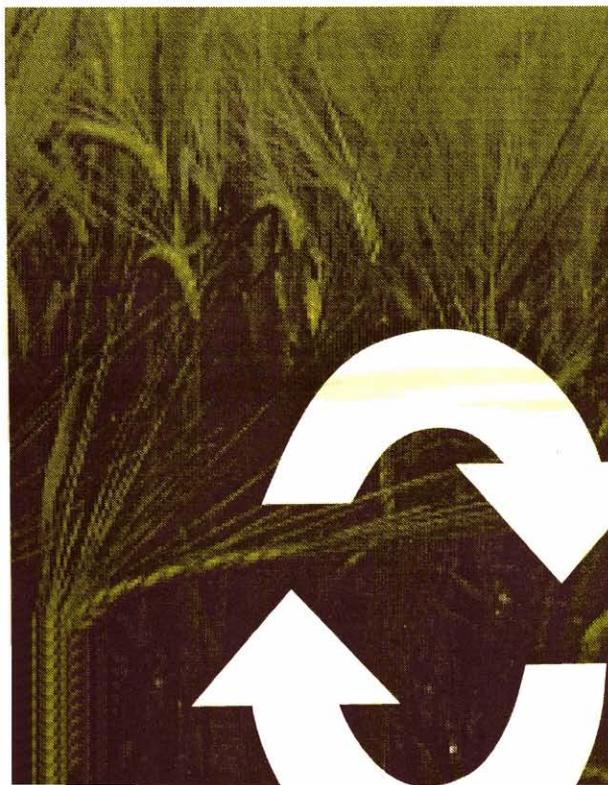
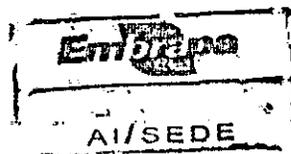


**SISTEMAS DE ROTAÇÃO DE CULTURAS PARA
CEVADA, SOB PLANTIO DIRETO, DURANTE DEZ
ANOS, EM GUARAPUAVA, PR**





**SISTEMAS DE ROTAÇÃO DE CULTURAS PARA
CEVADA, SOB PLANTIO DIRETO, DURANTE DEZ
ANOS, EM GUARAPUAVA, PR**

*Henrique Pereira dos Santos
Gilberto Omar Tomm
Ivo Ambrosi
João Carlos Ignaczak
Itacir Sandini
Juliano Luiz de Almeida*



Embrapa

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Trigo
Ministério da Agricultura e do Abastecimento*

Exemplares desta publicação podem ser solicitados à:

Embrapa Trigo
BR 285, km 174
Telefone: (054)311-3444
Fax: (054)311-3617
Caixa Postal 569
99001-970 Passo Fundo, RS

Tiragem: 1.000 exemplares

Comitê de Publicações
João Carlos Soares Moreira - Presidente
Agostinho Dirceu Didonet
Henrique Pereira dos Santos
Márcio Só e Silva
Rainoldo Alberto Kochhann
Walesca Iruzun Linhares

Tratamento Editorial: Fátima Maria De Marchi

Capa: Liciane Duda Bonatto

Referências Bibliográficas: Maria Regina Martins

Embrapa	
Unidade:	Ai - Sede
Valor aquisição:
Data aquisição:
N.º N. Fiscal/Fatura:
Fornecedor:
N.º Op.:
Origem:	Doacã
N.º Registro:	001004/08 ex. 2

SANTOS, H.P. dos; TOMM, G.O.; AMBROSI, I.;
IGNACZAK, J.C.; SANDINI, I.; ALMEIDA, J.L.
de. *Sistemas de rotação de culturas para
cevada, sob plantio direto, durante dez anos, em
Guarapuava, PR. Passo Fundo: EMBRAPA-
CNPT, 1997. 60p. (EMBRAPA-CNPT. Circular
Técnica, 9).*

*Cevada; Sistema de Rotação; Plantio Direto;
Guarapuava; Paraná; Brasil.*

CDD: 633.1608162

© Embrapa Trigo 1997

APRESENTAÇÃO

O elevado nível de risco resultante das variações climáticas e de mercado, o alto volume de investimentos e o custo exorbitante do capital fazem com que a remuneração da atividade de produção de grãos seja pequena ou até negativa em determinadas safras. A passagem da produção de grãos do sistema baseado no preparo convencional de solo para o sistema plantio direto contribuiu expressivamente para o aumento da eficiência na produção de grãos. Isso tem sido possível pelo plantio nas épocas mais indicadas, pelo menor número de horas-máquinas necessárias para a implementação das lavouras e pela redução do risco de erosão, evitando, conseqüentemente, a necessidade de replantio de lavouras atingidas por enxurradas decorrentes de precipitações elevadas durante o estabelecimento das culturas. O passo seguinte para a redução dos riscos e melhor remuneração dessa atividade consiste na identificação e uso de sistemas de rotação de culturas que aumentem a rentabilidade da lavoura.

O benefício da rotação de culturas pode ser conseqüência do efeito de culturas antecessoras na disponibilidade de nitrogênio e na supressão de doenças, de insetos e de plantas daninhas, permitindo redução no uso de insumos, tais como fertilizantes nitrogenados, fungicidas, inseticidas e herbicidas, respectivamente. Por outro lado, no sistema plantio direto a decomposição dos restos culturais, e conseqüentemente do inóculo das doenças deles dependentes, é mais lenta, aumentando a dependência de sistemas de rotação de culturas que limitem o desenvolvimento de doenças. Portanto, as informações aqui apresentadas são de importância capital para a sustentabilidade técnica, econômica e ambiental da produção de grãos.

Os trabalhos que deram origem aos resultados apresentados nesta publicação foram realizados graças à colaboração e parceria entre a Embrapa Trigo e a Cooperativa Agrária Mista Ltda., enriquecendo o acervo de exemplos da importância e do valor da cooperação e da conjugação de esforços entre pessoas e instituições.

*Gilberto Omar Tomm
Chefe Adjunto de Pesquisa
da Embrapa Trigo*

*Benami Bacaltchuk
Chefe Geral da Embrapa*

SUMÁRIO

SISTEMAS DE ROTAÇÃO DE CULTURAS PARA CEVADA, SOB PLANTIO DIRETO, DURANTE DEZ ANOS, EM GUARAPUAVA, PR....	7
Introdução.....	7
Material e Métodos.....	10
Resultados	12
Rendimentos de grãos.....	13
<i>Rendimento de grãos e severidade de doenças do sistema radicular de cevada</i>	<i>13</i>
<i>Rendimento de grãos de milho</i>	<i>14</i>
<i>Rendimento de grãos de soja</i>	<i>15</i>
<i>Fertilidade do solo</i>	<i>17</i>
<i>pH do solo.....</i>	<i>17</i>
<i>Alumínio trocável do solo.....</i>	<i>18</i>
<i>Cálcio + magnésio trocáveis do solo.....</i>	<i>19</i>
<i>Matéria orgânica do solo</i>	<i>20</i>
<i>Fósforo extraível do solo.....</i>	<i>21</i>
<i>Potássio trocável do solo.....</i>	<i>22</i>
<i>Produtividade cultural</i>	<i>23</i>
<i>Análise econômica</i>	<i>27</i>
<i>Análise de risco</i>	<i>29</i>
Conclusões.....	32
Agradecimentos	33
Referências Bibliográficas	33

SISTEMAS DE ROTAÇÃO DE CULTURAS PARA CEVADA, SOB PLANTIO DIRETO, DURANTE DEZ ANOS, EM GUARAPUAVA, PR

Henrique Pereira dos Santos¹

Gilberto Omar Tomm¹

Ivo Ambros²

João Carlos Ignaczak³

Itacir Sandini⁴

Juliano Luiz de Almeida⁴

Introdução

A cevada é, depois de trigo, a cultura de inverno economicamente mais importante para o sistema de exploração agrícola no sul do Brasil. Porém, na região de Entre Rios, Guarapuava, PR, devido à existência de indústria local de malte (Agromalte), a cevada passou a ser uma opção de cultivo tão importante quanto o trigo (Santos et al., 1991a). Em função disso, a área de cultivo de cevada encontra-se em expansão, visando atingir produção suficiente para abastecer a indústria aí localizada.

¹ Eng.-Agr., Dr., Pesquisador da EMBRAPA-Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (Embrapa Trigo), Caixa Postal 569, CEP 99001-970 Passo Fundo, RS. Bolsista do CNPq.

² Economista, M.Sc., Embrapa Trigo.

³ Eng.-Agr., M.Sc., Embrapa Trigo.

⁴ Eng.-Agr., M.Sc., Pesquisador da Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária (FAPA), CEP 85108-000 Guarapuava, PR.

As causas de menores rendimentos sob sistema plantio direto, nessa região, no início da década de 80, eram atribuídas à população inicial desuniforme; a danos nas plantas de cevada pela geada e, provavelmente, ao desequilíbrio nutricional pelo acúmulo de nutrientes na camada superficial do solo. Isso, de certa maneira, contrariava pesquisas conduzidas em outras regiões do Paraná e do Rio Grande do Sul, nas quais os rendimentos de trigo, sob sistema plantio direto, tinham sido idênticos ou mesmo ligeiramente superiores àqueles sob preparo convencional de solo (Pereira & Bouglé, 1976).

*Por outro lado, nas décadas de 70 e 80, as podridões radiculares ocorriam na quase totalidade das lavouras de cereais de inverno da região sul do Brasil, ocasionando, em determinados anos, danos severos à cultura de cevada (Reunião, 1995). Os principais fungos associados às podridões radiculares são *Bipolaris sorokiniana*, agente causal da podridão comum das raízes, e *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*, agente causal do mal-do-pé (Reis & Santos, 1993a). Sistemas de rotação de culturas adequados controlam tanto as podridões radiculares quanto as manchas foliares dos cereais de inverno. De acordo com Reis & Santos (1993b), um dos princípios de controle da rotação de culturas baseia-se na supressão do hospedeiro (substrato nutricional), limitando a sobrevivência do inóculo dessas doenças necrotróficas. A inexistência de plantas de cevada na área (cultivadas, voluntárias ou resíduos vegetais) leva à erradicação dos patógenos que delas são nutricionalmente dependentes. Em monocultura e em plantio direto, as condições para sobrevivência e para multiplicação desses patógenos são favoráveis e, por isso, a intensidade dessas doenças tende a ser máxima.*

Como consequência da rotação de culturas e do sistema plantio direto, permanecem na superfície do solo, após a colheita, os resíduos vegetais das diferentes espécies utilizadas no sistema. Nos

trabalhos realizados por Santos & Reis (1990 e 1991), por Santos (1991), por Santos et al. (1991b) e por Santos et al. (1991c), observou-se que os restos culturais de cevada e de trigo facilitaram a semeadura e o desenvolvimento de soja. O mesmo acontece quando as aveias branca e preta são manejadas com rolo faca, no florescimento. Por outro lado, os resíduos vegetais de aveia (branca e preta) para produção de grãos originam grande quantidade de palha, dificultando a semeadura e o desenvolvimento dessa leguminosa. O linho, por sua vez, proporciona menor quantidade de matéria seca, dificultando o estabelecimento e o desenvolvimento da cultura de soja.

Os resíduos vegetais de cereais, por apresentarem uma relação C/N mais elevada do que a das leguminosas, decompõem-se mais lentamente. Além disso, existem diferenças entre as leguminosas. Pelas observações de campo, as restevras de soja (no verão) e de tremoço (no inverno) têm uma velocidade de decomposição maior, em relação à da ervilhaca e à da serradela (no inverno). (Santos et al., 1990).

As exigências nutricionais de plantas variam de uma espécie para outra. Portanto, é necessário levar em conta as exigências nutricionais de cada cultura ao estabelecer-se um sistema de rotação (Santos et al., 1987). De acordo com Muzilli (1985), o sistema de rotação de culturas, em sistema plantio direto, pode produzir mudanças nas propriedades químicas do solo, cujos efeitos se refletem diretamente na fertilidade e na eficiência de aproveitamento dos nutrientes pelas plantas. A localização de corretivos e de fertilizantes aplicados nas camadas superficiais do solo, sem a sua incorporação física, igualmente altera a distribuição e o aproveitamento pelas plantas.

