

**METODOLOGIA PARA INCORPORAÇÃO DE RISCO  
EM MODELOS DE DECISÃO USADOS NA ANÁLISE  
COMPARATIVA ENTRE ALTERNATIVAS:  
O CASO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO<sup>1</sup>**

VICTOR HUGO DA FONSECA PORTO<sup>2</sup>, ELMAR RODRIGUES  
DA CRUZ<sup>3</sup> e JOSE ALCEU INFELD<sup>4</sup>

RESUMO - O objetivo deste trabalho é apresentar um método de incorporar risco em modelos de decisão e ilustrá-lo na comparação de alternativas tecnológicas para arroz irrigado. Este método destina-se a restringir a escolha de alternativas, descartando aquelas consideradas como inferiores do ponto de vista de rentabilidade e risco, através da incorporação de hipóteses sobre o comportamento dos tomadores de decisão. Como resultado, de um conjunto de 20 alternativas tecnológicas combinando épocas distintas de irrigação, uso de nitrogênio e aplicação de herbicidas, somente duas opções foram selecionadas como eficientes sob condições de risco. Este método foi desenvolvido por Hanoch & Levy (1970) e é um caso especial das regras de dominância estocástica. Em geral, os agricultores esperam que as recomendações das organizações de pesquisa ofereçam opções, mas dentro de um leque limitado. Regras de decisão generalizadas dispõem de menor poder de discriminação e, como consequência, um número demasiado de alternativas eficientes sob o ponto de vista de risco pode ser gerado. Por esta razão, as regras de Hanoch & Levy (1980) apresentadas neste trabalho parecem ser as mais apropriadas para selecionar alternativas tecnológicas envolvendo risco, pelo menos para aplicações em pesquisa agropecuária. O trabalho apresenta uma análise das duas alternativas selecionadas pelo modelo, indicando as condições pelas quais elas poderiam ser adotadas pelos agricultores.

Termos para indexação: dominância estocástica, poder de discriminação.

**METHODOLOGY FOR INCORPORATING  
RISK IN DECISION MODELS DESIGNED FOR COMPARISONS  
BETWEEN ALTERNATIVES: THE CASE  
OF IRRIGATED RICE**

ABSTRACT - The aim of this paper is to present a method of incorporating risk in decision models and to illustrate it in comparison with technological alternatives for irrigated rice. This method is designed to narrow down the choice of alternatives by incorporating hypotheses about the decision framework. As a result, from a set of 20 combinations of alternative days of irrigation, nitrogen use and herbicide spraying, only two options were selected as efficient under risk. This

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 17 de fevereiro de 1982.

<sup>2</sup> Economista M.S., Pesquisador da Unidade de Execução de Pesquisa de Âmbito Estadual de Pelotas (UEPAE/EMBRAPA) Caixa Postal 553 - CEP 96100 - Pelotas, RS.

<sup>3</sup> Economista Rural, Ph.D., Pesquisador do Departamento de Diretrizes e Métodos de Planejamento (DDM) - EMBRAPA, Caixa Postal 11-1316 - CEP 70000 - Brasília, DF.

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup>, M.S., UEPAE/PELOTAS

method' was developed by Hanoch & Levy (1970) and is a special case of the more general stochastic dominance rules. In general, farmers expect that recommendations from research are confirmed to a few alternatives. Generalised decision rules have less discriminating power and as a result too many risk efficient options can result from the comparisons of alternatives. For that reason Hanoch & Levy's (1980) decision rule presented in this study is apparently a better tool to select risky alternatives, at least for agricultural research purposes. The study presents an analysis of both alternatives selected by the model and indicates the conditions under which they could be adopted by farmers.

## INTRODUÇÃO

Com a introdução do risco na teoria da produção, os economistas agrícolas poderão proporcionar aos agricultores informações econômicas adicionais sobre novas tecnologias geradas pela pesquisa. Estas informações não se referem somente à rentabilidade de uma determinada tecnologia, mas também ao risco que o agricultor estará correndo na sua adoção.

Merece atenção o fato de que os métodos de incorporação de risco nos modelos de decisão que têm sido reportados em literatura empírica de economia agrícola são de caráter muito geral e, conseqüentemente, dispõem de limitado poder de discriminação entre as alternativas tecnológicas. Como os resultados de pesquisa são usualmente gerados a partir de experimentos que combinam vários níveis de um ou mais fatores, tem-se muitas vezes várias dezenas de combinações de tratamentos. Daí resulta a preocupação deste trabalho em explorar uma metodologia que incorpore risco a modelos de decisão, e que apresente forte poder de discriminação entre as alternativas, pois do contrário muitas serão as combinações eficientes sob o ponto de vista de risco, ficando a pesquisa com um leque de recomendações muito amplo para que possa ser útil aos produtores.

Segundo Moutinho et al. (1978), o risco tende atuar como impedimento na adoção de práticas melhoradas, por parte dos agricultores, os quais geralmente encaram as alternativas tecnológicas derivadas de trabalhos experimentais, como as mais arriscadas, daí a importância de se divulgarem resultados de pesquisa incluindo o aspecto de risco.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia de incorporação de risco a modelos de decisão que usam análise comparativa entre alternativas. O método aqui usado é o de Hanoch & Levy (1970), e será mostrado o seu poder de discriminação para selecionar alternativas.

Como o processo produtivo da cultura do arroz é sujeito a incertezas climáticas e outras fontes de risco, estudar-se-á também a rentabilidade e o risco de um experimento de interações com a cultivar IRGA-408 (1980).

## MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados são o resultado de um experimento realizado durante três anos agrícolas (1975/76, 1976/77 e 1977/78) na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Unidade de Execução de Pesquisa de Âmbito Estadual de Pelotas. As interações investigadas no experimento resultaram em 20 alternativas tecnológicas (ver anexo I). Estas 20 alternativas, arranjadas duas a duas para efeito de análise comparativa, deram origem a 190 combinações. Foram observadas interações entre:

- a) cinco épocas de irrigação;
- b) duas épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura;
- c) duas épocas de aplicação de herbicidas.

