

A CONSIDERAÇÃO DE TENDÊNCIAS NA OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA SOB CONDIÇÕES DE RISCO

*Benedito Silva Neto*¹

*Valter José Stulp*²

RESUMO

O objetivo deste trabalho é desenvolver um modelo de programação matemática que permita otimizar sistemas de produção considerando as tendências dos resultados econômicos das atividades sem deixar de considerar adequadamente as variações aleatórias. A formulação do modelo está baseada na otimização dos desvios interanuais das séries históricas dos resultados econômicos das atividades. Foram comparadas soluções de simulações numéricas deste modelo com soluções obtidas com o modelo de minimização da variância e com o modelo de minimização dos desvios absolutos, sendo estes últimos modelos testados com e sem a aplicação de regressões lineares. Os resultados obtidos indicam que o modelo de otimização dos desvios interanuais discriminou as atividades segundo as tendências dos seus resultados econômicos, aumentando nas soluções os níveis das atividades com resultados crescentes e diminuindo os níveis das atividades com resultados decrescentes. A aplicação de regressões lineares aos modelos de minimização da variância e de minimização dos desvios absolutos não possibilitou que estes discriminassem as tendências dos resultados. Na ausência de tendências positivas ou negativas nas séries históricas, o modelo de otimização das diferenças interanuais apresentou uma capacidade de minimizar a variância superior ao modelo de minimização

¹ Prof. Doutor do Departamento de Estudos Agrários da Universidade Regional do Noroeste do Estado Rio Grande do Sul (UNIJUI)

² Prof. Doutor do Departamento de Matemática da Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC)

dos desvios absolutos.

Palavras-Chave: Otimização, Sistemas de Produção, Risco.

1. Introdução

Uma das mais importantes características da atividade agropecuária é o risco elevado ao qual ela está sujeita. Por isto, todo modelo matemático efetuado para o estudo de planos de produção que visem aumentar a rentabilidade das unidades de produção agropecuárias devem, a rigor, incluir o risco na sua formulação. Entretanto, a modelagem do risco em unidades de produção, especialmente no que diz respeito aos modelos de programação matemática, levanta problemas que ainda não foram adequadamente solucionados. Um destes problemas corresponde ao pressuposto, adotado na maioria destes modelos, de que a variação dos resultados econômicos das unidades de produção agropecuárias é meramente aleatória, o que é pouco provável. Assim, tais modelos não distinguem as variações aleatórias das variações devido às tendências dos resultados econômicos das unidades de produção agropecuárias provocadas por mudanças estáveis na economia, tais como:

- aumentos persistentes na oferta devido a ganhos de produtividade ou devido à emergência de novas regiões produtoras;
- diminuição na demanda devido à entrada no mercado de produtos de substituição;
- alterações nas políticas econômicas, entre outras.

Além disto, alterações progressivas nos rendimentos físicos das culturas podem ocorrer mesmo sob tecnologia constante, como por exemplo, quedas de rendimento em consequência de processos erosivos ou de esgotamento das reservas químicas do solo. Ao contrário, podem ocorrer também aumentos progressivos dos rendimentos pela melhoria das condições físicas e químicas do solo provocada pela adoção de práticas de rotação de culturas, conservação e manejo do solo, etc.

Outro pressuposto implícito nos modelos de otimização sob risco

é o de que os agricultores, ao tomar as suas decisões, são indiferentes entre atividades que apresentem rentabilidade crescente ao longo do tempo e atividades com rentabilidade decrescente. Assim, segundo os pressupostos destes modelos, os agricultores consideram nas suas decisões apenas a média e a variabilidade da renda proporcionada pelas atividades, sem levar em conta as tendências dos resultados econômicos eventualmente existentes. Entendemos que estes pressupostos podem levar os modelos de otimização a selecionar planos que seriam inaceitáveis para os agricultores, o que pode comprometer seriamente a eficácia da programação matemática enquanto ferramenta para a extensão rural.

O objetivo deste trabalho é apresentar e avaliar um modelo de programação matemática que permita a consideração de tendências dos resultados econômicos das unidades de produção sem, no entanto, deixar de considerar adequadamente as suas variações aleatórias.