Tem sido observado que, ao se acrescentar novos fatores para modernizar a agricultura, existe tendência a aumentar o uso de

energia (Mello, 1986). O incremento do dispêndio de energia, por sua vez, influi nos fluxos e nas taxas de retorno do capital investido (Santos, 1992). Portanto, assume importância crescente o conhecimento do desempenho do programa de rotação, dos pontos de vista energético e econômico. A incorporação da análise de risco à avaliação econômica de tecnologia é uma ferramenta que proporciona aos economistas agrícolas e aos pesquisadores a oportunidade de analisarem as alternativas testadas, do ponto de vista de sustentabilidade e do risco que o agricultor incorre na sua adoção (Ambrosi & Fontaneli, 1994).

Este trabalho teve vários objetivos, que são os seguintes:

- Avaliar o efeito da rotação de culturas, sob plantio direto, no rendimento de grãos e na severidade de doenças do sistema radicular de cevada;*
- Observar os efeitos de diferentes sucessões de culturas sobre o rendimento de grãos de milho e de soja, em plantio direto;*
- Verificar o efeito de diferentes sistemas de rotação de culturas sobre a fertilidade de solo, em plantio direto;*
- Avaliar a produtividade cultural em quatro sistemas de rotação de culturas para cevada, sob sistema plantio direto.*
- Avaliar economicamente os quatro sistemas de rotação de culturas para cevada, sob sistema plantio direto;*
- Verificar o risco que o agricultor poderá correr na adoção de diferentes sistemas de rotação para cevada, em plantio direto.*

Material e Métodos

O experimento, base de todos os estudos relatados nesta publicação, foi realizado na Cooperativa Agrária Mista Entre Rios

Ltda., no município de Guarapuava, PR, no período de 1984 a 1993, em Latossolo Bruno Álico (EMBRAPA, 1984). Antes da instalação do ensaio, na área experimental, vinham sendo conduzidas lavôuras de cevada ou trigo, no inverno, e de milho ou soja, no verão.

Os tratamentos consistiram em quatro sistemas de rotação de culturas de inverno e de verão, tendo a cevada como espécie base dos sistemas, a saber: sistema I (100 % de cevada/100 % de soja); sistema II (50 % de cevada/50 % de soja e 50 % de ervilhaca/50 % de milho, de 1984 a 1989, e 50 % de cevada/50 % de soja e 50 % de aveia branca/50 % de soja, de 1990 a 1993); sistema III (33 % de cevada/33 % de soja, 33 % de linho/33 % de soja e 33 % de ervilhaca/33 % de milho, de 1984 a 1989, e 33 % de cevada/33 % de soja, 33 % de ervilhaca/33 % de milho e 33 % de aveia branca/33 % de soja, de 1990 a 1993); e sistema IV (25 % de cevada/25 % de soja, 25 % de linho/25 % de soja, 25 % de ervilhaca/25 % de milho e 25 % de aveia branca/25 % de soja) (Tabela 1). As culturas foram estabelecidas em plantio direto, exceto em 1989, quando foi aplicado calcário antes da semeadura das culturas de inverno. Em 1990, nos sistemas II e III, as sucessões ervilhaca/milho e linho/soja, respectivamente, foram substituídas por aveia branca/soja, a fim de possibilitar a semeadura de cevada, após soja, em todos os tratamentos.

Em abril de 1984, antes da semeadura das culturas de inverno, foram coletadas amostras de solo (0-20 cm), cujos valores médios indicavam: pH = 5,1, Al trocável = 8,9 cmolc. dm⁻³, Ca + Mg trocáveis = 58,3 cmolc. dm⁻³, matéria orgânica = 67,0 g kg⁻¹, P extraível = 3,4 mg kg⁻¹ e K trocável = 71 mg kg⁻¹. A acidez do solo da área experimental foi corrigida com 3,7 Mg ha⁻¹ (PRNT 75 %) de calcário e com 300 kg ha⁻¹ de termofosfato magnésiano Yoorin (18 % de P₂O₅, 9 % de Mg e 20 % de Ca), incorporados com grade de

discos. Posteriormente, uma segunda correção de acidez foi efetuada em 1989, sendo incorporados 11,7 Mg ha⁻¹ de calcário, com PRNT: 75 %. Amostragens de solo foram realizadas, anualmente, sempre após a colheita das culturas de inverno e de verão. A adubação de manutenção (por cultura) e a correção da acidez do solo da área foram baseadas nos dados da análise de solo da área experimental.

A semeadura, o controle de plantas daninhas e os tratamentos fitossanitários, inclusive o tratamento de sementes de aveia branca e de cevada com fungicidas, foram realizados de acordo com a recomendação para cada cultura, e a colheita foi efetuada com colhedora de parcelas. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com quatro repetições. A área útil da parcela era de 60 m² (10 m de comprimento por 6 m de largura).

O rendimento de grãos de aveia branca, de cevada, de milho e de soja foram corrigidos para umidade de 13 %, e o do linho; para umidade de 10 %. O rendimento de grãos de cevada foi corrigido em função da classificação comercial (CEVACOR) (Ignaczak et al., 1980).

Em 1989, os rendimentos das culturas de inverno foram perdidos, em função de precipitação de granizo. Em 1990, o linho não foi colhido, devido à precipitação de granizo.

Resultados

Os rendimentos de grãos de cada cultura componente dos diferentes sistemas de rotação, obtidos nos dez anos de estudo, encontram-se na Tabela 2. Os rendimentos de grãos de cevada, durante o período, no sistema I variaram de 1.480 a 4.994 kg ha⁻¹, enquanto no sistema II variaram de 1.870 a 5.794 kg ha⁻¹; no sistema III variaram de 1.850 a 5.806 kg ha⁻¹, e no sistema IV variaram de

1.808 a 6.063 kg ha⁻¹. Os rendimentos de grãos de milho, nos dez anos, oscilaram de 5.115 a 9.846 kg ha⁻¹. Os rendimentos de grãos de soja, durante o período, variaram de 1.681 a 4.193 kg ha⁻¹, nos diferentes sistemas estudados.

Rendimentos de grãos

Rendimento de grãos e severidade de doenças do sistema radicular de cevada

A avaliação do grau de severidade das doenças do sistema radicular de cevada (*Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* e *Bipolaris sorokiniana*) foi procedida de acordo com o método utilizado por Reis et al. (1985). As cultivares de cevada utilizadas foram Antartica 5, em 1987, 1988 e 1990, e BR 2, em 1991, 1992 e 1993.

Foi realizada a análise de variância das características agronômicas de cevada (dentro de cada ano e na média conjunta dos dados de 1987 a 1993). Considerou-se o efeito de tratamentos (diferentes sistemas de rotação) como fixo, e o efeito do ano, como aleatório. Os dados originais foram transformados em arcoseno \sqrt{x} para análise da severidade de doenças do sistema radicular. As médias foram comparadas entre si pela aplicação do teste de Duncan, ao nível de 5 % de probabilidade.

A severidade de doenças do sistema radicular e o rendimento de grãos de cevada foram avaliados a partir de 1987, ano em que se completou o primeiro ciclo de rotação, possibilitando observar o sistema de rotação de culturas com três invernos sem cevada. Os dados relativos à cultura de cevada de 1989, exceto a severidade das doenças do sistema radicular, não foram coletados, em função de uma precipitação de granizo. Em 1990 e em 1992, não foi realizada a determinação da severidade de doenças do sistema radicular.

A severidade de doenças do sistema radicular de cevada (Tabela 3) diferiu entre os sistemas de rotação nos anos de 1987, 1988, 1989 e 1991 e na média conjunta dos anos. Os valores mais elevados para severidade do mal-do-pé e da podridão comum ocorreram na monocultura (sistema I = 32 %), em relação a um inverno (sistema II = 15 %), a dois invernos (sistema III = 15 %) e a três invernos sem essa gramínea (sistema IV = 15 %).

Com relação ao rendimento de grãos de cevada (Tabela 4), em 1987, 1991 e 1992 e na média conjunta dos anos, em sistema plantio direto, houve diferenças significativas entre os sistemas de rotação. Na média dos anos, o menor rendimento de grãos ocorreu na monocultura de cevada (sistema I = 2.747 kg/ha), em comparação com um inverno (sistema II = 3.064 kg/ha), com dois invernos (sistema III = 3.163 kg/ha) e com três invernos sem cevada (sistema IV = 3.338 kg/ha).

Na comparação entre os sistemas estudados (Tabelas 3 e 4) ao longo dos anos, ficou demonstrada a eficiência da rotação de culturas (sistemas II, III e IV) no controle das doenças do sistema radicular de cevada, para a região de Guarapuava, PR. A rotação de culturas viabilizou o plantio direto, em relação ao controle de doenças do sistema radicular de cevada.

Ficou demonstrado também que o sistema de cultivo com um inverno sem cevada pode ser recomendado. De acordo com Zentner et al. (1990), o sistema de um inverno de rotação de culturas para cevada foi o que proporcionou o melhor retorno econômico.

Rendimento de grãos de milho

Foi realizada a análise de variância dos dados relativos ao rendimento de grãos de milho (dentro de cada ano e na média conjunta dos anos de 1984 a 1989 e de 1990 a 1993). Os resultados

do rendimento de grãos de milho foram, para fim de análises, divididos em dois períodos, de 1984 a 1989 e de 1990 a 1993, pois os tratamentos com essa gramínea passaram de três para duas sucessões após a ervilhaca. Isso decorre da substituição, em 1990, no sistema II, da sucessão ervilhaca/milho por aveia branca/soja. Considerou-se o efeito de tratamentos (diferentes restevias de inverno) como fixo, e o efeito do ano, como aleatório. As médias foram comparadas entre si pelo teste de Duncan, ao nível de 5 % de probabilidade.

No período de 1984 a 1989 (média conjunta), o milho cultivado após ervilhaca não diferiu para rendimento de grãos (Tabela 5) nas seguintes sucessões: ervilhaca/milho e cevada/soja (sistema II); ervilhaca/milho, cevada/soja e linho/soja (sistema III); e ervilhaca/milho, cevada/soja, linho/soja e aveia branca/soja, (sistema IV). Da mesma forma, não apresentou diferenças significativas entre as médias para rendimento de grãos, o milho cultivado, de 1990 a 1993 (média conjunta), após ervilhaca nas sucessões ervilhaca/milho, aveia branca/soja e cevada/soja (sistema III); e ervilhaca/milho, aveia branca/soja, cevada/soja e linho/soja (sistema IV) (Tabela 6). No ano de 1993, o milho após ervilhaca, na sucessão ervilhaca/milho, aveia branca/soja, cevada/soja e linho/soja (sistema IV), apresentou maior rendimento de grãos do que o milho após ervilhaca, na sucessão ervilhaca/milho, aveia branca/soja e cevada/soja (sistema III).

Rendimento de grãos de soja

Foi realizada a análise de variância dos dados relativos ao rendimento de grãos de soja (dentro de cada ano e na média conjunta dos anos de 1984 a 1989 e de 1990 a 1993). A análise dessa variável foi dividida em dois períodos, de 1984 a 1989 e de 1990 a 1993, porque os tratamentos com essa leguminosa passaram de sete

para oito sucessões, após as culturas de inverno. Isso decorreu da substituição, em 1990, no sistema II, da sucessão ervilhaca/milho por aveia branca/soja, referida anteriormente. Considerou-se o efeito de tratamentos (diferentes culturas precedentes e restevas de inverno) como fixo, e o efeito do ano, como aleatório. As médias foram comparadas entre si pelo teste de Duncan, ao nível de 5 % de probabilidade.

