

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

**ESTIMATIVA DO POTENCIAL PRODUTIVO DA SOJA E VARIABILIDADE
ESPACIAL DE ÁREA DE PRODUÇÃO**

João Leonardo Fernandes Pires
Engenheiro Agrônomo (UPF)
Mestre em Fitotecnia (UFRGS)

Tese apresentada como um dos requisitos à obtenção do grau de Doutor em Fitotecnia,
Área de Concentração Plantas de Lavoura.

Porto Alegre, RS, Brasil
Fevereiro, 2002

JOÃO LEONARDO FERNANDES PIRES
Engenheiro Agrônomo, Mestre em Fitotecnia - UFRGS

TESE

Submetida como parte dos requisitos

para obtenção do Grau de

DOUTOR EM FITOTECNIA

Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia

Faculdade de Agronomia

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovado em:
Pela Banca Examinadora

Homologado em:
Por:

JOSÉ ANTONIO COSTA
Orientador-PPG-Fitotecnia

JOSÉ FERNANDES BARBOSA NETO
Coordenador do Programa de Pós-Graduação
em Fitotecnia

CLAUDIO MARIO MUNDSTOCK
UFRGS-PPG-Fitotecnia

EMÍDIO RIZZO BONATO
EMBRAPA/CNPT

GILMAR ARDUINO BETTIO MARODIN
Diretor da Faculdade de Agronomia

ENIO MARCHEZAN
UFSM

LUIS MAURO GONÇALVES ROSA
UFRGS-PPG-Fitotecnia

“A variabilidade é, muitas vezes, um problema e, em outras, uma solução. Como nas comunidades de plantas, a humanidade é formada por grande variabilidade e somente seu entendimento e a tolerância frente as diferenças poderão trazer dias melhores”

DEDICATÓRIA

“Aos meus pais João Carlos e Dinair e minha esposa Fabiana pelo esforço na minha formação, dedicação e incentivo para sempre seguir em frente”.

AGRADECIMENTOS

Ao professor José Antonio Costa pela amizade, convivência e orientação.

Aos colegas e amigos Lisandro Rambo e Dirceu Agostinetto, e ao professor André Luis Thomas, pela parceria, dedicação e ensinamentos.

Aos bolsistas Felipe G. Ferreira, Kleiton D. Saggin, Mauricio Pedroso, Thais F. S. de Freitas e ao colega Geovano Parcianello, pela ajuda fundamental que tornou possível a realização dos experimentos.

Aos professores Claudio Mario Mundstock e Luis Mauro Gonçalves Rosa pelos ensinamentos e críticas que contribuíram para o trabalho e para minha formação.

Aos acadêmicos do curso de estatística da UFRGS, Fernando Hepp Pulgati e Mariana Teixeira Carballo, e a professora Elsa Cristina de Mundstock pela assessoria estatística e dedicação na realização das análises geoestatísticas.

Aos colegas Gilber Argenta e Rodrigo Neves, companheiros de um objetivo de vida profissional que se torna realidade.

Ao professor e colega Mauro Antônio Rizzardi por minha iniciação na pesquisa e pelo incentivo ao aperfeiçoamento profissional.

Aos colegas Ana Locatelli, Anderson Wanser, Cândida Cabral, Cláudia Lange, Edson Amorim, Elbio Cardoso, Mario Bianchi, Michelangelo M. Trezzi, Miguel Ferri, Nelson Kruse, Paulo H. de Oliveira, Renata P. da Cruz, Sérgio Silva, pelo companheirismo, convívio e experiência transmitida.

Aos funcionários da EEA/UFRGS, em especial, a José Miguel dos Santos Lenzi pela ajuda fundamental que tornou possível a realização dos experimentos.

Aos professores, demais colegas e funcionários do Departamento de Plantas de Lavoura, que contribuíram para a realização do trabalho e para minha formação.

Ao CNPq, pelo auxílio financeiro.

ESTIMATIVA DO POTENCIAL PRODUTIVO DA SOJA E VARIABILIDADE ESPACIAL DE ÁREA DE PRODUÇÃO^{1/}

Autor: João Leonardo Fernandes Pires

Orientador: José Antonio Costa

RESUMO

A busca de rendimentos elevados na cultura da soja, pressupõe o entendimento dos fatores responsáveis pela variabilidade dos parâmetros de planta que contribuem para o rendimento, e o desenvolvimento de metodologias para a avaliação destes parâmetros, em condições de lavoura. Como objetivos, o presente trabalho procurou estudar metodologias para a determinação do potencial de rendimento da soja durante a ontogenia, e avaliar a variabilidade existente em comunidades, por técnicas de geoestatística. Experimentos foram realizados na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), localizada em Eldorado do Sul, RS, no período de 1996 a 2001. Parte do trabalho enfocou a determinação do potencial de rendimento da soja durante a ontogenia. Para que se possa elevar o rendimento é necessário entender o comportamento do potencial. Para tanto, utilizou-se metodologias baseadas na quantificação das estruturas reprodutivas da soja, com acompanhamento temporal de cultivares diferenciadas, durante a ontogenia. Outra etapa experimental constou da análise espacial e temporal da produção de grãos e seus componentes, em uma comunidade de plantas de soja, manejada como uma lavoura comercial. Nesta última utilizou-se, além de técnicas estatísticas usualmente empregadas na experimentação agrícola, procedimentos de geoestatística para a caracterização da variabilidade espacial e temporal presentes na área. O trabalho demonstrou a existência de padrões similares entre cultivares e anos, para o potencial de rendimento e sua perda durante a ontogenia. Também evidenciou que é possível determinar a variabilidade espacial e temporal de comunidades de soja, mesmo trabalhando-se em nível de planta, e a capacidade das técnicas geoestatísticas em auxiliar na visualização de tal variabilidade. As técnicas empregadas podem servir de base para estudos aplicados, onde sua utilização pode ser uma ferramenta importante no manejo de áreas onde se busca maior precisão na agricultura, para aumentar o rendimento de grãos.

Termos para indexação: *Glycine max* (L.) Merrill, geoestatística, agricultura de precisão, rendimento de grãos, componentes do rendimento.

¹ Tese de Doutorado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (140p.) Fevereiro, 2002.

SOYBEAN POTENTIAL YIELD ESTIMATIVE AND SPATIAL VARIABILITY OF A AREA OF PRODUCTION^{1/}

Author: João Leonardo Fernandes Pires

Adviser: José Antonio Costa

ABSTRACT

In order to achieve high yields on a soybean crop, it is necessary to understand the factors responsible for the variability of the plant parameters that contribute to the yield, and develop methodologies in order to evaluate the parameters to be used in farming conditions. The objectives of the present work were to study methodologies for the determination of the soybean potential yield during ontogeny, and evaluate the existing variability in soybean communities, by geostatistical techniques. The experiments were performed at the Estação Experimental Agronômica of the Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), in Eldorado do Sul, RS, from 1996 thru 2001 growing season. Part of the work focused on the determination of the soybean potential yield during ontogeny. In order to increase grain yield it is necessary to understand the variation of the potential yield. Therefore, methodologies were established based on the quantification of the soybean reproductive structures, following the temporal behavior of several cultivars during ontogeny. Another experiment consisted of the spatial and temporal analysis of the grain production and its components in a soybean plant community cultivated as a conventional soybean crop. The data were treated with usual statistical techniques for agricultural experimentation, as well as with geostatistical procedures, for the characterization of the spatial and temporal variability present in the area. The work demonstrated similar patterns between cultivars and years, for the potential yield quantification and its loss during ontogeny. It was also possible to determine the spatial and temporal variability of the soybean communities, even working in the plant level, and the usefulness of the geostatistical techniques in assisting in the visualization of such variability. The techniques used can serve as a base for applied studies, where its use can be an important tool in the management of areas where greater accuracy in agriculture is sought with the objective of increasing grain yield.

Index terms: *Glycine max* (L.) Merrill, geostatistics, precision agriculture, grain yield, yield components.

^{1/} Doctoral thesis in Agronomy, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (140p.) February, 2002.

SUMÁRIO

	Página
INTRODUÇÃO GERAL	1
CAPÍTULO I – Cultivares de soja diferem em potencial de rendimento durante a ontogenia	6
1.1. Resumo.....	6
1.2. Abstract	7
1.3. Introdução	8
1.4. Material e Métodos	13
1.5. Resultados e Discussão	17
1.6. Conclusões	34
CAPÍTULO II - Metodologias para estimativa do potencial de rendimento da soja durante a ontogenia com base nas estruturas reprodutivas	35
2.1. Resumo.....	35
2.2. Abstract	36
2.3. Introdução	37
2.4. Material e Métodos	39
2.5. Resultados e Discussão	44
2.6. Conclusões	55
CAPÍTULO III - Variabilidade espacial e temporal de plantas de soja em comunidades	56
3.1. Resumo.....	56
3.2. Abstract	57
3.3. Introdução	58
3.4. Material e Métodos	61

3.5. Resultados e Discussão	65
3.6. Conclusões	92
CAPÍTULO IV - Variabilidade espacial dos componentes de produção de plantas de soja em comunidade.....	93
4.1. Resumo.....	93
4.2. Abstract	94
4.3. Introdução	95
4.4. Material e Métodos	98
4.5. Resultados e Discussão	101
4.6. Conclusões	116
CONCLUSÕES GERAIS.....	119
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	127
APÊNDICES.....	139
VITA.....	140

