 2637,2 (-10,1) | 2934,9 |
| 1980/1981 | 2920,3 (-0,8) | 3008,8 (2,2) | 2804,1 (-4,8) | 2944,7 |

* CELASCHI (3).

A Tabela II apresenta comparações entre os rendimentos publicados pelo IEA e os já obtidos: a) pelo modelo desenvolvido neste estudo, b) pelo modelo de períodos críticos formulado por CELASCHI (3), c) por um modelo que utilizou médias mensais de temperatura e precipitação em vez das variáveis críticas. Estes últimos dados, foram retirados da publicação de CELASCHI (3).

Observa-se que num único ano (1979) o modelo aqui proposto apresentou resultados piores que os de CELASCHI (3). Ademais este resultado nunca apresentou piores rendimentos com relação ao modelo de médias mensais, o que chega a ocorrer com o método de Celaschi. Quanto ao ano de 1979, quando o erro do modelo de variáveis derivadas apontou erro maior que 5%, constata-se que ele apresentou um grande salto positivo na produtividade agrícola (23%). Dado o próprio caráter linear do modelo de regressão "stepwise" utilizado, não se poderia esperar que ele respondesse adequadamente à variação brusca do rendimento.

Outro aspecto favorável ao modelo atual é o da capacidade que este apresenta de apontar a previsão final do rendimento para Ribeirão Preto em 5 de janeiro, mais de 70 dias antes do encerramento do ano agrícola, o que não era conseguido pelos demais modelos citados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto de Economia Agrícola (IEA) que gentilmente colocou à sua disposição os dados de rendimento agrícola do Estado de São Paulo. Também são muito gratos ao Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) pelo fornecimento das séries de dados meteorológicos do Estado de São Paulo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, F.C. e SÃ, L.D.A. Uma avaliação do método dos períodos críticos. III Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belo Horizonte, 1984.
2. CELASCHI, W.; ALMEIDA, F.C. Um modelo para estimar a produtividade do milho no Estado de São Paulo. II Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Pelotas, 1981.
3. CELASCHI, W. Um Modelo para estimação do rendimento do milho aplicado ao Estado de São Paulo. Tese de Mestrado. INPE-2658-TDL/118, 1983.
4. DRAPPER, N.R.; SMITH, H. Applied regression analysis. New York, NY, Wiley, 1966.
5. KOUTSOYIANNIS, A. Theory of econometrics. London, Mac Millan, 1981.
6. NETER, J.; WASSERMAN, W. Applied linear statistical models, regression analysis of variance and experimental designs. Illinois, Richard D. Irwin, 1974.