No período de 1984 a 1989, o rendimento de grãos apresentou diferenças significativas entre as médias (Tabela 7). Os melhores rendimentos de grãos manifestaram-se onde a soja foi cultivada após cevada, nos sistemas III, IV, II e I, e após aveia branca, no sistema IV. Todavia, as quatro últimas sucessões (cevada após cevada, nos sistemas IV, II e I; e após aveia branca, no sistema IV) foram similares à de soja após linho, no sistema IV. A soja cultivada após as sucessões com linho, no sistema III, apresentou valores menores para rendimento de grãos.

Foram detectadas diferenças significativas entre as médias conjuntas de rendimento de grãos, no período de 1990 a 1993 (Tabela 8). Os maiores rendimentos de grãos ocorreram nos tratamentos em que a soja foi cultivada após cevada, nos sistemas II, III e IV, e após aveia branca, nos sistemas III, II e IV. Entretanto, as últimas cinco sucessões foram semelhantes à de soja em monocultura (sistema I). O menor rendimento de grãos foi observado em soja após linho (sistema IV).

Deve ser levado em conta que, nos dois tratamentos do sistema II houve monocultura de soja, de 1990 a 1993. Entretanto, nesse período, pela observação de campo, foi registrada incidência relativamente baixa de doenças da parte aérea, sem aparente efeito no rendimento de grãos dessa leguminosa.

No caso de linho e de soja, os menores valores para rendimento de grãos da leguminosa relacionaram-se diretamente às

características da lineácea. De acordo com Roman (1990), o linho não tem proporcionado adequada cobertura de solo (1,2 Mg ha⁻¹ de palha), em comparação com a aveia branca (7,4 Mg ha⁻¹ de palha) ou com a cevada (2,4 Mg ha⁻¹ de palha), como observado neste experimento. Verificou-se que, na maioria dos anos, a soja antecedida pelo linho emergiu mais lentamente, por ter sido semeada a maior profundidade, em relação às demais restevas. Além disso, a pouca cobertura de solo, originada pela palha de linho, reteve menor quantidade de umidade do que a cobertura de solo das demais espécies de inverno. Isso foi de suma importância quando ocorreram períodos secos durante o crescimento e o desenvolvimento de soja. A quantidade, relativamente menor, de palha de linho não parece ser adequada para o estabelecimento da cultura de soja.

Fertilidade do solo

Em novembro de 1988, após as culturas de inverno, e em maio de 1994, após as culturas de verão, foram coletadas amostras de solo compostas (seis subamostras por parcela) nas profundidades 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm. As análises (pH em água, P extraível, K trocável, matéria orgânica, Al trocável e Ca + Mg trocáveis) seguiram a metodologia descrita por Tedesco et al. (1985). A fertilidade do solo, sob diversos sistemas de rotação de culturas para cevada e em diferentes profundidades de amostragem de solo, foi comparada através de contrastes com um grau de liberdade (Steel & Torrie, 1980).

pH do solo

O pH do solo em todos os sistemas, nas camadas 0-5 e 5-10 cm (Tabela 9), era menor em novembro de 1988 do que na camada 0-20 cm de profundidade antes da instalação do experimento

(5,10). Como haviam se passado 4,5 anos desde a aplicação de calcário (abril de 1984), observou-se uma perda do efeito residual da calagem.

Em maio de 1994, o valor de pH do solo (5,58 a 6,00), em todas as camadas estudadas (Tabela 10), era mais elevado, em relação ao valor verificado por ocasião da instalação do experimento (1984). Nesta oportunidade, observou-se bom efeito residual do calcário, o que pode estar relacionado com a quantidade de calcário aplicado em abril de 1984 foram aplicados 3,7 Mg ha⁻¹ (PRNT 75 %); e em abril de 1989, 11,7 Mg ha⁻¹ (PRNT 75 %). Assim, a quantidade da primeira aplicação foi insuficiente para manter o pH do solo em nível desejado (entre 5,50 e 6,00).

Em 1988, o sistema II apresentou valor de pH do solo maior do que o sistema IV, na profundidade 0-5 cm (Tabela 9). Em 1994, na profundidade 0-5 cm, os sistemas II e III mostraram valor de pH do solo (Tabela 10) menor, em comparação com o sistema IV. Todavia, essas diferenças não são agronomicamente relevantes.

Em 1988 (Tabela 9) e 1994 (Tabela 10), entre determinadas profundidades de amostragem, foram verificadas diferenças significativas de pH do solo, em alguns sistemas. Em 1988, o pH do solo (Tabela 9) elevou-se gradativamente com o aumento na profundidade de amostragem de solo (de 4,78-4,90 para 5,10-5,20). Em 1994, tendência inversa foi observada, de 5,84-5,93, na camada de 0-5 cm, e de 5,58-5,63, na camada 15-20 cm (Tabela 10).

Alumínio trocável do solo

Os valores de Al trocável do solo, na camada 0-5 cm, nos sistemas III (9,7 cmol_c dm⁻³) e IV (10,1 cmol_c dm⁻³), foram mais elevados em novembro de 1988, em relação ao valor registrado antes da instalação do ensaio (8,9 cmol_c dm⁻³), na camada de

0-20 cm (Tabela 11). Os demais valores de Al trocável, nas diferentes profundidades de amostragem e nos sistemas I e II, situaram-se abaixo do valor obtido por ocasião da instalação do experimento.

Na avaliação realizada em maio de 1994, os valores de Al trocável do solo (Tabela 12), em todos os sistemas de rotação e em todas as profundidades (0,0 a 1,3 cmolc dm^{-3}), foram menores do que os valores registrados por ocasião da instalação do experimento. A diminuição dos teores de Al trocável, em relação aos valores observados em novembro de 1988, está relacionada à quantidade de calcário aplicada em abril de 1989.

Não houve diferenças significativas entre os teores de Al trocável do solo dos diferentes sistemas de rotação, nas avaliações realizadas em 1988 e 1994. Isso, por sua vez, está relacionado e em consonância com os valores de pH do solo (Tabelas 9 e 10).

Em ambas as avaliações, foram registradas diferenças significativas de Al trocável entre determinadas profundidades de amostragem de solo em todos os sistemas de rotação. Em 1988, os valores de Al trocável do solo diminuíram da camada 0-5 cm para a camada 15-20 cm (de 7,3-10,1 para 3,9-6,0 cmolc dm^{-3} , respectivamente) (Tabela 11). Em 1994, observou-se tendência inversa (de 0,0-0,1 para 0,8-1,3 cmolc dm^{-3} , respectivamente) (Tabela 12).

Cálcio + magnésio trocáveis do solo

O valor médio de Ca + Mg trocáveis do solo apresentados nas Tabelas 13 e 14, em todas as camadas, é considerado alto para o crescimento e desenvolvimento das culturas da região (Reunião, 1995). Isso, deveu-se à aplicação de 3,7 Mg ha^{-1} de calcário (PRNT 75 %) em abril de 1984, para corrigir a acidez do solo da área experimental antes da instalação do ensaio, e de 11,7 Mg ha^{-1} (PRNT 75 %) de calcário, após cinco anos de condução do ensaio.

Em 1988, somente o sistema II mostrou teor de Ca + Mg trocáveis (70,1 cmol_c dm⁻³) maior, em relação ao sistema III (60,4 cmol_c dm⁻³), na camada 0-5 cm (Tabela 13). Em 1994, somente o sistema IV apresentou teor de Ca + Mg trocáveis (131,3 cmol_c dm⁻³) mais elevado do que o sistema II (115,7 cmol_c dm⁻³), na camada 5-10 cm (Tabela 14). Entre os demais sistemas, não houve diferenças significativas nessa camada de solo. Nas demais profundidades de amostragem de solo, também foram observadas diferenças entre os diferentes sistemas de rotação, em ambas as avaliações.

Nas duas datas de avaliações, foram observadas diferenças significativas nos teores de Ca + Mg trocáveis do solo, em determinadas profundidades de amostragem, em alguns sistemas de rotação (Tabelas 13 e 14). Em 1988, o teor de Ca + Mg trocáveis (Tabela 13) aumentou da camada 0-5 cm (60,4-70,1 cmol_c dm⁻³) para a camada 10-15 cm (72,9-89,0 cmol_c dm⁻³), e esses valores (10-15 cm) não diferiram daqueles observados na camada 15-20 cm. Em 1994, verificou-se tendência inversa (0-5 cm = 126,3-130,4 e 15-20 cm = 94,6-98,3 cmol_c dm⁻³) (Tabela 14).

Matéria orgânica do solo

Em 1988, os valores de matéria orgânica na camada 0-5 cm, em todos os sistemas envolvendo rotação de culturas (II, III e IV), foram superiores ao teor verificado para o sistema I. A substituição de cevada/soja por ervilhaca/milho, em anos alternados (sistema II), por ervilhaca/milho e por aveia branca/soja (sistema III), em dois anos, e por ervilhaca/milho, linho/soja e aveia branca/soja (sistema IV); em três anos, foi suficiente para determinar um acréscimo significativo no teor de matéria orgânica na superfície do solo (0-5 cm). Roman (1990) observou que as culturas de aveia branca (7,4 Mg ha⁻¹) e de ervilhaca

(4,6 Mg ha⁻¹) produzem mais biomassa na parte aérea da planta do que a cevada (3,0 Mg ha⁻¹), enquanto o linho tem a menor biomassa (1,2 Mg ha⁻¹). A diferença cumulativa no aporte de biomassa de aveia branca e de ervilhaca, no inverno, e de milho, no verão, contribuiu para manter o teor de matéria orgânica mais elevado nos sistemas II, III e IV do que no sistema I, na camada 0-5 cm. Nas demais camadas de solo, não houve diferenças significativas entre os sistemas para os valores de matéria orgânica.

Em 1994, não houve diferenças significativas entre os teores de matéria orgânica dos diferentes sistemas de rotação (Tabela 16).

Nas amostras de solo coletadas em 1988 e 1994, foram verificadas diferenças significativas em matéria orgânica entre determinadas profundidades de amostragem do solo, em alguns sistemas de rotação (Tabelas 15 e 16). No ano de 1988, para os valores de matéria orgânica do solo (Tabela 15), no sistema II, houve redução progressiva da camada superficial (69,4 g ha⁻¹) para a camada mais profunda (65,9 g ha⁻¹). Essa diferença foi confirmada em 1994, entre as camadas 0-5 cm (56,6 g kg⁻¹) e 15-20 cm (49,6 g kg⁻¹) (Tabela 16). A manutenção do teor de matéria orgânica em valores mais elevados apenas na camada superficial do solo decorre do acúmulo de resíduos vegetais sobre a superfície do solo sob sistema plantio direto em função da ausência de incorporação física destes através do revolvimento do solo, praticada no plantio com preparo convencional de solo, a qual diminui a taxa de mineralização.

Fósforo extraível do solo

Em 1988, o teor de P extraível na camada superficial (0-5 cm) (Tabela 17) dos sistemas I, III e IV foi igual ou superior ao valor considerado crítico, nesse tipo de solo (9,0 mg kg⁻¹), para crescimento

e desenvolvimento das culturas (Reunião, 1995): No ano de 1994, o teor de P extraível, em todas as camadas (Tabela 18), esteve abaixo desse valor. Nas avaliações realizadas, nem todo o teor de P extraível nas camadas estudadas aumentou em relação ao teor medido antes do início do experimento na camada 0-20 cm (3,4 mg ha⁻¹).

Nos anos em que se avaliou a fertilidade do solo (1988 e 1994), os valores de P extraível não apresentaram diferenças significativas entre os sistemas de rotação (Tabelas 17 e 18). Entretanto, em todos os sistemas foram verificadas diferenças significativas nos valores de P extraível entre determinadas profundidades de amostragem. No ano de 1988, em todos os sistemas, o teor de P extraível na camada 0-5 cm (8,4-9,2 mg kg⁻¹) foi aproximadamente o dobro do teor registrado na camada 15-20 cm (3,9-4,6 mg kg⁻¹) (Tabela 17). Da mesma forma, em 1994, em todos os sistemas estudados, o teor de P extraível na camada 0-5 cm (6,1-7,1 mg kg⁻¹) também atingiu o dobro do teor verificado na camada 15-20 cm (2,6-2,9 mg kg⁻¹) (Tabela 18). Segundo Sidiras & Pavan (1985), o acúmulo de P extraível próximo da superfície do solo decorre das aplicações anuais de fertilizantes fosfatados, da liberação de P durante a decomposição dos resíduos vegetais e da menor fixação de P, devido ao menor contato desse elemento com os constituintes inorgânicos do solo.