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1.1. Resultado da comparação entre os coeficientes de regressão (b) das cultivares nas estações de crescimento 1996/97 (E I), 1999/00 (E II) e 2000/01 (E III). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS	23
1.2. Resultado da comparação entre anos dos coeficientes de regressão (b) das cultivares nas estações de crescimento 1996/97 (E I), 1999/00 (E II) e 2000/01 (E III). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS	24
1.3. Número de estruturas reprodutivas de cinco cultivares de soja em três estações de crescimento. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1996/97, 1999/00 e 2000/01	25
1.4. Componentes do rendimento utilizados para a estimativa do potencial de rendimento de cinco cultivares de soja em três estações de crescimento. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1996/97, 1999/00 e 2000/01	26
1.5. Componentes do rendimento utilizados para a estimativa do potencial de rendimento de cinco cultivares de soja em três estações de crescimento. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1996/97, 1999/00 e 2000/01	27
1.6. Coeficientes de correlação entre o potencial de rendimento (PR) estimado em R2 (florescimento) e R5 (início do enchimento de grãos); o rendimento de grãos em R8 (maturação) na amostra de 10 plantas (R8a) e o rendimento de grãos da área útil (R8p); e os componentes do rendimento. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1996/97, 1999/00, 2000/01	28
1.7. Coeficientes de correlação entre o potencial de rendimento (PR) estimado em R2 (florescimento) e R5 (início do enchimento de grãos); o rendimento de grãos em R8 (maturação) na amostra de 10 plantas (R8a) e o rendimento de grãos da área útil (R8p); e os componentes do	

rendimento. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1996/97, 1999/00, 2000/01	28
2.1. Parâmetros utilizados em cada método para estimativa do potencial de rendimento durante a ontogenia, com base nas estruturas reprodutivas da soja	42
2.2. Correlações entre as estimativas do potencial de rendimento em R2 pelos diferentes métodos e os rendimentos obtidos na amostra (R8a) e na área útil da parcela (R8p), em três estações de crescimento. FA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1996/97 (E I), 1999/00 (E II) e 2000/01 (E III)	49
2.3. Correlações entre as estimativas do potencial de rendimento em R5 pelos diferentes métodos e os rendimentos obtidos na amostra (R8a) e na área útil da parcela (R8p), em três estações de crescimento. FA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1996/97 (E I), 1999/00 (E II) e 2000/0 (E III)	49
2.4. Correlações entre os componentes usados para estimar o potencial de rendimento em R2 e o potencial calculado por diferentes métodos e os rendimentos obtidos na amostra (R8a) e na área útil da parcela (R8p), em três estações de crescimento. FA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1996/97, 1999/00 e 2000/01	51
2.5. Correlações entre os componentes usados para estimar o potencial de rendimento em R5 e o potencial calculado por diferentes métodos e os rendimentos obtidos na amostra (R8a) e na área útil da parcela (R8p), em três estações de crescimento. FA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1996/97, 1999/00 e 2000/01	52
3.1. Análise descritiva dos dados das variáveis estudadas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1997/98 (E I), 1998/99 (E II) e 1999/00 (E III)	67
3.2. Coeficientes de correlação entre as características determinadas por planta e área individual. EEA, UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1997/98 (E I), 1998/99 (E II) e 1999/2000 (E III)	73
3.3. Características espaciais das propriedades avaliadas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1997/98 (E I), 1998/99 (E II) e 1999/00 (E III)	80
4.1. Análise descritiva dos dados das variáveis estudadas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1999/00.....	101
4.2. Coeficientes de correlação entre as características determinadas por planta e área individual. EEA, UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1999/2000	104

4.3. Características espaciais das propriedades determinadas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1999/00.....	110
---	-----

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1.1. Representação esquemática da estimativa do potencial de rendimento com base nas estruturas reprodutivas. R2 = florescimento, R5 = início do enchimento de grãos e R8 = maturação	15
1.2. Extrato do balanço hídrico segundo Thorntwaite & Mather (1955) (Rolim et al., 1998) para capacidade de armazenamento de água no solo de 50 mm. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1996/97 (E I), 1999/00 (E II) e 2000/01 (E III). S = semeadura, C = colheita.....	18
1.3. Estimativa do potencial de rendimento (PR) de cinco cultivares de soja nas estações de crescimento de 1996/97 (E I), 1999/00 (E II) e 2000/01 (E III). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.....	19
1.4. Estimativa do potencial de rendimento (PR) da cultivar FT-Saray em três estádios de desenvolvimento em três anos de cultivo. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. R2 = florescimento; R5 = início do enchimento de grãos; R8 = maturação	21
1.5. Estimativa do potencial de rendimento (PR) da cultivar IAS 5 em três estádios de desenvolvimento em três anos de cultivo. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. R2 = florescimento; R5 = início do enchimento de grãos; R8 = maturação	21
1.6. Estimativa do potencial de rendimento (PR) da cultivar IAS 4 em três estádios de desenvolvimento em três anos de cultivo. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. R2 = florescimento; R5 = início do enchimento de grãos; R8 = maturação	22
1.7. Estimativa do potencial de rendimento (PR) da cultivar FT-Abyara em três estádios de desenvolvimento em três anos de cultivo. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. R2 = florescimento; R5 = início do enchimento de grãos; R8 = maturação	22

1.8. Estimativa do potencial de rendimento (PR) da cultivar FEPAGRO RS-10 em três estádios de desenvolvimento em três anos de cultivo. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. R2 = florescimento; R5 = início do enchimento de grãos; R8 = maturação.....	23
2.1. Representação gráfica dos conceitos de rendimento potencial (RP) e potencial de rendimento (PR) com a demonstração do método de estimativa utilizado no trabalho. Vn = estimativa do PR no período vegetativo; Rn = estimativa do PR no período reprodutivo.....	46
2.2. Potencial de rendimento (PR) da soja no estádio R2, estimado por métodos diferentes e rendimento em R8 da amostra (R8a) e área útil (R8p), na média de cinco cultivares e três estações de crescimento. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1996/97, 1999/00 e 2000/01.....	47
2.3. Potencial de rendimento (PR) da soja no estádio R5, estimado por métodos diferentes e rendimento em R8 da amostra (R8a) e área útil (R8p), na média de cinco cultivares e três estações de crescimento. Eldorado do Sul, RS, 1996/97, 1999/00 e 2000/01.....	48
3.1. Extrato do balanço hídrico segundo Thorntwaite & Mather (1955) (Rolim et al., 1998) para capacidade de armazenamento de água no solo de 50 mm. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1997/98 (E I), 1998/99 (E II) e 1999/2000 (E III). S = semeadura, C = colheita.....	66
3.2. Matéria seca (MS) de grãos por planta de soja (g) em função da área ocupada por planta (cm ²). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1997/98 (E I), 1998/99 (E II) e 1999/00 (E III)	76
3.3. Matéria seca (MS) total da soja (g/planta) em função da matéria seca de grãos (g/planta). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1997/98 (E I), 1998/99 (E II) e 1999/00 (E III).....	77
3.4. Matéria seca (MS) de grãos por planta de soja (g) em função do índice de colheita por plantas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1997/98 (E I), 1998/99 (E II) e 1999/00 (E III)	78
3.5. Representação da posição de cada planta na área. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1997/98 (E I), 1998/99 (E II) e 1999/00 (E III)	83
3.6. Semivariograma e mapa interpolado da área por planta de soja (cm ²). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1997/98 (E I), 1998/99 (E II), e 1999/00 (E III)	84
3.7. Semivariograma e mapa interpolado da matéria seca da palha (g/planta) de soja. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1997/98 (E I), 1998/99 (E II), e 1999/00 (E III).....	85

3.8. Semivariograma e mapa interpolado da matéria seca de grãos (g/planta) de soja. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1997/98 (E I), 1998/99 (E II), e 1999/00 (E III).....	86
3.9. Semivariograma e mapa interpolado da matéria seca total (g/planta) de soja. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1997/98 (E I), 1998/99 (E II), e 1999/00 (E III).....	87
4.1. Matéria seca (MS) de grãos por planta de soja (g) em função da área disponível por planta (a) e dos componentes de produção de primeira ordem (b, c e d). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1999/00	106
4.2. Matéria seca (MS) de grãos por planta de soja (g) em função do número de legumes férteis no caule (a), ramos (b) e total (c). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1999/00.....	107
4.3. Matéria seca (MS) de grãos por planta de soja (g) em função do número (a) e matéria seca da palha (b) dos ramos (g). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1999/00	108
4.4. Área (a), estatura (b) número de ramos (c) e matéria seca (em gramas) de grãos por planta de soja (d) em comunidade. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1999/00	112
4.5. Legumes férteis no caule (a), ramos (b) e planta (c) e matéria seca (em gramas) de grãos no caule (d), ramos (e) e planta (f) da soja em comunidade. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1999/00	113
4.6. Matéria seca da palha no caule (a), ramos (b) e planta (c); matéria seca de grãos no caule (d), ramos (e) e planta (f) e matéria seca total no caule (g), ramos (h) e planta (i) da soja (em gramas) em comunidade. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1999/00.....	114

CAPÍTULO I

CULTIVARES DE SOJA DIFEREM EM POTENCIAL DE RENDIMENTO DURANTE A ONTOGENIA

1.1. RESUMO

A estimativa do potencial de rendimento é uma ferramenta importante na identificação das estratégias de compensação que as cultivares de soja utilizam durante a estação de crescimento. Com esta, é possível escolher cultivares e práticas de manejo para maximizar o rendimento. Os objetivos do trabalho foram quantificar o potencial de rendimento de cultivares de soja, nos estádios R2 (florescimento), R5 (início do enchimento de grãos) e o rendimento em R8 (maturação), bem como, identificar padrões de perda do potencial de rendimento nas diferentes cultivares testadas. O experimento foi conduzido na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), em Eldorado do Sul, RS, durante as estações de crescimento de 1996/97, 1999/00 e 2000/01. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos constaram de cinco cultivares de soja (FT-Saray, IAS 5, IAS 4, FT-Abyara e FEPAGRO RS-10). Estimou-se o potencial de rendimento das cultivares, considerando o rendimento que seria obtido se a planta conseguisse manter todas as flores presentes no florescimento (R2) e todas as estruturas reprodutivas (flores e legumes) no início do enchimento de grãos (R5), e que estas flores e legumes chegassem ao final do ciclo (R8) produzindo legumes e grãos. As cultivares de soja diferem em potencial de rendimento em cada estágio fenológico avaliado, mas estas diferenças não se refletem fielmente no rendimento de grãos em R8. Existem diferenças entre cultivares no padrão de perda do potencial de rendimento entre estádios fenológicos. O número de estruturas reprodutivas em R2 e R5 influencia o potencial de rendimento das cultivares. A porcentagem de redução no potencial de rendimento entre estádios fenológicos difere entre cultivares.