As épocas de início de irrigação por inundação foram 14, 21, 28, 35 e 42 dias após a emergência. Para germinação uniforme, foram banhadas todas as parcelas após a semeadura.

A cobertura foi de 50 kg/ha de N, em duas épocas, sendo que a primeira antecedeu as épocas de irrigação, em solo seco, enquanto que a segunda época coincidiu com a diferenciação do primórdio floral.

Os herbicidas foram aplicados em duas épocas: pré-emergente (5 litros/ha) e pós-emergente. A aplicação do pós-emergente antecedeu em três dias as épocas de irrigação, na dosagem de 10, 12 e 14 l/ha, respectivamente para as parcelas que foram irrigadas aos 14, 21, 28, 35, e 42 dias após a emergência. Uma análise agrônômica dos resultados deste experimento está apresentado em Infeld (1977).

Para o cálculo da margem bruta utilizou-se o preço médio do quilo do arroz em casca, em Pelotas, RS, do período de maio a novembro/80 (Safras e Mercados nºs 155, 156 e 158 a 181).

Para os custos de irrigação, foram utilizados os valores calculados pelo Instituto Rio-Grandense do Arroz – IRGA (1980) para a safra 1980/81 do Rio Grande do Sul<sup>5</sup>.

Quanto aos preços dos herbicidas, pré e pós-emergente, foram considerados os vigentes em outubro/80, no comércio de Pelotas/RS.

### Modelos generalizados de decisão: O Modelo de Bernoulli

A teoria da decisão de Bernoulli é uma abordagem generalizada para tomada de decisão sob condições de risco. É uma teoria normativa, baseada em probabilidades subjetivas de um tomador de decisão a

<sup>5</sup> Informação obtida com o Engenheiro Agrônomo Paulo Duval, do IRGA, a ser publicada no Anuário Estatístico do Arroz de 1981.

respeito da ocorrência de eventos incertos, e em preferências pessoais pelas conseqüências potenciais destes eventos incertos (Dillon 1971).

O princípio de Bernoulli, colocado em termos de um único objetivo (p. ex., maximizar a utilidade esperada dos retornos ou da renda), envolve os axiomas de pré-ordenamento, continuidade e independência (Dillon 1971, Borch 1968, Intrilligator 1971).

Em linhas gerais, o axioma de pré-ordenamento assegura a transitividade da escolha de eventos incertos por parte do tomador de decisão, no sentido de que se  $X_1$  é preferido a  $X_2$ , e  $X_2$  é preferido a  $X_3$ , então  $X_1$  será preferido a  $X_3$ .

O axioma da continuidade implica a existência de equivalente assegurado (certainty equivalent), tendo em vista que sob este axioma sempre existe uma quantia certa,  $X_2$ , que se tornará indiferente a uma loteria envolvendo os eventos incertos  $X_1$  e  $X_3$  para uma dada probabilidade  $p$  de  $X_1$  ocorrer e  $1 - p$  de  $X_3$  ocorrer.

O axioma da independência implica que a presença de um evento  $X_3$  não distorcerá a escolha entre dois eventos  $X_1$  e  $X_2$ .

Estes três axiomas resultam no princípio de Bernoulli, também conhecido pelo Teorema da Utilidade Esperada ou ainda pelo Teorema Fundamental da Teoria da Utilidade de Von Neumann – Morgenstern. Este teorema afirma que se os três axiomas dados acima não forem violados, então existe uma função  $U$  de utilidade para um tomador de decisão que associa um único índice de utilidade para qualquer evento incerto com o qual o tomador de decisão se defronta.

As propriedades desta função  $U$  de utilidade são:

(i) Se  $X_1$  é preferido a  $X_2$ , então

$$U(X_1) > U(X_2);$$

(ii) Se  $U(X_1) > U(X_2)$ , então  $X_1$  será preferido a  $X_2$  (para assegurar transitividade);

(iii)  $U(X_1) = E U(X_1)$

(iv)  $U(X_1) = a \cdot U(X_1) + b$   $a > 0$

O ordenamento dos eventos incertos é assegurado pelas propriedades (i) e (ii) da função  $U$ , que são originados da característica da transitividade dos axiomas.

O axioma da continuidade permite a mensuração dos níveis de probabilidade  $P_j$  para dados níveis dos eventos  $X_j$ ; ou, alternativamente,

permite a elicitación dos níveis dos eventos  $X_j$  para dados níveis de probabilidade  $P_j$ .

Em que pese a consistência da teoria de Bernoulli, merece destaque o fato de esta ser de aplicação muito geral, pouco dizendo sobre o comportamento dos indivíduos.

Mais especificamente, os axiomas e as propriedades de  $U$  não dão nenhuma indicação se o tomador de decisão é averso, indiferente, ou propenso ao risco<sup>6</sup>. Por outro lado, nada se pode inferir sobre o formato de  $U$ , nem sobre quais sejam os momentos relevantes para análise das distribuições de probabilidade dos eventos.

### **Análise E-V, suas variantes e suas dificuldades de discriminação entre alternativas**

Tendo em vista que o excessivo grau de generalidade do Teorema da Utilidade Esperada dificulta a sua aplicação empírica, várias são as tentativas feitas na literatura objetivando tornar este teorema operacional do ponto de vista empírico, para uma visão detalhada das abordagens alternativas usadas na literatura com este fim (Da Cruz 1979).