Potássio trocável do solo

Em 1988, o teor de K trocável verificado nas camadas 0-5 cm e 5-10 cm (Tabela 19) foi superior ao valor considerado crítico (80 mg kg⁻¹) para crescimento e desenvolvimento das culturas (Reunião, 1995). Isso foi igualmente verdadeiro para a maioria dos valores de K trocável observados em 1994, em todas as camadas estudadas (Tabela 20). Na primeira avaliação (1988), o teor de K trocável obser-

vado nas camadas 0-5 e 5-10 cm (96 a 166 mg kg⁻¹) manteve-se acima do teor registrado antes do início desse experimento na camada 0-20 cm (71 mg kg⁻¹). Na segunda avaliação (1994), o teor de K trocável observado em todas as camadas (91 a 187 mg kg⁻¹) situou-se próximo ou acima desse valor.

Em 1988, os sistemas não diferiram para os valores de K trocável, nas camadas 0-5 cm e 15-20 cm (Tabela 19). Por outro lado, o teor de K trocável, na camada 5-10 cm, foi mais elevado no sistema II (129 mg kg⁻¹) do que nos sistemas III (101 mg kg⁻¹) e IV (98 mg kg⁻¹). O sistema II (83 mg kg⁻¹) apresentou valor superior ao sistema IV (63 mg kg⁻¹), na camada 10-15 cm. Em 1994, o teor de K trocável, na camada 0-5 cm (Tabela 20), foi maior no sistema II (187 mg kg⁻¹), em comparação ao sistema III (151 mg kg⁻¹).

Entre a maioria das profundidades de amostragem de solo, nos sistemas de rotação avaliados, em ambas as avaliações (1988 e 1994) foram verificadas diferenças significativas em teor de K trocável. Nessas observações, os sistemas apresentaram teores de K trocável mais elevados na camada 0-5 cm, em relação à camada 15-20 cm (Tabelas 19 e 20). A exemplo do verificado com P extraível, também houve acúmulo de K trocável nas camadas próximas da superfície, nos diferentes sistemas de rotação. Em 1988, o teor de K trocável, na camada 0-5 cm (de 137 a 166 mg kg⁻¹), foi 2,2 a 3,1 vezes maior que a concentração observada na camada 15-20 cm (de 53 a 62 mg kg⁻¹) (Tabela 19). Tendência semelhante foi observada em 1994 (0-5 cm = de 166 a 187 mg kg⁻¹ e 15-20 cm = de 69 a 82 mg kg⁻¹) (Tabela 20).

Produtividade cultural

A produtividade cultural foi determinada nos quatro sistemas de rotação de culturas para cevada. A avaliação da produtividade

cultural dos sistemas estudados foi baseada no índice adaptado de Mello (1986), o qual resulta da divisão do rendimento de grãos (kg ha^{-1}) de cada espécie pela energia cultural. Denomina-se energia cultural a energia gasta na obtenção de um bem ou um serviço, como, por exemplo, a energia gasta para se obter um kg de calcário (400,00 Mcal) ou a energia gasta para arar o solo (5,19 Mcal por hora). O índice adotado, o qual fornece os resultados em kg Mcal^{-1} , é denominado "produtividade cultural" ou "eficiência energética" e pode ser representado pela seguinte fórmula:

$$\text{Produtividade cultural} = \frac{\text{rendimento de grãos (kg ha}^{-1}\text{)}}{\text{energia cultural (Mcal ha}^{-1}\text{)}}$$

Para o cálculo dos diversos índices, envolvendo insumos e operações de campo, foram utilizados dados e orientações gerados por Heichel (1980), por Pimentel (1980) e por Felipe Junior et al. (1984). No caso da ervilhaca, foi considerada como rendimento a contribuição ao solo de $90 \text{ kg de N ha}^{-1}$ (Derpsch & Calegari, 1992).

Foi efetuada a análise de variância da produtividade cultural, dentro de cada ano (inverno + verão) e na média conjunta dos anos, nos dois períodos 1984 a 1989 e 1990 a 1993. A análise de variância conjunta foi aplicada a esses dois períodos em diferentes anos, devido às alterações efetuadas nos sistemas II e III, a partir de 1990. Na análise de variância anual, consideraram-se como tratamentos as parcelas individuais (culturas) componentes dos sistemas em estudo. Nas análises conjuntas, considerou-se o efeito tratamento (sistemas de rotação) como fixo, e o efeito do ano, como aleatório. A avaliação dos sistemas, em todas as análises, foi realizada através do teste *F*, usando-se contrastes que incluem os diferentes tratamentos e sistemas de rotação envolvidos em cada comparação.

Essa metodologia de contrastes (Steel & Torrie, 1980) compara os sistemas dois a dois em unidade de base homogênea.

As médias de produtividade cultural anuais é dos dois períodos (1984 a 1989 e 1990 a 1993) e a comparação estatística, através de contrastes, dos quatro sistemas de rotação de culturas para cevada podem ser observadas na Tabela 21. As alterações feitas nos sistemas II e III, a partir de 1990, trocando, no sistema II, ervilhaca/milho por aveia branca/soja e, no sistema III, linho/soja por aveia branca/soja, causaram impacto negativo no índice de produtividade cultural do sistema II e pouco impacto no do sistema III, respectivamente. Pode-se verificar isso examinando as comparações entre esses dois sistemas, nos dois períodos, ou através dos próprios valores obtidos pelos sistemas II e III, antes e depois das alterações.

No caso do sistema II, quando comparado ao sistema I, antes da alteração, este foi sempre superior, enquanto após a modificação mostrou-se superior em dois anos e não diferiu nos outros dois anos. Fazendo-se a mesma observação com relação ao sistema IV, vê-se que, o sistema II superou-o em todos os anos de 1984 a 1989 e, após a modificação, foi inferior em 1990, superior em 1992 e não diferiu em 1991 e em 1993. Se verificarmos os próprios valores médios anuais do índice de produtividade cultural obtidos pelo sistema II, vê-se que, no primeiro período (1984 a 1989), na quase totalidade dos anos, ele apresentou índices acima de 2,00 kg Mcal¹, resultando na média geral de 2,19 kg Mcal¹. Já no segundo período (1990 a 1993), as médias anuais estiveram abaixo de 2,00 kg Mcal¹, resultando na média de 1,89 kg Mcal¹.

Com relação ao sistema III, as comparações anuais dos índices de produtividade cultural com os sistemas I e IV, nos dois períodos, indicam pequenas alterações, sendo que em ambos o sistema II não diferiu ou foi superior. Examinando os valores médios

do próprio sistema III, antes e depois da modificação, nota-se que no segundo período foram obtidos índices de produtividade cultural em torno de 2,00 kg Mcal¹ com maior freqüência que no primeiro período, resultando na média conjunta de 2,02 kg Mcal¹, contra a de 1,89 kg Mcal¹ no período de 1984 a 1989.

A análise de variância conjunta dos experimentos, para produtividade cultural, nos dois períodos, mostrou significância para os efeitos tratamentos (culturas de inverno + culturas de verão), anos e interação tratamentos x anos. Entretanto, a comparação dos sistemas, através de contrastes, indicou diferenças, entre as médias gerais dos quatro sistemas, apenas no período de 1984 a 1989. Neste, os sistemas II (2,19 kg Mcal¹) e III (1,89 kg Mcal¹) diferiram do sistema I (1,54 kg Mcal¹) aos níveis de probabilidade de 1 % e de 5 %, respectivamente, mostrando que apresentaram melhor conversão de energia, em termos de índice de produtividade cultural, do que a monocultura cevada/soja (sistema I). O sistema IV manifestou desempenho médio (1,81 kg Mcal¹) no período, não diferindo do sistema I. O sistema II mostrou superioridade, em relação aos sistemas III e IV, no geral do período, aos níveis de probabilidade de 5 % e de 1 %, respectivamente; Por sua vez, os sistemas III e IV não diferiram para produtividade cultural.

De 1990 a 1993, os quatro sistemas estudados (I, II, III e IV) com índices médios de 1,68 kg Mcal¹, 1,89 kg Mcal¹, 2,02 kg Mcal¹ e 1,88 kg Mcal¹, respectivamente, não diferiram estatisticamente. Há de se considerar que, no período 1990 a 1993, foram envolvidos resultados de quatro anos de experimentação, enquanto o período anterior (1984 a 1989) envolveu seis anos de avaliações, o que resulta na diminuição de graus de liberdade da interação tratamentos x anos, efeito utilizado como erro, para fins de comparação de contrastes de tratamentos (45 para 27). Isso, em parte, pode explicar

a não captação de diferenças significativas no segundo período, aliado ao fato da queda no desempenho do sistema II, devido à modificação feita em 1990, o que fez com que sua performance se aproximasse da dos demais.

Deve-se salientar que, embora não tenham ocorrido diferenças significativas entre os índices avaliados dos quatro sistemas, no período 1990 a 1993, os sistemas III e II apresentaram, anualmente, produtividade cultural não diferente ou superior à do sistema I, o que permite afirmar que os dois sistemas são alternativas melhores do que o binômio cevada/soja (sistema I). Dentre os dois sistemas alternativos, o sistema III apresenta-se melhor que o sistema II, pois, nos quatro anos do período estudado, obteve índices de produtividade cultural superiores em dois anos e estatisticamente equivalente nos outros dois.

Análise econômica

A análise econômica foi determinada para os quatro sistemas de rotação de culturas para cevada. Entende-se por receita líquida a diferença entre a receita bruta (rendimento de grãos das espécies em estudo x preço de venda como produto comercial) e os custos totais [custos variáveis (custos dos insumos + custos das operações de campo) e custos fixos (exemplo: depreciações de máquinas e equipamentos e juros sobre o capital)]. Os custos com insumos, com as operações de campo, com a receita bruta e com a receita líquida foram levantados em outubro de 1994.

Foi efetuada a análise de variância da receita líquida dentro de cada ano (inverno + verão), na média conjunta dos anos e nos dois períodos de 1984 a 1989 e de 1990 a 1993. A análise de variância

conjunta foi aplicada a esses dois períodos, devido às alterações efetuadas nos sistemas II e III, a partir de 1990. Na análise de variância anual, consideraram-se como tratamentos as parcelas individuais (culturas) componentes dos sistemas em estudo. Nas análises conjuntas, considerou-se o efeito tratamento como fixo, e o efeito do ano, como aleatório. A avaliação dos sistemas, em todas as análises, foi realizada através do teste F usando-se contrastes que incluem os diferentes tratamentos dos sistemas de rotação envolvidos em cada comparação. Essa metodologia de contrastes (Steel & Torrie, 1980) compara os sistemas dois a dois em uma unidade de base homogênea.

As médias das receitas líquidas anuais e dos dois períodos (de 1984 a 1989 e de 1990 a 1993) e a comparação estatística, através de contrastes, dos quatro sistemas de rotação desses períodos de estudo podem ser observadas na Tabela 26. As análises de variância conjunta dos anos, para receita líquida, nos dois períodos, apresentaram significância para os efeitos anos e para a interação anos x tratamentos. Para o efeito tratamento, não houve diferenças para receita líquida, em ambos os períodos (Tabela 26).