Termos para indexação: *Glycine max* (L.) Merrill, aborto de flores, abscisão de legumes.

SOYBEAN CULTIVARS DIFER IN POTENTIAL YIELD DURING ONTOGENY

1.2. ABSTRACT

The estimate of the potential yield is an important tool for the identification of the compensation strategies that the soybean cultivars use during the growth season. With this knowledge, it is possible to choose cultivars and management techniques to maximize yield. The objectives of this study were to quantify the potential yield of soybean cultivars, at the stages R2 (flowering), R5 (beginning of pod filling) and the yield in R8 (maturity), as well as, to identify patterns of loss of this potential in every cultivar tested. The experiment was performed at the Estação Experimental Agronômica of the Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), in Eldorado do Sul, RS, during the growing seasons of 1996/97, 1999/00 and 2000/01. Experimental design was randomized complete block, with four replications. The treatments were five soybean cultivars (FT-Saray, IAS 5, IAS 4, FT-Abyara and FEPAGRO RS-10). The potential yield of the cultivars were estimated, considering the yield that would be reached if the plant was able to maintain all the flowers present at flowering (R2) and all the reproductive structures (flowers and pods) at the beginning of pod filling (R5), and if all flowers and pods were kept until the end of the cycle (R8) producing pods and grains. The soybean cultivars differ in potential yield in each growth stage evaluated, but these differences are not reflected in the grain yield in R8. There are differences among cultivars in the pattern of loss of the potential yield between growth stages. The number of reproductive structures in R2 and R5 influences the potential yield of the cultivars. The percentage of reduction in the potential yield between growth stages differ among cultivars.

Index terms: *Glycine max* (L.) Merrill, flower abortion, pod abscission.

1.3. INTRODUÇÃO

O potencial de rendimento que seria obtido pela soja, se todas as flores e legumes produzidos fossem fixados, formassem grãos e contribuíssem com o rendimento de grãos na maturação, não é conhecido. Para alcançar tal objetivo é necessário que se entenda os processos que comandam a produção e fixação de flores e legumes, bem como o efeito de características genéticas, ambientais e de manejo sobre tais fatores. No entanto, os mecanismos responsáveis pela fixação de flores e legumes não se encontram completamente estabelecidos. Atualmente existem duas teorias principais: a nutricional e a hormonal que tentam explicar este comportamento (Heitholt et al., 1986).

Segundo Heitholt et al. (1986), com a remoção de todos os legumes da planta, exceto de um nó, ocorre redução de 69 para 54% no aborto de flores produzidas tardiamente neste nó. No entanto, removendo-se todos os legumes de somente um nó da planta, a redução no aborto daquele nó passa de 69 para 36%. Estes resultados indicam que o processo que controla o aborto de flores opera em nível de nó individual e que a razão total fonte-demanda da planta é de importância secundária.

A dependência nutricional é evidenciada em experimentos com sombreamento (redução de fonte) onde ocorre diminuição no número de legumes por planta pelo aumento no aborto de flores e abscisão de legumes (Jiang & Egli, 1993). Soma-se a isto a baixa translocação internodal de assimilados em soja, que dificulta a realocação de assimilados de regiões da planta com excesso de assimilados para regiões com déficit (principalmente nas porções basais da planta) (Adams, 1967).

Dependendo da disponibilidade nutricional, a fonte de assimilados seleciona o órgão que irá receber mais ou menos assimilados (prioridade de demanda). Na soja, as flores apresentam pouca força de demanda em relação a carbono e nitrogênio (Loomis

& Connor, 1992). No feijão a força de demanda dos órgãos reprodutivos pode ser classificada em ordem decrescente: botões florais > legumes > flores (Binnie & Clifford, 1999). Por esta relação de prioridade, as flores produzidas no início do florescimento tem entre 31 a 48% de aborto, enquanto que as produzidas tardiamente têm 69 a 90% de aborto no campo (Heitholt et al., 1986).

Tanto a produção, como o aborto de estruturas reprodutivas, são sensíveis a mudanças no suprimento de fotoassimilados durante o florescimento e fixação de legumes (Jiang & Egli, 1993; Bruening & Egli, 2000).

A fixação de estruturas reprodutivas pode ser influenciada também pela taxa de suprimento de assimilados, o que depende de relações de fonte e demanda. Isto pôde ser verificado em um trabalho realizado por Egli & Bruening (2001), onde constatou-se que o enchimento de grãos da soja pode ser limitado pela fonte ou pela demanda, dependendo da situação. Os autores demonstraram que a limitação da taxa de enchimento de grãos pela fonte ocorre quando o suprimento de assimilados decresce e, que a taxa de enchimento de grãos é limitada pela demanda, quando o suprimento de assimilados aumenta, durante o período de enchimento. No entanto, o mecanismo que comanda a resposta de “fonte-demanda” é complexo e sua determinação pode ajudar a entender a dinâmica reprodutiva da soja principalmente explicando o motivo de algumas cultivares serem tanto limitadas pela fonte como pela demanda.

O fotoperíodo também afeta a atividade reprodutiva, sendo que em fotoperíodos longos há aumento na fertilidade dos nós e mais legumes e sementes são produzidas por nó. Esta resposta é mais freqüente em semeaduras realizadas no cedo (Kantolic & Slafer, 2001).

Com relação às características hormonais, Binnie & Clifford (1999), trabalhando com feijão, aventaram a possibilidade de que o controle da fixação de legumes seja mediada pela competição no racemo por fatores hormonais, necessários a manutenção

da força de demanda das estruturas reprodutivas. Afirmaram, também, que a retenção destas estruturas em soja (Dyer et al., 1987) e guandu-anão (*Cajanus cajan*) (Barclay & McDavid, 1998) submetidas a aplicação de citocinina, indicam que este hormônio pode cumprir esta tarefa. Nagel et al. (2001) obtiveram aumentos no rendimento com a aplicação de citocinina, na ordem de 79%, em casa de vegetação, e 3% no campo, sugerindo que esta prática tem papel significativo em determinar o rendimento total e que o aumento no nível de citocinina em certos ambientes pode resultar em aumentos de rendimento. Segundo Carlson et al. (1987), os níveis de citocinina endógenos no xilema da soja são altos no início da antese e decrescem com a progressão do florescimento. Estudos em flores e legumes de soja (Reese et al., 1995) sugerem que a citocinina atua redirecionando o movimento de assimilados em tecidos tratados, aumentando a força de demanda e as taxas de crescimento, prevenindo a abscisão das flores e legumes em desenvolvimento (Huff & Dybing, 1980; Dybing, 1994). Para Tucker et al. (1996), o etileno também pode estar envolvido na queda de flores, afirmando ser possível atuar em genes como ETR 1 para reduzir a sensibilidade das plantas ao etileno, capacitando-as a manter mais flores e desenvolver maior número de legumes.

O déficit hídrico na parte aérea durante parte do período luminoso é outro fator que pode causar abscisão de estruturas reprodutivas. Este pode ocorrer durante todo o ciclo e limitar a quantidade de produtos da fotossíntese mesmo em condições de umidade adequada (Marchezan & Costa, 1983). Segundo Boyer et al. (1980), a transpiração elevada que ocorre durante o período com maior potencial para fotossíntese (12 às 16 horas), pode inibir completamente o processo fotossintético.

Características morfológicas também são importantes na atividade reprodutiva em soja. A abscisão de estruturas não é uniforme em toda a planta, sendo que legumes presentes na posição “proximal” do racemo interferem nos legumes da posição “distal”, aumentando sua abscisão (Spollen et al., 1986). Em feijão, e provavelmente em soja, a

força de demanda do órgão reprodutivo é o evento chave que define sua abscisão e o principal mecanismo pelo qual o número de legumes é controlado. Estudando tal característica com ^{14}C , Binnie & Clifford (1999) demonstraram que diferenças na força de demanda estão relacionadas a posição do órgão reprodutivo nos racemos e que estas podem ser detectadas já no estágio de botão floral.

Sabe-se, ainda, que muitas práticas de manejo como: adubação (Brevedan et al., 1978; Ventimiglia, 1996), densidade de semeadura (Domingues & Hume, 1978), espaçamento entre linhas (Ventimiglia, 1996), irrigação (Maehler, 2000) e fatores ambientais (temperatura, fotoperíodo e sombreamento) (Van Schaick & Probst, 1958; Jiang & Egli, 1993), afetam a produção e fixação de flores e legumes.

Embora muitos fatores possam atuar sobre a produção e manutenção de estruturas reprodutivas em soja, pode-se buscar aumentos no rendimento pela diminuição do aborto de flores e abscisão de legumes, proporcionando que mais legumes cheguem a maturação.

A grande variação na demanda reprodutiva que a soja pode apresentar, embora dificulte o trabalho e sua interpretação, reforça a capacidade da planta em fazer ajustes frente a mudanças nas condições de ambiente a que é exposta (Heitholt et al., 1986).

Alguns trabalhos indicam que não há relação entre o número de flores produzidas e o rendimento de grãos (Dybing, 1994). Outros, indicam que o rendimento (peso de grãos por planta) foi positivamente relacionado com o número de flores produzidas ($r = 50\%$) (Wiebold et al., 1981). Sabe-se, que a soja é conhecida por apresentar grande número de flores e aborto elevado destas, que pode variar de 27 a 78% (Sharma et al., 1990). Quanto ao número de estruturas reprodutivas, Wiebold et al. (1981), trabalhando com 11 cultivares determinadas, encontraram variação de 170 a 332 flores/planta e de 41 a 90 legumes/planta, sendo que as flores e os legumes com menos de dois centímetros foram responsáveis por mais de 87% da abscisão.

Algumas cultivares com grande número de flores por nó têm maior percentagem de aborto em relação às aquelas com poucas flores por nó. A abscisão em soja pode ocorrer no momento da iniciação do botão floral, durante o desenvolvimento dos órgãos florais, na fertilização, durante o início do estágio de pró-embrião, ou a qualquer estágio do desenvolvimento dos cotilédones (Carlson & Lersten, 1987). No entanto, pode ser possível reunir em uma mesma cultivar características de aborto baixo de flores, racemos longos e muitas flores por racemo (Sharma et al., 1990). Estes autores, em um estudo de características reprodutivas de soja, mostraram que existem exceções à associação entre alto número de flores/racemo e alto aborto de flores, que puderam ser evidenciados em dois genótipos e sua progênie. Também observaram que a herdabilidade média em F2 para aborto de flores é de 47% e para flores/racemo de 64%.