2. Fundamentação Teórica

2.1. Alguns Modelos Utilizados para a Otimização de Sistemas de Produção Agropecuários Considerando o Risco

O modelo de programação proposto por Markowitz (1952), tem sido largamente utilizado como referência para testar a eficácia de novos modelos, principalmente os que se utilizam da programação linear. Na sua versão mais simples, este modelo pode ser descrito como:

$$\text{Minimizar } V = \sum \sum x_j x_k \sigma_{jk}$$

Sujeito à restrições

$$\begin{aligned} \sum a_{ij} x_j + \sum a_{ik} x_k &\leq b_i \\ \sum c_j x_j + \sum c_k x_k &= E \\ x_j, x_k &\geq 0 \end{aligned}$$

onde

V = variância total do resultado econômico das atividades;

x_j, x_k = nível das atividades j e k , respectivamente;

σ_{jk} = co-variância entre o resultado econômico das atividades j e k quando j e k forem diferentes; se $j = k$, σ_{jk} corresponde à variância da atividade;

a_{ij}, a_{ik} = requerimentos técnicos das atividades j e k em relação ao recurso ou restrição i ;

b_i = disponibilidade do recurso i ;

c_j, c_k = resultado econômico por unidade das atividades j e k , respectivamente;

E = resultado econômico total esperado;

O modelo de Markowitz(1952), também conhecido como modelo da fronteira esperança-variância (E-V), considera portanto a variância dos resultados econômicos como uma medida do risco, a qual é minimizada respeitando restrições técnicas e o resultado econômico esperado, o qual é fixado "a priori". Em relação a cada solução do modelo, o valor de E é alterado, obtendo-se um valor de V mínimo para cada E . O conjunto destes pares de valores constitui a fronteira E-V.

Como este modelo foi desenvolvido originalmente para a otimização de aplicações financeiras, o resultado econômico era expresso em termos de valorização relativa (normalmente percentual) dos papéis, sendo a variância uma medida dos desvios em relação a esta valorização. Desta forma, as variações devidas à valorização dos papéis eram automaticamente separadas das variações aleatórias no cálculo da variância. Quando este modelo passou a ser aplicado para a otimização de sistemas de produção agropecuária, a variância passou a ser calculada em relação à média aritmética dos resultados econômicos das atividades. Assim, as possíveis variações destes resultados originadas por aumentos ou diminuições sistemáticos do resultado econômico das atividades agropecuárias, principalmente aqueles provocados por tendências nas variações dos preços, passaram a ser considerados como variações aleatórias, tais como as variações dos rendimentos físicos devidas a problemas climáticos. Ora, tal confusão pode se tornar extremamente

grave no caso de figurarem, entre as opções disponíveis aos agricultores, atividades com fortes tendências de aumento ou redução nos seus resultados econômicos. Neste caso, os resultados da aplicação das formulações correntemente utilizadas do modelo de Markowitz (1952) podem resultar em planos ineficientes do ponto de vista da consideração do risco, os quais, obviamente, os agricultores procuram evitar.

Vários autores têm alegado que o modelo da fronteira E-V de Markowitz (1952) deve ser aplicado apenas quando os resultados econômicos obedecem a uma distribuição normal ou quando a função utilidade do agente econômico for quadrática (Robinson & Brake, 1979; Kaylen e outros, 1987). Nestes dois casos, a distribuição dos resultados econômicos pode ser expressa em função, apenas, da sua média e da variância. Estas limitações têm estimulado a construção de modelos de risco que proporcionem soluções diretas de aproximações não-lineares da função utilidade (Kaylen e outros, 1987; Lamberte outros, 1987). Entretanto, evidências empíricas obtidas a partir da comparação dos resultados do modelo E-V com os de modelos baseados em várias aproximações da função utilidade indicam uma grande semelhança entre as soluções obtidas (Kroll e outros, 1984), embora os procedimentos adotados para a obtenção destas evidências tenham sido contestados por certos autores (Pulley, 1985) e também apoiados por outros (Reid & Tew, 1986). Assim, mesmo após várias décadas do seu surgimento e da polêmica sobre a sua capacidade de simular adequadamente o comportamento dos agentes econômicos, o modelo E-V de Markowitz (1952) continua como uma das principais referências para o desenvolvimento de modelos de programação matemática que consideram o risco.

