

MARIA CRISTINA FELTRIN SCHER

**OTIMIZAÇÃO SOB INCERTEZA DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO
AGROECOLÓGICOS DA REGIÃO DE IPÊ (RS)**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**IJUÍ, RS, BRASIL
2004**

MARIA CRISTINA FELTRIN SCHER

**OTIMIZAÇÃO SOB INCERTEZA DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO
AGROECOLÓGICOS DA REGIÃO DE IPÊ (RS)**

Dissertação apresentada ao Departamento de Física, Estatística e Matemática da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (RS), como requisito parcial para obtenção do grau de MESTRE EM MATEMÁTICA.

IJUÍ, MARÇO DE 2004.

UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL
DeFEM – DEPARTAMENTO DE FÍSICA, ESTATÍSTICA E MATEMÁTICA
DeTEC – DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MATEMÁTICA

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação

**“OTIMIZAÇÃO SOB INCERTEZA DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO
AGROECOLÓGICOS DA REGIÃO DE IPÊ (RS)”**

Elaborada por

MARIA CRISTINA FELTRIN SCHER

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Matemática

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Benedito Silva Neto (Orientador)

Prof. Dr.

Prof. Dr.

Ijuí, (RS), xx de março de 2004.

SUMÁRIO

RESUMO	06
ABSTRACT	xx
LISTA DE SÍMBOLOS	07
LISTA DE TABELAS	18
LISTA DE QUADROS	19
LISTA DE FIGURAS	20
LISTA DE ANEXOS	21
INTRODUÇÃO	23
1. A AGRICULTURA ECOLÓGICA	25
1.1. A Agricultura Moderna ou Convencional	27
1.2. A Agricultura de Base Ecológica	28
1.2.1. Sistemas de Produção Agroecológicos e a Sustentabilidade da Agricultura	29
1.2.2. A Agricultura Ecológica na Região da Serra	32
2. A OTIMIZAÇÃO SOB INCERTEZA	34
2.1. Tomada de Decisão em Ambientes de Certeza, Risco e Incerteza	34
2.1.1. A Decisão sob Incerteza	36
2.1.2. Tipos de Incerteza	38
2.1.2.1. Incerteza Externa X Interna	39
2.1.2.1.1. Incerteza Externa: Distributiva X Singular	39
2.1.2.1.2. Incerteza Interna	40
2.1.2.2. Incerteza Substantiva X Processual	40
2.1.3. Regras de Decisão sob Condições de Incerteza	41
2.1.3.1. Critério de Wald	42
2.1.3.2. Critério Maximax (ou Minimin)	43
2.1.3.3. Critério de Hurwicz	44
2.1.3.4. Critério de Savage	45

2.1.3.5. Critério de Laplace	45
2.2. Elaboração de Cenários	46
2.3. Otimização sob Incerteza	47
3. METODOLOGIA	50
3. 1. Principais características das Unidades de Produção modeladas	51
3. 2. Formulação e descrição do Modelo Matemático	51
3. 2.1. A Função Objetivo	54
3. 2.2. As Restrições	54
3.2.2.1. Cenários	54
3.2.2.2. Restrições de uso da terra	59
3.2.2.3. Restrições de mão-de-obra	60
3.2.2.4. Restrição de capital circulante	61
3.2.2.5. Restrições de rotação de culturas	61
3.2.2.6. Restrições de comercialização	62
3.2.2.7. Escolha entre sistemas de produção	63
3.2.2.8. Variáveis independentes	64
3.2.2.9. Coeficientes	64
3.2.2.10. Funrural	67
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
4.1. Análise da solução dos modelos básico e determinista de concorrência	68
4.2. Análise da solução da otimização do sistema agroecológico	73
4.3. Análise da solução dos modelos básico e determinista	77
4.4. Análise das principais limitações para o aumento do resultado econômico do sistema agroecológico	77
4.4.1. Análise das principais limitações do sistema de produção agroecológico em relação ao convencional	82
CONCLUSÃO	83
REFERÊNCIAS	86
OBRAS CONSULTADAS	89
ANEXOS	xx

RESUMO

Formas alternativas de agricultura estão se expandindo rapidamente devido a crescente demanda de alimentos mais saudáveis e a busca de uma agricultura que leve em consideração o meio ambiente e a sua sustentabilidade. A atividade agrícola, por ser uma atividade arriscada, gera incerteza ao sistema de produção, tornando necessária a determinação dos fatores que a provocam buscando formas de minimizá-la.

O objetivo deste trabalho é desenvolver um modelo de otimização sob incerteza de sistemas de produção agroecológicos e convencionais da região de Ipê (RS/Brasil) e analisar a influência das condições específicas necessárias para o funcionamento dos sistemas de produção agroecológicos sobre o seu desempenho econômico.

O trabalho foi desenvolvido a partir de dados obtidos através de entrevistas e conversas com agricultores e técnicos da região. A partir desses dados buscou-se construir e analisar um modelo de Programação Matemática de concorrência entre os dois tipos de sistemas de produção, convencional e agroecológico, utilizando o software LINGO e variáveis binárias para a escolha do sistema.

A aplicação de métodos estatísticos não é indicada neste tipo de problema, devido à dificuldade de se atribuir distribuições de probabilidade aos resultados. Sendo assim, a elaboração de cenários e a utilização do critério de Wald (Maximin) mostram-se ser instrumentos muito úteis para a avaliação da incerteza.

Diante das restrições dos modelos, o sistema de produção escolhido foi o convencional, o qual apresentou um melhor desempenho econômico. Se o sistema de produção escolhido fosse o agroecológico, o agricultor obteria um resultado econômico muito menor, devido em parte às restrições de rotação de culturas e de comercialização, as quais limitam a produção de determinadas culturas. A consideração da incerteza foi significativa em relação aos resultados econômicos obtidos. Sendo assim, os modelos de otimização sob incerteza e o critério de Wald mostraram ser ferramentas de apoio na análise de sistemas de produção, gerando resultados mais seguros e satisfatórios ao agricultor.

Palavras-chave:

sistemas de produção - modelo de otimização - incerteza - cenários

LISTA DE SÍMBOLOS

agro	Variável binária relacionada ao conjunto das culturas agroecológicas.
alha	Alho produzido no sistema agroecológico.
alhad	Cálculo da margem bruta do alho agroecológico.
alhc	Alho produzido no sistema convencional.
alhev	Cálculo da margem bruta do alho convencional.
avcob	Aveia de cobertura.
cagro	Conjunto das culturas agroecológicas.
capcir	Restrição de variável independente (capital circulante).
capcirc	Restrição de capital circulante.
cconv	Conjunto das culturas convencionais.
ceba	Cebola produzida no sistema agroecológico.
cebag	Cálculo da margem bruta da cebola agroecológica.
cebc	Cebola produzido no sistema convencional.
cebcv	Cálculo da margem bruta da cebola convencional.
CENA1	Cenário agroecológico de queda de preço do tomate e do alho simultaneamente.
CENA2	Cenário agroecológico de queda de preço do tomate e da cebola simultaneamente.
CENA3	Cenário agroecológico de queda de preço do tomate e da uva simultaneamente.

CENA4	Cenário agroecológico de queda de preço da cebola e do alho simultaneamente.
CENA5	Cenário agroecológico de queda de preço do alho e da uva simultaneamente.
CENA6	Cenário agroecológico de queda de preço da cebola e da uva simultaneamente.
cenc	Cenoura produzido no sistema convencional.
CENC1	Cenário convencional de queda de preço do tomate e do pimentão simultaneamente.
CENC10	Cenário convencional de queda de preço do alho e do pimentão simultaneamente.
CENC11	Cenário convencional de queda de preço da uva e do pimentão simultaneamente.
CENC12	Cenário convencional de queda de preço da cebola e da cenoura simultaneamente.
CENC13	Cenário convencional de queda de preço da cebola e da moranga simultaneamente.
CENC14	Cenário convencional de queda de preço da cebola e do alho simultaneamente.
CENC15	Cenário convencional de queda de preço da cebola e da uva simultaneamente.
CENC16	Cenário convencional de queda de preço da cenoura e da moranga simultaneamente.
CENC17	Cenário convencional de queda de preço do alho e da cenoura simultaneamente.
CENC18	Cenário convencional de queda de preço da uva e da cenoura simultaneamente.
CENC19	Cenário convencional de queda de preço do alho e da moranga simultaneamente.
CENC2	Cenário convencional de queda de preço do tomate e da cebola simultaneamente.
CENC20	Cenário convencional de queda de preço da uva e da moranga simultaneamente.
CENC21	Cenário convencional de queda de preço do alho e da uva simultaneamente.
CENC3	Cenário convencional de queda de preço do tomate e da cenoura simultaneamente.
CENC4	Cenário convencional de queda de preço do tomate e da moranga

	simultaneamente.
CENC5	Cenário convencional de queda de preço do tomate e do alho simultaneamente.
CENC6	Cenário convencional de queda de preço do tomate e da uva simultaneamente.
CENC7	Cenário convencional de queda de preço da cebola e do pimentão simultaneamente.
CENC8	Cenário convencional de queda de preço da cenoura e do pimentão simultaneamente.
CENC9	Cenário convencional de queda de preço do pimentão e da moranga simultaneamente.
cencv	Cálculo da margem bruta da cenoura convencional.
CENPP1	Cenário de perda de produção do tomate convencional.
CENPP2	Cenário de perda de produção do tomate agroecológico.
CENPP3	Cenário de perda de produção do alho convencional.
CENPP4	Cenário de perda de produção do alho agroecológico.
CENPP5	Cenário de perda de produção da cebola convencional.
CENPP6	Cenário de perda de produção da cebola agroecológica.
CENPP7	Cenário de perda de produção da uva agroecológica.
CENPP8	Cenário de perda de produção do pimentão convencional.
ciaa	Consumo intermediário do alho agroecológico.
ciaa1	Restrição de capital circulante necessário para o alho agroecológico.
ciac	Consumo intermediário do alho convencional.
ciac2	Restrição de capital circulante necessário para o alho convencional.
cibc	Consumo intermediário da cebola convencional.
cibc2	Restrição de capital circulante necessário para a cebola convencional.
cica	Consumo intermediário da cebola agroecológica.
cica1	Restrição de capital circulante necessário para a cebola agroecológica.
cimc	Consumo intermediário da moranga convencional.

cimc2	Restrição de capital circulante necessário para a moranga convencional.
cinc	Consumo intermediário da cenoura convencional.
cinc2	Restrição de capital circulante necessário para a cenoura convencional.
cipc	Consumo intermediário do pimentão convencional.
cipc2	Restrição de capital circulante necessário para o pimentão convencional.
cita	Consumo intermediário do tomate agroecológico.
cita1	Restrição de capital circulante necessário para o tomate agroecológico.
cite	Consumo intermediário do tomate convencional.
citc2	Restrição de capital circulante necessário para o tomate convencional.
ciua	Consumo intermediário da uva agroecológica.
ciua1	Restrição de capital circulante necessário para a uva agroecológica.
ciuc	Consumo intermediário da uva convencional.
ciuc2	Restrição de capital circulante necessário para a uva convencional.
comtom	Restrição do coeficiente de comercialização do tomate.
conv	Variável binária relacionada ao conjunto das culturas convencionais.
cultip	Restrição de uso da terra correspondente às culturas de inverno e primavera.
cultpv	Restrição de uso da terra correspondente às culturas de primavera e verão.
cultv	Restrição de uso da terra correspondente às culturas de verão.
exclu	Restrição de escolha entre sistema de produção convencional e sistema de produção agroecológico.
feir (1, ...5)	Restrições de comercialização.
frural	Funrural.
funrur	Restrição da variável fixa "frural".
horta	Horta agroecológica.
kcirc	Capital circulante disponível na propriedade.
mbalha	Margem bruta do alho agroecológico.

mbalhc	Margem bruta do alho convencional.
mbceba	Margem bruta da cebola agroecológica.
mbcebc	Margem bruta da cebola convencional.
mbcenc	Margem bruta da cenoura convencional.
mbmorc	Margem bruta da moranga convencional.
mbpimc	Margem bruta do pimentão convencional.
mbt	Margem bruta total.
mbtoma	Margem bruta do tomate agroecológico.
mbtomc	Margem bruta do tomate convencional.
mbuava	Margem bruta da uva agroecológica.
mbuvac	Margem bruta da uva convencional.
mdo	Restrição de variável independente (mão-de-obra).
mdo1	Restrição de mão-de-obra referente ao mês de janeiro.
mdo10	Restrição de mão-de-obra referente ao mês de outubro.
mdo11	Restrição de mão-de-obra referente ao mês de novembro.
mdo12	Restrição de mão-de-obra referente ao mês de dezembro.
mdo2	Restrição de mão-de-obra referente ao mês de fevereiro.
mdo3	Restrição de mão-de-obra referente ao mês de março.
mdo4	Restrição de mão-de-obra referente ao mês de abril.
mdo5	Restrição de mão-de-obra referente ao mês de maio.
mdo6	Restrição de mão-de-obra referente ao mês de junho.
mdo7	Restrição de mão-de-obra referente ao mês de julho.
mdo8	Restrição de mão-de-obra referente ao mês de agosto.
mdo9	Restrição de mão-de-obra referente ao mês de setembro.
morc	Moranga produzido no sistema convencional.

morecv	Cálculo da margem bruta da moranga convencional.
Normal	Cenário em condições normais de produção.
org1	Restrição para organização das culturas na solução do modelo.
org2	Restrição para a organização das margens brutas na solução do modelo.
paa1	Restrição de preço do alho agroecológico.
paa11	Restrição de preço em queda do alho agroecológico.
pac2	Restrição de preço do alho convencional.
pac22	Restrição de preço em queda do alho convencional.
pbc2	Restrição de preço da cebola convencional.
pbc22	Restrição de preço em queda da cebola convencional.
pca1	Restrição de preço da cebola agroecológica.
pca11	Restrição de preço em queda da cebola agroecológica.
perda	Diferença entre o resultado econômico sem perda e o resultado econômico mínimo.
pimc	Pimentão produzido no sistema convencional.
pimcv	Cálculo da margem bruta do pimentão convencional.
pmc2	Restrição de preço da moranga convencional.
pmc22	Restrição de preço em queda da moranga convencional.
pnaa	Preço em condições normais do alho agroecológico.
pnac	Preço em condições normais do alho convencional.
pnbc	Preço em condições normais da cebola convencional.
pnc2	Restrição de preço da cenoura convencional.
pnc22	Restrição de preço em queda da cenoura convencional.
pnca	Preço em condições normais da cebola agroecológica.
pnmc	Preço em condições normais da moranga convencional.
pnnc	Preço em condições normais da cenoura convencional.

pnpc	Preço em condições normais do pimentão convencional.
pnta	Preço em condições normais do tomate agroecológico.
pntc	Preço em condições normais do tomate convencional.
pnua	Preço em condições normais da uva agroecológica.
pnuc	Preço em condições normais da uva convencional.
ppaa	Preço em queda do alho agroecológico.
ppac	Preço em queda do alho convencional.
ppbc	Preço em queda da cebola convencional.
ppc2	Restrição de preço do pimentão convencional.
ppc22	Restrição de preço em queda do pimentão convencional.
ppca	Preço em queda da cebola agroecológica.
ppmc	Preço em queda da moranga convencional.
ppnc	Preço em queda da cenoura convencional.
pppc	Preço em queda do pimentão convencional.
ppta	Preço em queda do tomate agroecológico.
pptc	Preço em queda do tomate convencional.
ppua	Preço em queda da uva agroecológica.
ppuc	Preço em queda da uva convencional.
pta1	Restrição de preço do tomate agroecológico.
pta11	Restrição de preço em queda do tomate agroecológico.
ptc2	Restrição de preço do tomate convencional.
ptc22	Restrição de preço em queda do tomate convencional.
pua1	Restrição de preço da uva agroecológica.
pua11	Restrição de preço em queda da uva agroecológica.
puc2	Restrição de preço da uva convencional.

puc22	Restrição de preço em queda da uva convencional.
R	Resultado econômico mínimo.
RA1	Resultado econômico mínimo do cenário agroecológico de variação de preço do tomate e do alho simultaneamente.
RA2	Resultado econômico mínimo do cenário agroecológico de variação de preço do tomate e da cebola simultaneamente.
RA3	Resultado econômico mínimo do cenário agroecológico de variação de preço do tomate e da uva simultaneamente.
RA4	Resultado econômico mínimo do cenário agroecológico de variação de preço da cebola e do alho simultaneamente.
RA5	Resultado econômico mínimo do cenário agroecológico de variação de preço do alho e da uva simultaneamente.
RA6	Resultado econômico mínimo do cenário agroecológico de variação de preço da cebola e da uva simultaneamente.
raa1	Restrição de rendimento físico do alho agroecológico.
rac2	Restrição de rendimento físico do alho convencional.
rbc2	Restrição de rendimento físico da cebola convencional.
RC1	Resultado econômico mínimo do cenário convencional de variação de preço do tomate e do pimentão simultaneamente.
RC10	Resultado econômico mínimo do cenário convencional de variação de preço do alho e do pimentão simultaneamente.
RC11	Resultado econômico mínimo do cenário convencional de variação de preço da uva e do pimentão simultaneamente.
RC12	Resultado econômico mínimo do cenário convencional de variação de preço da cebola e da cenoura simultaneamente.
RC13	Resultado econômico mínimo do cenário convencional de variação de preço da cebola e da moranga simultaneamente.
RC14	Resultado econômico mínimo do cenário convencional de variação de preço da cebola e do alho simultaneamente.
RC15	Resultado econômico mínimo do cenário convencional de variação de preço da cebola e da uva simultaneamente.

