

1. Publicação nº <i>INPE-2566-PRE/214</i>	2. Versão	3. Data <i>Nov., 1982</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DIN</i>	Programa <i>INFOR</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autpr(es) <i>PREVISÃO DE SAFRAS INFERÊNCIA NEBULOSA MODUS PONENS NEBULOSO</i>			
7. C.D.U.: <i>681.3.019:631.165:551.5</i>			
8. Título <i>UM MÉTODO DE ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA</i>		10. Páginas: <i>08</i>	
		11. Última página: <i>07</i>	
9. Autoria <i>Orion de Oliveira Silva</i>		12. Revisada por <i>C.R.S.</i> <i>Celso de Renna e Souza</i>	
<i>Orion de Oliveira Silva</i> Assinatura responsável		13. Autorizada por <i>Parada</i> <i>Nelson de Jesus Parada</i> Diretor	
14. Resumo/Notas <i>Em 1981 foi apresentado por Orion de Oliveira Silva, no II Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, um trabalho intitulado "Inferência Nebulosa Aplicada à Previsão de Safras", onde obtiveram-se erros percentuais baixos na comparação entre a produtividade agrícola estimada pelo método proposto e o real, para alguns anos-base. Naquela época, continuava em aberto o problema de identificar a priori qual o ano anterior que deveria servir de base para a melhor estimativa. O presente trabalho, além de utilizar métodos de inferência nebulosa, usa técnicas de "Regressão Linear". Resolve-se também o problema de identificar, a priori qual o ano anterior, que deve servir de base para a melhor estimativa. Apresenta-se a utilização do método, usando-se um banco de regras montado a partir de séries históricas de produtividade (cultura de milho) e de variáveis climáticas. Para tal, propõem-se critérios e algoritmos para, dado um conjunto de regras históricas anuais (variáveis climáticas → resíduos da produtividade) manipulá-las segundo a regra de inferência "modus ponens modificado", que gera um vetor de possibilidades (numeros no intervalo [0,1]), o qual fornece várias alternativas da produtividade do ano que se quer estimar, tendo-se um critério para escolher a melhor delas. Apresenta-se um sistema para a implantação desses algoritmos em computador, bem como os respectivos resultados numéricos para o citado conjunto de regras reais deduzidas para a cultura de milho no Estado de São Paulo.</i>			
15. Observações <i>Trabalho apresentado no 2º Congresso Brasileiro de Meteorologia em Pelotas - RS, de 18 a 22 de outubro de 1982.</i>			

A METHOD TO ESTIMATE AGRICULTURAL PRODUCTIVITY

ORION DE OLIVEIRA SILVA

MESTRE EM ENGENHARIA DE SISTEMAS
PESQUISADOR ASSISTENTE
CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO - CNPq
INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE

ABSTRACT

During the "II Congresso Brasileiro de Agrometeorologia" (1981), Orion de Oliveira Silva, presented a paper entitled "Inferência Nebulosa Aplicada à Previsão de Safras" where a method to estimate agricultural productivity was suggested. A comparison between the real productivity and the productivity estimated by this method showed a low percentual error for some base-years. The problem of identifying "a priori" which year should be taken as the basis for a better estimation was left open. In this paper this problem is solved and a new method to estimate agricultural productivity using fuzzy inference and linear regression is proposed.

It is presented also a way to utilize the new method using a bank of rules obtained from historical productivity series (corn culture) and climatological variables. For this, criteria and algorithms are proposed given a set of annual historical rules (climatological variables → productivity residuals) we manipulate them according to the modified "modus ponens" inference rule, generating one vector of possibilities (numbers in the interval [0, 1]). This vector provides several alternative productivity estimations for the year in focus. A criteria is provided to choose the best of them. We present a system for the computer implementation of these algorithms, as well as the corresponding numerical results for the cited set of real rules deduced for corn culture in São Paulo State.