As cultivares de soja, por apresentarem características distintas de ciclo, arquitetura e dinâmica reprodutiva, podem diferir na forma com que interagem com o meio e utilizam os recursos disponíveis, apresentando potencial de rendimento variado. Segundo Marchezan & Costa (1983), seria importante selecionar materiais com maior capacidade de fixação de flores e legumes.

Frente ao exposto pode-se afirmar que características morfo-fisiológicas e fenológicas da soja podem refletir o grau de crescimento, desenvolvimento, e o potencial de rendimento (PR) em diferentes estádios durante a ontogenia, podendo ser usadas para estimar o potencial de rendimento pontual (em um estágio determinado) e direcionar a tomada de decisões de manejo.

Os objetivos do trabalho foram quantificar o potencial de rendimento de cultivares de soja, nos estádios R2 (florescimento), R5 (início do enchimento de grãos) e o rendimento em R8 (maturação), bem como, identificar padrões de perda do potencial de rendimento nas diferentes cultivares testadas.

1.4. MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos três experimentos na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), localizada no município de Eldorado do Sul, na região fisiográfica da Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul, nos anos agrícolas de 1996/97 (E I), 1999/00 (E II) e 2000/01 (E III).

O clima da região pertence a variedade específica Cfa da classificação climática de Köeppen, ou seja, subtropical úmido com verão quente. A temperatura média anual é de 14,9°C e precipitação média anual de 1440 mm (Bergamaschi & Guadagnin, 1990). O solo da área experimental pertence a unidade de mapeamento São Jerônimo, classificado como Argissolo Vermelho Distrófico típico (Embrapa, 1999).

O balanço hídrico, calculado em base decencial pelo método de Thornthwaite & Mather (1955), é apresentado como extrato do balanço hídrico utilizando-se as planilhas para cálculo propostas por Rolim et al. (1998) para uma capacidade de armazenamento de água no solo de 50 mm. Os dados meteorológicos foram obtidos de uma estação automática do Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, distante dois quilômetros da área experimental, e da Estação Experimental de Taquarí/RS (FEPAGRO/SCT-RS).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos constaram de cinco cultivares de tipo de crescimento determinado, sendo duas de ciclo precoce (FT-Saray e IAS 5); uma de ciclo médio (IAS 4); uma de ciclo semitardio (FT-Abyara) e uma de ciclo tardio (FEPAGRO RS-10), na população de 40 plantas/m². As unidades experimentais foram formadas por quatro linhas de cinco metros de comprimento com espaçamento entre linhas de 0,4 m, considerando-se como bordadura as duas linhas externas e 0,5 m na extremidade das linhas. Para as determinações, utilizou-se as observações realizadas em cinco plantas (E

I), e 10 plantas (E II e E III) marcadas em seqüência na linha no início do ciclo da cultura (estádio V4 - quarto nó, segundo Costa & Marchezan, 1982), na área útil de cada parcela.

O experimento E I foi conduzido em sistema de semeadura convencional e os experimentos E II e E III em semeadura direta, com cobertura de aveia preta (3800 kg/ha) e aveia mais ervilhaca (5800 kg/ha), nos experimentos E II e E III, respectivamente. A semeadura foi efetuada dentro da época preferencial para o cultivo da soja na região da Depressão Central, realizada manualmente (E I) e com semeadora de parcelas (E II e E III). As sementes foram tratadas com fungicida específico e inoculadas com estirpes de *Bradyrhizobium japonicum* em meio turfoso.

Os experimentos foram mantidos livre da interferência de insetos pragas e plantas daninhas durante todo o ciclo, com a utilização de produtos recomendados para a cultura da soja.

Foi realizada suplementação hídrica somente no experimento E I, por meio de aspersores fixos.

Realizou-se determinações nas plantas marcadas, durante o ciclo, a fim de coletar dados para o cálculo da estimativa do potencial de rendimento nos estádios R2 (florescimento pleno), R5 (início do enchimento de grãos) e em R8 (maturação).

Para o cálculo da estimativa do potencial de rendimento determinou-se, primeiramente, o número de flores em R2 e o número de flores e legumes em R5 (quando cada cultivar atingia o estágio referenciado). Para tanto, a flor era contada quando as pétalas excediam o comprimento do cálice, tornando-se visíveis; e o legume, quando ultrapassava as pétalas da flor que lhe deu origem. No estágio R8 determinou-se o número de legumes/m², percentagem de legumes com um, dois, três e sem grãos e o peso de 100 grãos de legumes com um, dois e três grãos (Figura 1.1).

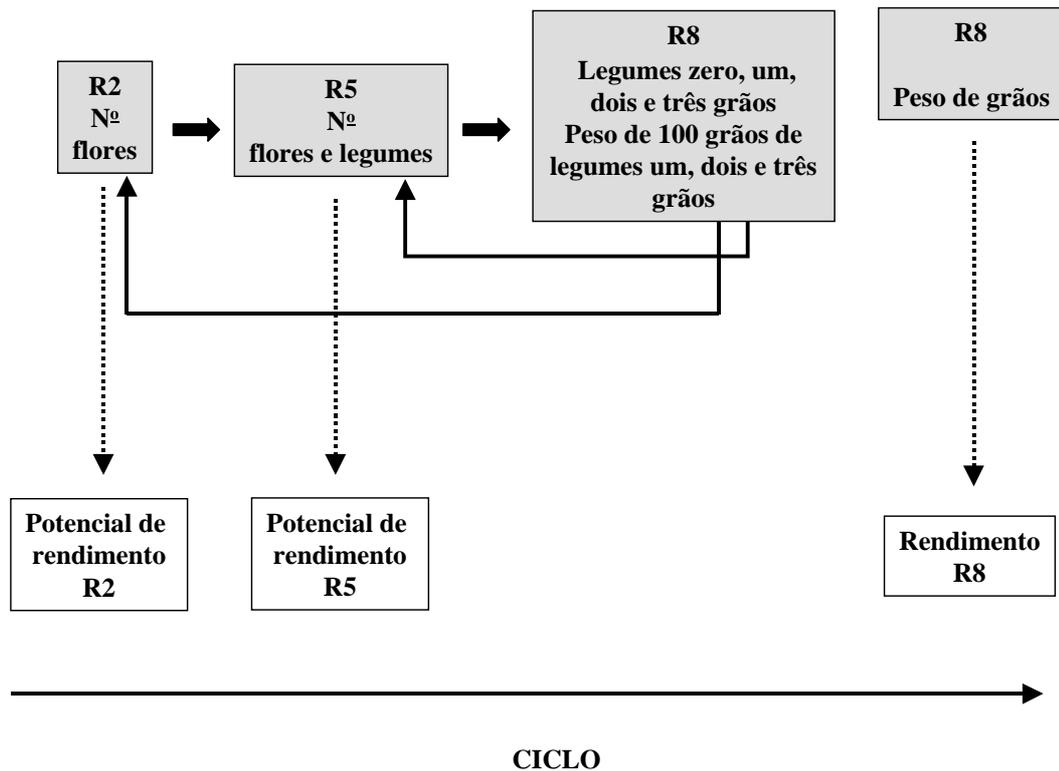


FIGURA 1.1 – Representação esquemática da estimativa do potencial de rendimento com base nas estruturas reprodutivas. R2 = florescimento, R5 = início do enchimento de grãos e R8 = maturação.

A estimativa do potencial de rendimento (PR) foi realizada com a utilização das seguintes fórmulas:

$$PR(R2) = \{[(1) * (FR2 * \%L1GR8) * (P1GL1G)] + [(2) * (FR2 * \%L2GR8) * (P1GL2G)] + [(3) * (FR2 * \%L3GR8) * (P1GL3G)]\} / 10$$

$$PR(R5) = \{[(1) * (ER5 * \%L1GR8) * (P1GL1G)] + [(2) * (ER5 * \%L2GR8) * (P1GL2G)] + [(3) * (ER5 * \%L3GR8) * (P1GL3G)]\} / 10$$

Onde:

PR (R2) = potencial de rendimento no florescimento (kg/ha);

PR (R5) = potencial de rendimento no início do enchimento de grãos (kg/ha);

FR2 = número de flores/m² em R2;

ER5 = número de estruturas reprodutivas (flores + legumes)/m² em R5;

%L1GR8 = percentagem de legumes com um grão em R8;

%L2GR8 = percentagem de legumes com dois grãos em R8;

%L3GR8 = percentagem de legumes com três grãos em R8;

PIGL1G = peso de um grão de legumes com um grão (g) a 13% de umidade (estimado pelo peso de 100 grãos de legumes com um grão);

PIGL2G = peso de um grão de legumes com dois grãos (g) a 13% de umidade (estimado pelo peso de 100 grãos de legumes com dois grãos);

PIGL3G = peso de um grão de legumes com três grãos (g) a 13% de umidade (estimado pelo peso de 100 grãos de legumes com três grãos).

A estimativa do potencial de rendimento é a forma de expressar o rendimento se todas as flores presentes em R2, e todas as flores e legumes presentes em R5 fossem mantidos até a maturação como estruturas componentes do rendimento (produzindo grãos e contribuindo com o rendimento).

A análise estatística foi realizada pelo aplicativo SAS (Statistical Analysis System - SAS, 1987), efetuando-se primeiramente a análise individual dos três experimentos, pela análise de variância.

Após a análise individual, realizou-se avaliação do quadrado médio dos erros experimentais (pelo teste de Bartlett) e verificação da presença de valores aberrantes, a fim de averiguar a possibilidade da realização de análise conjunta dos três experimentos.