RC16	Resultado econômico mínimo do cenário convencional de variação de preço da cenoura e da moranga simultaneamente.
RC17	Resultado econômico mínimo do cenário convencional de variação de preço do alho e da cenoura simultaneamente.
RC18	Resultado econômico mínimo do cenário convencional de variação de preço da uva e da cenoura simultaneamente.
RC19	Resultado econômico mínimo do cenário convencional de variação de preço do alho e da moranga simultaneamente.
RC2	Resultado econômico mínimo do cenário convencional de variação de preço do tomate e da cebola simultaneamente.
RC20	Resultado econômico mínimo do cenário convencional de variação de preço da uva e da moranga simultaneamente.
RC21	Resultado econômico mínimo do cenário convencional de variação de preço do alho e da uva simultaneamente.
RC3	Resultado econômico mínimo do cenário convencional de variação de preço do tomate e da cenoura simultaneamente.
RC4	Resultado econômico mínimo do cenário convencional de variação de preço do tomate e da moranga simultaneamente.
RC5	Resultado econômico mínimo do cenário convencional de variação de preço do tomate e do alho simultaneamente.
RC6	Resultado econômico mínimo do cenário convencional de variação de preço do tomate e da uva simultaneamente.
RC7	Resultado econômico mínimo do cenário convencional de variação de preço da cebola e do pimentão simultaneamente.
RC8	Resultado econômico mínimo do cenário convencional de variação de preço da cenoura e do pimentão simultaneamente.
RC9	Resultado econômico mínimo do cenário convencional de variação de preço do pimentão e da moranga simultaneamente.
rca1	Restrição de rendimento físico da cebola agroecológica.
resp	Resultado econômico em condições normais (sem perdas).
respp	Restrição do resultado econômico em condições normais (sem perdas).
rmc2	Restrição de rendimento físico da moranga convencional.

rnaa	Rendimento físico em condições normais do alho agroecológico.
rnac	Rendimento físico em condições normais do alho convencional.
rnbc	Rendimento físico em condições normais da cebola convencional.
rnc2	Restrição de rendimento físico da cenoura convencional.
rnca	Rendimento físico em condições normais da cebola agroecológica.
rnmc	Rendimento físico em condições normais da moranga convencional.
rnnc	Rendimento físico em condições normais da cenoura convencional.
rnpc	Rendimento físico em condições normais do pimentão convencional.
rnta	Rendimento físico em condições normais do tomate agroecológico.
rntc	Rendimento físico em condições normais do tomate convencional.
rnua	Rendimento físico em condições normais da uva agroecológica.
rnuc	Rendimento físico em condições normais da uva convencional.
rot (1, 2, 3)	Restrições de rotação de culturas.
rotc	Restrição de limitação do plantio de moranga.
RP1	Resultado econômico mínimo do cenário de perda de produção do tomate convencional.
RP2	Resultado econômico mínimo do cenário de perda de produção do tomate agroecológico.
RP3	Resultado econômico mínimo do cenário de perda de produção do alho convencional.
RP4	Resultado econômico mínimo do cenário de perda de produção do alho agroecológico.
RP5	Resultado econômico mínimo do cenário de perda de produção da cebola convencional.
RP6	Resultado econômico mínimo do cenário de perda de produção da cebola agroecológica.
RP7	Resultado econômico mínimo do cenário de perda de produção da uva agroecológica.

RP8	Resultado econômico mínimo do cenário de perda de produção do pimentão convencional.
rpc2	Restrição de rendimento físico do pimentão convencional.
rperda	Restrição de cálculo da perda.
rta1	Restrição de rendimento físico do tomate agroecológico.
rtc2	Restrição de rendimento físico do tomate convencional.
rua1	Restrição de rendimento físico da uva agroecológica.
ruc2	Restrição de rendimento físico da uva convencional.
sau	Superfície agrícola útil.
sauagro	Superfície agrícola útil agroecológica.
sauca	Restrição que assegura que a área de plantio das culturas agroecológicas seja menor ou igual à superfície agrícola total.
t	Coefficiente de comercialização do tomate.
terpv	Restrição relacionada aos ciclos de plantio das culturas agroecológicas.
terra	Restrição de variável independente (superfície agrícola útil).
toma	Tomate produzido no sistema agroecológico.
tomag	Cálculo da margem bruta do tomate agroecológico.
tomc	Tomate produzido no sistema convencional.
tomcv	Cálculo da margem bruta do tomate convencional.
uuaa	Uva produzida no sistema agroecológico.
uuaag	Cálculo da margem bruta da uva agroecológica.
uuaac	Uva produzido no sistema convencional.
uuaacv	Cálculo da margem bruta da uva convencional.
w	Mão-de-obra disponível na propriedade.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Solução dos modelos básico e determinista de concorrência	69
Tabela 2 - Atividades otimizadas dos modelos básico e determinista de concorrência	72
Tabela 3 - Solução da otimização do sistema agroecológico	73
Tabela 4 - Atividades otimizadas dos modelos sob incerteza e determinista agroecológicos	76

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resultados econômicos do sistema agroecológico segundo o modelo básico e de modelos sem algumas das restrições limitantes	78
Quadro 2 - Áreas otimizadas das atividades agroecológicas dos modelos sem algumas das restrições limitantes (hectares)	81

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Solução dos modelos básico e determinista de concorrência	71
Figura 2 – Solução da otimização do modelo agroecológico	75

LISTA DOS ANEXOS

ANEXO 1 - Dados econômicos dos sistemas de produção modelados	
ANEXO 2 - Parametrização da mão-de-obra	
ANEXO 3 - Parametrização do capital circulante	
ANEXO 4 - Modelos	
ANEXO A - Modelo Básico	
ANEXO B - Modelo Determinista	
ANEXO C - Modelo de otimização do sistema agroecológico	
ANEXO D - Modelo determinista de otimização do sistema agroecológico	
ANEXO E - Modelo agroecológico sem restrições de rotação de culturas	
ANEXO F - Modelo determinista agroecológico sem restrições de rotação de culturas	
ANEXO G - Modelo agroecológico sem restrições de comercialização	
ANEXO H - Modelo determinista agroecológico sem restrições de comercialização	
ANEXO I - Modelo agroecológico sem restrições de rotação de culturas e comercialização simultaneamente	
ANEXO J - Modelo determinista agroecológico sem restrições de rotação de culturas e comercialização simultaneamente	
ANEXO K - Modelo básico de concorrência com relaxamento das restrições de rotação de culturas e comercialização considerando acréscimo na mão-de-obra	
ANEXO L - Modelo básico de concorrência com relaxamento das restrições de rotação	

de culturas e comercialização considerando aumento do preço

INTRODUÇÃO

A crescente demanda de alimentos devido ao crescimento populacional faz com que o agricultor esteja sempre à procura de maneiras de maximizar sua produção, conservando sua qualidade. Frente a isso, vê-se a necessidade de estudar sistemas de produção que atendam a estas demandas levando em consideração diversos fatores, dentre eles a preocupação com a preservação da produtividade do solo, a sustentabilidade da agricultura, a qualidade dos produtos e a saúde do produtor e do consumidor.

Além disso, deve-se considerar que o agricultor busca otimizar o desempenho do sistema de produção de maneira a maximizar seu resultado econômico, respeitando um conjunto de restrições. No entanto, a agricultura é uma atividade muito arriscada, gerando incerteza ao sistema de produção. Os fenômenos climáticos, o ataque de pragas, o aparecimento de doenças e a variação de preços são alguns dos fatores que geram incerteza no sistema de produção, ocasionando perdas consideráveis no resultado econômico. Sendo assim, a maximização do resultado econômico deve ser considerada em um ambiente de incerteza.

A inexistência de dados ou a falta de conhecimento acerca de algumas situações não permitem o estabelecimento de distribuições de probabilidade, o que leva à abordagem da incerteza através de critérios não probabilistas, como o Critério de Wald, o qual caracteriza-se por representar uma interpretação pessimista do comportamento dos agentes econômicos

diante da incerteza, os quais retêm como solução ao problema o melhor resultado obtido nas piores condições possíveis. Tais condições podem ser representadas através da elaboração de cenários, construídos a partir de uma estimativa das perdas possíveis relacionadas às principais variáveis aleatórias do modelo e das possíveis relações entre essas perdas.

Portanto, tem-se por objetivo principal neste trabalho, através da programação matemática e da utilização do software LINGO, desenvolver um modelo de otimização sob incerteza de sistemas de produção agroecológicos e convencionais considerando a realidade da região de Ipê (RS/ Brasil) e as características de cada sistema e também analisar a influência das condições específicas necessárias para o funcionamento dos sistemas de produção agroecológicos sobre o seu desempenho econômico.

1. A AGRICULTURA ECOLÓGICA

A agricultura é a atividade econômica mais antiga, surgida há milhares de anos desde o abandono da vida nômade, na qual o homem alimentava-se praticamente da caça e frutos. A partir disso, o homem se fixou em territórios, derrubando e queimando árvores para dedicar-se à agricultura. De acordo com a queda da capacidade produtiva do solo, o homem ia a busca de outras áreas, dando origem ao Sistema de Agricultura Migratória (CARUSO, 1997).

Durante muito tempo o homem fez uso da terra sem preocupar-se com a conservação e a regeneração da mesma, pensando que os recursos disponíveis na natureza eram inesgotáveis.

Mas a partir dos séculos XVIII e XIX, uma nova consciência começa a se formar devido à queda da produtividade do solo e da escassez de alimentos, dando início a práticas de rotação de culturas e a integração de atividades agrícola e pecuária, caracterizando-se este período como a Primeira Revolução Agrícola (CARUSO, 1997).

Em meados do século XIX há o surgimento e divulgação de novos conceitos sobre fertilização, criados pelo químico alemão Liebig, em que era proposta a substituição orgânica por substâncias químicas (CARUSO, 1997).

Após a Segunda Guerra Mundial, os produtos químicos começaram a ser usados na

agricultura, apresentando um desempenho favorável quanto à produtividade das culturas e um retorno econômico maior ao que se tinha anteriormente.

De acordo com Gliessman (2000), durante a última metade do século XX a agricultura, em escala global, tem apresentado um bom desempenho atendendo uma crescente demanda de alimentos, havendo uma queda nos preços dos alimentos. Com a taxa de produção de alimentos excedida em relação à taxa de crescimentos populacional, o problema da fome crônica passou a diminuir. Esse aumento de produção deveu-se, principalmente, a avanços científicos e inovações tecnológicas.

A partir da Segunda Revolução Agrícola, onde começa haver a substituição dos sistemas tradicionais de rotações de culturas integrados à produção animal por sistemas industriais e monoculturais, baseados no uso intenso de insumos provenientes da indústria, equipamentos motorizados e variedades vegetais com uma produtividade mais alta, a agricultura apresentou um ganho em rendimento e produtividade (CARUSO, 1997).

Mas apesar do sistema de produção global ter obtido êxito, este sistema, com seus avanços tecnológicos produziram diversos impactos. Conforme Gliessman (2000), as técnicas e práticas desenvolvidas, assim como as políticas que foram responsáveis pelos aumentos na produtividade das culturas também acabaram por minar a sua base, pois extraíram em excesso e degradaram os recursos naturais que a agricultura necessita. Além disso, a agricultura aumentou a sua dependência de combustíveis fósseis e não renováveis, causando impactos irreparáveis.

Ehlers (1999) aponta na seguinte citação os principais fatores que podem levar os sistemas de produção agrícolas existentes atualmente a se tornar insustentáveis.

A ineficiência energética e os impactos ambientais, como a erosão e a salinização dos solos, a poluição das águas e dos solos por nitratos (provenientes dos

fertilizantes nitrogenados) e por agrotóxicos, a contaminação do homem do campo e dos alimentos, o desflorestamento, a diminuição da biodiversidade e dos recursos genéticos e a dilapidação dos recursos não renováveis (EHLERS, 1999).

Frente aos diversos problemas apresentados com o uso abusivo da agricultura convencional, foram surgindo formas alternativas de agricultura, dentre elas a agricultura agroecológica, a qual começou a ganhar destaque na década de 80 e teve rápida expansão na década de 90.

1.1. A agricultura moderna ou convencional

Segundo Bonilla (1992), a agricultura moderna, também conhecida por agricultura convencional caracteriza-se pelo seu modelo de maximização produtiva ou modelo tecnológico, tendo como objetivo fundamental a obtenção de rendimentos máximos das culturas, visando uma disponibilidade maior de alimentos, fibras e outros produtos e objetivando implicitamente a maximização dos lucros, aumentando a renda o mais rápido possível, sem considerar os efeitos da tecnologia empregada sobre o meio ambiente.

O sistema convencional de produção, conforme Bonilla (1992), está baseado em técnicas como a mecanização intensa com a minimização da mão-de-obra; uso maciço de produtos químicos para repor os nutrientes absorvidos pelas plantas assim como para combater as pragas e doenças que atacam as mesmas; adoção da monocultura, com concentração de capital e recursos físicos.

De acordo com Bonilla (1992), paralelamente aos altos rendimentos físicos e econômicos obtidos pela agricultura convencional têm sido apresentados efeitos altamente negativos, como a compactação do solo; absorção desequilibrada de nutrientes, o que favorece a produção de alimentos desnaturados; perda ou diminuição do potencial produtivo do solo; poluição alimentar e das águas ocasionado pelos restos de defensivos agrícolas;

aumento do custo de produção devido ao alto preço dos insumos tais como os fertilizantes, defensivos e a maquinaria dentre outros efeitos.