Um passo inicial dado no sentido de restringir a generalidade do teorema da Utilidade Esperada foi a análise média-variância (E-V Analysis), que considera apenas os dois primeiros momentos das distribuições de probabilidade dos retornos ou da renda Markowitz (1959). A análise E-V pode ser rigorosamente derivada dos axiomas da teoria de Bernoulli, sob duas hipóteses (Markowitz 1959, Tobin 1958, Feldstein 1969):

1. Presumindo-se que a função de utilidade do tomador de decisão seja quadrática, ou

2. Supondo-se que a distribuição de probabilidade dos retornos seja normal.

A análise E-V presume que o tomador de decisão escolha a alternativa que apresente menor variância para uma mesma média, ou a alternativa que apresente maior média para um nível igual de variância. Quando uma alternativa A comparada com uma alternativa B apresentar maior variância, então diz-se que ambas as alternativas são eficientes sob o critério da análise E-V (Anderson et al. 1977). Esta característica da análise E-V tende a ser indesejável, pois em certos casos uma alternativa A pode apresentar um retorno médio muito superior, e apenas um pequeno acréscimo de variância em relação a B será o suficiente para tornar ambas as alternativas igualmente desejáveis.

<sup>6</sup> Koch (1974) tentou mostrar que o princípio de Bernoulli implica aversão ao risco. Entretanto, Bitz & Rogusch (1976) mostraram que os resultados de Koch (1974) são baseados numa interpretação errônea dos axiomas da teoria.

Para superar tal dificuldade da análise E-V, vários autores introduziram na literatura diferentes critérios para a escolha de alternativas sob condições de risco. Entre estes critérios pode-se citar os métodos "ad hoc", ou seja, não baseados em derivação teórica ou em axiomas. Tais métodos normalmente consistem em regras de algibeira, onde a preocupação maior é a segurança do tomador de decisão ao invés da maximização da sua utilidade esperada. Por isto são chamados de critérios de "segurança-primeiro" (safety-first), entre os quais destacamos:

- critério da segurança mínima Roy (1952).
- critério da máxima chance condicionada Telser (1955), ou suas variantes: Baumol (1963), Bousard & Petit (1967), Webster & Kennedy (1975).
- critério da segurança fixa Kataoka (1963), cujo caso especial é o conhecido Maximin (Máximo dos Mínimos ganhos) usado em teoria dos jogos, McInerney (1967, 1969).

Detalhes sobre estes critérios estão explicados em Roumasset (1976) e Anderson (1976).

Outra linha de ataque sobre a análise E-V surgiu de teóricos que se opunham às hipóteses de normalidade dos retornos e da forma quadrática das funções utilidade, mas mantendo ao mesmo tempo a base axiomática da Teoria da Decisão de Bernoulli. Nesta linha destacamos os métodos de dominância estocástica (Quirk & Saposnik 1962, Hadar & Russell 1969), que levam em conta toda a distribuição cumulativa de probabilidade dos retornos, ao invés de simplesmente a média e a variância destes. Cumpre-nos salientar que, em aplicações empíricas, uma vez selecionadas as alternativas eficientes pelo critério de média-variância, estas, na maioria dos casos, também serão eficientes do ponto de vista de dominância estocástica até o 3º grau (Porter 1973, Porter & Bey 1974, Porter & Carey 1974).

Segundo Porter (1973), para dados não agregados, o critério da média-variância tende a revelar um maior poder discriminatório que as regras de dominância estocástica, tendo em vista que a análise E-V é mais restritiva em suas hipóteses<sup>7</sup>. Para um conjunto de 893 portfólios de ações da Bolsa de Chicago, Porter constatou que o critério média-variância selecionou 67 alternativas eficientes do ponto de vista de risco, enquanto que o terceiro grau de dominância estocástica selecionou 146. Ocorre que do conjunto de 67 alternativas selecionadas pela análise E-V, 61 também são eficientes sob o critério de segundo grau de do-

<sup>7</sup> Como já foi mencionado acima, a análise E-V assume distribuição normal dos retornos e/ou função de utilidade quadrática do tomador de decisão. As regras de dominância estocástica não fazem restrições quanto à distribuição dos retornos e nem especificam a forma funcional da função de utilidade.

minância estocástica e 56 também são eficientes quando o terceiro grau é usado. As discrepâncias ocorreram apenas nas alternativas de retornos extremamente baixos, que geralmente não são de interesse dos investidores. Esta "coincidência" entre os resultados da dominância estocástica e da análise E-V foi recentemente comprovada através da demonstração teórica de Perrakis & Zerbini (1978), os quais mostraram que os resultados da análise E-V são um subconjunto dos resultados obtidos através do segundo grau de dominância estocástica, e que estes são praticamente iguais para distribuições de retornos finitos, que são as que se usam em aplicações empíricas a partir de dados observados.

A grande implicação deste resultado é que em aplicações empíricas a partir de dados observados, os investigadores não mais precisarão de se valer de métodos computacionais sofisticados, tais como a dominância estocástica, para a seleção de alternativas eficientes sob o ponto de vista de risco. Para tal fim, a simples aplicação do critério média-variância poderá produzir resultados satisfatórios em aplicações típicas, onde as distribuições de probabilidade dos retornos são aproximadamente normais ou a função de utilidade do tomador de decisão pode ser representada pela forma quadrática.

Apesar de o poder de discriminação da análise E-V ser, em geral, mais eficaz do que as regras de dominância estocástica, para o caso da pesquisa agropecuária precisa-se de um critério de risco com poder de discriminação ainda maior. Pode-se explicar esta preocupação, tendo em vista que em estudos publicados na literatura financeira, os investidores em ações procuram saber dos analistas financeiros qual é o conjunto eficiente de portfólios para fazerem suas aplicações. No caso da pesquisa agropecuária, não se tem uma analogia exata com o mercado de títulos, em que os agricultores fariam o papel de "investidores" e procurariam os analistas financeiros (no caso a pesquisa) para saber quais são todas as alternativas de investimento eficientes. No caso da pesquisa agropecuária ocorre geralmente o inverso, ou seja, é a pesquisa quem vai atrás dos produtores (via extensão rural) procurando informá-los sobre as tecnologias eficientes. Neste caso é de certa forma contraproducente a pesquisa apresentar ao produtor rural um leque muito grande de alternativas.