Realizou-se análise de variância dos dados pelo teste F, comparação de médias de cultivares pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade e análise de regressão para avaliação do comportamento de cada cultivar ao longo da ontogenia. Quanto esta foi significativa realizou-se a comparação das equações de regressão pelo teste t a 5% de probabilidade. Foi efetuada análise de correlação entre a estimativa do potencial de rendimento, rendimento de grãos da amostra (obtida em cinco ou 10 plantas dependendo do experimento – R8a), rendimento de grãos da parcela (área útil – R8p) e os componentes do rendimento utilizados para a estimativa do potencial de rendimento.

1.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os anos agrícolas de realização dos experimentos, do ponto de vista meteorológico, foram diferentes, principalmente quanto a disponibilidade hídrica. O extrato do balanço hídrico (Figura 1.2), demonstrou que o E I apresentou deficiência hídrica acentuada, com períodos de excesso somente no início do ciclo e do final de janeiro até o início de março. No E II houve deficiência durante todo o período vegetativo com excesso durante grande parte do período reprodutivo. Já no E III, as condições foram as melhores entre os três anos, com excessos hídricos durante quase todo o ciclo. Isto demonstra que as cultivares foram expostas a condições diferenciadas, o que torna a estimativa do potencial de rendimento utilizada, representativa de condições contrastantes.

Estimativa do potencial de rendimento (PR), no contexto deste trabalho é o rendimento que possivelmente seria obtido se as condições ambientais fossem adequadas, dentro do sistema de cultivo e práticas de manejo adotadas, possibilitando a fixação máxima das estruturas reprodutivas produzidas pela planta e presentes nos estádios avaliados (Pires et al., 2000).

Os resultados mostraram diferenças no PR estimado entre cultivares no primeiro ano (E I) e interação entre cultivar e ano na análise conjunta dos outros dois anos (E II e E III). Portanto, os dados são apresentados de acordo com a análise individual, pois a análise conjunta não proporcionou ganhos de interpretação dos resultados. Estas diferenças variaram de ano para ano e dentro de cada estádio, observando-se comportamento diferenciado entre as cultivares (Figura 1.3).

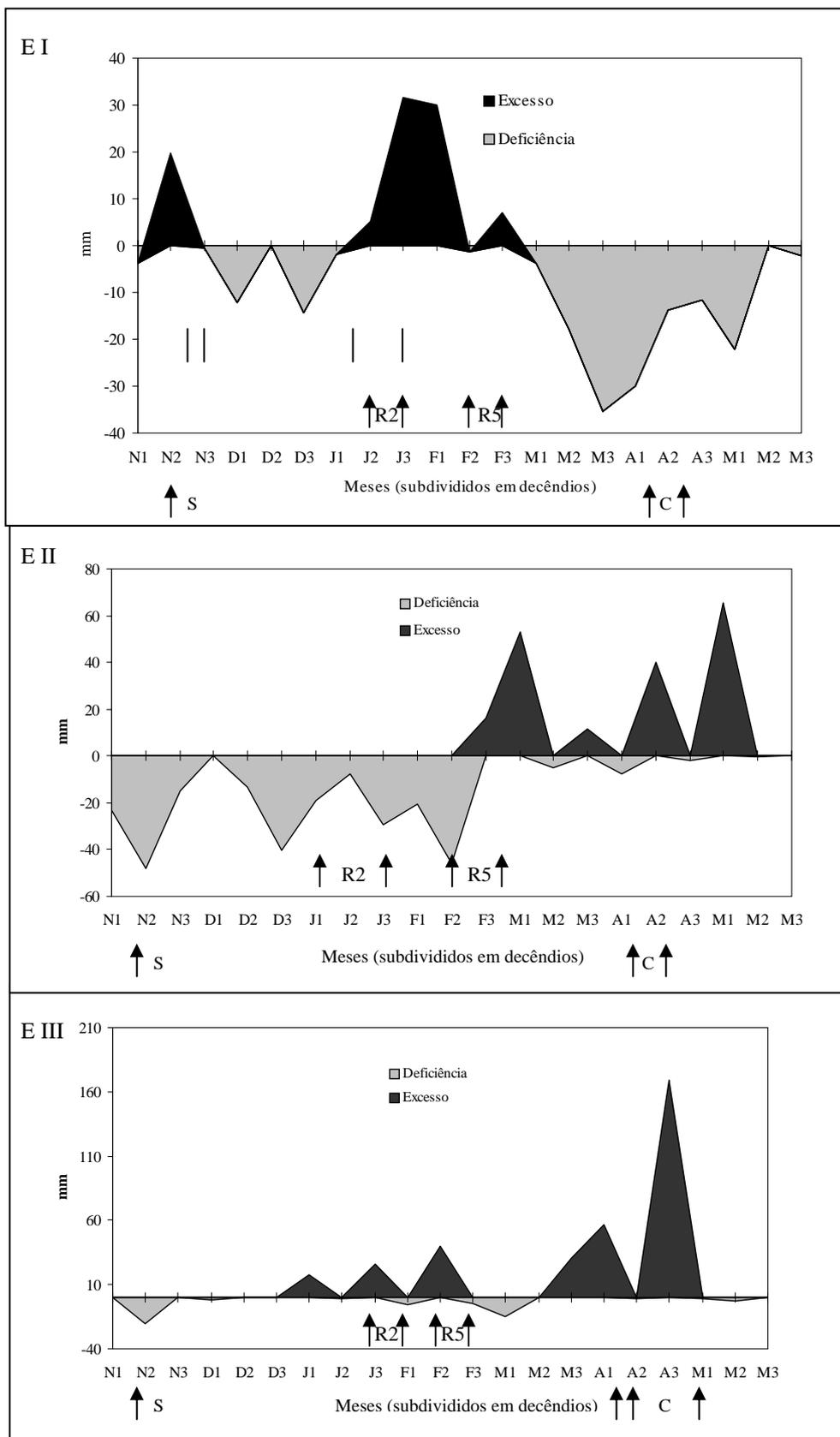


FIGURA 1.2 – Extrato do balanço hídrico segundo Thorntwaite & Mather (1955) (Rolim et al., 1998) para capacidade de armazenamento de água no solo de 50 mm. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1996/97 (E I), 1999/00 (E II) e 2000/01 (E III). S = semeadura, R2 = florescimento, R5 = início do enchimento de grãos, C = colheita. | = irrigação.

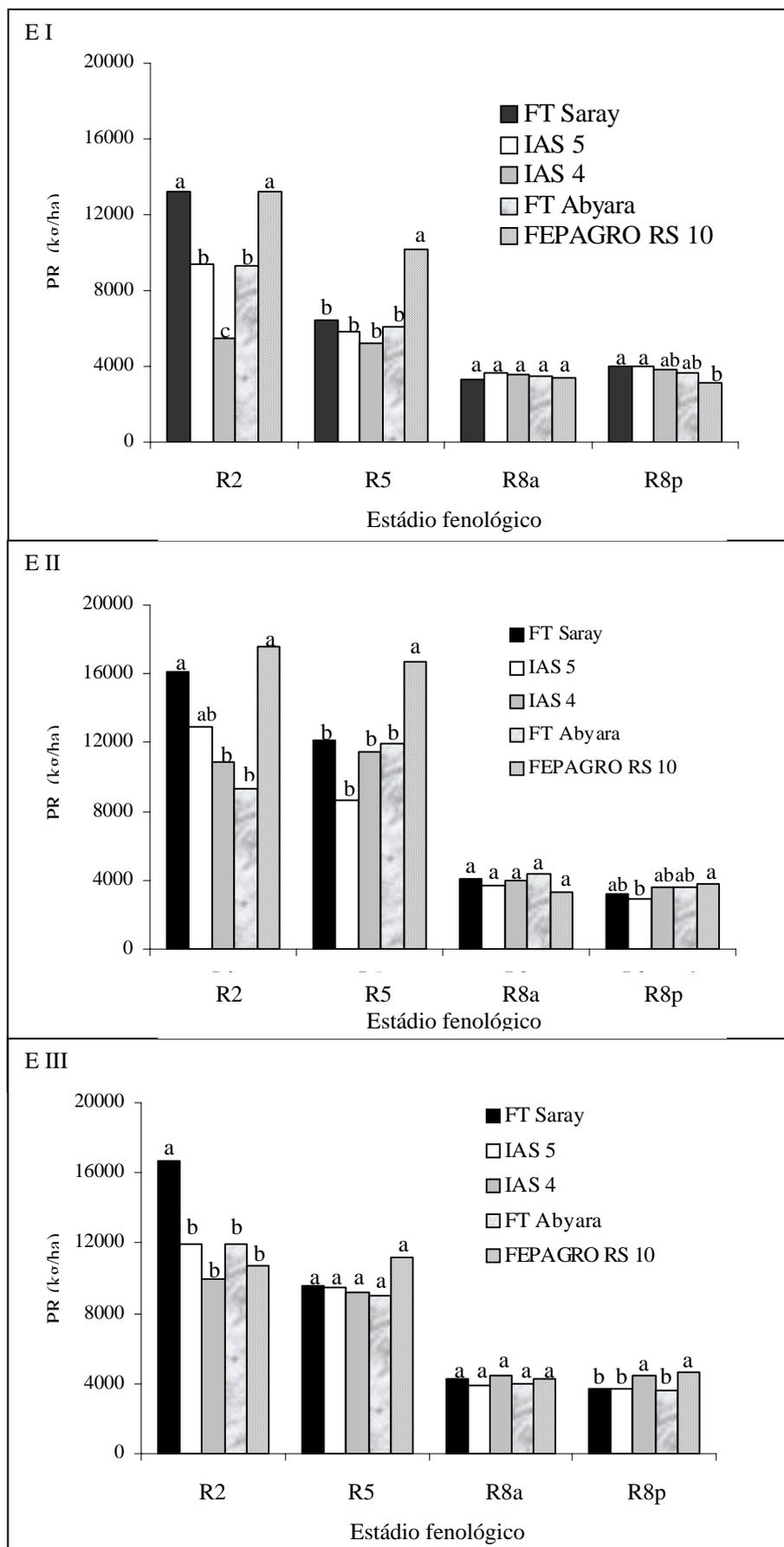


FIGURA 1.3 - Estimativa do potencial de rendimento (PR) de cinco cultivares de soja nas estações de crescimento de 1996/97 (E I), 1999/00 (E II) e 2000/01 (E III). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.