Assim, no período de 1984 a 1989, os sistemas I (R\$ 196,76), II (R\$ 293,26), III (R\$ 242,69) e IV (R\$ 239,55) não diferiram significativamente entre si para a média da receita líquida (Tabela 22). Da mesma forma, no período de 1990 a 1993, os sistemas I (R\$ 370,04), II (R\$ 447,62), III (R\$ 400,46) e IV (R\$ 349,43) não mostraram diferenças significativas entre as médias. Na análise do primeiro período de condução deste estudo, com levantamento de preços em maio de 1989, em que 1 US\$ = 55 NCR\$, Zentner et al. (1990) verificaram receita líquida mais elevada no sistema II (US\$ 397,00) do que nos sistemas I (US\$ 146,00), III

(US\$ 303,00) e IV (US\$ 252,00). Por outro lado, os sistemas III e IV foram superiores ao sistema I.

Comparando-se a receita líquida anual (inverno + verão) dos dois períodos estudados, ocorreram diferenças significativas na maioria dos anos, exceto em 1984. O sistema II foi a melhor alternativa, em relação aos sistemas I, III e IV, visto suas rendas líquidas anuais terem sido sempre estatisticamente superiores às dos demais sistemas estudados ou deles não terem diferido.

O milho, neste período de estudo, foi a espécie que mostrou maior rendimento de grãos (Tabela 2) e, conseqüentemente, maior retorno econômico. A ervilhaca, que teve menor desempenho econômico, no inverno, foi compensada pelo milho, no verão.

Nas avaliações anuais, podem-se verificar os efeitos benéficos da rotação de culturas (sistemas II, III e IV) na utilização de ervilhaca como cobertura de solo e/ou como adubação verde, em comparação com a monocultura cevada/soja (sistema I). Deve ser levado em consideração que, em milho, não foi usada adubação nitrogenada de cobertura.

Análise de risco

A análise da média variância da receita líquida e a análise de risco foram realizadas para os quatro sistemas de rotação de culturas para cevada. Foi efetuada a análise de variância (média variância) da receita líquida na média conjunta dos anos e nos dois períodos, 1984 a 1989 e 1990 a 1993. A análise da variância conjunta foi aplicada separadamente, a essas duas seqüências, devido às alterações efetuadas nos sistemas II e III a partir de 1990. As médias foram comparadas entre si pela aplicação do teste de Duncan, ao nível de 5 % de probabilidade.

Paralelamente, foi aplicado à receita líquida o programa para computador denominado "Biorisco" ou "Pacta", que é baseado no critério de simetria de Hanoch & Levy (1970). Esse programa compara as alternativas, duas a duas, dos pontos de vista de rentabilidade e de risco (distribuição de probabilidade acumulada, twentiles, e da dominância estocástica, pairwise), conforme descrito por Cruz (1980). Com base nas distribuições de probabilidades acumuladas (método Monte Carlo), foram obtidos intervalos da margem líquida com 5 % de probabilidade em cada intervalo (twentiles).

Os dados da receita líquida da média variância, da distribuição de probabilidade acumulada da receita líquida e da dominância estocástica dos quatro sistemas de rotação de culturas para cevada, nos dois períodos (de 1984 a 1989 e de 1990 a 1993), podem ser observados nas Tabelas 23 a 28.

No período de 1984 a 1989, os sistemas II (R\$ 293,26), III (R\$ 242,69) e IV (R\$ 239,55) mostraram valores mais elevados para a receita líquida (Tabela 23). Entretanto, os sistemas III e IV não diferiram significativamente do sistema I (R\$ 196,76). Por outro lado, o destaque ficou com o sistema II que apresentou menor variância (R\$ 136,02), em relação aos sistemas III (R\$ 173,42) e IV (R\$ 159,89). No período 1990 a 1993, os sistemas I (R\$ 370,04), II (R\$ 447,62) e III (R\$ 400,46) apresentaram valores mais elevados para a receita líquida (Tabela 24). Contudo, os sistemas I e III foram semelhantes ao sistema IV (R\$ 349,43). De outra forma, salientou-se o sistema II que mostrou a menor variância (R\$ 138,80) do que os sistemas I (R\$ 151,44) e III (R\$ 156,94).

Essa técnica, às vezes, não permite a melhor tomada de decisão. Para superar tal dificuldade da análise da média variância, pode ser utilizado o critério de segurança em primeiro lugar (distribuição de probabilidade acumulada da receita líquida).

Na análise da distribuição de probabilidade acumulada da receita líquida (Tabela 25), do período 1984 a 1989, o sistema II mostrou, na baixa probabilidade de risco (5 %), maior renda líquida/ha (R\$ 81,00), em relação aos sistemas I (R\$ 0,00), III (R\$ 0,00) e IV (R\$ 0,00). Na alta probabilidade de risco (100 %), o sistema III obteve a maior renda líquida/ha (R\$ 735,17), em comparação com os sistemas I (R\$ 611,77), II (R\$ 679,50) e IV (R\$ 693,61). Na análise da distribuição acumulada da receita líquida (Tabela 26), do período 1990 a 1993, o sistema II apresentou, na baixa probabilidade de risco (5 %), maior renda líquida/ha (R\$ 231,12) do que os sistemas I (R\$ 124,47), III (R\$ 155,67) e IV (R\$ 75,14). Na alta probabilidade de risco (100 %), o sistema IV obteve a maior renda líquida/ha (R\$ 848,81), em comparação com os sistemas I (R\$ 817,14), II (R\$ 841,79) e III (R\$ 846,05).

Esse tipo de análise possibilita a escolha da alternativa com base em determinada probabilidade de garantir uma renda líquida em dado nível de escolha do tomador de decisão. Esse princípio baseia-se no critério da "segurança em primeiro lugar", ou seja, qual a possibilidade de um dos sistemas apresentar uma renda líquida X? O valor seria escolhido pelo tomador de decisão.

Os dados das Tabelas 25 e 26 foram gerados a partir da distribuição completa de probabilidade acumulada da distribuição normal dentro de cada sistema. O próprio programa divide essa distribuição em 20 intervalos de 5 % de probabilidade cada.

No período de 1984 a 1989, supondo-se que um agricultor "A" não queira correr risco superior a 5 % de ter receita líquida negativa, ele jamais deverá escolher os sistemas I, III ou IV (Tabela 25). Por outro lado, um agricultor "B", que pretenda obter a maior renda líquida possível, escolheria o sistema III. Um agricultor "C", que jogasse 50 % de suas possibilidades de atingir a máxima receita

líquida, também escolheria o sistema II para obter uma receita líquida inferior ou igual a R\$ 289,69 por hectare. Para esse método, a escolha da alternativa depende única e exclusivamente do nível de risco escolhido pelo tomador de decisão.

Pela análise da dominância estocástica (Tabela 27), do período 1984 a 1989, o sistema II dominou os demais sistemas. Por sua vez, o sistema III dominou os sistemas I e IV, e o sistema IV dominou apenas o sistema I. Do resultado da análise através da dominância estocástica (Tabela 28), do período 1990 a 1993, o sistema II dominou também os demais sistemas. Por outro lado, o sistema I dominou o sistema IV, e o sistema III dominou os sistemas I e IV.

Por esse último método, foi possível separar o sistema II (50 % de cevada/50 % de soja e 50 % de ervilhaca/milho, de 1984 a 1989, e 50 % de cevada/soja e 50 % de aveia branca/soja, de 1990 a 1993) como o mais lucrativo e o de menor risco, para a região de Guarapuava, PR. Pelo método da dominância estocástica da receita líquida, nos dois períodos, o sistema II mostrou ser a melhor alternativa de produção a ser oferecida aos agricultores, dos pontos de vista de rentabilidade e de risco. Os sistemas III e IV, apesar de mais diversificados, foram inferiores ao sistema II, talvez devido ao linho, que nos primeiros cinco anos deste experimento apresentou rendimento de grãos relativamente baixo. No sistema IV, isso foi igualmente verdadeiro nos demais anos. Isso, por sua vez, deve ter influenciado os resultados obtidos nas análises efetuadas.

Conclusões

A rotação de culturas permite a ciclagem de nutrientes e de matéria orgânica.

A rotação de culturas fô eficiente, principalmente no controle das doenças de cevada, nas regiões de clima adverso a essa espécie.

A rotação de culturas propicia melhor aproveitamento energético das calorias investidas e melhor rendibilidade da propriedade agrícola.

A rotação de culturas diminui o risco na propriedade agrícola, pela diversificação das espécies a serem cultivadas.

A rotação de culturas viabiliza o plantio direto, em relação ao controle de doenças de cevada.

Agradecimentos

Ao Eng.-Agr. Anton Gora, as facilidades oferecidas na Cooperativa Agrária Mista Entre Rios Ltda., Guarapuava, PR. Ao Eng.-Agr., M.Sc., Celso Wobeto, ao Eng.-Agr., Roberto Sattler e ao Técnico Agrícola Pedro Reichert, a amizade e a ajuda na condução do expêrimto a nível de campo.

Referências Bibliográficas

- AMBROSI, I.; FONTANELI, R.S. Análise de risco de quatro sistemas alternativos de produção de integração lavoura/pecuária. Teoria e Evidência Econômica, Passo Fundo, n.1, p.129-148, 1994.*
- CRUZ, E.R. da. Pacta - Programa de avaliação comparativa de tecnologias alternativas: guia do usuário. Brasília: EMBRAPA-DDM, 1980. 7p.*
- DERPSCH, R.; CALEGARI, A. Plantas para adubação verde de inverno. Londrina: IAPAR, 1992. 80p. (IAPAR. Circular, 73).*

- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná**. Curitiba: EMBRAPA-SNLCS/SUDESUL/IAPAR, 1984. v.1, 412p. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim de Pesquisa, 27; IAPAR, Boletim Técnico, 16).
- FELIPPE JUNIOR, G. de; SOCOLOWSKI, J.C.; FANTI, O.D.J. *Considerações sobre as tecnologias e a evolução da indústria de fertilizantes nitrogenados*. In: **SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1984, Brasília**. Anais. Brasília: EMBRAPA-DEP, 1984. p.21-71.
- HANOCH, G.; LEVY, H. *Efficient portfolio selection with quadratic and cubic utility*. **Journal of Business**, Chicago, v.43, n.2, p.181-189, 1970.
- HEICHEL, G.H. *Assessing the fossil energy costs of propagating agricultural crops*. In: PIMENTEL, D., ed. **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton: CRC Press, 1980. p.27-33.
- IGNACZAK, J.C.; ARIAS, G.; IÓRCZESKI, E.J. *Produção de grãos de cevada corrigida em função de classificação comercial*. In: EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (Passo Fundo, RS). Solos, ecologia, fisiologia e práticas culturais**. Passo Fundo, 1980. v.3, p.98-100. Trabalho apresentado na XXI Reunião Nacional de Pesquisa de Trigo, 1980, Porto Alegre, RS.
- MELLO, R. de. *Análise energética de agroecossistemas: o caso de Santa Catarina*. Florianópolis: UFSC, 1986. 139p. Tese de Mestrado.
- MUZILLI, O. *Fertilidade do solo em plantio direto*. In: FANCELLI, A.L.; TORRADO, P.V.; MACHADO, J. **Atualização em plantio direto**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. p.147-160.
- PEREIRA, L.R.; BOUGLÉ, B.R. *Informe sobre o comportamento dos cultivos de inverno e de trigo e cevada em ensaios de rotação*. In: EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (Passo Fundo, RS). Solos e técnicas culturais**. Passo Fundo, 1976. v.2, p.76-83. Trabalho apresentado na XIII Reunião Anual Conjunta de Pesquisa de Trigo, 1976, Ponta Grossa, PR.