Os agricultores não terão em geral a motivação de escolherem uma alternativa entre um leque de opções muito grande, e a pesquisa corre o risco de passar por indecisa, ou muito vaga, a respeito de suas recomendações.

A título de ilustração, experimentos com níveis de nitrogênio (N), e fósforo (P) na cultura de trigo no México, relatados em Anderson (1974), resultaram em 36 combinações de N e P. Destas combinações,

sete alternativas foram selecionadas pelo terceiro grau de dominância estocástica como eficientes, ou seja o poder de discriminação ficou em torno de 80%. O poder de discriminação de um critério de risco é dado pela fórmula:

$$PD = \frac{AD}{TA} \times 100$$

onde:

PD = Poder de discriminação

AD= Alternativas descartadas (como ineficientes)

TA= Total de alternativas

Para o caso do estudo de Anderson (1974), temos 29 alternativas descartadas para um total de 36, o que resulta nos 80% citados acima.

Outro exemplo que pode ser citado é o estudo de Garcia & Cruz (1979). Para 36 alternativas resultantes de quatro níveis de adubação combinados com vários níveis de população de plantas/ha, sete alternativas foram selecionadas como eficientes (variedade AG-257) usando-se a regra de dominância estocástica (3º grau), resultando novamente num PD de aproximadamente 80%.

Em geral, a pesquisa deveria pedir aos produtores que escolham uma entre três ou quatro alternativas no máximo; pedir mais do que isto seria pedir demais. Assim sendo, há necessidade de se usar um método de incorporar risco aos modelos de decisão com um PD maior. Por esta razão, apresenta-se a seguir, o método de Hanoch & Levy (1970).

### **O método de Hanoch & Levy para incorporação de risco**

O critério de Hanoch & Levy (1970) para incorporação de risco usado neste trabalho é baseado nos axiomas de Bernoulli e no Teorema da Utilidade Esperada, com as seguintes hipóteses adicionais:

- 1) A função de utilidade do tomador de decisão é quadrática;
- 2) A função de distribuição de probabilidade dos retornos é simétrica. Sob estas condições, o critério de Hanoch & Levy (1970) é um caso especial das regras de dominância estocástica que não presumem simetria e nem tampouco qualquer forma específica da função de utilidade.

Hanoch & Levy (1970) derivaram outros critérios usando hipóteses alternativas<sup>8</sup>, mas nos ateremos ao caso da simetria, pelas seguintes razões:

<sup>8</sup> Entre estas podemos citar a hipótese da função de utilidade cúbica e o pressuposto de assimetria previamente conhecida das distribuições de probabilidade dos retornos.

1) Existe extensa literatura que usa e justifica a hipótese de funções de utilidade quadráticas, como uma aproximação razoável para o comportamento do tomador de decisão, pelo menos dentro de um certo intervalo de retornos (Feldstein 1969, Tsiang 1972, Tobin 1958, Anderson 1973).

2) A hipótese da simetria das distribuições de probabilidade das variáveis sob investigação pode ser satisfeita a partir de uma grande variedade de distribuições (ex: normal, uniforme, triangular, beta, etc.). Estudos empíricos reportados em Da Cruz (1979) evidenciam que para aplicações agrícolas as distribuições de rendimentos e preços esperados são aproximadamente simétricas. Por outro lado, o uso de distribuições simétricas é mais aceitável relativamente à hipótese de normalidade, que é bem mais forte e que tem sido usada por Freund (1956) e Wiens (1976) em aplicações na agricultura.

A função de utilidade quadrática pode ser representada da seguinte forma:

$$(1) \quad U(X) = a + bX + cX^2$$

onde  $X$  é uma variável aleatória representando o retorno ou a rentabilidade esperada (num dado período de tempo) das alternativas sob consideração do tomador de decisão. Neste caso, presumindo-se utilidade marginal positiva, teremos

$$(2) \quad U'(X) = b + 2cX > 0$$

Supondo-se aversão ao risco por parte do tomador de decisão (veja-se evidências empíricas em Dillon & Scandizzo 1978), então:

$$(3) \quad U''(X) = 2c < 0$$

Equações (2) e (3) implicam que  $X$  é limitado no intervalo  $X < K$ , onde  $K = -b/2C$  maior que 0.

Desta forma, a função de utilidade quadrática poderá ser representada por:

$$(4) \quad U(X) = 2KX - X^2 \quad (K > 0; X < K)$$

Para comparar duas distribuições simétricas, Hanoch & Levy (1970) derivaram a seguinte regra:

$X_1$  dominará  $X_2$  se

$$(5) \quad 2 (\mu_1 - \mu_2) \sigma_1 + (\mu_1 - \mu_2)^2 - (\sigma_1^2 - \sigma_2^2) > 0$$

onde:

$$\mu_1 = E (X_1)$$

$$\mu_2 = E (X_2)$$

$$\sigma_1 = \sqrt{\text{Var} (X_1)}$$

$$\sigma_2 = \sqrt{\text{Var} (X_2)}$$

A condição de Hanoch & Levy (1970) (equação 5) de comparação entre duas alternativas tem maior poder de discriminação que o critério de Markowitz (1959) (análise E-V) e o critério de Baumol (1963), conforme demonstrado por Hanoch & Levy (1970).

#### **PACTA - Programa de análise comparativa de alternativas tecnológicas**

Este programa de computador é baseado no critério de simetria de Hanoch & Levy (1970) e foi utilizado para gerar os resultados empíricos deste estudo.

O PACTA é um programa de simulação que compara margens brutas de alternativas tecnológicas sob o ponto de vista de rentabilidade e risco, conforme descrição em Da Cruz (1980).