Este tipo de agricultura usa muita energia para produzir todos os bens e serviços, portanto, necessita de mais recursos para conseguir maior rendimento.

1.2. A agricultura de base ecológica

A agricultura de base ecológica, ou agroecológica é um sistema de produção que trabalha em equilíbrio com o meio ambiente, que exclui o uso de agrotóxicos, fertilizantes e qualquer outro tipo de produto não natural. Ao mesmo tempo baseia-se em práticas de rotação de culturas, adubação verde, controle biológico de pragas e ervas daninhas entre outros, buscando produzir alimentos saudáveis, manter a produtividade do solo, sem agredir o meio ambiente.

Primavesi (1997), ao definir a agricultura ecológica diz que Ecológico deriva da palavra grega “*oikos*” tendo o significado de lugar. Assim, a agricultura ecológica é uma atividade que trabalha em estreita interligação, em sintonia, com os sistemas naturais existentes num lugar.

Segundo o primeiro documento surgido entre 20 e 24 de abril de 1981, durante o Primeiro Encontro Brasileiro de Agricultura Alternativa, em Curitiba, a agricultura ecológica é definida como um conjunto de técnicas capazes de

gerar alimentos de alta qualidade biológica, respeitando a Natureza, trabalhando com ela e não contra ela, por meio de um ciclo autárquico de produção, quer em nível de propriedade, quer de país, num balanço energético equilibrado; manter a fertilidade do solo com a generalização da policultura e da integração de lavoura e criação, realizando, assim, o controle da erosão e a preservação da água potável, com uso judicioso de fertilizantes e sem o emprego de agrotóxicos poluidores dos alimentos e do ambiente; criar soluções adequadas com vistas a atingir as causas e não os sintomas; colocar como objetivo social maior a valorização do homem e de seu trabalho (BONILLA, 1992).

Segundo Carmo & Magalhães (1999), de um modo geral, a produtividade dos sistemas agroecológicos é menor que nos sistemas convencionais, mas ao mesmo tempo os gastos desembolsados pelo agricultor também são menores devido ao uso de mão-de-obra familiar e de materiais produzidos dentro da propriedade. A autora ressalta que o papel da mão-de-obra familiar, mais do que contribuir para a diminuição do custo efetivo qualifica como principal objetivo da exploração a reprodução da unidade familiar, onde a acumulação de capital, muitas vezes, não está em primeiro plano. Também ressalta que o uso de insumos produzidos internamente na propriedade representam uma maior integração entre as atividades e, geralmente, servem para substituir o uso de nutrientes não-renováveis. Assim, o uso de mão-de-obra familiar e de insumos internos reduzem a necessidade de capital para a reprodução do processo produtivo além de diminuírem a dependência em relação aos meios de produção.

1.2.1. Sistemas de produção agroecológicos e a sustentabilidade da agricultura

Nos últimos anos, os avanços na agricultura têm sido voltados quase que principalmente aos altos rendimentos e ao lucro, resultando em bons retornos econômicos, mas também em impactos ao meio ambiente e perdas difíceis de serem quantificadas.

Segundo Altieri (2000), a maior parte das definições de agricultura sustentável está baseada na conservação da produtividade e do lucro das unidades de produção e, ao mesmo tempo, reduzindo os impactos ambientais. No entanto, segundo o autor, tais definições não contabilizam a produtividade da base de recursos naturais. Sendo assim, de acordo com o autor, a sustentabilidade definida de forma ampla “significa que a atividade econômica deve suprir as necessidades presentes, sem restringir as opções futuras”.

A produção mundial de alimentos futura, conforme Vogtmann & Wagner (1987), dificilmente poderá ser assegurada adotando medidas químico-técnicas, considerando que em

longo prazo as matérias-primas necessárias a essas medidas - tais como solo - não existirão mais em quantidades suficientes, e os desequilíbrios ecológicos ocasionados pela produção e emprego de insumos químico-sintéticos serão grandes demais.

A desconsideração dos cuidados com o meio ambiente e a preservação dos recursos por ela disponibilizados pode levar, em longo prazo, a uma queda de produção, não assegurando sua sustentabilidade. Assim, se o modelo de maximização produtiva não levar em consideração a preservação e o melhoramento do meio ambiente, não poderá garantir a continuidade da produção limitando-a em um prazo de poucos anos (BONILLA, 1992).

As análises de desempenho econômico dos sistemas de produção agroecológicos nem sempre apresentam resultados econômicos que retratam a situação. De acordo com Gliessman (2000), as perdas ou ganhos relativos à forma de uso dos recursos naturais não são contabilizados e, no caso dos sistemas de produção agroecológicos, os benefícios que eles geram não são considerados. Outro aspecto problemático citado pelo autor está relacionado à consideração de 'externalidades' os efeitos negativos da atividade econômica sobre o meio ambiente e a saúde e vida das pessoas, onde estes custos são desconsiderados no cálculo econômico agrícola.

Para Altieri (2000), as práticas atuais de contabilidade não contemplam as perdas relativas aos impactos ambientais. Segundo o autor, apesar do solo sofrer erosão, os recursos hídricos serem degradados ou contaminados e os seres vivos serem envenenados, as perdas não apresentam nenhum impacto visível sobre o valor privado ou público da agricultura.

De acordo com Altieri (2000), "Nenhuma taxa de depreciação é aplicada sobre os atuais rendimentos função da degradação desses recursos, mesmo que as perdas ocorridas em sua produtividade ameacem receitas futuras".

No entanto, não se pode simplesmente abandonar as práticas convencionais de produção, já que a agricultura agroecológica não conseguiria suprir a necessidade de alimentos da população pela sua produção ainda em baixa escala. Segundo Gliessman (2000), o que se precisa é “uma nova abordagem da agricultura e do desenvolvimento agrícola, que construa sobre aspectos de conservação de recursos da agricultura tradicional local, enquanto, ao mesmo tempo, se exploram conhecimento e métodos ecológicos modernos”. Altieri (2002) também cita a importância da compreensão dos sistemas tradicionais de produção, os quais podem apontar sinais importantes para o desenvolvimento de sistemas alternativos de manejo e produção para os países industrializados, como também para os países em desenvolvimento.

Galvão (1982) apud Bonilla (1992) sugere que é preferível, sob o ponto de vista ecológico, uma produtividade que seja moderada, contínua e estável a uma produtividade inicial elevada, a qual mais tarde ocasionaria riscos ao equilíbrio ambiental.

Caruso (1997) em análises entre diversas definições e leis apresentadas sobre Agricultura Sustentável destaca como objetivo principal da Agricultura Sustentável “criar condições para que a capacidade produtiva dos campos se mantenha ao longo do tempo, levando em conta os componentes ambiental, econômico e social”.

Para que este objetivo seja alcançado, Caruso (1997) menciona que é preciso que seja tomada uma posição de equilíbrio, sem radicalismos, os quais nunca levarão a resultados que satisfaçam às expectativas da população. Para isso, o autor diz que é preciso que os partidários, tanto dos sistemas alternativos como do sistema convencional, percebam e entendam que a demanda de alimentos é crescente e que, por muito tempo o homem dependerá da produção em larga escala; no entanto, deve-se ter o cuidado necessário com o solo e os recursos disponíveis na natureza, sabendo que os problemas de erosão, contaminação das águas e perda da biodiversidade não podem ser ignorados.

Um padrão de sustentabilidade, pelo menos a curto e médio prazo, combinará práticas e princípios das correntes alternativas de agricultura com os da agricultura convencional. Conforme Ehlers (1995) apud Caruso (1997), um dos maiores desafios da história da humanidade e do século XXI, de acordo com a opinião de diversos autores e instituições, será o de “conciliar o atendimento da segurança alimentar de uma população mundial, que continuará a crescer rapidamente, com a necessidade de conservar os recursos naturais”. Com isso, provavelmente o novo padrão precisará combinar os princípios e as práticas das formas de agricultura alternativa e convencional, superando as divergências existentes entre as duas vertentes principais do pensamento agrônomo.

1.2.2. A agricultura ecológica na região da serra

As primeiras iniciativas no campo da agricultura ecológica no Rio Grande do Sul surgiram no início da década de 80, período o qual foi marcado pela mobilização da sociedade gaúcha em torno das questões ambientais.

Durante este período, foram criadas diversas organizações não-governamentais de assessoria técnica, que passariam a capacitar grupos de agricultores em associativismo, cooperativismo e agricultura ecológica e desenvolver atividades com a intenção de gerar e difundir as “tecnologias alternativas”, na busca de alternativas ao modelo tecnológico internacionalizado pela Revolução Verde nos anos 60 e 70.

Em meados dos anos 80, surge o Centro Ecológico na Região da Serra, o qual teve origem no Projeto Vacaria, a partir da iniciativa de um grupo de técnicos vinculados ao movimento ecológico gaúcho. Em 1990, começam a aparecer as primeiras associações de agricultores ecologistas (AAEs), dentre elas a AECIA, que foi a primeira associação de agricultores ecologistas formada na região.

Ipê e Antônio Prado tornaram-se, assim, os pólos irradiadores do trabalho tanto da ONG como das AAEs, atualmente estendendo seu trabalho a um conjunto mais amplo de municípios na região.

O processamento e a comercialização dos produtos produzidos por agricultores agroecológicos familiares começa a se desenvolver no final de 1989, quando começa a ser estruturada a primeira Feira Ecológica, em Porto Alegre, através de uma parceria entre o Centro Ecológico, a Cooperativa Coolméia, agricultores ecologistas de diversas regiões do Estado e o apoio do poder público municipal.

O trabalho do Centro Ecológico visa, fundamentalmente, promover a reflexão acerca dos princípios agroecológicos e a prática de uma agricultura que siga estes princípios. O trabalho também consiste na prestação de assessoria técnica, gerencial e organizacional em todas as fases da cadeia produtiva (produção, processamento e comercialização de produtos ecológicos).

2. A OTIMIZAÇÃO SOB INCERTEZA

Nesta parte do trabalho é realizada uma revisão da bibliografia sobre o processo de otimização em ambiente de incerteza. Primeiramente busca-se diferenciar os ambientes em que podem ser tomadas as decisões, detendo-se na tomada de decisão em ambiente de incerteza, especificando logo em seguida os diferentes tipos da mesma. Também são comentados alguns critérios que podem auxiliar no processo de tomada de decisão em tal ambiente e a técnica de elaboração de cenários, a qual tem se mostrado uma ferramenta muito interessante na modelagem sob incerteza.

2.1. Tomada de decisão em ambientes de certeza, risco e incerteza

As diversas situações do cotidiano que nos são apresentadas exigem escolhas, ou tomadas de decisão. Todos os seres vivos, desde os mais simples enfrentam problemas de decisão; no entanto, quanto maior a complexidade do ser vivo, maior é a complexidade de suas decisões (BRAVO, sem data).

Segundo Thompson Jr. (1995), só existe um problema decisório quando o tomador de decisão pode realizar uma escolha entre dois ou mais planos de ação alternativos. Assim, não pode haver um problema decisório quando o tomador de decisão vê-se diante de somente um plano de ação.

Para Andrade (2000), uma decisão resulta de um processo que começa a ser desenvolvido a partir do momento em que se detecta o problema, o que acontece geralmente através da percepção de sintomas.

Deste modo, o processo de decisão começa quando se percebe sintomas de que a situação não está tendo um andamento normal, partindo logo após para a fase de identificação do problema, fase em que se dá início ao processo decisório.

Segundo Thompson Jr. (1995), a informação, ou o conhecimento, de um tomador de decisão pode variar do conhecimento perfeito até a ignorância completa.

Assim, pode-se distinguir o ambiente de decisão em três partes:

- Ambiente de certeza: Caracteriza-se pelo conhecimento total acerca do problema decisório. O tomador de decisão conhece as alternativas existentes e os resultados de cada alternativa.
- Ambiente de risco: Cada decisão pode gerar uma série de resultados, aos quais se pode relacionar uma distribuição de probabilidade conhecida ou estimada (BRAVO, sem data). Thompson Jr. (1995) caracteriza o risco como “um estado de conhecimento onde o tomador de decisão está consciente dos planos de ação, mas não tem certeza dos seus possíveis resultados”, também distingue o risco em dois tipos: risco objetivo e risco subjetivo.
- Ambiente de incerteza: Cada decisão pode gerar uma série de resultados aos quais não se pode relacionar uma distribuição de probabilidade, por não haver dados suficientes ou pela inexistência de dados (BRAVO, sem data). Thompson Jr. (1995) refere-se à incerteza como “um estado de conhecimento onde o tomador de decisão não está consciente a respeito da totalidade dos planos de ação”, e o tomador de decisão também “não é capaz de formular (objetiva ou subjetivamente) probabilidades confiáveis sobre os resultados de cada plano de

ação”, por as informações serem incompletas demais para permitir a identificação de cada alternativa e a atribuição de estimativas confiáveis acerca dos resultados prováveis.

Para Knight (1972), pode-se distinguir a incerteza mensurável e a imensurável usando os termos “risco” e “incerteza”, respectivamente.

Knight (1972) também relaciona o termo ‘risco’ a uma incerteza que leve a um resultado desfavorável e o termo ‘incerteza’ a um resultado favorável, conforme a seguinte citação:

A palavra "risco" é comumente usada de maneira livre para referir-se a qualquer espécie de incerteza encarada do ponto de vista da contingência desfavorável, e o termo "incerteza" de modo semelhante com referência ao resultado favorável; falamos do ‘risco’ de uma perda, da ‘incerteza’ de um ganho (KNIGHT, 1972).

Conforme Knight (1972), a diferença entre risco e incerteza, é que na abordagem do risco a distribuição do resultado num grupo de casos é conhecida, enquanto no caso da incerteza isso não é possível, pois é impossível formar um grupo de casos, já que a situação que se enfrenta é singular.

2.1.1. A decisão sob incerteza

Nos problemas apresentados na vida real, o agricultor vê-se geralmente diante de problemas que exigem que as decisões sejam tomadas com base em informações imperfeitas e na experiência que adquiriu, o que caracteriza um ambiente de incerteza.

A atividade agrícola é uma atividade muito arriscada devido à complexidade dos fatores a ela associados, o que acaba gerando incerteza ao sistema de produção. Os fenômenos climáticos, o aparecimento de pragas e doenças e as condições de mercado são alguns dos fatores que trazem incerteza.

Andrade (2000) afirma que “A maior parte das decisões administrativas, sobretudo as mais importantes, é tomada com base em algum tipo de previsão, o que, por si só, já coloca o fator incerteza no processo de decisão”.

A insuficiência de informações, a falta de conhecimento acerca das alternativas para a solução do problema também é uma fonte geradora de incerteza. Andrade (2000) cita que mesmo que não sejam necessárias previsões na busca da solução de um problema, outro fator que pode criar dificuldades é a insuficiência de informações.

O melhor exemplo da incerteza, segundo Knight (1972), está relacionado ao “exercício de julgamento ou à formação de opiniões quanto à futura marcha de acontecimentos, opiniões essas (e não conhecimento científico) que realmente orientam a maior parte de nossa conduta”. Também coloca que “A essência da situação é a ação de acordo com a **opinião**, de maiores ou menores fundamentos e valor, nem ignorância total nem informação completa e perfeita, mas conhecimento parcial” [grifo do autor].

Portanto, além de fatores externos (clima, condições de mercado, etc.) como os anteriormente citados, também existe a incerteza relacionada à falta de acesso às informações de que necessita ou a inexistência das mesmas, o que leva os agricultores a tomarem suas decisões, na maioria das vezes, baseados em experiências pessoais e em previsões a ela associadas, ou seja, decisões baseadas em opiniões.