1 - INTRODUÇÃO

O presente trabalho se propõe a utilizar a regressão linear e a teoria de inferência nebulosa no problema de estimativa de produtividade, como componente de métodos de previsão de safras, usando-se um banco de regras montado a partir de séries históricas de produtividade e de variáveis climáticas. Para tal, critérios, métodos e algoritmos são propostos para, dado um conjunto de regras históricas anuais (variáveis climáticas \rightarrow produtividade), manipulá-las segundo a regressão linear e a regra de ingerência "modus ponens modificado", que gera um vetor de possibilidade que dará várias alternativas da produtividade do ano que se quer estimar, usando-se então um critério para escolher a melhor alternativa.

Será apresentado um sistema para a implantação desses algoritmos em computador digital, para a utilização no problema de previsão de safras de modo geral, bem como, um exemplo de sua aplicação em um conjunto de regras reais, obtido para a cultura de milho do Estado de São Paulo. A teoria de conjuntos nebulosos e a notação aqui utilizada podem ser encontradas em Zadeh (1965, 1975). Goen (1969), Brown (1971), e Silva e Souza (1981, 1982).

2 - MODUS PONENS MODIFICADO

A regra de ingerência lógica denominada "modus ponens" é generalizada para o caso em que as premissas e conclusão são nebulosas, como proposto por Zadeh (1965), da seguinte forma:

2.1 - Modus ponens composicional (Nebuloso)

Sejam P e R distribuições nebulosas (conjuntos nebulosos) sobre o universo U; e Q, uma distribuição nebulosa sobre o universo W:

a) Se "x é P então y é Q", então "(x,y) é $(\bar{P}' \oplus \bar{Q})$ ".

b) Se "x é R" então "y é R o $(\bar{P}' \oplus \bar{Q})$ ", onde P' é o complemento de P; \bar{P}' é a extensão cilíndrica de P' sobre W; e \bar{Q} é a extensão cilíndrica de Q sobre U; $\mu_{P \oplus Q}(u) = \min(1, \mu_P(u) + \mu_Q(u))$ (soma limitada) e "o" é a operação de composição.

Silva e Souza (1981, 1982) observaram, no entanto, que a definição de Zadeh (1975) deixa a desejar, no sentido de que se um (b) se coloca a própria distribuição de P como premissa, o resultado de $P \circ (\bar{P}' \oplus \bar{Q})$, em geral, é diferente de Q, o que é contra o espírito do "modus ponens" lógico, pois a forma análoga a $[\vdash (P \Rightarrow Q) \wedge \vdash P] = \vdash Q$ era esperada.

A operação \oplus (soma limitada) foi então substituída por outro operador binário que melhor refletisse essa expectativa, da forma descrita em 2.2.

2.2 - Modus ponens modificado (Nebuloso) de Silva e Souza (1981, 1982).

Sejam P e R distribuições nebulosas (conjuntos nebulosos) sobre o universo U, e Q uma distribuição nebulosa sobre o universo W:

a) Se "x é P então y é Q", então "(x,y) é $[f(x_{ij}, y_{ij})]$, onde $x_{ij} \in \bar{P}'$ e $y_{ij} \in \bar{Q}$ ".

b) Se "x é R" então "y é Ro [f(x_{ij}, y_{ij})], onde x_{ij} é P' e y_{ij} é Q", sendo f definido da seguinte maneira:

$$\begin{cases} f(x,y) = y & \text{se } x \leq y \\ f(x,y) = x^{1+x-y} & \text{se } x > y \end{cases}$$

Os resultados obtidos bem como uma discussão sobre o assunto encontram-se em Silva e Souza (1981, 1982)

3 - A INFERÊNCIA PROPRIAMENTE DITA

Como o raciocínio necessário para a estimativa de produtividade agrícola, em um dado ano, é bastante semelhante àquele descrito pelo "modus ponens" nebuloso, Silva et alii (1981) examinaram sua aplicabilidade, tendo como base dados reais de temperatura e precipitação mensais, bem como produtividades médias correspondentes para a cultura do milho no Estado de São Paulo, distribuídas em "DÍRRAS", desde o ano agrícola-base 1958-1959 até o ano 1979-1980. Exemplos desses dados encontram-se nas Tabelas I, II e III.