A partir dos dados de entrada de preços médios, rendimentos médios e custos médios com seus respectivos desvios-padrão, de cada alternativa são geradas distribuições de probabilidade cumulativa destas variáveis através do processo de Monte Carlo, bem como a distribuição da margem bruta correspondente a cada alternativa. Com base nestas distribuições de probabilidade cumulativa, são impressos os intervalos de preços, rendimentos e margens brutas com 5% de probabilidade cada intervalo (twentiles). Estes intervalos informam ao analista as probabilidades (de 5 em 5%) da ocorrência de cada variável, principalmente preços, rendimentos e margens brutas. As margens brutas das alternativas sob comparação são analisadas duas a duas (pairwise), sendo que a dominância em condições de risco (dominância estocástica) é analisada pelo método de Hanoch & Levy (1970), conforme a equação (5).

#### **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

##### **Resultados sobre a dominância das margens brutas das alternativas tecnológicas**

O PACTA foi rodado com os dados mencionados na seção 2 deste trabalho, com os resultados relativos às margens brutas contidos nas Tabelas 1, 2 e 3 abaixo.

Nas Tabelas 1 e 2, constam os resultados de dominância em condições de risco das 20 alternativas (cujas margens brutas estão mencionadas na Tabela 3), segundo os métodos de Hanoch & Levy (1970) e análise E-V (média-variância), respectivamente. Ao analisar-se as referidas Tabelas, nota-se que o método de Hanoch & Levy (1970) apresenta um maior poder de discriminação do que o método E-V, pois segundo o método de Hanoch & Levy (1970) (Tabela 1) foram descartadas como ineficientes 18 alternativas, ou seja, resultou em um poder de discriminação (PD) de 90%. Quanto ao método E-V (Tabela 2), foram descartadas como ineficientes 11 alternativas, isto é, houve um PD de apenas 55%.

TABELA 1. Dominância das alternativas tecnológicas com as margens brutas comparadas duas a duas (Pairwise) segundo o método de Hanoch & Levy (1970).

2ª AT	Alternativas tecnológicas (AT)																			
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
A		2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1
B	2		1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1
C	0	0		2	1	1	1	1	1	1	1	0	0	2	1	0	0	1	0	1
D	0	0	2		1	1	1	1	1	1	0	0	2	1	0	2	1	0	1	1
E	0	0	0	0		2	2	0	1	1	0	0	0	1	0	0	2	0	1	1
F	0	0	0	0	2		1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	2	0	1	1
G	0	0	0	0	2	0		0	1	0	0	0	0	2	0	0	2	0	1	2
H	0	0	0	0	1	1	1		1	0	0	0	0	1	0	0	2	0	1	1
I	0	0	0	0	0	0	0	0		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1		0	1	1	0	1	1	1	1	1
L	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	2	1	1	1	1	1
M	0	0	2	1	1	1	1	1	1	1	0	0		1	0	0	1	0	1	1
N	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	0	0	0		0	0	0	0	1	0
O	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1		1	1	1	1	1
P	0	0	1	2	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0		1	0	1	1
Q	0	0	0	0	2	2	2	2	1	1	0	0	0	1	0	0		0	1	1
R	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1		1	1
S	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0		0
T	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1

Fonte: Resultados do PACTA usando os dados mencionados em (MATERIAL E MÉTODOS).

Obs.: 1. A leitura deverá ser feita no sentido horizontal, sendo que 0 significa que a primeira alternativa foi dominada pela segunda; 1 significa que a primeira alternativa domina a segunda; 2 significa dupla eficiência, ou seja, nenhuma das duas alternativas é inferior sob condições de risco. Exemplo: A primeira linha tem a seguinte leitura: 1) A apresenta dupla eficiência com relação a B, ou seja, nem A nem B foram dominadas nesta comparação A vs. B; 2) A domina as demais alternativas desta linha onde está assinalado o código 1; 3) Entretanto A é inferior a L e O (código 0) em condições de risco; Observe-se neste particular que a alternativa J (veja-se linha J) é a pior de todas, pois foi dominada pelas demais.

2. Ver anexo 1 para descrição das AT.

**TABELA 2. Dominância das alternativas tecnológicas com as margens brutas comparadas duas a duas (Pairwise) segundo o método da análise média-variância (E-V).**

1ª AT	2ª AT Alternativas tecnológicas (AT)																			
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
A		2	1	1	2	2	2	2	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2	1
B	2		1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	2	1	1	1	1	2
C	0	0		2	2	2	2	2	1	1	0	2	2	1	2	2	1	2	2	
D	0	0	2		2	2	2	2	2	1	0	0	2	2	2	2	2	0	2	
E	2	2	2	2		2	2	2	1	1	2	2	2	1	2	2	2	2	1	
F	2	2	2	2	2		2	2	1	1	2	2	2	1	2	2	2	2	1	
G	2	2	2	2	2	2		2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
H	2	2	2	2	2	2	2		1	1	2	2	2	1	2	2	2	2	1	
I	0	0	0	2	0	0	0	0		0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
J	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	
K	0	2	1	1	2	2	2	2	1	1		2	1	1	2	1	1	1	2	
L	2	2	2	1	2	2	2	2	1	1	2		2	2	2	1	1	2	2	
M	0	2	2	2	2	2	2	2	1	1	0	2		1	2	2	1	2	1	
N	0	0	0	2	0	0	2	0	1	1	0	2	0		2	2	2	0	2	
O	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2		2	2	2	2	
P	0	0	2	2	2	2	2	2	1	1	0	0	2	2	2		2	0	2	
Q	0	0	0	2	2	2	2	2	1	1	0	0	0	2	2	2		0	2	
R	0	0	2	1	2	2	2	2	1	1	0	2	2	1	2	1	1		2	
S	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2		
T	0	2	2	2	0	0	2	0	1	1	0	2	0	1	2	2	2	2	2	

Fonte: Resultados do PACTA usando os dados mencionados em (MATERIAL E MÉTODOS).

Obs.: Ver as observações correspondentes na Tabela 1. Observe, por exemplo, que a linha A é bastante diferente daquela mostrada na Tabela 1.