Um dos modelos mais utilizados como uma aproximação ao modelo de Markowitz (1952) é o modelo proposto por Hazell (1971), denominado por este autor de MOTAD, da sigla em inglês de minimização dos desvios totais absolutos (“Minimization Of Total Absolute Deviations”), conhecido também como modelo da fronteira E-A (Kennedy e Francisco, 1974).

A sua formulação, proposta por Hazell (1971), pode ser descrita como:

$$\begin{aligned} & \text{Minimizar } W = \sum y_t - \\ & \text{Sujeito às seguintes restrições:} \\ & \sum (c_{ij} - g_j) x_j + y_t \geq 0 \\ & \sum a_{ij} x_j \leq b_i \\ & \sum c_j x_j = E \\ & x_j \geq 0 \end{aligned}$$

onde

y_t = o desvio absoluto negativo do resultado econômico da propriedade rural no ano t ;

$c_{ij} - g_j$ = desvio absoluto do resultado econômico da atividade j (cultura ou criação) no ano t , em relação à média dos resultados econômicos desta atividade, sendo g_j a média calculada tomando os resultados econômicos de todos os anos e C_{ij} , o resultado econômico da t -ésima observação da j -ésima atividade.

x_j = nível ou número de unidades da atividade j na solução;

a_{ij} = requerimentos técnicos da atividade j do recurso ou restrição i ;

b_i = disponibilidade do recurso i ;

c_j = resultado econômico por unidade da atividade j ;

E = resultado econômico pré-estabelecido; coeficiente de parametrização crescendo de zero até a solução ótima dada pela resolução do modelo de programação linear convencional para maximização do resultado econômico.

Embora esse modelo seja considerado normalmente uma aproximação linear do modelo E-V, ele pode também ser interpretado de forma independente do modelo de minimização da variância, inclusive com os desvios médios absolutos sendo interpretados estatisticamente sem a sua transformação em variâncias (Kennedy & Francisco, 1974).

2.2. O Uso de Regressões para a Identificação de Tendências nas Séries Históricas

Como foi discutido acima, a distribuição normal dos dados é um dos pressupostos assumidos para a aplicabilidade do modelo da fronteira E-V quadrática (Robinson & Brake, 1979; Kaylen e outros, 1987). Na medida em que os dados apresentem tendências, esta condição não é respeitada. A partir da aplicação de regressões, há uma maior aproximação dos dados de uma distribuição simétrica, o que diminui o risco de contradições com a aplicação do modelo E-V, assim como de outros modelos que pressupõem distribuições simétricas (Stulp, 1977). Na medida em que uma regressão significativa indica uma tendência de alteração positiva ou negativa da média dos resultados econômicos das atividades ao longo do tempo, também esta média deve ser alterada, sendo adotada como média o valor calculado pela equação de regressão para o ano correspondente ao horizonte de planejamento das atividades. Outro procedimento que também pode ser utilizado é a adoção da média dos dados dos últimos dois ou três anos como estimativa dos resultados econômicos médios das atividades.

As variâncias e co-variâncias dos resultados econômicos são calculadas a partir dos resíduos das regressões, nos casos em que a regressão for significativa estatisticamente. Assim, toma-se o quadrado médio dos resíduos como a variância dos resultados econômicos de cada atividade. A co-variância entre os resíduos das regressões de duas atividades é considerada como sendo a co-variância entre os resultados econômicos destas atividades.

Como a aplicação de regressões altera os valores das médias, aumentado-os no caso de tendências positivas e diminuindo-os no caso em que as tendências são negativas, ela pode também privilegiar atividades com tendências crescentes e diminuir o nível de atividades com tendências decrescentes na solução. Desta forma, a aplicação de regressões aos dados de problemas de programação matemática pode ser um procedimento útil para definir planos de produção considerando-se tendências dos preços ou dos rendimentos físicos das atividades.