FIGURA 1.2 – Extrato do balanço hídrico segundo Thorntwaite & Mather (1955) (Rolim et al., 1998) para capacidade de armazenamento de água no solo de 50 mm. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1996/97 (E I), 1999/00 (E II) e 2000/01 (E III). S = semeadura, C = colheita.

Em R2 a cultivar FT-Saray destacou-se por apresentar o maior potencial de rendimento nos três anos, embora não diferindo das cultivares FEPAGRO RS-10 (E I) e da cultivar IAS 5 e FEPAGRO RS-10 (E II). O menor potencial foi observado na cultivar IAS 4 (E I e E III) embora não diferindo de outras três cultivares (E III). Em 2000 (E II) a cultivar com menor potencial foi FT-Abyara sem diferir de outras duas cultivares.

No estágio R5, o maior potencial de rendimento foi obtido na cultivar FEPAGRO RS-10 (E I e E II), mas não diferiu das outras cultivares em 2001 (E III). Embora havendo diferença em R2 e R5 entre cultivares, não observou-se diferença significativa no rendimento da amostra em R8 (R8a) nos três anos de experimento. Já, o rendimento em R8 obtido na área útil da parcela (R8p), diferiu entre cultivares. No E I o maior rendimento foi das cultivares FT-Saray e IAS 5 sem diferir da IAS 4 e FT-Abyara. No E II o maior rendimento foi obtido na cultivar FEPAGRO RS-10, sem diferir da FT-Saray, IAS 4 e FT-Abyara. No E III o maior rendimento foi alcançado pelas cultivares IAS 4 e FEPAGRO RS-10.

Realizou-se a análise de regressão do PR estimado de cada cultivar, considerando os valores obtidos em R2, R5 e R8. Esta análise foi efetuada separadamente para representar o comportamento de cada cultivar no que se refere a perda do potencial a partir de R2, uma vez que a análise por comparação de médias não representa os padrões de perda de potencial que se pretendia estudar e sim mostra diferenças de potencial entre cultivares dentro de cada estágio. As equações representam perdas lineares no PR (de R2 para R8), em cada cultivar, nos três experimentos (Figuras 1.4 a 1.8 e Apêndice 1).

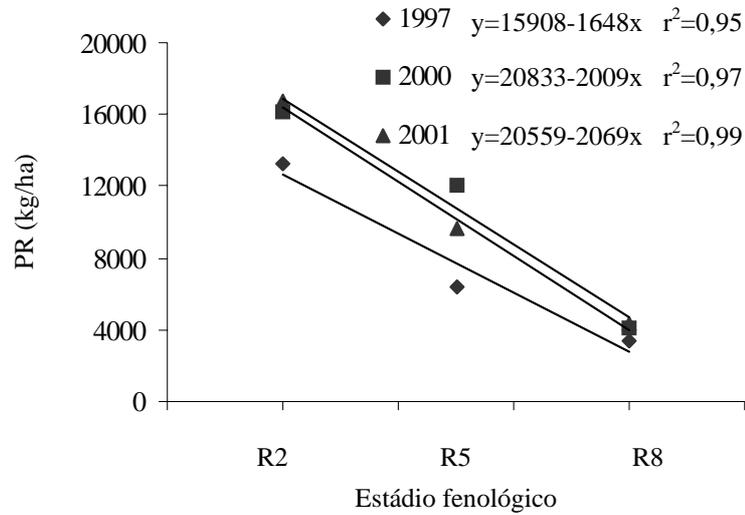


FIGURA 1.4 – Estimativa do potencial de rendimento (PR) da cultivar FT-Saray em três estádios de desenvolvimento em três anos de cultivo. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. R2 = florescimento; R5 = início do enchimento de grãos; R8 = maturação.

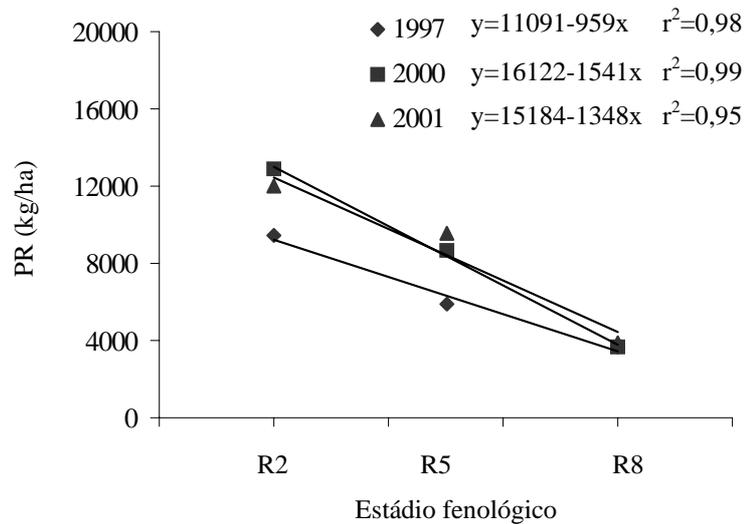


FIGURA 1.5 – Estimativa do potencial de rendimento (PR) da cultivar IAS 5 em três estádios de desenvolvimento em três anos de cultivo. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. R2 = florescimento; R5 = início do enchimento de grãos; R8 = maturação.

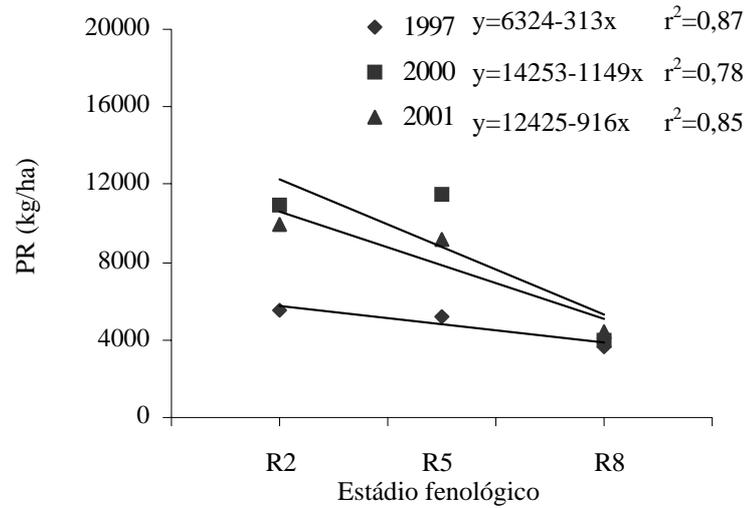


FIGURA 1.6 – Estimativa do potencial de rendimento (PR) da cultivar IAS 4 em três estádios de desenvolvimento em três anos de cultivo. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. R2 = florescimento; R5 = início do enchimento de grãos; R8 = maturação.

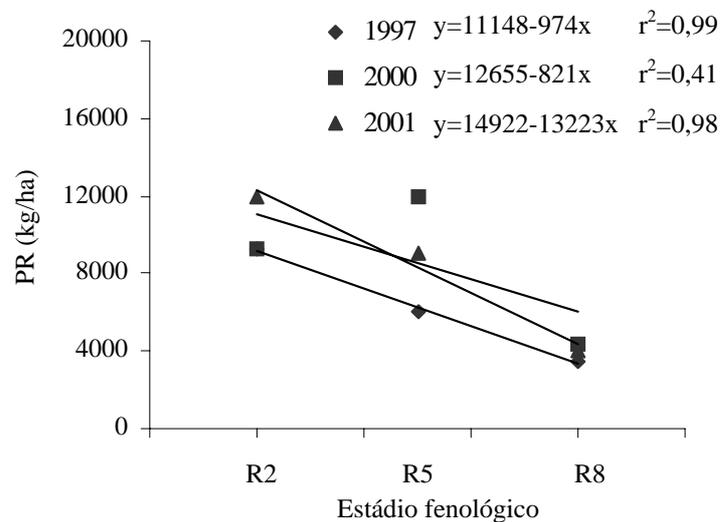


FIGURA 1.7 – Estimativa do potencial de rendimento (PR) da cultivar FT-Abyara em três estádios de desenvolvimento em três anos de cultivo. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. R2 = florescimento; R5 = início do enchimento de grãos; R8 = maturação.

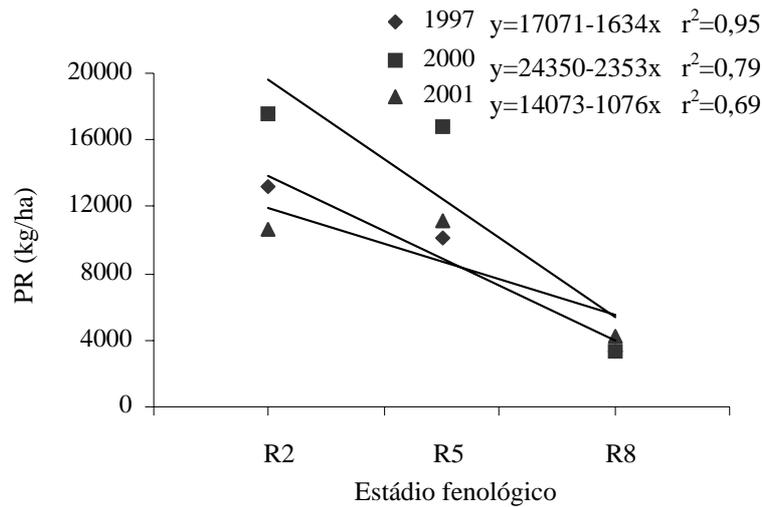


FIGURA 1.8 – Estimativa do potencial de rendimento (PR) da cultivar FEPAGRO RS-10 em três estádios de desenvolvimento em três anos de cultivo. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS. R2 = florescimento; R5 = início do enchimento de grãos; R8 = maturação.

Para representar a diferença entre cultivares e entre anos (englobando sistemas de manejo do solo), no que se refere ao padrão de perda do potencial entre R2 e R8, comparou-se estatisticamente o coeficiente de regressão das retas de regressão linear, que indicaram similaridade e dissimilaridade, dependendo da comparação (Tabelas 1.1 e 1.2).