- PIMENTEL, D. *Energy inputs for the production, formulation, packaging, and transport of various pesticides.* In: PIMENTEL, D., ed. *Handbook of energy utilization in agriculture.* Boca Raton: CRC Press, 1980. p.45-48.
- REIS, E.M.; SANTOS, H.P. dos. *Interações entre doenças de cereais de inverno e sistema de plantio direto.* In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (Passo Fundo, RS). *Plantio direto no Brasil.* Passo Fundo: Ed. Aldeia Norte/EMBRAPA-CNPT/FUNDACEP FECOTRIGO/FUNDAÇÃO ABC, 1993a. p.105-110.
- REIS, E.M.; SANTOS, H.P. dos. *Potencialidades de controle de doenças de cereais de inverno por rotação de culturas.* In: SIMPÓSIO DE AGRICULTURA ECOLÓGICA, 1., 1993, Campinas. *Anais.* Campinas: IAC, 1993b. p.99-115.
- REIS, E.M.; SANTOS, H.P. dos; PEREIRA, L.R. *Rotação de culturas. IV. Efeito sobre o mosaico e doenças radiculares do trigo em 1983.* *Fitopatologia Brasileira, Brasília, v.10, n.3, p.637-642, 1985.*
- REUNIÃO ANUAL DE PESQUISA DE CEVADA, 15., 1995, Jaguariúna. *Recomendações da Comissão de Pesquisa de Cevada para o Cultivo de Cevada Cervejeira em 1995 e 1996.* Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1995. 57p. (EMBRAPA-CNPT. Documentos, 21).
- ROMAN, E.S. *Effect of cover crop on the development of weeds.* In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON CONSERVATION TILLAGE SYSTEMS, 1990, Passo Fundo. *Conservation tillage for subtropical área.* Passo Fundo: CIDA/EMBRAPA-CNPT, 1990. p.258-262.
- SANTOS, H.P. dos. *Efeito da rotação de culturas no rendimento, na eficiência energética e econômica do trigo, em plantio direto.* Piracicaba: USP, 1992. 136p. Tese Doutorado.
- SANTOS, H.P. dos. *Soja em sucessão a aveia branca, aveia preta, azevém e trigo: características agrônômicas.* *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.26, n.9, p.1563-1576, 1991.*

- SANTOS, H.P. dos; REIS, E.M.** Efeitos de culturas de inverno sobre o rendimento de grãos e sobre a estatura de plantas da soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília*, v.26, n.5, p.729-735, 1991.
- SANTOS, H.P. dos; REIS, E.M.** Rotação de culturas. XIX. Efeitos de culturas de inverno sobre o rendimento de grãos e sobre algumas características agronômicas da soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília*, v.25, n.11, p.1637-1645, 1990.
- SANTOS, H.P. dos; REIS, E.M.; PÖTTKER, D.** Culturas de inverno para plantio no sul do Brasil. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1990. 24p. (EMBRAPA-CNPT. Circular Técnica, 3).
- SANTOS, H.P. dos; REIS, E.M.; VIEIRA, S.A.; PEREIRA, L.R.** Rotação de culturas e produtividade do trigo no RS. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1987. 32p. (EMBRAPA-CNPT. Documentos, 8).
- SANTOS, H.P. dos; REIS, E.M.; WOBETO, C.** Rotação de culturas em Guarapuava. IX. Efeitos no rendimento de grãos e nas doenças do sistema radicular da cevada, em plantio direto, de 1984 a 1988. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília*, v.26, n.6, p.901-906, 1991a.
- SANTOS, H.P. dos; VIEIRA, S.A.; PEREIRA, L.R.; ROMAN, E.S.** Rotação de culturas. XVI. Efeitos de sistemas de cultivo no rendimento de grãos e outras características agronômicas de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília*, v.26, n.9, p.1539-1549, 1991b.
- SANTOS, H.P. dos; WOBETO, C.; PEREIRA, L.R.** Rotação de culturas em Guarapuava. X. Efeitos nas culturas de inverno em plantio direto sobre características agronômicas da soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília*, v.26, n.9, p.1551-1561, 1991c.
- SIDIRAS, N.; PAVAN, M.A.** Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas*, v.9, n.3, p.249-254, 1985.

STEEL, G.D.; TORRIE, J.H. *Principles and procedures of statistics: a biometrical approach*. 2.ed. New York: McGraw-Hill, 1980. 633p.

TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. *Análise de solos, plantas e outros materiais*. Porto Alegre: UFRGS, 1985, 32p. (UFRGS-FAGRON. Boletim Técnico, 5).

ZENTNER, R.P.; SELLES, F.; SANTOS, H.P. dos; AMBROSI, I. *Effect of crop rotations on yields, soil characteristics, and economic returns in Southern Brazil*. In: *INTERNATIONAL WORKSHOP ON CONSERVATION TILLAGE SYSTEMS, 1990, Passo Fundo. Conservation tillage for subtropical areas; proceedings*. Passo Fundo: CIDA/EMBRAPA-CNPT, 1990. p.96-116.

Tabela 1. Sistemas de rotação de culturas para cevada, com espécies de inverno e de verão, em plantio direto, em Guarapuava, PR, 1984 a 1993

Sistema de rotação	Ano									
	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
Sistema I	C (100%)/S (100%)	C/S								
Sistema II	C (50%)/S (50%)	E/M	C/S	E/M	C/S	E/M	C/S	A/S	C/S	A/S
	E (50%)/M (50%)	C/S	E/M	C/S	E/M	C/S	A/S	C/S	A/S	C/S
Sistema III	C (33%)/S (33%)	L/S	E/M	C/S	L/S	E/M	C/S	E/M	A/S	C/S
	L (33%)/S (33%)	E/M	C/S	L/S	E/M	C/S	E/M	A/S	C/S	E/M
	E (33%)/M (33%)	C/S	L/S	E/M	C/S	L/S	A/S	C/S	E/M	A/S
Sistema IV	C (25%)/S (25%)	L/S	A/S	E/M	C/S	L/S	E/M	A/S	C/S	L/S
	L (25%)/S (25%)	A/S	E/M	C/S	L/S	A/S	A/S	C/S	L/S	E/M
	A (25%)/S (25%)	E/M	C/S	L/S	A/S	E/M	C/S	L/S	E/M	A/S
	E (25 %)/M (25%)	C/S	L/S	A/S	E/M	C/S	L/S	A/S	A/S	C/S

A = aveia branca; C = cevada; E = ervilhaca; L = linho; M = milho; e S = soja.

Tabela 2. Rendimentos de grãos de espécies componentes dos quatro sistemas de rotação de culturas para cevada, Guarapuava, PR, 1984 a 1993

										Ano									
										1984	1985	1986	1987	1988					
										kg ha ⁻¹									
Sistema I																			
C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	2.290	3.054	2.636	2.952	2.199	2.201	3.039	1.898	1.480	2.775
Sistema II																			
C	S	E	M	C	S	E	M	C	S	2.479	3.037	*	6.898	2.709	2.388	*	5.340	1.870	2.951
E	M	C	S	E	M	C	S	E	M	*	7.564	2.945	2.960	*	7.873	3.108	2.064	*	6.927
Sistema III																			
C	S	L	S	E	M	C	S	L	S	2.434	3.069	925	2.480	*	8.654	2.978	2.006	1.371	2.460
L	S	E	M	C	S	L	S	E	M	1.071	3.043	*	6.450	2.021	2.442	1.339	1.867	*	7.669
E	M	C	S	L	S	E	M	C	S	*	7.607	3.094	3.043	641	2.479	*	5.115	1.850	2.973
Sistema IV																			
C	S	L	S	A	S	E	M	C	S	2.480	3.145	1.001	2.764	1.326	2.451	*	5.884	1.808	3.111
L	S	A	S	E	M	C	S	L	S	1.197	3.194	2.605	3.020	*	8.981	3.392	2.085	1.501	2.590
A	S	E	M	C	S	L	S	A	S	2.296	2.875	*	5.697	2.416	2.257	1.371	1.705	1.406	2.618
E	M	C	S	L	S	A	S	E	M	*	7.553	2.894	2.977	487	2.553	3.463	1.681	*	6.505

A = aveia branca; C = cevada; E = ervilhaca; L = linho; M = milho; e S = soja.

* Cultura para cobertura de solo, no inverno.

Continuação Tabela 2.

		Ano							
		1989	1990	1991	1992	1993			
		kg ha ⁻¹							
Sistema I									
C	S	C	S	C	S	C	S	C	S
**	3.032	1.641	3.886	2.639	3.275	4.994	2.949	2.691	3.235
Sistema II									
E	M	C	S	A	S	C	S	A	S
*	7.932	1.728	4.137	3.074	3.183	5.794	3.238	4.266	3.512
C	S	A	S	C	S	A	S	C	S
**	3.157	3.360	4.000	2.188	3.207	4.200	2.972	2.696	3.255
Sistema III									
E	M	C	S	E	M	A	S	C	S
*	8.734	1.933	4.193	*	9.214	4.249	2.999	2.630	3.370
C	S	E	M	A	S	C	S	E	M
**	3.203	*	6.491	2.841	3.158	5.806	3.033	*	7.737
L	S	A	S	C	S	E	M	A	S
**	2.490	2.705	4.150	3.783	3.328	*	6.621	4.141	3.320
Sistema IV									
L	S	E	M	A	S	C	S	L	S
**	2.642	*	6.987	2.981	3.229	6.063	3.058	452	2.962
A	S	A	S	C	S	L	S	E	M
**	3.186	2.708	4.150	3.881	3.121	1.625	2.812	*	9.846
E	M	C	S	L	S	E	M	A	S
*	8.294	2.162	3.910	1.100	2.975	*	7.025	4.000	3.222
C	S	L	S	E	M	A	S	C	S
**	3.018	***	3.641	*	7.981	4.015	3.018	2.720	3.338

A = aveia branca; C = cevada; E = ervilhaca; L = linho; M = milho; e S = soja.

* Cultura para cobertura de solo, no inverno.

** Os rendimentos das culturas de inverno foram perdidos, em função de precipitação de granizo.

*** O linho não foi colhido nesse ano, devido à precipitação de granizo.

Tabela 3. Efeitos de sistemas de rotação de culturas na severidade de doenças do sistema radicular de cevada, cultivares Antartica 5, em 1987, 1988 e 1989, e BR 2, em 1991 e 1993, em plantio direto

Sistema de rotação	Ano					Média
	1987	1988	1989	1991	1993	
	----- % -----					
Sistema I ¹	35 a	21 a	51 a	42 a	9	32 a
Sistema II ²	10, b	9 b	15 b	33 a	10	15 b
Sistema III ³	19 ab	11 b	20 b	20 b	7	15 b
Sistema IV ⁴	11 b	10 b	14 b	35 a	6	15 b
Média	19	13	25	32	8	19
C.V. (%)	29	11	18	13	32	-
F tratamentos	5,0*	15**	20**	6,5*	0,5ns	5,8*

¹ Sistema I: cevada/soja.

² Sistema II: cevada/soja e ervilhaca/milho ou aveia branca/soja:

³ Sistema III: cevada/soja, linho/soja e ervilhacã/milho.

⁴ Sistema IV: cevada/soja, linho/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho.

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não apresentam diferenças significativas, ao nível de 5 % de probabilidade, pelo teste de Duncan.

ns = não significativo; * = nível de significância de 5 %; ** = nível de significância de 1 %.

Tabela 4. Efeitos de sistemas de rotação de culturas no rendimento comercial (Cevacor) de cevada, cultivares Antarctica 5, em 1987, 1988 e 1990, e BR 2, em 1991, 1992 e 1993, em plantio direto

Sistema de rotação	Ano						Média
	1987	1988	1990	1991	1992	1993	
	----- kg/ha -----						
Sistema I ¹	3.039 b	1.480	1.641	2.638 b	4.994 b	2.691	2.747 b
Sistema II ²	3.108 b	1.870	1.728	3.188 ab	5.794 a	2.696	3.064 a
Sistema III ³	2.978 b	1.850	1.933	3.783 a	5.806 a	2.630	3.163 a
Sistema IV ⁴	3.392 a	1.808	2.162	3.880 a	6.063 a	2.720	3.338 a
Média	3.129	1.752	1.866	3.373	5.664	2.684	3.078
C.V. (%)	5	11	25	15	4	12	-
F tratamentos	5,9*	3,8ns	1,0ns	5,2*	16**	0,8ns	6,1**

¹ Sistema I: cevada/soja.

² Sistema II: cevada/soja, ervilhaca/milho ou aveia branca/soja.