Para Knight (1972), vivemos em um mundo de modificações e de incertezas, onde conhecemos muito pouco sobre o futuro, enquanto que os problemas que são apresentados no cotidiano, provêm do fato de sabermos muito pouco.

Portanto, o conhecimento acerca dos fatos é determinante na tomada de decisões, o que a torna variável, pois depende do grau de conhecimento que o tomador de decisão tem sobre o

problema.

Nas situações em que são necessárias decisões, tenta-se reduzir ao máximo o grau de incerteza envolvido, tentando encontrar formas de adaptar, ou prever, aproximações mais perfeitas e coerentes com a realidade.

No entanto, diversas das decisões são tomadas com base em informações incompletas ou parciais. Para Andrade (2000), isso ocorre por vários motivos; em primeiro lugar pelo custo na obtenção da informação, onde a busca de mais informação pelo administrador requer o emprego de mais tempo e dinheiro na operação; e por outro lado, assim como a falta de informação gera um ambiente de incerteza no processo decisório, o excesso de informação também pode prejudicar, pois exigiria do tomador de decisão mais tempo e habilidades extras para análise.

A situação ideal para uma tomada de decisão seria se o tomador de decisão possuísse conhecimento total acerca das alternativas possíveis, assim como das possíveis conseqüências de cada alternativa, o que é praticamente impossível de ocorrer (ANDRADE, 2000).

O conhecimento completo acerca de um evento e as suas conseqüências é algo quase impossível de acontecer num cenário de incerteza e falta total de informação a respeito do problema não permitiria um processo decisório; assim, o ideal é que haja um conhecimento intermediário entre estes dois estados.

Portanto, torna-se importante o estudo da incerteza no processo de tomada de decisão em sistemas de produção agrícola para a obtenção de resultados favoráveis.

2.1.2. Tipos de incerteza

A seguir serão apresentados alguns tipos de incerteza: a incerteza externa e a incerteza

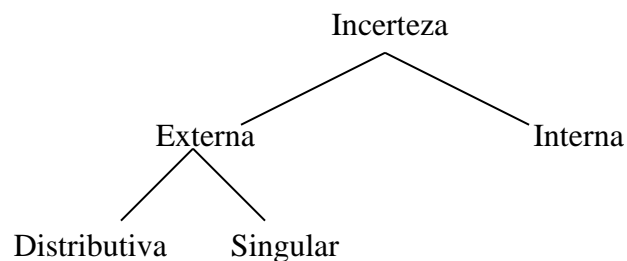
interna segundo Kahneman & Tversky (1982) e a incerteza substantiva e a processual.

2.1.2.1. Incerteza externa x interna

Diferentemente dos demais autores que fazem uma distinção entre risco e incerteza, Kahneman & Tversky (1982) tratam a incerteza de uma forma mais geral, englobando a noção de risco, o qual é considerado como incerteza distributiva.

Segundo Kahneman & Tversky (1982), as análises da incerteza na filosofia, estatística e teoria da decisão geralmente tratam todas as formas de incerteza em termos de uma dimensão única de probabilidade ou grau de confiança, embora haja muitas variantes de incerteza.

Para um melhor entendimento, vejamos o esquema apontado pelos autores de algumas variantes de incerteza:



Kahneman & Tversky (1982) afirmam que a incerteza pode ser atribuída ao mundo externo ou ao nosso estado de conhecimento, ou seja, faz-se a distinção entre incerteza externa e incerteza interna.

2.1.2.1.1. Incerteza externa: distributiva x singular

A incerteza externa está relacionada ao mundo externo. O tomador de decisão, frente às diversas alternativas de um problema decisório, tem dificuldades em atribuir uma distribuição de probabilidade, já que a incerteza está relacionada a fenômenos externos. Esta,

segundo Kahneman & Tversky (1982), pode ser avaliada de dois modos, podendo dividir-se em incerteza distributiva e incerteza singular.

(a) Incerteza externa distributiva

Para Kahneman & Tversky (1982), a incerteza distributiva refere-se a um modo de distribuição onde o problema decisório que está sendo considerado é visto como uma instância de uma classe de casos semelhantes para os quais são conhecidas ou podem ser calculadas as freqüências relativas de resultados.

(b) Incerteza externa singular

Conforme Kahneman & Tversky (1982), este tipo de incerteza refere-se a um modo singular no qual probabilidades são avaliadas à mão pelas propensões do caso particular.

A incerteza singular refere-se a um fenômeno que não se repete, por isso, o tomador de decisão sente dificuldades em realizar distribuições de probabilidade.

2.1.2.1.2. Incerteza interna

A incerteza interna está relacionada a previsões baseadas em conhecimentos do tomador de decisão (KAHNEMAN & TVERSKY, 1982).

Neste caso, o grau de incerteza é estimado com base em julgamentos por parte do tomador de decisão a respeito dos planos de ação possíveis, podendo gerar resultados mais aproximados da realidade de acordo com o nível de conhecimento a respeito das alternativas referentes ao problema decisório.

2.1.2.2. Incerteza substantiva x processual

Simon (1982) apud Possas (1995) baseia-se nas noções de racionalidade substantiva e racionalidade processual, a partir da qual a primeira está conectada ao comportamento correspondente à aquisição de determinado fim, dentro das limitações impostas por condições e restrições estabelecidas; e a segunda refere-se ao ajuste do processo de resolução.

Dosi & Egidi (1991) apud Possas (1995) aprofundam o argumento de Simon (1982), quando baseados em suas noções criam a incerteza substantiva e a incerteza processual. A primeira "deriva do fato de que o conhecimento que se requer para prever o futuro, de modo a definir ações e controlar seus resultados, é necessariamente incompleto" ou seja, o tomador de decisão está diante de um problema em que não estão disponíveis todas as informações necessárias para a tomada de decisão. No entanto a segunda (incerteza processual) está baseada em limitações computacionais e cognitivas do tomador de decisão; mesmo que o tomador de decisão tenha clareza do que pode acontecer e suas possíveis conseqüências, os cálculos necessários para se chegar ao resultado são demasiadamente complexos.

2.1.3. Regras de decisão sob condições de incerteza

Antes de apresentar as regras – ou critérios – de decisão é preciso saber no que consistem. Bravo (sem data), define regra ou critério de decisão como “una aplicación que asocia a cada alternativa um número, que expresa las preferencias del decisor por los resultados asociados a dicha alternativa”.

Neste trabalho tem-se o interesse de estudar os critérios de decisão sob condições de incerteza, ou seja, quando não se podem associar probabilidades subjetivas aos eventos que condicionam os resultados.

Nestes casos, conhecendo os resultados possíveis relacionados aos eventos que podem acontecer, o tomador de decisão enfrentará um problema de escolha de alternativa, que poderá

resultar em um bom resultado, se ocorrer um evento favorável, mas também poderá resultar em fracasso se o evento não for favorável (ANDRADE, 2000).

Para Andrade (2000), “O grande valor desses critérios está no fato de que eles procuram tornar objetivo um processo de decisão por natureza subjetivo, em face das incertezas que caracterizam os eventos”.

Para a modelagem sob incerteza existem diferentes critérios que podem ser aplicados e auxiliar o tomador de decisão na escolha da melhor alternativa, dentre eles o critério de Wald, Maximax ou Minimin, Hurwicz, Savage e Laplace, os quais serão detalhados a seguir.

Neste trabalho é utilizado o Critério de Wald (ou Critério Maximin), por ser um critério mais conservador e pela independência de alternativas irrelevantes, o que permite a adição ou subtração de cenários no modelo sem que estes influenciem a solução caso não representem as piores condições (BRAVO, sem data).

A escolha por este critério também se justifica pela aversão ao risco que o agricultor possui, ou seja, o agricultor muitas vezes prefere adotar alternativas de produção que lhe proporcionem maior segurança mesmo que isso represente uma perda no resultado econômico.

2.1.3.1. Critério de Wald

O Critério de Wald, também conhecido como critério Maximin, surgiu por volta de 1950, quando Wald sugere que o tomador de decisão deve escolher a alternativa que lhe proporcione um maior nível de segurança possível (BRAVO, sem data).

Este critério corresponde a uma visão pessimista do problema, pois considera o pior que pode ocorrer ao tomador de decisão quando escolhe uma determinada alternativa, retendo

como solução ao problema o melhor resultado obtido nas piores condições possíveis.

Bravo (sem data), descreve a regra de decisão de Wald da seguinte forma:

Seja a alternativa a_i , o pior resultado possível que pode ocorrer tem um valor para o tomador de decisão dado por:

$$s_i = \min_{1 \leq j \leq m} x_{ij}.$$

O valor s_i denomina-se nível de segurança da alternativa a_i e representa a quantidade mínima que o tomador de decisão receberá se optar por esta alternativa, sendo

$$S(a_i) = s_i$$

a alternativa que representa o maior nível de segurança possível.

Assim, a regra de decisão de Wald resultante é a seguinte:

- Escolher a alternativa a_k tal que $s_k = \max_{1 \leq i \leq m} s_i = \max_{1 \leq i \leq m} \min_{1 \leq j \leq n} x_{ij}$.

2.1.3.2. Critério Maximax (ou Minimin)

O critério Maximax, ao contrário do critério de Wald, está baseado numa visão otimista do problema, pois o tomador supõe que, escolhida determinada alternativa, obterá o melhor resultado possível (ANDRADE, 2000; BRAVO, sd).

Se o tomador de decisão está diante de um problema que considera lucros ou receitas, o mesmo deve:

- Examinar o resultado máximo de cada alternativa;

- Escolher aquela que fornece o maior resultado máximo.

Mas, quando o tomador de decisão vê-se diante de um problema que considera custos ou perdas, o critério assume a forma Minimin. Neste caso, o tomador de decisão deve:

- Examinar o resultado mínimo de cada alternativa;
- Escolher aquela que fornece o menor resultado mínimo.

2.1.3.3. Critério de Hurwicz

Este critério caracteriza-se por ser um critério intermediário ao critério de Wald e o critério Maximax, pois admite que, de modo geral, os tomadores de decisão não são extremamente pessimistas ou otimistas (ANDRADE, 2000; BRAVO, sd).

Para aplicar o critério de Hurwicz, calcula-se para cada alternativa o valor da função H, conforme a equação

$$H(a_i) = \alpha \cdot \max_j(c_{ij}) + (1 - \alpha) \cdot \min_j(c_{ij})$$

onde a_i são as alternativas de decisão; c_{ij} representa o resultado da alternativa i caso ocorra o evento j e α é um coeficiente determinado subjetivamente pelo tomador de decisão.

O coeficiente α pode variar entre 0 e 1. O caso em que $\alpha = 0$ indica o pessimismo extremo do tomador de decisão, obtendo-se o critério de Wald. Já o caso em que $\alpha = 1$ indica o otimismo extremo do tomador de decisão, obtendo-se o critério Maximax.

Assim, quando a decisão está baseada em valores, como por exemplo, no lucro, o critério a ser seguido é o de escolher a alternativa que maximize o valor de $H(a_i)$, ou seja, a alternativa que forneça o maior valor de $H(a_i)$.

No entanto quando a decisão está baseada em valores como custos, o critério de Hurwicz deve ser adaptado da seguinte maneira

$$H(a_i) = \alpha \cdot \min_j(c_{ij}) + (1 - \alpha) \cdot \max_j(c_{ij}).$$

Neste caso, deve-se escolher a alternativa que minimize o valor de $H(a_i)$, ou seja, a alternativa que forneça o menor valor de $H(a_i)$.

2.1.3.4. Critério de Savage

O critério de Savage, segundo Andrade (2000), busca definir os arrependimentos máximos que poderão acontecer para cada um dos eventos quando é realizada uma escolha.

Para formar uma matriz de arrependimentos, procede-se da seguinte forma:

- “para cada evento, toma-se o lucro máximo;
- para todos os eventos, calcula-se a diferença entre o lucro máximo e o lucro da alternativa em análise” (ANDRADE, 2000).

De um modo geral, calcula-se os elementos da matriz de arrependimentos por

$$r_{ij} = \max_i(c_{ij}) - c_{ij}.$$

Assim, pelo critério de Savage, a alternativa escolhida é a que minimiza o arrependimento máximo. Em outras palavras, a alternativa que proporcione o menor dos maiores arrependimentos obtidos.

2.1.3.5. Critério de Laplace

Este critério, proposto por Laplace em 1825, está baseado na suposição de que todos os

eventos tem a mesma probabilidade de ocorrer. Ou seja, a falta de conhecimento acerca dos eventos analisados equivale afirmar que estes são equiprováveis (BRAVO, sem data).

Desta maneira, para um problema de decisão com n eventos, atribui-se a probabilidade $\frac{1}{n}$ para cada um destes eventos.

Atribuídas as probabilidades, a cada alternativa corresponderá um resultado esperado igual a

$$\sum_{j=1}^n \frac{1}{n} c_{ij} .$$

Pelo critério de Laplace, a alternativa escolhida a_i é aquela que fornece o resultado máximo esperado, ou, com outras palavras, a alternativa que proporciona o maior valor médio.

Genericamente, pode-se denotar por

$$a_i = \max_i \sum_{j=1}^n \frac{1}{n} c_{ij} .$$

2.2. Elaboração de cenários

A elaboração de cenários no estudo da incerteza mostra-se um instrumento muito eficiente, pois com base na experiência do agricultor podem-se estabelecer estratégias na busca da redução desta incerteza e da maximização do seu resultado econômico.

A elaboração de cenário, segundo Mohamed (sem data), “é um instrumento de apoio à tomada de decisões estratégicas, que pode com uma exatidão bastante próxima da realidade

detectar que direção a organização tomará no futuro”.

Para Marques (1988), o ser humano, devido as suas limitações não possui o dom de adivinhar o futuro, mas, entretanto consegue “explorar configurações futuras de suas variáveis mais relevantes e das relações que entre elas se tecem”. Desta maneira, é possível “estruturar a incerteza do futuro, que é feita a partir da definição de um sistema e de sua estrutura, os quais correspondem a um modelo da realidade que cerca a empresa, ou seja, o seu ambiente externo” (MARQUES, 1988).

Segundo Mohamed (sem data), os “cenários são narrativas sobre o futuro, desenhadas especialmente para ressaltar os riscos e oportunidades que as organizações enfrentarão a longo prazo, diante de incertezas ambientais e econômicas”.

Os critérios de decisão discutidos anteriormente normalmente consideram eventos observados. Neste trabalho, devido a impossibilidade de se conseguir informações sobre todos os eventos possíveis, será utilizada a técnica de elaboração de cenários, os quais não exigem que se possua todos os eventos possíveis de ocorrer.

Os fenômenos climáticos e a variação de preços de venda dos produtos são fatores que geram incerteza no sistema de produção. Com base nisso, no modelo proposto neste trabalho busca-se elaborar cenários referentes a estes fatores, de forma a encontrar um resultado mais próximo da realidade.

2.3. Otimização sob incerteza

O campo de estudos que compreende os principais métodos matemáticos de otimização utilizados atualmente pertence ao que se denomina, em geral, de Pesquisa Operacional, a qual surgiu durante a Segunda Guerra Mundial, através de um grupo de pesquisadores formado por

matemáticos, físicos, engenheiros e cientistas sociais, que buscavam desenvolver métodos para resolver determinados problemas de operações militares. Esses cientistas, com base em dados e fatos disponíveis, desenvolveram modelos matemáticos que lhes possibilitavam a percepção dos problemas em estudo, simular e avaliar os resultados das estratégias antes de serem implementadas.

Seu sucesso levou a um crescente interesse na utilização de suas técnicas em problemas administrativos de diversas empresas.