Tomam-se as produtividades do conjunto de anos-base, no caso 58-59 até 78-79, e interpola-se uma reta pelo método dos mínimos quadrados para verificar a tendência de crescimento que pode ser atribuída a avanços tecnológicos. Usando-se os valores de Temperatura e Precipitação faz-se corresponder a eles os valores residuais (valores reais menos os valores interpolados), construindo-se, assim,

TABELA I
DADOS DE TEMPERATURA (GRAUS CENTÍGRADOS)

<u>ANO</u> \ <u>MÊS</u>	<u>SET</u>	<u>OUT</u>	<u>NOV</u>	<u>DEZ</u>	<u>JAN</u>
58-59	20,6	23,6	23,4	23,3	23,1
59-60	23,7	23,9	23,6	23,7	23,3
79-80	21,5	24,2	23,2	23,6	23,3

TABELA II
DADOS DE PRECIPITAÇÃO (mm³)

<u>ANO</u> \ <u>MÊS</u>	<u>SET</u>	<u>OUT</u>	<u>NOV</u>	<u>DEZ</u>	<u>JAN</u>
58-59	63,7	60,8	220,8	431,5	494,3
59-60	22,4	99,2	194,9	183,9	293,0
79-80	138,2	128,1	111,0	375,9	285,3

TABELA III
DADOS DE PRODUTIVIDADE (Kg/Hectare)

<u>58-59</u>	<u>59-60</u>	<u>79-80</u>
1541,56	1473,92	2934,89

as regras de decisão ("produções") nebulosas. Algumas dessas regras podem ser vistas na Tabela IV, onde as segundas linhas indicam valores normalizados para incidirem no intervalo [0,1]. Esta normalização é feita relativamente ao ano que teve o maior resíduo. O ano de maior resíduo, aquele em que as temperaturas e precipitações influenciaram mais na produtividade. Este ano também é usado para inferir a produtividade do ano seguinte ao conjunto de anos-base (Tabela IV).

A explicação lógica que se encontrou para tomar o ano de máximo resíduo para inferir o ano seguinte ao conjunto de anos-base foi a seguinte: considerando-se a distribuição do conjunto de anos-base, escolhe-se um dos anos de melhor "performance", para inferir a produtividade do ano seguinte; isto equivale a escolher o primeiro ano, ou o segundo, ou o terceiro, ou o n-ésimo ano, e, em uma distribuição nebulosa, o "ou" de "n" elementos é o máximo deles.

Considerando-se as distribuições de temperatura e precipitação normalizadas para um dado ano tomado como base, como a premissa nebulosa P de seção 2.2, e o valor normalizado do resíduo do mesmo ano como a conclusão Q., monta-se o vetor $f(\bar{P}', \bar{Q})$. Para R, toma-se a distribuição normalizada de temperatura e precipitação para o ano cujo resíduo se quer estimar. O resultado da composição $R \circ f(\bar{P}', \bar{Q})$ dá o resíduo normalizado estimado. Para se chegar à produtividade, basta inverter o processo. Variando-se o ano-base, obtêm-se várias estimativas, sendo escolhida aquela gerada pelo ano-base de maior resíduo. Resultados típicos de programa de computador que executa as operações citadas encontram-se na Tabela V.

TABELA V
RESULTADOS TÍPICOS ESTIMADOS

ANO ESTIMADO	ANOS BASE	PRODUTIVIDADE REAL Kg/He	PRODUTIVIDADE ESTIMADA Kg/He	ERRO EM PERCENTAGEM
79-80	58-59 à 78-79	2934,89	3055,31	4,10 %
78-79	58-59 à 77-78	2802,23	2941,47	4,96 %
77-78	58-59 à 76-77	2263,64	2891,34	23,72 %
76-77	58-59 à 75-76	2876,03	2675,91	-6,95 %
75-76	58-59 à 74-75	2676,26	2582,15	-3,51 %
74-75	58-59 à 73-74	2303,92	2363,45	2,58 %
73-74	58-59 à 72-73	2388,06	2478,31	3,78 %
72-73	58-59 à 71-72	2290,87	2365,96	3,27 %

Pode-se ver na Figura 1 um gráfico comparativo dos valores de produtividade de reais, inferidos e a reta de regressão linear.