³ Sistema III: cevada/soja, linho/soja e ervilhaca/milho.

⁴ Sistema IV: cevada/soja, linho/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho.

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não apresentam diferenças significativas, ao nível de 5 % de probabilidade, pelo teste de Duncan.

ns = não significativo; * = nível de significância de 5 %; ** = nível de significância de 1 %.

Tabela 5. Efeitos de três sistemas de rotação no rendimento de grãos de milho, cultivares AG 64, em 1984 e 1985, Cargill 511, em 1986, Cargill 525, em 1987, e XL 560, em 1988 e 1989, tendo sempre a ervilhaca como cultura antecessora

Sistema de rotação	Ano						Média
	1984	1985	1986	1987	1988	1989	
	----- kg ha ⁻¹ -----						
Sistema II ¹	7.564	6.898	7.873	5.339	6.927	7.932	7.089
Sistema III ²	7.607	6.450	8.654	5.115	7.669	8.734	7.372
Sistema IV ³	7.553	5.697	8.981	5.884	6.505	8.294	7.152
Média	7.574	6.348	8.502	5.446	7.033	8.320	7.204
C.V. (%)	6	11	7	8	11	7	-
P>F (sistema)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

¹Sistema II = cevada/soja e ervilhaca/milho.

²Sistema III = cevada/soja, linho/soja e ervilhaca/milho.

³Sistema IV = cevada/soja, linho/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho.
ns = não significativo.

Tabela 6. Efeitos de dois sistemas de rotação no rendimento de grãos de milho, cultivares P 3072, em 1990, 1991 e 1992, e G 85, em 1993

Sistema de rotação	Ano				Média
	1990	1991	1992	1993	
	----- kg ha ⁻¹ -----				
Sistema III ¹	6.491	9.214	6.621	7.737 b	7.516
Sistema IV ²	6.987	7.981	7.025	9.846 a	7.960
Média	6.739	8.598	6.823	8.791	7.738
C.V. (%)	14	9	35	8	-
P>F (sistema)	ns	ns	ns	*	ns

¹Sistema III = cevada/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja.

²Sistema IV = cevada/soja e linho/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja.

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não apresentam diferenças significativas, ao nível de 5 % de probabilidade, pelo teste de Duncan.

ns = não significativo; * = nível de significância de 5 %.

Tabela 7. Efeitos de culturas precedentes no rendimento de grãos da soja, cultivares BR-6, em 1984, 1985 e 1986, Bragg, em 1987 e 1989, e BR-13, em 1988

Sistema de rotação	Ano						Média
	1984	1985	1986	1987	1988	1989	
	----- kg ha ⁻¹ -----						
Soja após:							
cevada ¹	3.054	2.952 ab	2.201	1.898 bc	2.775 bc	3.032 a	2.652 abc
cevada ²	3.037	2.960 ab	2.388	2.064 ab	2.951 ab	3.157 a	2.760 ab
cevada ³	3.069	3.043 a	2.442	2.006 abc	2.973 ab	3.203 a	2.789 a
linho ⁵	3.043	2.480 c	2.479	1.867 cd	2.460 d	2.490 b	2.470 c
aveia branca ⁷	2.875	3.020 a	2.451	1.681 e	2.618 cd	3.186 a	2.639 abc
cevada ⁴	3.145	2.977 ab	2.257	2.085 a	3.111 a	3.018 a	2.766 ab
linho ⁶	3.194	2.764 b	2.553	1.705 de	2.590 cd	2.642 b	2.575 bc
Média	3.060	2.885	2.396	1.901	2.783	2.961	2.664
C.V. (%)	6,0	5,6	8,0	6,1	6,3	4,5	-
P > F (sistema)	ns	**	ns	**	**	**	*

¹ Sistema I = cevada/soja.

² Sistema II = cevada/soja e ervilhaca/milho.

³ Sistema III = cevada/soja, linho/soja e ervilhaca/milho.

⁴ Sistema IV = cevada/soja, linho/soja, aveia branca/soja e ervilhaca/milho.

⁵ Sistema III = linho/soja, ervilhaca/milho e cevada/soja.

⁶ Sistema IV = linho/soja, aveia branca/soja, ervilhaca/milho e cevada/soja.

⁷ Sistema IV = aveia branca/soja, ervilhaca/milho, cevada/soja e linho/soja.

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não apresentam diferenças significativas, ao nível de 5 % de probabilidade, pelo teste de Duncan.

ns = não significativo; * = nível de significância de 5 %; ** = nível de significância de 1 %.

Tabela 8. Efeitos de culturas precedentes no rendimento de grãos de soja, cultivar IAS 5, de 1990 a 1993

Sistema de rotação	Ano				Média
	1990	1991	1992	1993	
----- kg ha ⁻¹ -----					
<i>Soja após:</i>					
cevada ¹	3.886 cd	3.275	2.949	3.235 b	3.336 b
aveia branca ²	4.000 abc	3.183	2.972	3.512 a	3.417 ab
cevada ²	4.138 abc	3.207	3.238	3.255 b	3.460 ab
aveia branca ⁶	4.150 ab	3.158	2.999	3.320 b	3.407 ab
cevada ³	4.193 a	3.328	3.033	3.370 ab	3.481 a
aveia branca ⁷	4.150 ab	3.229	3.018	3.222 b	3.405 ab
cevada ⁴	3.910 bc	3.121	3.058	3.338 b	3.357 ab
linho ⁸	3.641 d	2.975	2.812	2.962 c	3.098 c
Média	4.008	3.184	3.009	3.277	3.370
C.V. (%)	4,48	7,16	5,17	3,61	-
P > F (sistema)	**	ns	ns	**	**

¹ Sistema I = cevada/soja.

² Sistema II = cevada/soja e aveia branca/soja.

³ Sistema III = cevada/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja.

⁴ Sistema IV = cevada/soja, linho/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja.

⁵ Sistema II = aveia branca/soja e cevada/soja.

⁶ Sistema III = aveia branca/soja, cevada/soja e ervilhaca/milho.

⁷ Sistema IV = aveia branca/soja, cevada/soja e linho/soja e ervilhaca/milho.

⁸ Sistema IV = linho/soja, ervilhaca/milho, aveia branca/soja e cevada/soja.

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não apresentam diferenças significativas, ao nível de 5 % de probabilidade, pelo teste de Duncan.

ns = não significativo; ** = nível de significância de 1 %.

Tabela 11. Valores médios de alumínio trocável, avaliado após as culturas de inverno de 1988, em quatro camadas de solo e para diferentes sistemas de rotação de culturas

Sistema de rotação	Profundidade (cm)									
	0-5	5-10	10-15	15-20	0-5x5-10	0-5x10-15	0-5x15-20	5-10x10-15	5-10x15-20	10-15x15-20
	-----Al (cmolc dm ⁻³)-----					----- Contrastes entre profundidades (P > F) -----				
I	7,3	6,4	3,4	3,9	ns	**	*	*	*	ns
II	8,0	6,8	4,5	6,0	ns	*	ns	**	ns	ns
III	9,7	8,1	5,8	5,8	ns	ns	**	ns	ns	ns
IV	10,1	7,0	6,0	5,9	**	ns	ns	**	**	ns

ns = não significativo; * = nível de significância de 5 %; ** = nível de significância de 1 %.

48

Tabela 12. Valores médios de alumínio trocável, avaliado após as culturas de verão de 1994, em quatro camadas de solo e para diferentes sistemas de rotação de culturas

Sistema de rotação	Profundidade (cm)									
	0-5	5-10	10-15	15-20	0-5x5-10	0-5x10-15	0-5x15-20	5-10x10-15	5-10x15-20	10-15x15-20
	-----Al (cmolc dm ⁻³)-----					----- Contrastes entre profundidades (P > F) -----				
I	0,0	0,0	0,3	0,8	ns	ns	*	ns	*	ns
II	0,0	0,3	0,6	1,3	**	ns	ns	**	ns	ns
III	0,1	0,1	0,2	1,1	*	ns	*	ns	ns	ns
IV	0,1	0,1	0,4	1,0	ns	ns	**	ns	**	*

ns = não significativo; * = nível de significância de 5 %; ** = nível de significância de 1 %.

Tabela 13. Valores médios de cálcio + magnésio trocáveis, avaliados após as culturas de inverno de 1988, em quatro camadas de solo e para diferentes sistemas de rotação de culturas

Sistema de rotação	Profundidade (cm)									
	0-5	5-10	10-15	15-20	0-5x5-10	0-5x10-15	0-5x15-20	5-10x10-15	5-10x15-20	10-15x15-20
	-- Ca + Mg (cmól _c dm ⁻³)--				----- Contrastes entre profundidades (P > F) -----					
I	69,8	72,9	89,0	80,7	ns	*	ns	*	ns	ns
II	70,1	73,8	80,9	72,6	ns	ns	ns	*	ns	ns
III	60,4	66,0	78,1	70,0	ns	ns	*	ns	*	ns
IV	62,8	70,1	72,9	69,9	*	ns	ns	ns	ns	ns
	Contrastes entre sistemas (P > F)									
I x II	ns	ns	ns	ns						
I x III	ns	ns	ns	ns						
I x IV	ns	ns	ns	ns						
II x III	*	ns	ns	ns						
II x IV	ns	ns	ns	ns						
III x IV	ns	ns	ns	ns						

ns = não significativo; * = nível de significância de 5 %.

Tabela 14. Valores médios de cálcio + magnésio trocáveis, avaliados após as culturas de verão de 1994, em quatro camadas de solo e para diferentes sistemas de rotação de culturas

Sistema de rotação	Profundidade (cm)									
	0-5	5-10	10-15	15-20	0-5x5-10	0-5x10-15	0-5x15-20	5-10x10-15	5-10x15-20	10-15x15-20
	-- Ca + Mg (cmol. dm ⁻³)--				----- Contrastes entre profundidades (P > F) -----					
I	130,4	126,5	108,1	96,4	ns	**	**	*	**	ns
II	129,6	115,7	104,8	94,6	**	ns	**	**	ns	**
III	126,3	126,0	114,7	97,5	ns	ns	*	*	ns	**
IV	129,3	131,3	114,9	98,3	**	ns	**	**	**	**
	Contrastes entre sistemas (P > F)									
I x II	ns	ns	ns	ns						
I x III	ns	ns	ns	ns						
I x IV	ns	ns	ns	ns						
II x III	ns	ns	ns	ns						
II x IV	ns	*	ns	ns						
III x IV	ns	ns	ns	ns						

ns = não significativo; * = nível de significância de 5 %; ** = nível de significância de 1 %.

Tabela 15. Valores médios de matéria orgânica, avaliada após as culturas de inverno de 1988, em quatro camadas de solo e para diferentes sistemas de rotação de culturas

Sistema de rotação	Profundidade (cm)									
	0-5	5-10	10-15	15-20	0-5x5-10	0-5x10-15	0-5x15-20	5-10x10-15	5-10x15-20	10-15x15-20
	- Matéria orgânica (g kg ⁻¹) -				----- Contrastes entre profundidades (P > F) -----					
I	66,8	66,8	66,3	64,0	ns	ns	ns	ns	ns	ns
II	69,4	67,7	66,9	65,9	ns	ns	**	ns	*	*
III	69,9	67,3	67,4	64,4	ns	ns	ns	ns	ns	ns
IV	69,3	68,3	66,0	64,5	**	ns	ns	**	**	ns
	Contrastes entre sistemas (P > F)									
I x II	*	ns	ns	ns						
I x III	**	ns	ns	ns						
I x IV	**	ns	ns	ns						
II x III	ns	ns	ns	ns						
II x IV	ns	ns	ns	ns						
III x IV	ns	ns	ns	ns						

ns = não significativo; * = nível de significância de 5 %; ** = nível de significância de 1 %.