Os avanços científicos e tecnológicos também foram responsáveis pelo progresso da Pesquisa Operacional. O desenvolvimento de computadores digitais com crescente capacidade de processamento, permitiu o trabalho com um maior fluxo de dados e a criação de modelos mais versáteis, rápidos e interativos, permitindo maior participação do homem (ANDRADE, 2000).

A Pesquisa Operacional busca resolver problemas de decisão que podem ter origem em diversas áreas, como por exemplo, na Administração, Estatística, Engenharia, Economia entre outras, onde visa minimizar ou maximizar algum fator relacionado ao problema através da utilização de um ou mais critérios, obtendo assim a solução desejada.

No entanto, são vários os instrumentos utilizados pela Pesquisa Operacional, sendo a Programação Matemática um dos mais importantes, a qual inclui a Programação Linear, Programação Quadrática, Programação Inteira, Programação Não-Linear, Programação Mista entre outros.

A Programação Mista envolve, em um mesmo modelo, além da Programação Linear, como também a Programação não-linear ou Programação Inteira.

Os modelos de Programação Matemática podem ser classificados em modelos deterministas e não-deterministas.

Os modelos de otimização sob incerteza de sistemas de produção agropecuários incluem-se na categoria dos modelos não-deterministas. Nestes modelos, o tomador de decisão procura uma combinação de atividades agropecuárias, respeitando as restrições características da unidade de produção (mão-de-obra, superfície, alimentação dos animais, etc.) que lhe proporcione o maior resultado econômico possível, segundo o critério de decisão sob incerteza adotado.

O critério de Wald (ou critério Maximin), interpretado no quadro da Teoria dos Jogos, já nos anos 60 foi utilizado para a otimização sob incerteza de sistemas de produção por McInerney (1967, 1969), sendo também proposto por Hazell (1970). Segundo estes autores, o critério Maximin proporcionou resultados satisfatórios na sua aplicação.

Retzlaff (1999) desenvolveu um modelo de otimização sob incerteza utilizando cenários baseado no critério Maximin (ou critério de Wald) da Teoria dos Jogos, o qual possibilitou a modelagem da incerteza processual relacionada à bovinocultura de leite. Segundo a autora, o modelo proporcionou resultados que podem oferecer maior segurança ao produtor, possibilitando o estabelecimento de estratégias de alimentação dos animais para a diminuição da incerteza relacionada à produção de leite.

3. METODOLOGIA

O trabalho tem início com o levantamento de dados realizado com agricultores e técnicos da região de Ipê (RS) onde se buscou definir as atividades desenvolvidas nas propriedades, os rendimentos físicos das atividades cultivadas, preços de venda, gastos com insumos, mão-de-obra destinada a cada atividade e demais dados referentes às atividades desenvolvidas nos sistemas de produção (**Anexo 1**). Também foram coletados dados referentes à incerteza nos preços e na produção, os quais são os cenários do modelo.

Após o levantamento dos dados, partiu-se para a construção dos coeficientes técnicos e econômicos, passando logo em seguida para a construção do modelo de programação matemática de concorrência entre sistemas de produção utilizando como ferramenta computacional o software LINGO.

Para a modelagem sob incerteza utilizou-se a construção de cenários e o critério de Wald, o qual é um critério mais conservador e permite a adição ou subtração de cenários no modelo sem que estes modifiquem a solução se não representarem as piores condições.

3.1. Principais características das unidades de produção modeladas

O modelo formulado procura representar as características de agricultores que se dedicam às atividades hortícolas no sistema convencional e agroecológico de produção na

região do município de Ipê (RS/Brasil).

Estes agricultores dispõem, de maneira geral, de áreas entre 3 e 5 hectares, sendo que no modelo está sendo considerada uma área de 3 hectares. Quanto à mão-de-obra, exclusivamente familiar, esta corresponde a 3 Unidades Equivalentes Tempo Integral. De maneira geral, estes agricultores dispõem um trator e implementos, normalmente adquiridos de forma associativa, para o preparo do solo e aplicação de insumos.

É importante salientar que além da necessidade de uma quantidade de fatores de produção, principalmente mão-de-obra, diferente da produção convencional, a produção agroecológica possui algumas restrições específicas como esquemas de rotação que incluem a aveia como cultura recuperadora do solo e restrições relativas à comercialização do produto nas feiras livres, as quais impõem que certas proporções entre as quantidades produzidas sejam respeitadas.

As culturas consideradas no modelo são: tomate agroecológico ou convencional, cebola agroecológica ou convencional, alho agroecológico ou convencional, cenoura convencional, pimentão convencional, moranga convencional, uva agroecológica ou convencional e a horta agroecológica.

A horta agroecológica é composta por uma variedade de culturas, com a finalidade de garantir a diversidade de produtos nas feiras. Esta variedade de culturas inclui alface, repolho, cenoura, beterraba, alho poró, radiche, nabo, rabanete, brócolis, couve-flor, couve folha, batatinha, mandioquinha, ervilha, morango, abóbora, batata doce, chicória e vagem.

3.2. Formulação e descrição do modelo matemático básico

O modelo matemático básico, ou seja, aquele a partir do qual serão efetuadas as

simulações (modificações nas restrições em certos coeficientes e também na função objetivo) é formado de um conjunto de variáveis relacionadas por funções matemáticas de forma a descrever os sistemas de produção agroecológicos e convencionais atualmente existentes na região de Ipê (RS/Brasil).

Assim, pode-se expressar o modelo matemático básico na forma matricial da seguinte forma:

Função objetivo: Max m

sujeito a

$$Bx - m \geq 0$$

$$\sum_{i=1}^n c_i x_i = m'$$

$$Ax \leq b$$

$$x' - ge \leq 0$$

$$x'' - gv \leq 0$$

$$e - v \leq 1$$

$$e = 0 \text{ ou } 1$$

$$v = 0 \text{ ou } 1$$

$$x \geq 0$$

onde

m = margem bruta nas piores condições;

A = matriz dos coeficientes técnicos;

b = vetor coluna dos recursos disponíveis;

e = variável binária relacionada ao conjunto das atividades x' correspondente às atividades agroecológicas;

v = variável binária relacionada ao conjunto das atividades x'' correspondente às atividades convencionais;

g = escalar maior do que a superfície que pode ser utilizada pelas atividades;

B = matriz dos coeficientes da margem bruta em condições de incerteza (conjunto de cenários);

$c_i x_i = c_i$ é o vetor linha que representa a margem bruta em condições normais por hectare relacionada a cada atividade x_i do sistema.

m' = margem bruta em condições normais.

As restrições técnicas de superfície agrícola útil, mão-de-obra e capital circulante são as variáveis que compõem o vetor coluna dos recursos disponíveis, as quais são definidas como variáveis independentes, pois não dependem da otimização para serem encontrados.

A solução do modelo consiste em encontrar valores adequados das variáveis de decisão de forma a otimizar o desempenho do sistema de produção.

O modelo proposto busca através da utilização de variáveis binárias, construir um modelo de concorrência entre sistemas de produção agroecológicos e sistemas de produção convencionais. O uso de variáveis binárias permite que o modelo escolha, diante das condições dadas, qual o sistema de produção que apresenta o melhor resultado.

O modelo consiste, portanto, em saber qual o sistema de produção escolhido, qual as culturas devem ser plantadas e qual a área de plantio de cada uma delas para que se possa obter a maximização da margem bruta.

Para isso, é necessário que seja definida a função objetivo do problema, que no modelo básico é a maximização da margem bruta nas piores condições, conforme o critério de Wald. Esta função está sujeita a um conjunto de restrições, como: restrições de área; restrições de

mão-de-obra necessária para a realização das operações agrícolas em cada atividade para cada mês do ano; restrição de capital circulante; restrição de rotação de culturas, dentre elas a rotação com aveia, restrições de comercialização e os cenários.

3.2.1. A Função Objetivo

Na função objetivo do modelo básico se assume que o agricultor esteja buscando a maximização da margem bruta nas piores condições, ou seja,

Função objetivo \longrightarrow Max R

A função objetivo do modelo determinista busca a maximização da margem bruta em condições normais de produção, ou seja, busca maximizar o resultado econômico sem perdas.

Função objetivo \longrightarrow Max resp

3.2.2. As Restrições

3.2.2.1. Cenários

Para a modelagem da incerteza optou-se pela formulação de cenários, os quais representam: (a) a situação considerada normal pelo agricultor; (b) e (c) situações que representam perdas, seja pela variação de preço de venda no mercado ou pelo fator climático e aparecimento de pragas ou doenças nas plantações, ambos (b e c) apresentando resultados desfavoráveis ao agricultor.

(a) Cenário normal

O cenário considerado normal, ou cenário que apresenta um resultado econômico sem perda, apresenta o somatório da margem bruta de cada atividade onde é considerado:

- O preço normal de venda de cada produto e
- O rendimento físico normal de cada cultura.

[normal] $(pntc*rntc - (pntc*rntc*frural + citc))*tomc + (pnbc*rnbc - (pnbc*rnbc*frural + cibc))*cebc + (pnac*rnac - (pnac*rnac*frural + ciac))*alhc + (pnuc*rnuc - (pnuc*rnuc*frural + ciuc))*uvac + (pnnc*rnnc - (pnnc*rnnc*frural + cinc))*cenc + (pnpc*rnpc - (pnpc*rnpc*frural + cipc))*pimc + (pnmc*rnmc - (pnmc*rnmc*frural + cimc))*morc + (pnta*rnta - (pnta*rnta*frural+cita))*toma + (pnca*rnca - (pnca*rnca*frural+cica))*ceba + (pnaa*rnaa - (pnaa*rnaa*frural+ciaa))*alha + (pnua*rnua - (pnua*rnua*frural+ciua))*uvaa + 3230*horta - 53*avcob = resp;$

[respp] $resp \geq 0$;

Neste cenário, o somatório das margens brutas referentes a cada atividade menos a aveia utilizada como adubação de cobertura deve ser igual ao resultado econômico sem perda, o qual deve ser maior ou igual a zero.

(b) Cenários de variação de preço

Os cenários de variação de preço consideram a queda de preço de dois produtos simultaneamente. Vejamos a seguir os cenários considerados no modelo.

Cenários agroecológicos de variação de preço:

- Queda de preço do tomate e do alho simultaneamente;
- Queda de preço do tomate e da cebola simultaneamente;
- Queda de preço do tomate e da uva simultaneamente;
- Queda de preço da cebola e do alho simultaneamente;
- Queda de preço do alho e da uva simultaneamente;

- Queda de preço da cebola e da uva simultaneamente;

Cenários convencionais de variação de preço:

- Queda de preço do tomate e do pimentão simultaneamente;
- Queda de preço do tomate e da cebola simultaneamente;
- Queda de preço do tomate e da cenoura simultaneamente;
- Queda de preço do tomate e da moranga simultaneamente;
- Queda de preço do tomate e do alho simultaneamente;
- Queda de preço do tomate e da uva simultaneamente;
- Queda de preço da cebola e do pimentão simultaneamente;
- Queda de preço da cenoura e do pimentão simultaneamente;
- Queda de preço do pimentão e da moranga simultaneamente;
- Queda de preço do alho e do pimentão simultaneamente;
- Queda de preço da uva e do pimentão simultaneamente;
- Queda de preço da cebola e da cenoura simultaneamente;
- Queda de preço da cebola e da moranga simultaneamente;
- Queda de preço da cebola e do alho simultaneamente;
- Queda de preço da cebola e da uva simultaneamente;
- Queda de preço da cenoura e da moranga simultaneamente;
- Queda de preço do alho e da cenoura simultaneamente;
- Queda de preço da uva e da cenoura simultaneamente;
- Queda de preço do alho e da moranga simultaneamente;
- Queda de preço da uva e da moranga simultaneamente,
- Queda de preço do alho e da uva simultaneamente.

Para um melhor entendimento, vejamos o cenário de variação de preço do tomate e do alho agroecológicos:

$$\begin{aligned}
 \text{[CENA1]} & (\text{pntc} * \text{rntc} - (\text{pntc} * \text{rntc} * \text{frural} + \text{citic})) * \text{tomc} + (\text{pnbc} * \text{rnbc} - (\text{pnbc} * \text{rnbc} * \text{frural} + \\
 & \text{cibc})) * \text{cebc} + (\text{pnac} * \text{rnac} - (\text{pnac} * \text{rnac} * \text{frural} + \text{ciac})) * \text{alhc} + (\text{pnuc} * \text{rnuc} - (\text{pnuc} * \text{rnuc} * \text{frural} + \\
 & \text{ciuc})) * \text{uvac} + (\text{pnnc} * \text{rnnc} - (\text{pnnc} * \text{rnnc} * \text{frural} + \text{cinc})) * \text{cenc} + (\text{pnpc} * \text{rnpc} - \\
 & (\text{pnpc} * \text{rnpc} * \text{frural} + \text{cipc})) * \text{pimc} + (\text{pnmc} * \text{rnmc} - (\text{pnmc} * \text{rnmc} * \text{frural} + \text{cimc})) * \text{morc} + \\
 & (\text{ppta} * \text{rnta} - (\text{ppta} * \text{rnta} * \text{frural} + \text{cita})) * \text{toma} + (\text{pnca} * \text{rnca} - (\text{pnca} * \text{rnca} * \text{frural} + \text{cica})) * \text{ceba} + \\
 & (\text{ppaa} * \text{rnaa} - (\text{ppaa} * \text{rnaa} * \text{frural} + \text{ciaa})) * \text{alha} + (\text{pnua} * \text{rnua} - (\text{pnua} * \text{rnua} * \text{frural} + \text{ciua})) * \text{uvaa} + \\
 & 3230 * \text{horta} - 53 * \text{avcob} = \text{RA1};
 \end{aligned}$$

Neste cenário, considera-se apenas o preço mínimo do tomate e do alho agroecológicos, mantendo os demais preços em condições normais. Nesta restrição o somatório das margens brutas referentes a cada atividade menos a aveia deve ser igual ao resultado econômico mínimo referente a cada cenário de queda de preço.

O cálculo do resultado econômico mínimo referente ao cenário de variação de preço do tomate e do alho agroecológicos é realizado de acordo com a seguinte restrição:

$$\text{[PERD1]} \text{RA1} - R \geq 0;$$

Onde, o resultado econômico mínimo do cenário de queda de preço do tomate e do alho agroecológicos menos o resultado econômico mínimo deve ser maior ou igual a zero.

(c) Cenários de queda de rendimento

Durante o levantamento dos dados pôde-se perceber que os diversos problemas climáticos apresentados, como o granizo e o excesso de chuva no inverno, a qual acaba favorecendo o aparecimento de doenças e pragas na produção são fatores que ocasionam

perdas relativamente grandes de rendimento de algumas culturas.

Os cenários de queda de rendimento são os seguintes:

- Perda de produção do tomate convencional;
- Perda de produção do tomate agroecológico;
- Perda de produção do alho convencional
- Perda de produção do alho agroecológico;
- Perda de produção da cebola convencional;
- Perda de produção da cebola agroecológica;
- Perda de produção da uva agroecológica,
- Perda de produção do pimentão convencional.

Os cenários de queda na produção do tomate convencional ou agroecológico, do alho convencional ou agroecológico e da cebola convencional simulam uma perda total (100%) da produção se algum dos eventos climáticos ocorrer.

Os cenários de queda na produção da uva agroecológica e do pimentão convencional simulam uma perda de metade da produção (50%) e o cenário de queda de produção da cebola agroecológica representa uma perda de 25% da produção.

As demais culturas não apresentam perdas significativas na produção, portanto não foram construídos cenários que as incluíssem.