3. O Modelo de Otimização das Diferenças Interanuais (ODI)

Nesta seção procuraremos descrever a estrutura de um modelo de programação matemática que permite a distinção entre tendências e variações aleatórias, sem que estas últimas sejam negligenciadas na elaboração de planos de produção agropecuária eficientes em relação ao risco, dispensando o uso de regressões.

Basicamente, este modelo consiste, como a maioria dos modelos descritos anteriormente, na minimização de uma dada medida de dispersão, respeitando-se as restrições técnicas e um certo resultado econômico mínimo, definido “*a priori*”. A medida de dispersão utilizada consiste na diferença negativa entre os resultados econômicos entre um ano e outro ao longo da série de dados disponíveis. Entretanto, ao contrário dos demais modelos descritos, a otimização das diferenças interanuais não consiste em uma simples minimização de desvios. Apenas as diferenças negativas dos resultados econômicos das atividades no ano corrente menos os resultados econômicos do ano anterior são minimizadas, sendo que estas mesmas diferenças, quando são positivas, podem adotar qualquer valor. Assim, considerando-se uma série de “T” anos, e um sistema de produção com “n” atividades potenciais sujeitas a “m” restrições técnicas, o modelo pode ser descrito como:

$$\text{Minimizar } \sum N_{t-(t-1)} \quad (t = 1, 2, \dots, T)$$

Sujeito às seguintes restrições:

$$\sum (c_{ij} - c_{(t-1)j}) x_j + N_{t-(t-1)} \geq 0 \quad (j = 1, \dots, T-1)$$

$$\sum a_{ij} x_j \leq b_i \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

$$\sum c_j x_j = E$$

$$x_j \geq 0$$

onde

$N_{t-(t-1)}$ = diferença do resultado econômico entre o ano t e o ano t-1;

c_{ij} = resultado econômico da atividade j no ano t, por unidade de atividade;

$c_{(t-1)j}$ = resultado econômico da atividade j no ano $t-1$, por unidade de atividade;

x_j = nível ou número de unidades da atividade j ;

a_{ij} = requerimentos técnicos das atividades j na solução;

b_i = disponibilidade do recurso i ;

c_j = resultado econômico médio por unidade da atividade j ;

E = resultado econômico médio total esperado;

Embora a estrutura deste modelo seja extremamente simples, ela apresenta características que o distinguem nitidamente dos demais discutidos anteriormente. Pelo fato de neste modelo os desvios não serem calculados em relação à média, como nos modelos anteriores, mas sim em relação ao resultado do ano anterior, não apenas a magnitude dos resultados, mas também a ordem em que estes se apresentam na série estudada é considerada no processo de otimização. Isto permite que, neste modelo, os aumentos ou baixas sucessivos nos resultados possam ser interpretados como tendências. Além disto, no caso em que estes aumentos ou baixas sucessivos não ocorrem, mas apenas variações em torno de valores médios, o modelo também é capaz de identificar estas variações dando-lhes porém, um peso menor em relação a tendências negativas. Caso o “*software*” utilizado permita que o problema seja processado sem a restrição de não negatividade das variáveis, pode-se formular uma versão do modelo capaz de priorizar as atividades com tendências positivas em relação às variáveis com valores estáveis. Se a restrição de não negatividade das variáveis for mantida, o modelo torna-se indiferente entre atividades estáveis e atividades com tendências positivas. Esta última versão, que pode ser considerada mais “conservadora”, é a que será utilizada neste trabalho.

Outro aspecto interessante deste modelo é que as tendências (crescentes ou decrescentes) dos resultados econômicos devem exercer uma grande influência no processo decisório dos agricultores em relação aos seus planos de produção, ou seja, os agricultores provavelmente não são indiferentes às tendências dos resultados. Isto indica que as diferenças

dos resultados econômicos em relação aos de anos anteriores são um critério que pode ser considerado plausível para a simulação do comportamento econômico dos agricultores.