**TABELA 3. Médias e desvio-padrão das margens brutas das alternativas tecnológicas sob comparação.**

Alternativas tecnológicas	Margem bruta Média (Cr\$ ha)	Desvio-padrão
A	63.279,9	19.811,9
B	63.988,1	20.672,8
C	59.563,8	20.767,4
D	61.136,2	23.060,4
E	54.666,2	19.393,8
F	54.187,3	18.153,3
G	52.941,2	17.415,0
H	55.660,6	19.542,3
I	42.734,3	22.066,9
J	37.155,6	27.548,5
K	62.513,7	19.860,0
L	65.752,5	21.230,7
M	59.106,8	20.299,5
N	53.910,7	21.020,8
O	67.687,2	23.582,8
P	61.051,5	21.891,1
Q	55.999,2	21.705,1
R	61.298,7	20.914,6
S	50.385,8	16.853,2
T	53.964,3	20.307,7

Fonte: Resultados do PACTA.

Pela Tabela 1 foram selecionadas como eficientes as alternativas L e O (ver anexo I para as definições das 20 alternativas). Esta seleção poderá ser visualmente verificada, através da leitura das linhas L e O da Tabela 1. Observe-se que, pela ausência de zeros, L e O não são dominadas por nenhuma outra alternativa e que ambas são igualmente eficientes sob o ponto de vista de risco.

A Tabela 2 oferece resultados menos precisos. Agora são nove as alternativas que são igualmente eficientes do ponto de vista de risco, pela observação das linhas A, B, E, F, G, H, L, O e S da Tabela 2, que não apresentam nenhum zero, não sendo portanto dominadas por nenhuma das demais. Diz-se, então, que estas nove alternativas são eficientes do ponto de vista de risco, segundo o critério média-variância.

As diferenças existentes entre os resultados das Tabelas 1 e 2 devem-se às hipóteses incorporadas em cada método, conforme descrição teórica contida na seção 3. No método desenvolvido por Hanoch & Levy (1970), ocorre uma compensação entre margem bruta (retorno) e variância (risco), o que não acontece com o método E-V. Como exemplo, pode-se citar a alternativa S, que é eficiente do ponto de vista de análise E-V, mas apresenta uma margem bruta bem menor que as demais alternativas, à exceção das alternativas I e J (Tabela 3). Dificilmente um agricultor aceitaria uma alternativa que num total de 20 opções, estivesse entre as últimas em termos de rentabilidade, em troca de apenas uma ligeira redução na variância. Ao contrário da linha S da Tabela 2, que não é dominada por nenhuma outra alternativa (não apresenta nenhum zero), evidencia enfaticamente a Tabela 1 que a alternativa S é rejeitada em favor de praticamente todas as outras, à exceção de I e J. Fica portanto enfatizado o PD do critério de Hanoch & Levy (1970).

### **Discussão sobre as alternativas selecionadas pelo Método de Hanoch & Levy (1970)**

A Tabela 4 revela que as alternativas L e O, que foram selecionadas como eficientes segundo suas margens brutas pelo método de Hanoch & Levy (1970), são também as que apresentam as maiores produtividades médias. Observa-se que a alternativa L apresenta uma produtividade maior que O (28 kg/ha a mais).

Em compensação, a alternativa O apresenta uma margem bruta maior que L (Cr\$ 1.935/ha a mais), pois esta última incorre em custos de irrigação maiores, devido ao período de irrigação ser mais longo, supondo-se a utilização de sistema mecânico (à base de óleo diesel) para irrigar a lavoura. O fato de que a alternativa O apresenta um pequeno acréscimo de variância da margem bruta em relação a L, fez com que

ambas as alternativas fossem selecionadas como igualmente eficientes do ponto de vista de risco pelo método de Hanoch & Levy (1970).

Estas duas alternativas parecem ser condizentes com a realidade da orizicultura gaúcha. Se o agricultor dispuser de sistema de irrigação por gravidade, parece lógico ele optar pela alternativa L, pois o custo de irrigação por gravidade é bem menor que o custo do sistema mecânico. Com isto o agricultor estaria reduzindo um possível risco biológico ao irrigar sua lavoura por um tempo maior<sup>9</sup>. Entretanto se o agricultor tiver que contar com um sistema de irrigação mecânico (à base de óleo diesel), parece ser mais racional que ele opte pela alternativa O. Observe-se que 68,5% da área cultivada no Rio Grande do Sul é baseada em irrigação mecânica (IRGA 1980).

Até o momento, a análise ateu-se à rentabilidade e risco das alternativas propostas em relação ao agricultor. Todavia, como a EMBRAPA é uma empresa pública, é lógico que ela não se preocupe somente com os resultados positivos da adoção de uma determinada tecnologia para o agricultor, mas também com os benefícios sócio-econômicos que esta poderá trazer ao setor agrícola.

A cultivar IRGA-408 (1980) é cultivada em 12.130 ha, representando apenas 2,3% da área cultivada no Rio Grande do Sul, sendo que 8.319 ha, são cultivados por irrigação mecânica. Considerando-se que, se os agricultores que plantam esta cultivar optassem pela alternativa O somente para a área irrigada mecanicamente, esta mudança proporcionaria ao setor agrícola uma economia (redução de custos) de Cr\$ 25.369.785,00, valor este suficiente para cobrir o orçamento de custeio do ano de 1981, da EMBRAPA-UEPAE/Pelotas. Deve-se ressaltar que a UEPAE/Pelotas desenvolve pesquisa com as culturas do arroz irrigado, soja, sorgo (sacarino, granífero e forrageiro), beterraba açucareira e bovino de corte. Assim sendo, a economia resultante pela adoção da alternativa O para a cultivar IRGA-408 (1980), que representa uma área insignificante em relação a área cultivada no Estado, seria suficiente para o custeio da UEPAE/Pelotas para desenvolver pesquisas com cinco produtos.