Veamos o cenário que representa a perda da produção de tomate convencional:

$$\begin{aligned}
 \text{[CENPP1]} \quad & (pntc*rntc*0 - (pntc*rntc*0*frural + citc))*tomc + (pnbc*rnbc - \\
 & (pnbc*rnbc*frural + cibc))*cebc + (pnac*rnac - (pnac*rnac*frural + ciac))*alhc + (pnuc*rnuc \\
 & - (pnuc*rnuc*frural + ciuc))*uvac + (pnnc*rnnc - (pnnc*rnnc*frural + cinc))*cenc +
 \end{aligned}$$

$$(pnpc*rnpc - (pnpc*rnpc*frural + cipc))*pimc + (pnmc*rnmc - (pnmc*rnmc*frural + cimc))*morc + (pnta*rnta - (pnta*rnta*frural+cita))*toma + (pnca*rnca - (pnca*rnca*frural+cica))*ceba + (pnaa*rnaa - (pnaa*rnaa*frural+ciaa))*alha + (pnua*rnua - (pnua*rnua*frural+ciua))*uvaa + 3230*horta - 53*avcob = RP1;$$

Neste cenário o rendimento físico por hectare do tomate convencional está sendo multiplicado por zero, o que representa uma perda total da produção se algum fenômeno climático ou aparecimento de pragas e doenças ocorrer.

Cada cenário é constituído pelo somatório das margens brutas em condições normais referentes a cada atividade menos a aveia considerando a perda de rendimento físico por hectare de uma cultura por vez, sendo este somatório igual ao resultado econômico mínimo referente a cada cenário de perda de produção.

O cálculo do resultado econômico mínimo referente ao cenário de perda de produção do tomate convencional é realizado de acordo com a seguinte restrição:

$$[\text{PERD28}] \text{RP1} - R \geq 0;$$

Onde o resultado econômico mínimo do cenário de perda de produção menos o resultado econômico mínimo deve ser maior ou igual a zero.

3.2.2.2. Restrições de uso da terra

As restrições de terra relacionam o uso da área de acordo com as épocas do ciclo de cada atividade.

O somatório das superfícies agrícolas utilizadas pelo agricultor de acordo com o ciclo de cada atividade deve ser menor ou igual à superfície agrícola útil disponível na propriedade,

a qual dispõe de 3 ha.

Considera-se que os 3 hectares são ocupados durante todo o ano com culturas de inverno e primavera: cebola, alho, horta e uva agroecológicos e cebola, alho, cenoura e uva convencionais e aveia como adubação de cobertura; primavera e verão: cebola, alho, tomate, horta e uva agroecológicos e cebola, alho, tomate, moranga, pimentão e uva convencionais; e culturas de verão: tomate, horta e uva agroecológicos e tomate, moranga e uva convencionais.

As restrições de terra utilizadas no modelo são:

[cultip] ceba + uvaa + alha + horta + cebc + alhc + uvac + cenc + avcob \leq sau;

[cultpv] ceba + uvaa + alha + toma + horta + cebc + alhc + tomc + morc + uvac + pimc \leq sau;

[cultv] uvaa + toma + horta + tomc + morc + uvac \leq sau;

3.2.2.3. Restrições de mão-de-obra

Nas restrições de mão-de-obra, considera-se que o somatório das horas trabalhadas em cada atividade deve ser menor ou igual ao número de Unidades de Trabalho Homem (UTH) que possui a propriedade, que neste caso é de 3 pessoas.

Em cada mês é considerada a quantidade de mão-de-obra necessária para a realização de cada atividade, sendo consideradas no modelo as restrições de mão-de-obra para todos os meses do ano. Vejamos a restrição de mão-de-obra do mês de janeiro:

[mdo1] 165*tomc + 0*cebc + 0*alhc + 48*uvac + 1*cenc + 768*pimc + 0*morc + 1984*toma + 160*ceba + 708*alha + 41*uvaa + 421*horta + 0*avcob \leq w;

A cada cultura está relacionada a quantidade de horas necessárias para a realização das

atividades referentes a esta cultura, assim, o somatório das culturas e das horas trabalhadas não pode ultrapassar a mão-de-obra disponível na propriedade.

3.2.2.4. Restrição de capital circulante

Nesta restrição consideram-se os custos com insumos (sementes, adubação, combustíveis, etc) destinados a cada atividade.

[capcirc] $citc*tomc + ccbc*cebc + ciac*alhc + ciuc*uvac + cinc*cenc + cipc*pimc + cimc*morc + cita*toma + cica*ceba + ciaa*alha + ciua*uvaa + 3230*horta + 53*avcob \leq kcirc;$

O somatório dos custos referentes a cada atividade deve ser menor ou igual à quantidade de capital disponível na propriedade.

3.2.2.5. Restrições de rotação de culturas

A rotação de culturas é uma prática do sistema de produção agroecológico de fundamental importância no controle da erosão, melhor utilização do solo e dos nutrientes, aumento do teor da matéria orgânica, controle de plantas invasoras, pragas e doenças, etc. Assim, torna-se muito importante sua abordagem no modelo.

A restrição [rotc] limita a área de plantio da moranga no caso de escolha do sistema de produção convencional.

[rotc] $morc \leq 0.2*sau;$

A restrição [terpv] está relacionada aos ciclos das culturas, ou seja, o somatório das culturas agroecológicas plantadas em todas as épocas do ano deve ser menor que a superfície agrícola utilizada para o plantio agroecológico.

[terpv] ceba + uvaa + alha + toma + horta <= sauagro;

A restrição [sauca] garante que a superfície agrícola utilizada para o plantio de culturas agroecológicas seja menor ou igual à superfície agrícola útil disponível na propriedade.

[sauca] sauagro <= sau;

A restrição [rot1] limita o plantio de aveia em no mínimo $\frac{1}{3}$ da área de plantio de cebola, alho e horta.

[rot1] 0.33*(ceba + alha + horta) - 0.66*avcob <= 0;

A restrição [rot2] assegura que a área de plantio da uva seja no máximo 20% da área disponível.

[rot2] 0.2*sauagro - 0.8*uvaa >= 0;

E a restrição [rot3] determina que a área de plantio de aveia seja no mínimo $\frac{1}{3}$ da área disponível para plantio menos a área da uva.

[rot3] 0.33*(sauagro - uvaa) - 0.66*avcob <= 0;

3.2.2.6. Restrição de comercialização

As restrições de comercialização são específicas do sistema de produção agroecológico. Devido à venda dos produtos ser realizada geralmente em feiras livres na região, em Caxias e em Porto Alegre, torna-se necessário estabelecer certas proporções entre as quantidades produzidas.

A restrição [feir1] determina que a área de plantio de tomate, cebola, alho e horta seja no mínimo 70% da área de plantio de uva e que a área de plantio de uva seja no máximo 30% da área de plantio de tomate, cebola, alho e horta.

$$\text{[feir1]} - 0.3*(\text{toma} + \text{ceba} + \text{alha} + \text{horta}) + 0.7*(\text{uvaa}) \leq 0;$$

Sendo o coeficiente de comercialização $t = 0.2$, a restrição [feir2] assegura que a área de plantio de tomate seja no máximo 20% da área de plantio de cebola, alho e horta.

$$\text{[feir2]} (1-t)*\text{toma} - t*(\text{ceba} + \text{alha} + \text{horta}) \leq 0;$$

A restrição [feir3] limita que a área de plantio de cebola seja no máximo 20% da área de plantio de tomate, alho e horta.

$$\text{[feir3]} 0.8*\text{ceba} - 0.2*(\text{toma} + \text{alha} + \text{horta}) \leq 0;$$

A restrição [feir4] garante que a área de plantio de cebola e alho seja no máximo 30% da área destinada ao plantio de tomate e horta.

$$\text{[feir4]} 0.7*(\text{ceba} + \text{alha}) - 0.3*(\text{horta} + \text{toma}) \leq 0;$$

E a restrição [feir5] assegura que a área de plantio de tomate seja no máximo 40% da área destinada ao plantio da horta.

$$\text{[feir5]} (2*t)*\text{horta} - (1-(2*t))*\text{toma} \geq 0;$$

3.2.2.7. Escolha entre sistemas de produção

As restrições [cconv], [cagro] e [exclu] realizam a escolha entre os sistemas de produção através da utilização de variáveis binárias.

A restrição [cconv] representa o conjunto das atividades convencionais consideradas no modelo e a restrição [cagro] representa o conjunto das atividades agroecológicas do modelo. Ambas estão relacionadas às variáveis binárias conv e agro, respectivamente.

[cconv] tomc + cebc + alhc + uvac + cenc + pimc + morc \leq 1000*conv; @BIN(conv);

[cagro] toma + ceba + alha + uvaa + horta \leq 1000*agro; @BIN(agro);

[exclu] conv + agro \leq 1;

A função @BIN (variável) restringe a variável a um valor inteiro binário (0 ou 1), assim a escolha por um sistema de produção agroecológico exclui a escolha por um sistema de produção convencional e vice-versa. Por exemplo, considerando as condições de cada sistema, se o sistema escolhido for o agroecológico, serão cultivadas somente culturas agroecológicas.

3.2.2.8. Variáveis independentes

As variáveis independentes são referentes à Superfície Agrícola Útil da propriedade, a qual está limitada em 3 hectares; à disponibilidade de mão-de-obra, a qual equivale a 3 pessoas trabalhando 208 horas por mês.

Uma restrição de capital circulante foi adicionada para permitir a sua parametrização. Nos modelos básico e determinista o capital circulante não foi considerado como fator limitante, sendo por esta razão considerado maior ou igual a zero.

[terra] sau = 3;

[mdo] w \leq 208*3;

[capcir] kcirc \geq 0;

3.2.2.9. Coeficientes

(a) Coeficientes indicativos dos preços

Estes coeficientes são referentes aos preços (R\$)/kg normais de venda e aos preços (R\$)/kg em queda de cada atividade.

Os preços de venda considerados normais pelos agricultores estão dispostos da seguinte forma no modelo:

[pta1] pnta = 1.5;

[paa1] pnaa = 6.5;

[pca1] pnca = 1;

[pua1] pnua = 1.75;

[ptc2] pntc = 0.5;

[ppc2] pnpc = 0.35;

[pbc2] pnbc = 1;

[pnc2] pnnc = 0.4;

[pnc2] pnmc = 0.3;

[pac2] pnac = 5.1;

[puc2] pnuc = 0.5;

Os produtos com preços em queda, ou seja, com perda de preço em relação ao preço considerado normal, estão dispostos da seguinte forma:

[pta11] ppta = 0.4;

[paa11] ppaa = 4.5;

[pca11] ppca = 0.5;

[pua11] ppua = 0.35;

[ptc22] pptc = 0.3;

[ppc22] pppc = 0.35;

[pbc22] ppbc = 0.3;

[pnc22] ppnc = 0.4;

[pmc22] ppmc = 0.3;

[pac22] ppac = 3;

[puc22] ppuc = 0.32;

(b) Coeficientes indicativos dos rendimentos físicos

Estes coeficientes são referentes aos rendimentos físicos normalmente obtidos por hectare de cada atividade considerada no modelo.

[rta1] rnta = 60000;

[raa1] rnaa = 6000;

[rca1] rnca = 20000;

[rua1] rnua = 14500;

[rtc2] rntc = 75000;

[rpc2] rnpc = 20000;

[rbc2] rnbc = 20000;

[rnc2] rnnc = 20000;

[rnc2] rnmc = 15000;

[rac2] rnac = 7500;

[ruc2] rnuc = 18000;

(c) Coeficientes indicativos dos consumos intermediários

Estes coeficientes são referentes aos gastos relacionados a cada hectare das atividades consideradas no modelo.

[cita1] cita = 6700;

[cica1] cica = 340;

[ciaa1] ciaa = 12136;

[ciua1] ciua = 2391;

[citic2] citc = 12435;

[cibc2] cibc = 1722;

[ciac2] ciac = 17833;

[ciuc2] ciuc = 935;

[cinc2] cinc = 3815;

[cipc2] cipc = 6205;

[cimc2] cimc = 3242;

3.2.2.10. FUNRURAL

O Funrural é um imposto sobre os produtos agrícolas comercializados pelos agricultores. Este imposto corresponde a 2,2 % sobre a produção.

[funrur] frural = 0.022;

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão realizadas simulações a partir dos modelos básico e determinista de concorrência detalhados no capítulo anterior, de forma a determinar o tipo de sistema de produção escolhido e o resultado econômico que o agricultor pode obter nas diferentes situações apresentadas.

4.1. Análise da solução dos modelos básico e determinista de concorrência

Inicialmente serão discutidos nesta seção os resultados econômicos obtidos pelo agricultor de acordo com os modelos básico (**Anexo A**) e determinista (**Anexo B**) de concorrência. As soluções obtidas a partir destes modelos indicaram os sistemas de produção convencionais como os mais interessantes economicamente. Os resultados econômicos obtidos pelos modelos básico e determinista de concorrência são apresentados na Tabela 1 e na Figura 1.

As atividades otimizadas são apresentadas na Tabela 2, onde os resultados que ali constam são o número de hectares plantados de cada cultura otimizada em cada um dos modelos.

Tabela 1

Solução dos modelos básico e determinista de concorrência

Variáveis	Resultado Econômico do Modelo Básico (R\$)	Resultado Econômico do Modelo Determinista (R\$)
R - Resultado Econômico Mínimo	35.464	0,00
resp - Resultado Econômico Normal (sem perdas)	66.404	71.697
RC1 - Queda de preço do tomate e do pimentão	54.028	43.018
RC2 - Queda de preço do tomate e da cebola	35.828	43.018
RC3 - Queda de preço do tomate e da cenoura	51.039	41.116
RC4 - Queda de preço do tomate e da moranga	54.028	43.018
RC5 - Queda de preço do tomate e do alho	41.288	26.920
RC6 - Queda de preço do tomate e da uva	54.028	43.018
RC7 - Queda de preço da cebola e do pimentão	48.204	71.697
RC8 - Queda de preço da cenoura e do pimentão	63.415	69.795
RC9 - Queda de preço do pimentão e da moranga	66.404	71.697
RC10 - Queda de preço do alho e do pimentão	53.664	55.599
RC11 - Queda de preço da uva e do pimentão	66.404	71.697
RC12 - Queda de preço da cebola e da cenoura	45.215	69.795
RC13 - Queda de preço da cebola e da moranga	48.204	71.697
RC14 - Queda de preço da cebola e do alho	35.464	55.599
RC15 - Queda de preço da cebola e da uva	48.204	71.697
RC16 - Queda de preço da cenoura e da moranga	63.415	69.795
RC17 - Queda de preço do alho e da cenoura	50.675	53.697
RC18 - Queda de preço da uva e da cenoura	63.415	69.795
RC19 - Queda de preço do alho e da moranga	53.664	55.599
RC20 - Queda de preço da uva e da moranga	66.404	71.697
RC21 - Queda de preço do alho e da uva	53.664	55.599
RP1 - Perda de produção do tomate	35.464	0,00
RP3 - Perda de produção do alho	35.464	32.602
RP5 - Perda de produção da cebola	40.404	71.697
RP8 - Perda de produção do pimentão	66.404	71.697

Fonte: Dados da Pesquisa, 2002/03.

Conforme os dados apresentados na Tabela 1, o agricultor deixa de ganhar cerca de R\$ 5.293 na consideração da incerteza (modelo básico) no sistema de produção em relação ao modelo determinista, mas ao mesmo tempo alcança um resultado econômico mínimo maior (R\$ 35.464) que o menor resultado obtido em três cenários do modelo determinista.