3. Metodologia

Nesta pesquisa foi realizada uma análise comparativa dos modelos de minimização da variância (MV), minimização dos desvios absolutos (MDA) e otimização dos desvios interanuais (ODI). Foram utilizadas duas versões dos modelos MV e MDA, a saber, com correção (MVR e MDAR) e sem correção (MVS e MDAS) dos dados através de regressões lineares. Na formulação dos problemas com correção pela regressão linear, o resultado econômico esperado das atividades corresponde à extrapolação do resultado econômico baseada na equação de regressão considerando-se o horizonte de planificação de um ano, no caso em que a regressão foi significativa a 5 % de probabilidade, segundo o teste F. No caso em que o teste F não foi significativo a 5 % de probabilidade, o resultado econômico esperado das atividades corresponde ao resultado médio da série. Além disto, nos modelos com correção pela regressão linear, a variância e os desvios médios absolutos foram calculados em relação ao valor do resultado econômico obtido através da equação de regressão para cada ano para as atividades em que a regressão foi significativa a 5 % de probabilidade, segundo o teste F. Para as atividades em que a regressão não foi significativa a 5 %, a variância e os desvios foram calculados a partir dos dados originais das séries.

Os estudos comparativos foram realizados através de duas simulações numéricas, uma com o objetivo de testar a aplicação da regressão linear como forma de considerar tendências (simulação 1) e outra para testar a capacidade do modelo ODI de minimizar a dispersão do resultado econômico (simulação 2). Em ambas as simulações o resultado econômico total médio foi fixado em 20.000 unidades.

O motivo de optarmos por simulações numéricas neste trabalho é que estas nos permitem testar facilmente os efeitos de várias

configurações das séries históricas sobre os resultados fornecidos pelos modelos, permitindo também a análise das conseqüências das expressões relativas ao risco (função objetivo ou restrições), sem a influência das restrições técnicas presentes nos modelos de sistemas de produção agropecuária (relativas por exemplo à terra e à mão-de-obra disponíveis). Desta forma, as soluções obtidas nas simulações numéricas são independentes do nível do resultado econômico fixado, variando linearmente na mesma proporção que estes.

3.1. As Séries de Dados Utilizadas nas Simulações

3.1.1. Simulação 1: Teste da Aplicação de Regressões Lineares

As séries de dados utilizadas nesta simulação foram geradas de forma a representar resultados econômicos de atividades ao longo de dez anos, com quatro diferentes configurações, a saber: dados com valores crescentes (série C), decrescentes (série D), estáveis (série E) e irregulares (série I). Estas séries, assim como as suas médias, variâncias e desvios médios, estão descritas na Tabela 1. No Gráfico 1, pode-se observar as diferentes configurações com que estas séries se apresentam. Na Tabela 2 estão apresentados os dados das atividades D e C corrigidos pela regressão linear (resultados econômicos calculados pela equação de regressão e resíduos). Na Tabela 3, está apresentada a matriz de variâncias-co-variâncias das séries, calculadas a partir dos resíduos das regressões lineares (quando estas foram significativas ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F).

É importante salientar que as séries de dados foram geradas de forma a evidenciar a capacidade dos modelos em privilegiar tendências positivas e penalizar tendências negativas na solução, e distinguir atividades com valores estáveis de atividades com valores irregulares. Assim, observa-se que a série D, com valores decrescentes, possui desvios muito baixos, após estes serem corrigidos pela regressão, apresentando uma tendência negativa menos acentuada do que a série C, com valores

crescentes. Além disto, a série E, com valores estáveis, foi incluída antecipando-se que a sua participação seria relativamente alta nas soluções, sendo que a série I, com valores irregulares, foi incluída antecipando-se uma baixa participação nas soluções.

Tabela 1- Séries de dados utilizados na simulação 1, com as médias, variâncias e desvios médios.

Ano	C*	D*	I ^{n.s}	E ^{n.s}
1	110	270	130	200
2	130	250	260	190
3	140	235	140	200
4	190	220	170	210
5	200	205	320	200
6	210	195	100	190
7	240	180	250	200
8	230	160	130	210
9	260	145	300	200
10	290	140	200	200
Média	200	200	200	200
Variância	3100	1770	5480	40
Desvio Médio Absoluto	46	36	66	4

Obs.: * regressão linear significativa ao nível de 5% de probabilidade.
n.s. regressão linear não significativa a 5% de probabilidade.