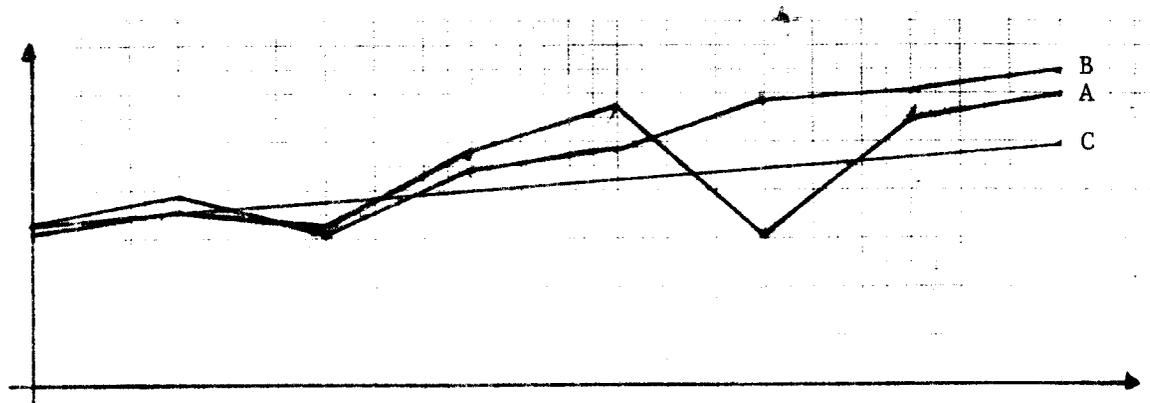


Fig. 1 - Gráfico comparativo dos valores de produtividade.

Valores Reais: A
Valores Inferidos "Modus Ponens": B
Reta de Regressão Linear: C

4 - COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

Os resultados obtidos foram encorajadores, no sentido de que se obtiveram erros percentuais baixos, na comparação entre a produtividade estimada e a real. Observou-se que a produtividade vem mostrando um desempenho crescente, com flutuações possivelmente devidas à melhoras nas técnicas agrícolas, aí incluídos, melhoras em fertilizantes, qualidade das sementes e métodos de plantio.

Observou-se também que este método não é bom, quando se têm variações bruscas de produtividade, como na tabela V em que se estimou o ano 77-78, e o máximo da produtividade dos anos anteriores era 2876,03 e a produtividade real era 2263,64. Tal resultado poderá melhorar se houver dados diários de precipitação e temperatura.

BIBLIOGRAFIA

1. BROWN, J.G. A note on fuzzy sets. *Information and Control*, 18-32-39, 1971.
2. GOGUEN, J.A. The logic of inexact concepts. *Synthese. An International journal for Aptimology, Methodology and Philosophy of Science*, 19(3/4): 325-373, Apr. 1969.
3. SILVA, O.O.; SOUZA, C.R. Indução e Nebulosidade em regras de decisão. *INPE - 1967 - PPE-281*, Janeiro de 1981.
4. SILVA, O.O.; SOUZA, C.R. e ALMEIDA, F.C. Inferência Nebulosa Aplicada à Previsão de Safras - *INPE-2094 - RPE/324 - 1981*.
5. SILVA, O.O.; SOUZA, C.R. Changing the fuzzy rule of Detachment. "Proceedings" the Twelfth International Symposium on Multiple-Valued Logic Paris, France, May 25-27, 1982.
6. ZADEH, L.A. Fuzzy sets. *Information and Control*, 8:338-353, 1965.
7. ——— The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning III. *Information Science*, 9(1):43-80, 1975.