Deve-se também levar em conta que a adoção da alternativa O resultará em uma economia de 491.000 litros de óleo diesel por safra, resultado que não deve ser desprezado em virtude de o País atravessar atualmente uma crise energética, devido aos aumentos constantes do preço do petróleo.

<sup>9</sup> Este risco biológico é pequeno (ver diferença entre os desvios padrões das alternativas L e O na Tabela 4) devido ao fato da cultivar IRGA-408 (1980) possuir um ciclo mais longo, suportando assim, sem maiores problemas do ponto de vista agrônomico, um período mais prolongado sem receber água.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Um método de incorporação de risco em modelos de análise comparativa de alternativas foi apresentado. Mostrou-se empiricamente que este método apresenta alto poder de discriminação entre alternativas, e argumentou-se que para aplicações em pesquisa agropecuária o poder de discriminação é importante. Os resultados empíricos mostraram que o método aqui utilizado conseguiu selecionar duas alternativas eficientes do ponto de vista de risco entre um total de 20 possibilidades. Destas duas alternativas que poderão ser recomendadas aos agricultores, notaram-se características distintas. O plantio da variedade IRGA-408 (1980) seguido de irrigação 21 dias após a germinação (alternativa L) apresenta maior custo de irrigação e ao mesmo tempo um pequeno acréscimo na produtividade média. A alternativa O de irrigação aos 42 dias após a germinação, reduz consideravelmente o custo de irrigação, com uma perda de 28 kg/ha na produtividade média e apresenta um pequeno acréscimo na variância dos rendimentos devido ao fato do período total de irrigação ser menor.

De acordo com as premissas do modelo e os dados agrônômicos e de mercado utilizados, ambas as alternativas foram selecionadas como sendo igualmente eficientes do ponto de vista de risco, podendo ser ambas igualmente recomendadas aos produtores. Ocorre que a EMBRAPA, sendo um órgão público, deve levar em consideração fatores conjunturais e sociais nas suas recomendações. Levando-se em conta a atual crise energética que atualmente o Brasil atravessa, e levando-se em conta que a alternativa que usa irrigação somente 42 dias após a germinação economiza 491.000 litros de óleo diesel por safra, não será surpresa o fato de a EMBRAPA vir a recomendar esta alternativa.

Uma das conclusões que se pode tirar desta análise é que os resultados dos modelos de decisão como o que foi usado neste estudo, poderiam muito bem ser diretamente divulgados aos interessados, sem nenhum crivo adicional, caso fossem gerados por uma empresa de caráter privado. Tal não é o caso de uma empresa pública, onde os modelos de decisão devem ser encarados como geradores de uma pré-seleção de recomendações. A recomendação final dependerá de análise de critérios e fatores adicionais (tal como o fator energético), não incorporados no modelo de decisão.

Isto não quer dizer que em análise de risco a pesquisa deva se ater necessariamente a uma única opção tecnológica. Pelo contrário, recomenda-se que a pesquisa deva em geral analisar mais de uma alternativa para poder orientar os produtores que porventura tenham outros objetivos em mente. Em geral, caso haja produtores que considerem inopor-

tuna ou inviável a adoção de uma tecnologia  $X$  (por questões de crédito, disponibilidade de mão-de-obra, aversão ao risco, condições de mercado e outras variáveis), terá então o órgão de pesquisa condições de apresentar uma segunda (ou terceira) alternativa<sup>10</sup>.

Outra conclusão de caráter geral que este estudo evidencia é que a incorporação de hipóteses não muito restritivas sobre o comportamento dos tomadores de decisão, tais como aquelas descritas no método de Hanoch & Levy (1970), podem melhorar sensivelmente o poder de discriminação de modelos de análise comparativa entre alternativas. Evidentemente, a validade das conclusões depende da veracidade destas hipóteses. Recomenda-se que futuras pesquisas em modelagem de risco avaliem o efeito de hipóteses alternativas incorporadas aos modelos de decisão, para um melhor posicionamento dos economistas agrícolas que tenham ou venham a ter interesse em análise de risco.

#### REFERÊNCIAS

- ANDERSON, J.R. Risk aversion and polynomial preference. *Australian Economic Papers*, 12(21):261-262, 1973.
- ANDERSON, J.R. Risk efficiency in the interpretation of agricultural production research. *Review of Marketing and Agricultural Economics*, 42(3):131-184, sept. 1974.
- ANDERSON, J.R. *Modelling decision making under risk*. México, CIMMYT, 1976.
- ANDERSON, J.R.; DILLON, J.L. & HARDAKER, J.B. *Agricultural decision Analysis*. Ames, Iowa State University Press, 1977.
- BAUMOL, W.J. An Expected Gain - Confidence limit criterion for portfolio selection, *Management Science*, 10(1):174-182, 1963.
- BITZ, M. & ROGUSCH, M. Risiko-Nutzen, Geldnutzen un Riskoeinstellung zur Discussion um das Bernoulli-Prinzip. *Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, 46(12):853-868, 1976.
- BORCH, K. *Economics of uncertainty*, Princeton, Princeton University Press, 1968.
- BOUSSARD, J.M. & PETIT, M. Representation of farmers' behaviour under uncertainty with a focus-loss constraint. *Journal of Farm Economics*, 49(4):869-880, 1967.
- DA CRUZ, E.R. *On the determination of priorities for agricultural research under risk*. London, Wye College, University of London, 1979. (Tese de Ph. D.).
- DA CRUZ, E.R. *PACTA - Programa de avaliação comparativa de tecnologias alternativas; Guia do Usuário*. Brasília, DF, EMBRAPA-DDM, 1980. 7p.

<sup>10</sup> Na Tabela 1, as opções A e B por exemplo, tem apenas dois zeros cada, pois só foram dominadas por L e O. Seriam portanto as próximas alternativas a serem consideradas, após L e O.