Gráfico 1. Comparação das séries de dados

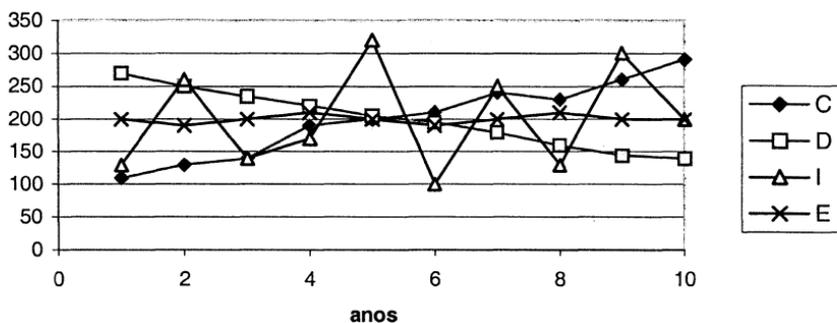


Tabela 2- Séries de dados utilizados na simulação 1 corrigidos pela regressão.

Ano	média C	Resíduos C	média D	Resíduos D
1	114,36	-4,36	265,73	4,27
2	133,39	-3,39	251,12	-1,12
3	152,42	-12,42	236,55	-1,52
4	171,45	18,55	221,91	-1,91
5	190,48	9,52	220,73	-2,30
6	209,51	0,48	192,70	2,30
7	228,55	11,45	178,09	1,91
8	247,58	-17,58	163,48	-3,48
9	266,61	-6,61	148,88	3,88
10	285,64	4,36	134,27	5,73
11	304,67 *		119,67 *	
Desvio M Abs.		8,87		2,84

Obs.: * valores estimados através da equação de regressão

Tabela 3- Variâncias e Co-variâncias das séries de dados considerando-se as tendências.

	C	D	I	E
C	112,24	8,15	252,67	3,88
D		9,97	-77,33	-6,58
I			5480	-60
E				40

3.2. Simulação 2: Teste da Capacidade do Modelo ODI em Minimizar a Dispersão do Resultado Econômico

Nesta simulação foram utilizadas três séries de dados cujas regressões lineares não são significativas ao nível de 5% de probabilidade segundo o teste F. Estas séries diferem no entanto em relação às suas médias, variâncias e desvios médios absolutos. Assim, conforme descrito na Tabela 4, a série “X” apresenta médias e desvios mais baixos, enquanto que a série “Z” apresenta médias e desvios mais altos, sendo que a série “Y” apresenta médias e desvios com valores intermediários entre as demais. Assim, os dados das séries foram ajustados para que as três atividades, X, Y e Z, figurem simultaneamente na solução de pelo menos um dos modelos testados. Na Tabela 5 estão apresentadas as variâncias e as co-variâncias das variáveis X, Y e Z.

Tabela 4- Séries de dados utilizados na simulação 2, com as médias, variâncias e desvios médios.

Ano	X	Y	Z
1	131	211	313
2	74	256	135
3	113	27	309
4	89	287	237
5	58	40	0
6	89	172	69
7	58	194	132
8	55	225	390
9	127	132	169
10	133	207	333
Média	92,7	175,1	208,7
Variância	888,61	66.627,29	14.602,21
Desv. Médio Absoluto	26,64	65,88	107,7

Tabela 5- Variâncias e co-variâncias de X, Y e Z.

	X	Y	Z
X	888,61	- 158,87	1.453,71
Y		6.627,29	2.799,63
Z			14.602,21

4. Resultados e Discussão

4.1. Simulação 1: Teste da Aplicação de Regressões Lineares

Na Tabela 6 estão descritos os resultados da simulação com os modelos de minimização da variância e de minimização dos desvios absolutos, formulados sem e com a consideração de tendências através de regressões lineares.

Tabela 6- Comparação dos modelos de minimização da variância (MV) e de minimização dos desvios absolutos (MDA) sem (S) e com (R) a correção dos dados pela regressão linear.