Considerando a incerteza no sistema de produção, o agricultor obteria um resultado econômico mínimo de R\$ 35.464 no cenário de queda de preço da cebola e do alho simultaneamente, no cenário de perda de produção do tomate e no cenário de perda de produção do alho. Já no modelo determinista de concorrência, o agricultor obteria R\$ 26.920 no cenário de queda de preço do tomate e do alho simultaneamente, R\$ 32.602 no cenário de perda de produção do alho e R\$ 0,00 no cenário de perda de produção do tomate, os quais apresentam um resultado econômico inferior ao resultado econômico proporcionado pelo modelo básico, acarretando maiores perdas.

O resultado econômico mínimo obtido no modelo determinista (R\$ 0,00) deve-se ao cenário de perda de produção do tomate.

Entretanto, no modelo determinista o agricultor alcançaria o resultado econômico normal otimizado (R\$ 71.697) diversas vezes. Já no modelo básico o agricultor alcançaria o resultado normal otimizado (R\$ 66.404) em um número menor de cenários.

De acordo com a Tabela 1, o agricultor obteria um resultado econômico maior no modelo básico em relação ao modelo determinista em diversos cenários como nos cenários de queda de preço do tomate e do pimentão, do tomate e da moranga e no cenário do tomate e da uva obtendo uma diferença no resultado econômico de R\$ 11.010; também obteria um resultado mais favorável nos cenários de queda de preço do tomate e da cenoura e no cenário de queda de preço do tomate e do alho, com uma diferença de R\$ 9.923 e R\$ 14.368,

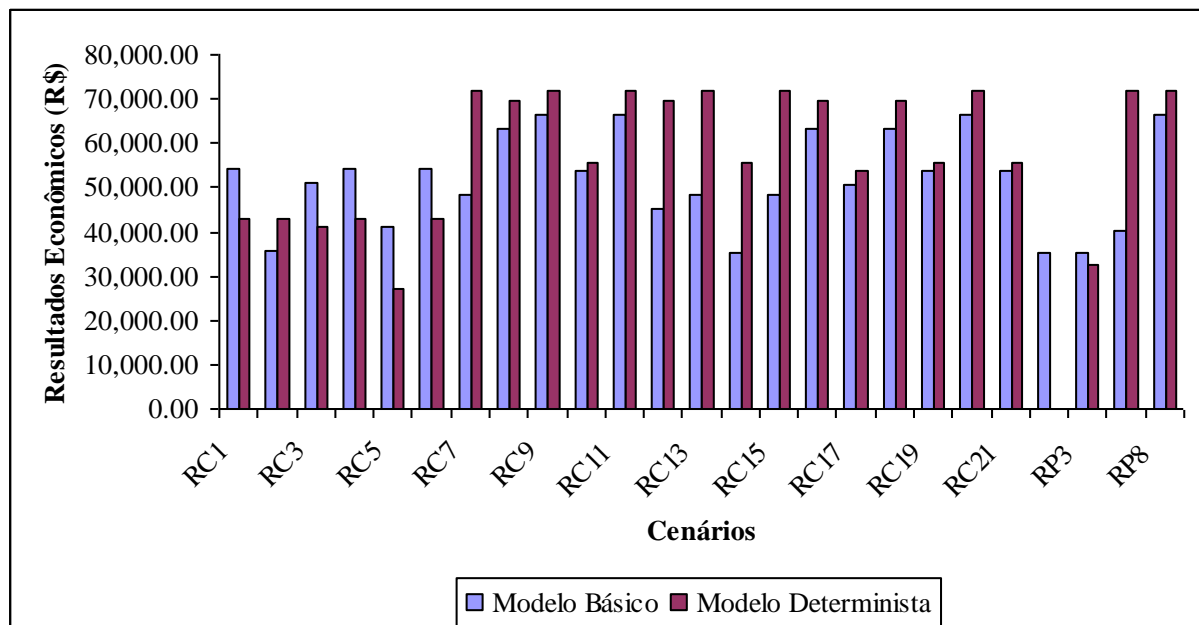
respectivamente e nos cenários de perda de produção do tomate e perda de produção do alho, com diferenças de respectivamente R\$ 35.464 e R\$ 2.862.

Na maioria dos cenários o modelo determinista de concorrência apresenta melhores resultados econômicos em relação ao modelo básico de concorrência, obtendo uma diferença menor nos cenários de queda de preço do alho e do pimentão, do alho e da moranga e do alho e da uva, diferença esta de R\$ 1.935. A maior diferença obtida no resultado, de R\$ 31.293, apresenta-se no cenário de perda de produção da cebola.

A Figura 1 a seguir apresenta a comparação entre os resultados econômicos obtidos pelo agricultor nos modelos básico e determinista de concorrência correspondentes a cada cenário convencional.

Figura 1

Solução dos modelos básico e determinista de concorrência



Considerando a Figura 1, pode-se observar que os resultados econômicos do modelo determinista de concorrência são geralmente maiores que os resultados econômicos do

modelo básico de concorrência. No entanto, o modelo determinista apresenta cenários com resultados econômicos menores que o resultado econômico mínimo obtido no modelo básico, chegando a uma perda total.

Assim, na consideração do modelo determinista o agricultor obterá um resultado econômico em condições normais de produção mais alto, mas, ao mesmo tempo, exposto a um cenário de queda de preço do tomate e do alho simultaneamente e perda de produção do alho obterá perdas maiores e até perda total como no caso do cenário de perda de produção do tomate.

A Tabela 2 a seguir apresenta as atividades otimizadas nos modelos básico e determinista de concorrência e as respectivas áreas de plantio de cada uma.

Tabela 2

Atividades otimizadas dos modelos básico e determinista de concorrência

Atividades	Hectares Cultivados - Modelo Básico	Hectares Cultivados - Modelo Determinista
Tomate Convencional	0,84	1,96
Cebola Convencional	1,33	0,00
Alho Convencional	0,83	1,05
Cenoura Convencional	0,76	0,49
Pimentão Convencional	0,00	0,00
Moranga Convencional	0,00	0,00
Uva Convencional	0,00	0,00

Fonte: Dados da Pesquisa, 2002/03.

Conforme a Tabela 2, as culturas escolhidas no modelo básico de concorrência são o tomate, a cebola, o alho e a cenoura convencionais, os quais apresentam uma maior margem bruta por hectare, respectivamente de R\$ 24.240, R\$ 17.838, R\$ 19.576 e R\$ 7.921.

A área de plantio do tomate (0,84 hectares), embora seja a cultura que apresente a maior

margem bruta ao sistema, é menor que a área de plantio da cebola (1,33 hectares) devido à maior incerteza envolvida no cultivo do tomate.

Já no modelo determinista de concorrência as culturas escolhidas são o tomate, o alho e a cenoura. Sem considerar a incerteza na produção, o tomate é a atividade que será cultivada em maior quantidade, por apresentar uma maior margem bruta. Devido às restrições de ciclos de plantio das culturas, mesmo que a cebola proporcione uma maior margem bruta ao sistema de produção, ela não é escolhida por causa da época de plantio coincidir com a época de plantio do tomate e do alho, os quais ocupam toda a área disponível, sendo a cenoura a cultura mais rentável plantada em outra época.

4.2. Análise da solução da otimização do sistema agroecológico

Na seção anterior foram apresentados os resultados obtidos nos modelos básico e determinista de concorrência, onde o sistema escolhido foi o convencional.

Os resultados apresentados nesta seção referem-se ao resultado econômico obtido pelo agricultor (Tabela 3 e Figura 2) e a quantidade de superfície que seria destinada a cada cultura (Tabela 4) caso o sistema de produção escolhido fosse o agroecológico (**Anexo C e Anexo D**).

Tabela 3

Solução da Otimização do Sistema Agroecológico

Variáveis	Resultado Econômico do Modelo sob Incerteza (R\$)	Resultado Econômico do Modelo Determinista (R\$)
R - Resultado Econômico Mínimo	13.660	10.704
resp - Resultado Econômico Normal (sem perda)	24.931	27.768
RA1 - Queda de preço do tomate e do alho	20.693	15.691

RA2 - Queda de preço do tomate e da cebola	19.634	15.020
RA3 - Queda de preço do tomate e da uva	13.660	10.704
RA4 - Queda de preço da cebola e do alho	20.693	25.084
RA5 - Queda de preço do alho e da uva	14.720	20.768
RA6 - Queda de preço da cebola e da uva	13.660	20.097
RP2 - Perda de produção do tomate	21.319	12.672
RP4 - Perda de produção do alho	19.766	24.497
RP6 - Perda de produção da cebola	23.606	26.929
RP7 - Perda de produção da uva	19.308	23.859

Fonte: Dados da Pesquisa, 2002/03.

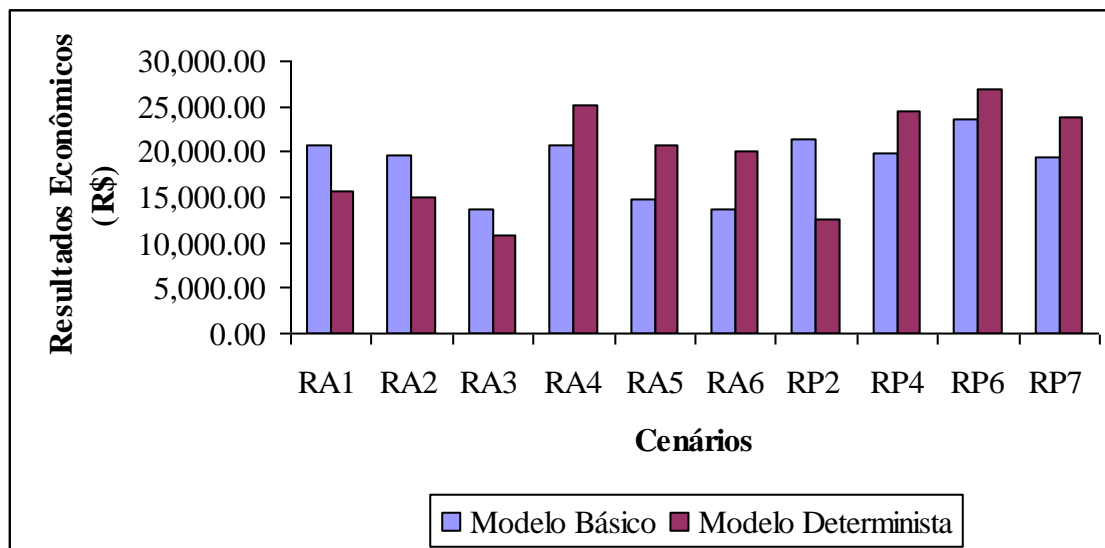
Otimizando o sistema de produção agroecológico (Tabela 3), obtém-se um resultado econômico mínimo de R\$ 13.660 e um resultado econômico sem perda de R\$ 24.931, o que levaria o agricultor a deixar de receber R\$ 11.270 considerando as possíveis perdas no preço e na produção. Se o modelo adotado for o modelo sob incerteza, o agricultor deixaria de ganhar R\$ 2.837 em relação ao modelo determinista.

Entretanto, no caso do cenário de queda de preço do tomate e da uva simultaneamente, considerando as perdas possíveis, o resultado econômico mínimo obtido no modelo sob incerteza é maior que o resultado obtido no modelo determinista, equivalendo a uma diferença de R\$ 2.956.

A Figura 2 a seguir representa a variação do resultado econômico obtido pelo agricultor nos modelos sob incerteza e determinista de otimização do sistema agroecológico referente a cada cenário agroecológico.

Figura 2

Solução da otimização do modelo agroecológico



Conforme se pode observar na Tabela 3 e na Figura 2, o modelo determinista apresenta resultados econômicos menores em relação ao modelo sob incerteza nos cenários de queda de preço do tomate e do alho, do tomate e da cebola e do tomate e da uva, e cenário de perda de produção do tomate obtendo diferenças no resultado econômico de R\$ 5.002, R\$ 4.614, R\$ 2.956 e R\$ 8.647. No entanto, apresenta resultados mais favoráveis ao agricultor nos cenários de queda de preço da cebola e do alho, queda de preço do alho e da uva e de queda de preço da cebola e da uva, com diferenças no resultado econômico de R\$ 4.391, R\$ 6.048 e R\$ 6.437 respectivamente e nos cenários de perda de produção do alho, da cebola e da uva, com diferenças de, respectivamente, R\$ 4.731, R\$ 3.323 e R\$ 4.551.

A Tabela 4 a seguir apresenta as atividades otimizadas dos modelos sob incerteza e determinista agroecológicos, onde se apresenta cada atividade escolhida pelos modelos e a quantidade de área de plantio de cada uma das mesmas.

Tabela 4**Atividades otimizadas dos modelos sob incerteza e determinista agroecológicos**

Atividades	Hectares Cultivados - Modelo Básico	Hectares Cultivados - Modelo Determinista
Tomate Agroecológico	0,04	0,17
Cebola Agroecológica	0,27	0,17
Alho Agroecológico	0,14	0,09
Horta Agroecológica	0,91	0,43
Uva Agroecológica	0,53	0,37
Aveia	0,79	0,55

Fonte: Dados da Pesquisa, 2002/03.

Embora o tomate e o alho apresentem uma maior margem bruta por hectare, R\$ 81.320 e R\$ 26.006 respectivamente, a incerteza na produção é alta, limitando a produção destas culturas fazendo com que sejam cultivadas em menor quantidade.

A horta é composta por um conjunto de atividades produzidas em menor quantidade, logo se considera que a perda de preço de uma cultura é compensada pelo aumento de preço de outra, assim também com o rendimento. Portanto, no modelo sob incerteza considerado não são relacionados cenários de perda à horta, favorecendo um plantio em maior quantidade em relação às demais áreas plantadas.

Devido às restrições de rotação de cultura, prática do sistema de produção agroecológico, a área de plantio de aveia deve ser no mínimo 1/3 da área de plantio de cebola, alho e horta e no mínimo de 1/3 da superfície agrícola utilizada para o plantio agroecológico menos a área utilizada pela uva. Assim, conforme a Tabela 4, no modelo sob incerteza a área de plantio da aveia é de 0,79 hectares e no modelo determinista o plantio de aveia é inferior, 0,55 hectares, por consequência do menor plantio das culturas envolvidas nestas restrições.

A área de plantio da uva e da cebola é maior que a área de plantio do alho e do tomate

devido à incerteza associada ao cultivo das últimas.

4.3. Análise da solução dos modelos básico e determinista

Na solução do modelo básico de concorrência, onde o sistema escolhido é o sistema de produção convencional, o resultado econômico mínimo obtido pelo agricultor é de R\$ 35.464. Já o resultado econômico mínimo obtido na otimização do sistema de produção agroecológico seria R\$ 13.660.

O agricultor obterá um resultado econômico mínimo menor na adoção do sistema agroecológico, equivalendo a uma diferença de R\$ 21.803 em relação ao sistema escolhido convencional.

O resultado econômico obtido pelo agricultor em condições normais de produção é de R\$ 66.404 e o resultado econômico em condições normais de produção no sistema agroecológico é de R\$ 24.931. Se o agricultor optasse pelo sistema agroecológico, deixaria de ganhar, segundo a solução otimizada do modelo, R\$ 41.474.

Considerando o sistema de produção convencional, o resultado econômico obtido pelo agricultor, segundo o modelo determinista, é de R\$ 71.697, e, considerando o sistema de produção agroecológico, o resultado econômico obtido no modelo determinista é de R\$ 27.768. Assim, se o agricultor optasse pelo sistema agroecológico, deixaria de ganhar, de acordo com a solução do modelo proposto, R\$ 43.929.