TABELA 1.1 – Resultado da comparação entre os coeficientes de regressão (b) para potencial de rendimento (PR) das cultivares nas estações de crescimento 1996/97 (E I), 1999/00 (E II) e 2000/01 (E III). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS

Cultivar	Safra	FT-Saray	IAS 5	IAS 4	FT-Abyara	FEPAGRO RS-10
FT-Saray	1997	---				
	2000	---				
	2001	---				
IAS 5	1997	*	---			
	2000	ns	---			
	2001	*	---			
IAS 4	1997	**	*	---		
	2000	**	ns	---		
	2001	*	ns	---		
FT-Abyara	1997	*	ns	*	---	
	2000	**	*	ns	---	
	2001	*	ns	ns	---	
FEPAGRO RS-10	1997	**	*	*	*	---
	2000	ns	ns	*	*	---
	2001	*	ns	ns	ns	---

ns – não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

* Diferem pelo teste t a 5% de probabilidade.

** Comparações não realizadas.

TABELA 1.2 – Resultado da comparação entre anos dos coeficientes de regressão (b) para potencial de rendimento (PR) das cultivares nas estações de crescimento 1996/97 (E I), 1999/00 (E II) e 2000/01 (E III). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS

Cultivar	Safra	1997	2000	2001
FT-Saray	1997	---		
	2000	ns	---	
	2001	ns	ns	---
IAS 5	1997	---		
	2000	*	---	
	2001	*	ns	---
IAS 4	1997	---		
	2000	*	---	
	2001	*	ns	---
FT-Abyara	1997	---		
	2000	ns	---	
	2001	ns	ns	---
FEPAGRO RS-10	1997	---		
	2000	ns	---	
	2001	*	**	---

ns – não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

* Diferem pelo teste t a 5% de probabilidade.

** Comparações não realizadas.

Algumas comparações dos coeficientes de regressão entre cultivares e entre anos (Tabelas 1.1 e 1.2) não foram realizadas pois as suposições referentes a homogeneidade de variâncias não foram contempladas. Algumas cultivares apresentaram padrão similar de perda do potencial, em alguns anos (Tabela 1.1).

Os resultados indicam também, que cultivares como FT-Saray e FT-Abyara (Tabela 1.2) mantém padrão de perda do PR similar mesmo em anos diferenciados (Figuras 1.4 e 1.7), mostrando controle genético sobre esta característica. Já as demais cultivares modificam seu comportamento dependendo do ano.

O PR estimado no presente experimento (potencial de rendimento pontual) leva em consideração a quantidade de flores e legumes presentes em R2 e R5. No entanto, se for levado em conta que o período de surgimento de flores na soja pode se estender de R1 até R7, dependendo da cultivar (Costa & Marchezan, 1982), e que a planta sempre está trabalhando (produzindo flores e legumes) abaixo de seu rendimento potencial

(potencial genético), pode-se afirmar que o PR é superior ao estimado pontualmente, como realizado neste trabalho.

Analisando-se os componentes utilizados para a estimativa do PR, houve diferenças entre cultivares para flores em R2, legumes em R5 e no total de estruturas em R5 (Tabela 1.3).

TABELA 1.3 - Número de estruturas reprodutivas de cinco cultivares de soja em três estações de crescimento. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1996/97, 1999/00 e 2000/01

Cultivar	Ano	Flores (n ^o /m ²)	Legumes (n ^o /m ²)	Estruturas (n ^o /m ²)
		R2	R5	R5
FT-Saray	1997	4391 a	1860 ab	2139 ab
	2000	4220 a	2969 a	3138 a
	2001	5263 a	2818 ns	3004 a
IAS 5	1997	2648 b	1261 ab	1630 bc
	2000	3077 abc	1869 b	2043 b
	2001	3544 b	2619	2810 a
IAS 4	1997	1526 c	1111 b	1440 c
	2000	2429 bc	2356 ab	2552 ab
	2001	2744 b	2150	2602 a
FT-Abyara	1997	2740 b	1496 ab	1773 bc
	2000	2086 c	2165 ab	2678 ab
	2001	3500 b	2378	2664 a
FEPAGRO RS-10	1997	3401 b	2027 a	2620 a
	2000	3525 ab	2992 a	3351 a
	2001	2603 b	2484	2735 a

ns – não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

* Médias seguidas de mesma letra, na coluna, dentro de cada ano, não diferem pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

R2 = florescimento; R5 = início do enchimento de grãos; estruturas = flores + legumes.

O número de legumes obtidos em R8 somente diferiu entre cultivares no EII (1999/00). No entanto, a percentagem destes legumes com um, dois, três e sem grãos foi diferente em todos os experimentos (Tabela 1.4).

TABELA 1.4 - Componentes do rendimento utilizados para a estimativa do potencial de rendimento de cinco cultivares de soja em três estações de crescimento. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1996/97, 1999/00 e 2000/01

Cultivar	Safr	Legume R8 (n°/m ²)	Legumes com n° de grãos diferentes (%)			
			zero	um	dois	três
FT-Saray	1997	1214 ns	12 a*	15 bc	45 bc	28 b
	2000	1181 a	2 ab	13 b	44 b	41 a
	2001	1380 ns	6 b	17 a	35 b	42 a
IAS 5	1997	1154	7 a	23 a	57 a	13 c
	2000	948 ab	3 a	22 a	57 a	18 b
	2001	1516	5 b	17 a	54 a	24 b
IAS 4	1997	1061	8 a	20 ab	54 ab	18 c
	2000	984 ab	1 b	25 a	58 a	16 b
	2001	1365	6 b	16 ab	60 a	18 b
FT-Abyara	1997	965	11 a	11 c	37 c	41 a
	2000	1053 a	3 a	9 b	42 b	46 a
	2001	1496	11 a	11 b	35 b	43 a
FEPAGRO	1997	996	6 a	20 ab	55 a	19 c
RS-10	2000	743 b	1 b	25 a	59 a	15 b
	2001	1129	7 ab	16 ab	58 a	19 b

ns – não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

* Médias seguidas de mesma letra, na coluna, dentro de cada ano, não diferem pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

R8 = Maturação.

O número de legumes sem grãos foi maior na cultivar FT-Abyara, embora não diferindo de outras cultivares em alguns anos. A cultivar IAS 5 foi superior nos legumes com um grão em alguns anos. Para legumes com dois grãos as cultivares IAS 5, IAS 4 e FEPAGRO RS-10 foram superiores nos três anos. Já para legumes com três grãos, destacou-se FT-Abyara (E II e E III) embora não diferindo da FT-Saray (Tabela 1.4).

O peso do grão (expresso em peso de 100 grãos) diferiu entre cultivares, destacando-se a cultivar FEPAGRO RS-10 que apresentou maior peso nos três experimentos, embora, não diferindo de outras cultivares (IAS 4 e IAS 5), dependendo do ano (Tabela 1.5). Estes resultados são coerentes, pois a cultivar FEPAGRO RS-10 é a que apresenta maior peso de 100 grãos entre as cultivares indicadas para cultivo (Reunião..., 2001).

TABELA 1.5 - Componentes do rendimento utilizados para a estimativa do potencial de rendimento de cinco cultivares de soja em três estações de crescimento. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1996/97, 1999/00 e 2000/01

Cultivar	Safr	Peso de 100 grãos (g)		
		um	dois	três
FT-Saray	1997	15,5 b*	16,2 b	16,3 b
	2000	15,9 c	17,1 e	17,4 d
	2001	15,6 b	15,1 c	15,0 c
IAS 5	1997	20,2 a	20,6 a	20,2 a
	2000	22,1 ab	22,4 c	21,3 c
	2001	16,6 b	17,1 bc	17,1 bc
IAS 4	1997	19,6 a	20,3 a	19,5 a
	2000	21,7 ab	24,4 b	24,4 b
	2001	18,3 ab	18,8 b	17,7 b
FT-Abyara	1997	16,5 b	16,0 b	16,3 b
	2000	19,1 bc	19,9 d	19,1 cd
	2001	15,4 b	16,9 bc	16,2 bc
FEPAGRO	1997	19,6 a	21,3 a	21,1 a
RS-10	2000	24,1 a	26,8 a	26,9 a
	2001	22,1 a	22,3 a	20,2 a

* Médias seguidas de mesma letra, na coluna, dentro de cada ano, não diferem pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

As correlações calculadas entre os parâmetros utilizados para o cálculo do PR evidenciaram que o PR, tanto em R2 como em R5, apresentou alta correlação com o número de flores em R2 e com o número de estruturas em R5, respectivamente, em todos os anos. No entanto, na maioria das vezes, não houve correlação significativa entre o PR em R2 e R5 com os outros componentes utilizados no cálculo (Tabelas 1.6 e 1.7). Isto indica, de certa forma, que o PR estimado pelo método utilizado, representa o número de estruturas reprodutivas presentes em R2 e R5.

TABELA 1.6 - Coeficientes de correlação entre o potencial de rendimento (PR) estimado em R2 (florescimento) e R5 (início do enchimento de grãos); o rendimento de grãos em R8 (maturação) na amostra de 10 plantas (R8a) e o rendimento de grãos da área útil (R8p); e os componentes do rendimento. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1996/97, 1999/00, 2000/01

	Safr	PR em R2 kg/ha	PR em R5 kg/ha	Flores R2 n ^o /m ²	Estruturas R5 n ^o /m ²	Peso 100 grãos (g) de legumes com		
						um grão	dois grãos	três grãos
PR em R2	1997	1	0,64*	0,91*	0,72*	-0,36	-0,19	-0,11
	2000	1	0,30	0,93*	0,37	0,12	0,11	0,21
	2001	1	0,44	0,91*	0,53*	0,01	-0,19	-0,11
PR em R5	1997	0,64*	1	0,41	0,88*	0,01	0,19	0,28
	2000	0,30	1	0,11	0,89*	0,39	0,40	0,33
	2001	0,44	1	0,18	0,76*	0,55*	0,39	0,49
Rendimento R8 (a)	1997	-0,12	-0,05	-0,18	-0,15	0,08	0,06	-0,01
	2000	0,12	0,11	0,14	0,17	-0,02	-0,11	-0,13
	2001	0,32	0,57*	0,15	0,44*	0,25	0,17	0,25
Rendimento R8 (p)	1997	-0,08	-0,37*	0,10	-0,20	-0,26	-0,30	-0,35
	2000	0,17	0,22	0,09	0,23	0,05	0,11	0,18
	2001	-0,16	0,18	-0,37	-0,24	0,70*	0,71*	0,69*

* Significativo a 5% de probabilidade.