	C	D	I	E
MVS	23,16	32,51	0,41	43,93
MVR	12,07	81,72	1,07	31,65
MDAS	18,19	27,27	0	54,55
MDAR	0	90,94	1,74	43,85

Pode-se observar que a atividade C, com valores crescentes, diminuiu quando os dados foram corrigidos pela regressão linear, tendo

vido eliminada da base ótima no caso do modelo de minimização dos desvios médios absolutos. Quanto à atividade D, com resultados econômicos decrescentes, a sua participação aumentou de forma acentuada quando nas soluções de ambos os modelos quando a regressão linear foi aplicada. Tais resultados podem ser explicados pelo fato de que, embora a aplicação da regressão linear tenha levado a um aumento do valor do resultado econômico da atividade C e a uma diminuição do valor da atividade D, os desvios relativos a esta última atividade também foram diminuídos de forma acentuada. Assim, a diminuição dos desvios da atividade D provavelmente deve ter influenciado mais a solução do que a alteração dos valores das médias (das atividades C e D). Estes resultados mostram que, no caso da aplicação de modelos de minimização da dispersão em relação à média (variância ou desvio absoluto), as atividades com resultados econômicos fortemente decrescentes podem entrar na solução quando os desvios são muito reduzidos pela regressão linear. Neste caso, essas atividades podem ser privilegiadas na solução, em relação às atividades com resultados econômicos constantes ou mesmo crescentes, contrariando os objetivos de consideração das tendências na otimização. Na tabela 7 estão apresentados os resultados dos modelos MVR, MDAR e ODI.

Tabela 7- Resultados dos modelos MVR, MDAR e ODI.

	C	D	I	E
MVR	12,07	81,72	1,07	31,65
MDAR	0	90,94	1,74	43,85
ODI	50	0	0	50

Observa-se que a solução obtida pelo modelo ODI apresentou apenas as atividades C (valores crescentes) e E (valores estáveis), ambas com 50 unidades. Esta solução é bastante diferente das soluções

apresentadas pelos demais modelos, principalmente no que diz respeito à maior participação da atividade C na solução do modelo ODI, e na presença da atividade D na solução dos demais modelos. Quanto à atividade I (valores irregulares), esta apresentou-se com valores baixos nas soluções dos modelos MVR e MDAR, não constando da solução do modelo ODI. Estes dados indicam que o modelo ODI apresentou uma boa capacidade em discriminar as tendências apresentadas pelas atividades, ao contrário dos modelos em que os dados foram corrigidos pela regressão linear. Uma possível explicação para isto é que nos modelos de minimização da variância e de minimização dos desvios absolutos, as tendências são inseridas apenas através da modificação dos valores dos coeficientes. Já no modelo ODI, as tendências são detectadas através da própria estrutura matemática do modelo.

4.2. Simulação 2: teste da capacidade do modelo ODI em minimizar desvios

Na Tabela 10 estão apresentadas as soluções dos modelos MV, MDA e ODI relativas aos dados utilizados na simulação 2. Nesta tabela também estão apresentados a variância e o desvio médio absoluto das soluções.

Tabela 10- Nível das atividades, variância, desvio padrão e desvio médio absoluto das soluções dos modelos MV, MDA e ODI.

	X	Y	Z	Variância	Desvio Padrão	Desvio Médio Absoluto
MV	143,74	38,12	0	26.250.350	5.123,51	4.260,05
MDA	113,85	38,29	13,14	29.533.740	5.434,50	4.103,25
ODI	163,24	27,80	0	27.358.500	5.230,54	4.324,62

Como pode ser observado na Tabela 10 acima, a solução do modelo ODI apresentou um desvio padrão (ou variância) inferior ao apresentado pela solução do modelo MDA, tendo selecionado as mesmas

atividades que o modelo MV. Em relação ao desvio médio absoluto, a solução do modelo ODI apresentou um valor superior ao dos demais modelos testados. Estes resultados indicam que, de maneira geral, o modelo ODI tendeu a apresentar uma solução mais próxima da solução do modelo MV do que da solução apresentada pelo modelo MDA. Além disto, os resultados apresentados na tabela 10 indicam que o modelo ODI, neste caso, não pode ser considerado inferior ao modelo MDA em minimizar a dispersão do resultado econômico em relação à média, pois o resultado desta avaliação depende da medida de dispersão adotada.