- DILLON, J.L. An expository review of Bernoullian decision theory. *Review of Marketing and Agricultural Economics*, 38(1):1-80, March, 1971.
- DILLON, J.L. & SCANDIZZO, P.L. Risk attitudes of subsistence farmers in Northeast Brazil: a sampling approach. *American Journal of Agricultural Economics*, 60(3):425-435, 1978 (August).
- FELDSTEIN, M.S. Mean variance analysis in the theory of liquidity preference and portfolio selection. *Review of Economic Studies*, 36(1):5-14, 1969.
- FREUND, R.J. The introduction of risk into a programming model. *Econometrica*, 24(3):253-263, 1959.
- GARCIA, J.C. & CRUZ, J.C. Seleção, pela dominância estocástica, de práticas agrícolas eficientes com respeito ao risco — uma aplicação para a cultura do milho. *Revista de Economia Rural*, Brasília, 17(2):131-142, 1979.
- HADAR, J. & RUSSEL, W.R. Rules for ordering uncertain prospects. *American Economic Review* 14(1):25-34, 1969.
- HANOCH, G. & LEVY, H. Efficient portfolio selection with quadratic and cubic utility. *Journal of Business*, 43(2):181-189, 1970.
- INTRILLIGATOR, M.D. *Mathematical optimization and economic theory*. New Jersey Prentice Hall, 1971.
- INFELD, J.A. Ensaio de interações nas cultivares IRGA-408, EEA-406 e Bluebelle. In: REUNIÃO DA CULTURA DO ARROZ, 7 a 23 a 24/08, 1977. *Anais...* Porto Alegre, 1977.
- IRGA — Instituto Rio-Grandense do Arroz. *Anuário Estatístico do Arroz*. Porto Alegre, 35, 1980.
- KATAOKA, S. A stochastic programming model. *Econometrica*, 31(1-2): 181-196, 1963.
- KOCH, H. Die Problematik der Bernoulli-Nutzentheorie. *Jahrbuch für Nationalökonomie und Statistik*, 188:193-223, 1974.
- MARKOWITZ, H. *Portfolio selection — efficient diversification of investments*. New York, Wiley, 1959.
- McINERNEY, J.P. Maximium programming — an approach to farm planning under uncertainty, *Journal of Agricultural Economics*, 18(2):279-289, 1967.
- McINERNEY, J.P. Linear programming and game theory models — some extensions. *Journal of Agricultural Economics*, 20(2):269-278, 1969.
- MOUTINHO, D.A. et al. Tomada de decisão sob condições de risco em relação a nova tecnologia para a produção do feijão de corda. *Revista de Economia Rural*, Brasília, 16(4):41-58, 1978.
- PERRAKIS, S. & ZERBINIS, J. Identifying the SSD portion of the EV Frontier: A Note. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 13(1):167-171, march, 1978.
- PORTER, R.B. An empirical comparison of stochastic dominance and mean-variance portfolio choice criteria. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 587-608 p, Sept., 1973.
- PORTER, R.B. & BEY, R. An evaluation of the empirical significance of optimal

- seeking algorithms in portfolio selection. *Journal of Finance*, 29:1479-1490, dec., 1974.
- PORTER, R.B. & CAREY, K. Stochastic dominance as a risk analysis criterion. *Decision Science*, 5:10-21, jan., 1974.
- QUIRK, J.P. & SAPOSNIK, R. Admissibility and measurable utility functions, *Review of Economic Studies*, 29(1):140-146, 1962.
- ROUMASSET, J. *Rice and risk; decision making among low-income farmers*, Amsterdam, North Holland, 1976.
- ROY, A.D. Safety first and the holding of assets. *Econometrica*, 20(3):431-449, 1952.
- TELSER, L.G. Safety first and hedging. *Review of Economic Studies*, 23(1): 1-16, 1955.
- TOBIN, J. Liquidity preference as behaviour towards risk. *Review of Economic Studies*, 25(1):65-85, 1968.
- TSIANG, S.C. The rationale of the mean standard deviation analysis, skewness preference, and the demand for money. *American Economic Review*, 62: 354-371, 1972.
- WEBSTER, J.P.G. & KENNEDY, J.O.S. Measuring farmers' trade-offs between expected income and focus-loss income. *American Journal of Agricultural Economics*, 57(1):97-105, 1975.
- WIENS, T.B. Peasant risk aversion and allocation behaviour: a quadratic programming experient, *American Journal of Agricultural Economics*. 629-635 p, nov., 1976.

## ANEXO 1

### Definição das alternativas tecnológicas

- A) 1ª época de irrigação X 1ª época da cobertura de nitrogênio X herbicida pré-emergente.
- B) 2ª época de irrigação X 1ª época de cobertura de nitrogênio X herbicida pré-emergente.
- C) 3ª época de irrigação X 1ª época de cobertura de nitrogênio X herbicida pré-emergente.
- D) 4ª época de irrigação X 1ª época de cobertura de nitrogênio X herbicida pré-emergente.
- E) 5ª época de irrigação X 1ª época de cobertura de nitrogênio X herbicida pré-emergente.
- F) 1ª época de irrigação X 1ª época de cobertura de nitrogênio X herbicida pós-emergente.

- G) 2ª época de irrigação X 1ª época de cobertura de nitrogênio X herbicida pós-emergente.
- H) 3ª época de irrigação X 1ª época de cobertura de nitrogênio X herbicida pós-emergente.
- I) 4ª época de irrigação X 1ª época de cobertura de nitrogênio X herbicida pós-emergente.
- J) 5ª época de irrigação X 1ª época de cobertura de nitrogênio X herbicida pós-emergente.
- K) 1ª época de irrigação X 2ª época de cobertura de nitrogênio X herbicida pré-emergente.
- L) 2ª época de irrigação X 2ª época de cobertura de nitrogênio X herbicida pré-emergente.
- M) 3ª época de irrigação X 2ª época de cobertura de nitrogênio X herbicida pré-emergente.
- N) 4ª época de irrigação X 2ª época de cobertura de nitrogênio X herbicida pré-emergente.