Tabela 16. Valores médios de matéria orgânica, avaliada após as culturas de verão de 1994, em quatro camadas de solo e para diferentes sistemas de rotação de culturas

Sistema de rotação	Profundidade (cm)									
	0-5	5-10	10-15	15-20	0-5x5-10	0-5x10-15	0-5x15-20	5-10x10-15	5-10x15-20	10-15x15-20
	- Matéria orgânica (g kg ⁻¹) -				----- Contrastes entre profundidades (P > F) -----					
I	55,0	51,8	50,5	49,0	**	**	**	ns	**	ns
II	56,6	52,5	51,4	49,6	**	ns	**	**	ns	**
III	54,9	52,0	51,0	48,9	ns	ns	ns	ns	ns	ns
IV	56,0	51,9	50,3	49,0	**	*	**	**	**	**

ns = não significativo; * = nível de significância de 5 %; ** = nível de significância de 1 %.

Tabela 17. Valores médios de fósforo extraível, avaliado após as culturas de inverno de 1988, em quatro camadas de solo e para diferentes sistemas de rotação de culturas

Sistema de rotação	Profundidade (cm)									
	0-5	5-10	10-15	15-20	0-5x5-10	0-5x10-15	0-5x15-20	5-10x10-15	5-10x15-20	10-15x15-20
	----- P (mg kg ⁻¹) -----				----- Contrastes entre profundidades (P > F) -----					
I	9,1	6,1	5,1	4,6	**	**	**	ns	ns	ns
II	8,4	6,9	5,3	4,4	**	*	**	ns	ns	ns
III	9,2	6,3	5,1	4,6	ns	ns	*	ns	ns	ns
IV	9,0	7,2	4,9	3,9	**	ns	ns	**	**	ns

ns = não significativo; * = nível de significância de 5 %; ** = nível de significância de 1 %.

53

Tabela 18. Valores médios de fósforo extraível, avaliado após as culturas de verão de 1994, em quatro camadas de solo e para diferentes sistemas de rotação de culturas

Sistema de rotação	Profundidade (cm)									
	0-5	5-10	10-15	15-20	0-5x5-10	0-5x10-15	0-5x15-20	5-10x10-15	5-10x15-20	10-15x15-20
	----- P (mg kg ⁻¹) -----				----- Contrastes entre profundidades (P > F) -----					
I	6,1	6,9	3,5	2,7	ns	*	**	**	**	ns
II	7,1	5,4	3,1	2,8	**	ns	**	**	ns	**
III	6,6	5,8	3,1	2,9	ns	ns	*	ns	**	*
IV	7,1	6,5	3,3	2,6	*	ns	*	ns	**	**

ns = não significativo; * = nível de significância de 5 %; ** = nível de significância de 1 %.

Tabela 19. Valores médios de potássio trocável, avaliado após as culturas de inverno de 1988, em quatro camadas de solo e para diferentes sistemas de rotação de culturas

Sistema de rotação	Profundidade (cm)									
	0-5	5-10	10-15	15-20	0-5x5-10	0-5x10-15	0-5x15-20	5-10x10-15	5-10x15-20	10-15x15-20
	----- K (mg kg ⁻¹) -----				----- Contrastes entre profundidades (P > F) -----					
I	137	96	66	62	*	**	**	ns	*	ns
II	152	129	83	58	**	**	**	*	ns	**
III	155	101	70	54	*	ns	**	**	**	**
IV	166	98	63	53	**	*	**	**	**	ns
	Contrastes entre sistemas (P > F)									
I x II	ns	ns	ns	ns						
I x III	ns	ns	ns	ns						
I x IV	ns	ns	ns	ns						
II x III	ns	*	ns	ns						
II x IV	ns	*	*	ns						
III x IV	ns	ns	ns	ns						

ns = não significativo; * = nível de significância de 5 %; ** = nível de significância de 1 %.

Tabela 20. Valores médios de potássio trocável, avaliado após as culturas de verão de 1994, em quatro camadas de solo e para diferentes sistemas de rotação de culturas

Sistema de rotação	Profundidade (cm)									
	0-5	5-10	10-15	15-20	0-5x5-10	0-5x10-15	0-5x15-20	5-10x10-15	5-10x15-20	10-15x15-20
	----- K (mg kg ⁻¹) -----				----- Contrastes entre profundidades (P > F) -----					
I	166	123	110	82	*	**	**	ns	*	ns
II	187	123	95	69	**	*	**	**	*	**
III	151	111	91	87	ns	ns	ns	*	ns	ns
IV	167	120	97	77	ns	ns	**	**	**	ns
	Contrastes entre sistemas (P > F)									
I x II	ns	ns	ns	ns						
I x III	ns	ns	ns	ns						
I x IV	ns	ns	ns	ns						
II x III	*	ns	ns	ns						
II x IV	ns	ns	ns	ns						
III x IV	ns	ns	ns	ns						

ns = não significativo; * = nível de significância de 5 %; ** = nível de significância de 1 %.

Tabela 21. Produtividade cultural e sua comparação para quatro sistemas de rotação para cevada, no ano (inverno + verão) e na média conjunta, pelo teste F, utilizando-se o método de contrastes

Ano	Sistema de rotação									
	I	II	III	IV	I x II	I x III	I x IV	II x III	II x IV	III x IV
	----- kg Mcal ¹ -----				----- Contrastes entre sistemas (P > F) -----					
1984	1,74	2,05	1,83	1,81	*	ns	ns	*	*	ns
1985	1,62	2,26	1,84	1,77	**	ns	ns	**	**	ns
1986	1,29	2,27	1,89	1,72	**	**	**	**	**	*
1987	1,55	1,87	1,57	1,71	**	ns	ns	**	*	*
1988	1,27	2,06	1,88	1,65	**	**	**	*	**	**
1989	1,76	2,63	2,35	2,18	**	**	**	**	**	**
Média	1,54	2,19	1,89	1,81	**	*	ns	*	**	ns
1990	1,40	1,73	1,82	1,91	**	**	**	ns	*	ns
1991	1,63	1,78	2,22	1,85	ns	**	ns	**	ns	*
1992	2,19	2,18	2,07	1,88	ns	ns	*	ns	*	ns
1993	1,50	1,87	1,99	1,86	**	**	**	*	ns	**
Média	1,68	1,89	2,02	1,88	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Sistema I = cevada/soja.

Sistema II = cevada/soja e ervilhaca/milho ou aveia branca/soja.

Sistema III = cevada/soja, ervilhaca/milho e linho/soja ou aveia branca/soja.

Sistema IV = cevada/soja, linho/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja.

ns = não significativo; * = nível de significância de 5%; ** = nível de significância de 1%.

Tabela 23. Receita líquida média por hectare e por ano para sistemas de rotação de culturas para cevada, de 1984 a 1989

Sistema de rotação	Receita líquida média	
	1984 a 1989	Desvio padrão
	----- R\$ ha ⁻¹ -----	
Sistema I	196,76 b	146,15
Sistema II	293,26 a	136,02
Sistema III	242,69 ab	173,42
Sistema IV	239,55 ab	159,89

Sistema I: cevada/soja.

Sistema II: cevada/soja e ervilhaca/milho.

Sistema III: cevada/soja, ervilhaca/milho e linho/soja.

Sistema IV: cevada/soja, linho/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja.

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não apresentam diferenças significativas, ao nível de 5 % de probabilidade, pelo teste de Duncan.

Tabela 24. Receita líquida média por hectare e por ano para sistemas de rotação de culturas para cevada, de 1990 a 1993

Sistema de rotação	Receita líquida média	
	1990 a 1993	Desvio padrão
	----- R\$ ha ⁻¹ -----	
Sistema I	370,04 ab	151,44
Sistema II	447,62 a	138,80
Sistema III	400,46 ab	156,94
Sistema IV	349,43 b	175,85

Sistema I: cevada/soja.

Sistema II: cevada/soja e aveia branca/soja.

Sistema III: cevada/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja.

Sistema IV: cevada/soja, linho/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja.

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não apresentam diferenças significativas, ao nível de 5 % de probabilidade, pelo teste de Duncan.

Tabela 25. Distribuição de probabilidade acumulada da receita líquida (twentiles), por hectare, para os sistemas de rotação de culturas para cevada, de 1984 a 1989

%	Sistema de rotação			
	I	II	III	IV
	----- R\$ ha ⁻¹ -----			
0	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	81,11	0,00	0,00
10	2,05	109,73	8,68	23,79
15	20,29	129,02	33,27	46,47
20	77,12	181,91	100,72	108,65
25	100,87	204,02	128,90	134,64
30	115,96	218,06	146,81	151,15
35	138,06	238,63	173,03	175,33
40	154,10	253,56	192,06	192,87
45	175,09	273,10	216,98	215,85
50	192,93	289,69	238,14	235,36
55	220,00	314,89	270,26	264,97
60	252,32	344,97	308,62	300,34
65	262,79	354,71	321,04	311,79
70	277,57	368,47	338,58	327,96
75	299,51	388,89	364,63	351,97
80	328,37	415,74	398,86	383,54
85	351,59	437,36	426,42	408,95
90	384,64	468,11	465,64	445,10
95	436,62	516,49	527,33	501,98
100	611,77	679,50	735,17	693,61

Sistema I: cevada/soja.

Sistema II: cevada/soja e ervilhaca/milho.

Sistema III: cevada/soja; ervilhaca/milho e linho/soja.

Sistema IV: cevada/soja, linho/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja.

Tabela 26. Distribuição de probabilidade acumulada da receita líquida (twentiles), por hectare, para os sistemas de rotação de culturas para cevada, de 1990 a 1993

%	Sistema de rotação			
	I	II	III	IV
	----- R\$ ha ⁻¹ -----			
0	0,00	76,79	0,00	0,00
5	124,47	231,12	155,67	75,14
10	157,59	260,32	188,68	112,14
15	179,92	280,01	210,94	137,08
20	241,15	333,99	271,98	205,47
25	266,74	356,55	297,48	234,05
30	283,00	370,88	313,69	252,21
35	306,80	391,87	337,42	278,80
40	324,08	407,10	354,65	298,09
45	346,70	427,04	377,19	323,36
50	365,91	443,98	396,34	344,82
55	395,07	469,69	425,41	377,39
60	429,90	500,39	460,13	416,28
65	441,17	510,33	471,37	428,88
70	457,09	524,37	487,24	446,66
75	480,74	545,21	510,81	473,07
80	511,82	572,62	541,79	507,79
85	536,84	594,67	566,73	535,74
90	572,44	626,06	602,22	575,50
95	628,45	675,43	658,05	638,05
100	817,14	841,79	846,05	848,81

Sistema I: cevada/soja.

Sistema II: cevada/soja e aveia branca/soja.

Sistema III: cevada/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja.

Sistema IV: cevada/soja, linho/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja.

Tabela 27. Dominância estocástica para os sistemas de rotação de culturas para cevada, de 1984 a 1989

Sistema de rotação	Sistema de rotação			
	I	II	III	IV
I	-	0	0	0
II	1	-	1	1
III	1	0	-	1
IV	1	0	0	-

Sistema I: cevada/soja.

Sistema II: cevada/soja e ervilhaca/milho.

Sistema III: cevada/soja, ervilhaca/milho e linho/soja.

Sistema IV: cevada/soja, linho/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja.

A leitura deve ser feita no sentido horizontal, sendo que 0 (zero) significa que a tecnologia da linha é dominada pela da coluna, e 1 (um) significa que a tecnologia da linha domina a da coluna.

Tabela 28. Dominância estocástica para os sistemas de rotação de culturas para cevada, de 1990 a 1993

Sistema de rotação	Sistema de rotação			
	I	II	III	IV
I	-	0	0	1
II	1	-	1	1
III	1	0	-	1
IV	0	0	0	-

Sistema I: cevada/soja.

Sistema II: cevada/soja e aveia branca/soja.

Sistema III: cevada/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja.

Sistema IV: cevada/soja, linho/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja.

A leitura deve ser feita no sentido horizontal, sendo que 0 (zero) significa que a tecnologia da linha é dominada pela da coluna, e 1 (um) significa que a tecnologia da linha domina a da coluna.