5. Conclusão

Os resultados obtidos neste trabalho nos permitem as seguintes conclusões:

- 1) A transformação dos dados através da regressão linear pode não ser suficiente para que os modelos de minimização da variância (MVR) e de minimização dos desvios absolutos (MDAR) sejam capazes de discriminar adequadamente atividades com resultados econômicos crescentes em relação a atividades com resultados econômicos decrescentes, de forma a privilegiar as primeiras em detrimento das segundas nas soluções.
- 2) O modelo de otimização dos desvios interanuais (ODI) apresentou uma boa capacidade de discriminar tendências nas séries históricas, privilegiando na solução as atividades com tendências positivas e evitando as atividades com tendências negativas.
- 3) Na ausência de séries de dados com tendências, o modelo ODI apresentou uma boa capacidade de minimizar a dispersão.

Assim, embora os resultados deste trabalho devam ser considerados como preliminares, eles indicam que a utilização do modelo de otimização das diferenças interanuais em estudos de sistemas de produção pode apresentar vantagens, principalmente quando forem detectadas tendências nos resultados econômicos das atividades.

Entretanto, os resultados obtidos neste trabalho não invalidam a aplicação da regressão linear aos dados a serem utilizados nos modelos de minimização da variância e de minimização dos desvios absolutos. Ao contrário, entendemos que a aplicação de regressões pode melhorar substancialmente a precisão dos resultados obtidos com estes modelos. Porém, cabe ressaltar, que a utilização dos modelos de minimização da dispersão dos resultados econômicos (variância ou desvio absoluto) em relação à média implica assumir o pressuposto de neutralidade dos agricultores em relação a tendências nos resultados econômicos.

Enfim, deve-se salientar que, para a aplicação do modelo de otimização das diferenças interanuais, a mera constatação estatística de tendências dos resultados das atividades deve ser complementada com informações sobre as causas reais dessas tendências de forma que as extrapolações do seu comportamento passado para o seu possível comportamento no futuro possam ser feitas com bases mais seguras.

6. Bibliografia

- HAZELL, P. B. R. A Linear Alternative to Quadratic and Semivariance Programming for Farm Planning Under Uncertainty. *American Journal of Agricultural Economics*, 53 (1):53-62, 1971.
- KENNEDY, J. S. & FRANCISCO, E. M. On the Formulation of Risk Constraints for Linear Programming. *Journal of Agricultural Economics*, 25 (2):129-144, 1974.
- KROLL, Y., LEVY, H. & MARKOWITZ, H. R. Mean-Variance versus Direct Utility Maximization. *The Journal of Finance*, vol. XXXIX, No. 1, p. 47-61, março de 1984.
- KAYLEN, M. S., PRECKEL, P. V. & LOEHMAN, E. T. Risk Modeling via Direct Utility Maximization Using Numerical Quadrature.

American Journal of Agricultural Economics. 69 (3): 701-706, 1987.

LAMBERT, D. K. & McCARL, B. A. Risk Modeling Using Direct Solution of Nonlinear Aproximations of the Utility Function. *American Journal of Agricultural Economics*. vol. 67 p. 846-852, 1985.

MARKOWITZ, H. M. Portfolio Selection, *Journal of Finance* vol. 7, p. 77-91, 1952.

PULLEY, L. B., , Mean-Variance versus Direct Utility Maximization: a Comment. *The Journal of Finance*, vol. XL, nº. 2, p. 601-602, junho de 1985.

REID, D. W. & TEW, B. V. , Mean-Variance versus Direct Utility Maximization: a Comment. *The Journal of Finance*, vol. XLI, nº 5, p.1177-1179, dezembro de 1986.

ROBINSON, L. & BRAKE, J. Application of Portfolio Theory to Farmer and Lender Behavior. *American Journal of Agricultural Economics*. 61 (1): 158-164, fevereiro 1979.

STULP, V. J. *Effects of Fertilizer Prices under Risk on the Production of Wheat and Soybeans in Brazil*. (Tese de Doutorado) Universidade de Kentucky. Lexington. Kentucky. Estados Unidos. 1977.