4.4. Análise das principais limitações para o aumento do resultado econômico do sistema agroecológico

Inicialmente é importante salientar que a variação da disponibilidade de mão-de-obra não influencia na escolha entre o sistema convencional e o agroecológico apesar de provocar

alterações significativas na escolha das culturas até um determinado número de pessoas trabalhando (Anexo 2). Por isso, os efeitos da variação da disponibilidade de mão-de-obra não serão detalhados neste trabalho.

Embora o montante de capital circulante necessário seja elevado (Anexo 3), ele não é restritivo ao funcionamento dos sistemas de produção devido à entrada regular de receitas em períodos relativamente curtos (semanal para o sistema agroecológico e quinzenal para o sistema convencional). Por esta razão os efeitos da variação de disponibilidade deste fator de produção sobre os sistemas de produção também não serão detalhados.

As restrições de rotação de culturas e de comercialização, necessárias ao sistema de produção agroecológico, limitam a produção de produtos agroecológicos não possibilitando, muitas vezes, um resultado econômico satisfatório ao agricultor.

No Quadro 1 a seguir é apresentado o resultado econômico obtido pelo agricultor se as restrições de rotação de cultura, restrições de comercialização e restrições de rotação e de comercialização simultaneamente não estivessem inseridas no modelo de otimização do sistema de produção agroecológico.

Quadro 1

Resultados econômicos do sistema agroecológico segundo o modelo básico e de modelos sem algumas das restrições limitantes

RE (R\$)	Resultado Econômico dos Modelos com Incerteza (R\$)		Resultado Econômico do Modelo Determinista (R\$)	
	Mínimo	Normal	Mínimo	Normal
Modelo Básico	13.660	24.931	10.704	27.768

A) Sem restrições de rotação de culturas	13.703	24.973	10.733	27.797
B) Sem restrições de comercialização	29.893	53.460	28.518	55.166
C) Sem restrições de rotação de culturas e comercialização	33.077	64.126	31.482	66.844

Conforme os dados apresentados no Quadro 1, se no modelo de otimização do sistema de produção agroecológico não fossem consideradas as restrições de rotação de culturas (**Anexo E e Anexo F**), não incluindo, portanto também a aveia, o resultado econômico mínimo obtido seria de R\$ 13.703 e o resultado econômico normal de R\$ 24.973. Os resultados econômicos obtidos no modelo determinista sem restrições de rotação de culturas são R\$ 10.733 para o resultado econômico mínimo e R\$ 27.797 para o resultado econômico em condições normais de produção.

Embora as restrições de rotação de culturas não fossem consideradas no modelo, estas não representariam um ganho significativo ao agricultor, o qual obteria apenas R\$ 42 a mais no resultado econômico em condições normais e R\$ 43 no resultado econômico mínimo. Já no modelo determinista sem tais restrições a diferença seria ainda menor, equivalendo a R\$ 29 no resultado econômico mínimo e no resultado econômico em condições normais.

No entanto, pode-se observar no Quadro 1, que o agricultor deixaria de ganhar R\$ 2.824 no resultado econômico em condições normais com a consideração da incerteza, mas ao mesmo tempo obteria R\$ 2.970 a mais no resultado econômico mínimo.

Agora, se no modelo de otimização do sistema de produção agroecológico não fossem consideradas as restrições de comercialização (**Anexo G**), o agricultor receberia R\$16.233 a mais no resultado econômico mínimo e R\$ 28.529 a mais no resultado econômico normal - considerando a incerteza - em relação à solução obtida no modelo agroecológico, equivalendo

a um resultado econômico mínimo de R\$ 29.893 e um resultado econômico normal de R\$ 53.460.

Já o resultado econômico em condições normais de produção obtido pelo agricultor no modelo determinista sem as restrições de comercialização (**Anexo H**) seria de R\$ 55.166, equivalendo a R\$ 1.706 a mais no resultado econômico se não for considerada a incerteza. No entanto, o agricultor receberia R\$ 1.375 a mais no resultado econômico mínimo no modelo com incerteza em relação ao modelo determinista.

Entretanto, se não fossem consideradas as restrições de rotação de culturas e as restrições de comercialização conjuntamente (**Anexo I**), conforme o Quadro 1, o resultado econômico mínimo obtido em condições de incerteza pelo agricultor seria de R\$ 33.077 e o resultado econômico normal em condições de incerteza de R\$ 64.126. Desta maneira, o agricultor receberia R\$ 19.417 a mais no resultado econômico mínimo em condições de incerteza e R\$ 39.195 a mais no resultado econômico normal sob incerteza.

O resultado normal obtido no modelo determinista sem restrições de rotação de culturas e comercialização simultaneamente (**Anexo J**) seria de R\$ 66.844, o que resulta num ganho de R\$ 39.076 no resultado econômico em relação ao modelo de otimização agroecológico.

Assim, se o agricultor adotasse o modelo determinista sem restrições de rotação de culturas e comercialização simultaneamente, o mesmo receberia R\$ 2.718 a mais no resultado econômico em condições normais, mas ao mesmo tempo, receberia R\$ 1.595 a menos no resultado econômico mínimo.

Desta forma, pode-se observar que as restrições de rotação de culturas e de comercialização são limitantes, principalmente a consideração das restrições de rotação e comercialização simultaneamente, apresentam efeitos significativos no resultado econômico

obtido pelo agricultor.

No que diz respeito às atividades do sistema de produção, pode-se observar no Quadro 2 a seguir que há uma variação na escolha das culturas de acordo com a retirada de algumas das restrições limitantes do modelo.

Quadro 2

Áreas otimizadas das atividades agroecológicas dos modelos sem algumas das restrições limitantes (hectares)

Modelos Atividades	Básico		Sem restrições de rotação		Sem restrições de comercialização		Sem restrições de rotação e comercialização	
	Básico	Determ.	Incert.	Determ.	Incert.	Determ.	Incert.	Determ.
Tomate	0,04	0,17	0,04	0,17	0,14	0,18	0,11	0,15
Cebola	0,27	0,17	0,27	0,17	1,46	1,56	2,47	1,69
Alho	0,14	0,09	0,14	0,09	0,11	0,00	0,00	0,00
Uva	0,53	0,37	0,53	0,37	0,57	0,58	0,42	1,15
Horta	0,91	0,43	0,91	0,43	0,00	0,00	0,00	0,00
Aveia	0,79	0,55	0,00	0,00	0,86	0,87	0,00	0,00

Embora o modelo sem restrições de rotação e comercialização seja o que apresenta o maior resultado econômico ao agricultor, o mesmo limita-se ao plantio de apenas três culturas (tomate, cebola e uva).

Conforme o Quadro 2, o modelo sem restrições de comercialização faria tomate, cebola, alho e uva, incluindo a aveia. O modelo determinista sem restrições de comercialização faria as mesmas culturas menos o alho, mas em proporções diferentes.

Diferentemente dos demais modelos, o modelo sem restrições de rotação de culturas faria todas as culturas, menos a aveia, a qual é excluída neste modelo.

4.4.1. Análise das principais limitações do sistema de produção agroecológico em relação ao convencional

O relaxamento das restrições de rotação e comercialização discutidas anteriormente não se mostrou suficiente para que a produção agroecológica proporcionasse um resultado econômico maior do que a produção convencional (resultados mínimos de R\$ 33.077 contra R\$ 35.464 e normais de R\$ 64.126 contra R\$ 66.404, para os sistemas agroecológico e convencional, respectivamente). Para que se pudesse analisar em que condições o sistema agroecológico pode apresentar, sob incerteza, resultados econômicos maiores do que o sistema convencional foram efetuadas algumas simulações variando-se os preços dos produtos agroecológicos e a disponibilidade de mão de obra (mantendo-se o relaxamento das restrições de rotação e de comercialização).

Em relação à mão-de-obra, as simulações indicaram que um acréscimo de 0,5 Unidade Equivalente Tempo Integral no modelo básico de concorrência sem restrições de rotação de culturas e de comercialização (**Anexo K**) influenciaria na escolha do sistema de produção, passando a ser o sistema de produção agroecológico o escolhido.

Da mesma maneira o sistema de produção agroecológico seria escolhido se o preço normal ou com perdas dos produtos aumentasse mais que o dobro em relação aos preços atuais considerados (**Anexo L**).

É interessante observar que a exigência de mão-de-obra, muitas vezes considerada como uma desvantagem importante da produção agroecológica em relação à agricultura convencional, não foi, segundo o modelo formulado, o fator mais restritivo à competitividade do sistema agroecológico, sendo mais importantes as condições de comercialização e os preços relativos.

CONCLUSÃO

Diante das condições dos modelos básico e determinista de concorrência, o sistema de produção convencional apresentou um melhor desempenho econômico em relação ao sistema agroecológico.

Apesar de os preços dos produtos agroecológicos serem mais elevados em relação aos produtos convencionais, isto não garante a escolha pelo sistema de produção agroecológico.

Impondo a escolha pelo sistema de produção agroecológico, o agricultor obteria um resultado econômico muito menor em relação ao sistema escolhido pelo modelo básico de concorrência (sistema convencional). Isto em parte se justifica pelas restrições específicas do sistema de produção agroecológicos estudadas no modelo, como a rotação de culturas e de comercialização, as quais impõem limitações na produção de determinadas culturas.

No entanto, se no modelo básico de concorrência não fossem consideradas as restrições de rotação de culturas e as restrições de comercialização o agricultor obteria um resultado econômico maior, chegando a alcançar um resultado econômico em condições normais de produção de R\$ 64.126, embora insuficiente para que houvesse a escolha da produção agroecológica, na medida em que a produção convencional, escolhida no modelo básico de concorrência, asseguraria um resultado econômico de R\$66.404.

Estes resultados indicam que o acesso a um mercado mais amplo e que permitisse maior flexibilidade entre as quantidades de produtos comercializados do que as feiras livres seria uma solução para a otimização do resultado econômico.

Constatou-se também que a mão-de-obra e o capital circulante, isoladamente, não influenciam na escolha do sistema de produção.

No entanto, sem a consideração das restrições de comercialização e de rotação, um acréscimo na disponibilidade de mão-de-obra de apenas 0,5 Unidade de Trabalho levaria à escolha da produção agroecológica. O mesmo ocorre considerando-se um acréscimo de cerca de 110% nos preços dos produtos agroecológicos. Estes resultados, especialmente no que se refere aos preços, indicam a grande dificuldade para que se possa assegurar, em termos estritamente econômicos, a competitividade da produção agroecológica em relação à convencional.

Assim, como indicação para trabalhos futuros com modelos de otimização sob incerteza sugere-se que sejam consideradas as externalidades relativas aos sistemas de produção.

De acordo com os modelos estudados pôde-se verificar que a consideração da incerteza mostrou-se significativa em relação aos resultados econômicos obtidos, apresentando resultados econômicos mínimos maiores que os resultados mínimos obtidos nos modelos deterministas.

Enfim, os resultados obtidos neste trabalho indicam que a programação matemática pode ser um instrumento muito interessante no planejamento de atividades agrícolas. A partir da elaboração de modelos de otimização sob incerteza e a utilização do critério de Wald foi possível a modelagem da incerteza de sistemas de produção agroecológicos e convencionais. Estes modelos ofereceram resultados satisfatórios e representam uma ferramenta de análise de

sistemas de produção ou sistemas de cultivo, propiciando maior segurança ao agricultor no momento da tomada de decisão.

REFERÊNCIAS

ALTIERI, M. **Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável**. 2. ed. Porto Alegre : Ed. Universidade /UFRGS, 2000.

_____. **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável**. Guaíba: Agropecuária, 2002.

ANDRADE, E. L. **Introdução à Pesquisa Operacional: Métodos e Modelos para a Análise de Decisão**. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

BONILLA, J. A. **Fundamentos da agricultura ecológica: sobrevivência e qualidade de vida**. São Paulo: Nobel, 1992.

BRAVO, R. B., **Tablas de decisión**. Disponível em: <<http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0191-03/ed99-0191-03.html>> Acesso em: 11 set. 2002.

CARUSO, R. **Cerrado Brasileiro: Desenvolvimento, Preservação e Sustentabilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1997.

EHLERS, E. **Agricultura Sustentável: Origens e perspectivas de um novo paradigma**. 2. ed. Guaíba: Agropecuária, 1999.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: Processos Ecológicos em Agricultura Sustentável.**

Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 2000.

HAZELL, P. B. R. Game Theory: An Extension of its Application to Farm Planning Under Uncertainty. **Journal of Agricultural Economics**, USA, 1970.

KAHNEMAN, D., TVERSKY, A. **Variants of Uncertainty.** In KAHNEMAN, D., TVERSKY, A. & SLOVIC, P. *Judgement und Uncertainty: Heuristic and Biases.* Editora Cambridge University Press, 1982.

KNIGHT, F. H. **Risco, incerteza e lucro.** Rio de Janeiro: Expressão e Cultura, 1972.

MARQUES, E. **Prospec: Modelo de Geração de Cenários em Planejamento Estratégico.**

Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/conhecimento/livro_ideias/livro-11.pdf> Acesso em: 15 set. 2003.

McINERNEY, J. P. **Maximin Programming: An Approach to Farm Planning Under Uncertainty.** *Journal of Agricultural Economics*, USA, 1967.

_____. **Linear Programing and Game Theory Models: Some Extensions.** *Journal of Agricultural Economics*, USA, 1969.

MOHAMED, J. M. **Elaboração de cenários: um instrumento de apoio à tomada de decisões estratégicas.** Instituto de Ensino Superior Cenecista, Unaí (MG).

POSSAS, S. **Notas acerca da racionalidade econômica.** *Economia e Sociedade*, Campinas, n.5, p. 181-187, dezembro, 1995.

PRIMAVESI, A. **Agroecologia: ecosfera, tecnosfera e agricultura.** São Paulo: Nobel, 1997.

RETZLAFF, E. **Modelagem Matemática da Incerteza em Sistemas de Produção Agropecuária com Bovinocultura de Leite**. Ijuí: UNIJUÍ, 2000. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática), Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2000.

THOMPSON Jr., A. **Tomada de decisões sob condições de certeza, risco e incerteza**. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/decon/hp/publionline/textosdidaticos/textodid06.pdf>>
Acesso em: 13 jan. 2003.

VOGTMANN, H.; WAGNER, R. **Agricultura Ecológica: Teoria & Prática**. POA: Mercado Aberto, 1987.

OBRAS CONSULTADAS

ALIER, Joan Martínez. **Da economia ecológica ao ecologismo popular**. Blumenau: Editora da FURB, 1998.

BREGALDA, P. F.; OLIVEIRA, A. A. F.; BORNSTEIN, C.T. **Introdução à Programação Linear**. 3. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1988.

DAROLT, M. R. **Agricultura Orgânica: inventando o futuro**. Londrina: IAPAR, 2002.

GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. P. L. **Otimização Combinatória e Programação Linear: Modelos e Algoritmos**. Rio de Janeiro: Campus, 2000.

HOFFMANN, Rodolfo. et al. **Administração da empresa agrícola**. 5. ed. São Paulo: Pioneira, 1987.

KHATOUNIAN, C. A. **A reconstrução ecológica da agricultura**. Botucatu: Agroecológica, 2001.

LIMA, Arlindo Jesus Prestes de, et al. **Administração da Unidade de Produção Familiar: Modalidades de Trabalho com Agricultores**. Ijuí: UNIJUÍ, 1995.

PUCCINI, A. de L., PIZZOLATO, N. D. **Programação Linear**. Rio de Janeiro, São Paulo: LTC, 1987.