TABELA 1.7 - Coeficientes de correlação entre o potencial de rendimento (PR) estimado em R2 (florescimento) e R5 (início do enchimento de grãos); o rendimento de grãos em R8 (maturação) na amostra de 10 plantas (R8a) e o rendimento de grãos da área útil (R8p); e os componentes do rendimento. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1996/97, 1999/00, 2000/01

	Safr	% de legumes			
		zero grãos	um grão	dois grãos	três grãos
PR em R2	1997	0,09	-0,19	-0,08	0,13
	2000	0,01	0,25	0,16	-0,23
	2001	-0,32	0,36	-0,52*	0,50*
PR em R5	1997	-0,27	-0,06	0,29	-0,01
	2000	-0,47*	0,14	0,16	-0,13
	2001	-0,37	0,17	0,14	-0,09
Rendimento R8 (p)	1997	-0,26	-0,06	0,32	-0,13
	2000	0,29	-0,16	-0,19	0,17
	2001	-0,32	0,30	-0,002	0,01
Rendimento R8 (a)	1997	-0,17	-0,16	-0,09	0,08
	2000	-0,12	-0,05	-0,06	0,07
	2001	-0,27	0,33	0,59*	-0,60*

* Significativo a 5% de probabilidade.

O resultado das correlações entre potencial de rendimento durante a ontogenia e o rendimento em R8, não indicando alta correlação (Tabela 1.6) pode ter sido influenciado pelo comportamento distinto entre as cultivares, com algumas

apresentando alta correlação e outras baixa. Portanto, no momento em que se realizou correlações com todas as cultivares, os valores não foram significativos. Outra estratégia empregada foi a realização de correlações por cultivar. Estas, embora apresentando valores elevados, não foram significativas devido ao baixo número de pares de valores para cada cultivar (quatro repetições). A fim de demonstrar a variação no comportamento entre as cultivares testadas e o comportamento do PR durante o ciclo, utilizou-se a análise de regressão com a comparação da inclinação da reta (Figuras 1.4 a 1.8 e Tabelas 1.1 e 1.2), o que possibilitou identificar os padrões de perda do potencial e seu comportamento ao longo do tempo, sendo mais importante que a análise de correlação no presente caso.

Estes resultados da análise de regressão e correlação indicam que a estimativa do PR durante a ontogenia apresenta um padrão de queda para as cultivares que é constante independentemente do ano em alguns materiais. No entanto, não é tão eficiente para estimar o rendimento em R8. Isto se deve a diversos fatores que podem influenciar o PR depois das determinações realizadas em R2 e R5, tais como, condições ambientais, disponibilidade de assimilados e eficiência da fixação simbiótica de nitrogênio. Estas podem variar entre as cultivares, portanto, afetam o PR de forma distinta, resultando em rendimentos diferenciados.

Da mesma forma, Navarro Júnior (1998), trabalhando com seis cultivares, verificou potenciais médios de 13400 kg/ha em R2 e de 8370 kg/ha em R5, demonstrando que o maior PR na floração, não garante por si só, rendimento elevado no final do ciclo, sendo que cultivares com maior produção de flores não fixaram maior número de legumes nos estádios posteriores.

Entretanto, quando se discute os resultados tendo em mente o conceito de PR e seu comportamento durante a ontogenia (Figura 2.1, capítulo II), fica evidente que a importância da estimativa do PR é quantificar diferenças entre lavouras, principalmente,

no mesmo momento da avaliação, dando indicativos de qual lavoura ou conjunto de práticas culturais, ou cultivares, proporciona, naquele momento, maior probabilidade de obtenção de altos rendimento na colheita. Dentro deste contexto, a capacidade preditiva da estimativa fica em segundo plano, pois muitos fatores podem afetar este potencial depois de sua quantificação. Entretanto, alguns trabalhos demonstram que diferenças proporcionadas por práticas de manejo diferenciadas no PR estimado em R2, R4 e R5, em algumas situações, são mantidas até a maturação resultando em maior rendimento de grãos (Ventimiglia et al., 1999; Maehler, 2000; Pires et al., 2000).

Uma questão contraditória no cálculo do PR é o fato deste ser baseado principalmente nas flores e legumes. Esta questão, envolvendo estruturas reprodutivas e sua relação com o potencial de rendimento em soja, já era levantada na década de 50 por Vanschaik & Probst (1958). Segundo os autores, a produção por planta de soja é determinada basicamente pelo número de flores que ela pode produzir e transformar em legumes maduros. No entanto, o número de flores produzidas é grande e os legumes resultantes são poucos, havendo muita perda de potencial produtivo pelo aborto ou queda de flores e abscisão de legumes durante o desenvolvimento, em consequência de estresses e da própria característica da cultivar utilizada.

A dinâmica reprodutiva em soja envolve ainda várias nuances, que são importantes, como: a fertilização ocorre um dia antes da abertura da flor; o pico de florescimento da planta é de 4 a 14 dias após a abertura da primeira flor (Gai et al., 1984); a falta de fertilização como causa de abscisão floral é insignificante (Abernathy et al, 1977 apud Carlson & Lersten, 1987, p.96); os óvulos individuais ou o ovário inteiro podem abortar; o óvulo basal, que é o último a ser fertilizado, é freqüentemente abortado; o óvulo terminal pode ser freqüentemente abortado pela capacidade baixa de competir pela água disponível (Kato & Sakaguchi, 1954 apud Carlson & Lersten, 1987, p.96).

Este comportamento, com grande perda de estruturas, poderia colocar em dúvida o tipo de estimativa realizada no presente trabalho. Entretanto, para que uma cultura como a soja possa “realizar” um determinado rendimento é necessário primeiramente que produza locais suficientes para o aparecimento de estruturas reprodutivas em quantidade tal que garanta o rendimento almejado. Estes locais são representados por uma estrutura de planta adequada, isto é, com nós no caule e nos ramos suficientes para o desenvolvimento de inflorescências (racemos), com tamanho suficiente para suportar uma determinada quantidade de flores que irão ser fecundadas, transformando-se em legumes que irão produzir grãos e realizar o rendimento esperado. Portanto, mesmo sabendo-se que todo este processo é influenciado por inúmeros fatores, considera-se que a quantificação das estruturas é fundamental para a análise pontual do PR. Exemplificando esta idéia, pode-se dizer que seria impossível, numa situação com número baixo de estruturas reprodutivas, um rendimento superior ao limitado por este número, pelo número de grãos por legume e o peso de 100 grãos (sendo estes dois últimos, os componentes do rendimento que apresentam maior controle genético e com menor amplitude de modificação pelo manejo). Já uma cultivar com grande número de estruturas reprodutivas não partiria “limitada da origem”, ou seja, no início da sua atividade reprodutiva, podendo “especular” com as condições de ambiente reinantes e realizar um rendimento maior que de uma cultivar com pequeno número de estruturas.

Esta hipótese é reforçada pelo trabalho realizado por Maehler (2000), com duas cultivares. O autor verificou em cultivares que ajustam seu potencial de rendimento mais cedo (pelo aborto de flores e legumes jovens), como BRS 138, que isto não garante rendimento maior do que cultivares como BRS 137, que produz grande quantidade de flores e legumes no início do período reprodutivo, conferindo-lhe grande potencial de rendimento. Este fato permite que esta aproveite melhor as condições ambientais, regulando mais tarde o potencial de rendimento, apesar de envolver maior

demanda de fotoassimilados para a manutenção das estruturas reprodutivas por mais tempo.

Sob outra ótica, cultivares com menor número de estruturas (PR) e com maior estabilidade durante o ciclo, poderiam estar investindo mais assimilados na manutenção destas estruturas, com obtenção, muitas vezes, dos mesmos níveis de rendimento de outras cultivares com alto PR inicial, como evidenciado no presente trabalho.

Com o presente experimento é possível demonstrar que existem diferenças entre cultivares no que se refere a PR durante os estádios ontogênicos, sendo importante, na escolha das cultivares, principalmente para produtores que buscam rendimentos elevados, a utilização de cultivares com potencial alto, e que mantenham este potencial o mais estável possível até o final do ciclo.

No que se refere à pesquisa, é importante a realização de programas de melhoramento visando reunir características como PR elevado no início do período reprodutivo, com estabilidade neste potencial, ou seja, capacidade de manter ou minimizar sua perda durante os estádios fenológicos. Neste sentido, poderia ser investigada a possibilidade da obtenção de tais cultivares com o cruzamento entre cultivares com padrões diferenciados de perda do PR.

A identificação de cultivares com maior PR possibilitaria subsídios para produtores que trabalham com alta tecnologia e que, por utilizarem os outros fatores de produção em níveis adequados (adubação, semeadura, controle de pragas e doenças, entre outros), dão condições para que estas cultivares expressem este potencial mais elevado por meio da redução de sua perda.

Embora tenha-se uma descrição das cultivares de soja utilizadas atualmente, as características descritas referem-se, basicamente, a duração do ciclo, características da semente, respostas a patógenos (Reunião..., 2001). Seria interessante caracterizar as cultivares também pelo seu padrão reprodutivo, criando parâmetros de produção de

flores, legumes, aborto e abscisão, características de acúmulo de matéria seca, área foliar, para que possam ser utilizados como indicativos de comunidades de plantas com alto PR facilitando a avaliação de lavouras. Segundo estudos de Dybing (1994), 77% da variação no rendimento da soja foi representado por características relacionadas ao florescimento, indicando que estudos futuros de modelagem sobre crescimento e desenvolvimento de soja podem ser beneficiados pela inclusão de alguma forma de análise do florescimento. Tais estudos podem envolver a modelagem do crescimento das plantas, métodos como o Mapeamento de Plantas (Costa, 1993) e a estimativa do PR como sub-modelos responsáveis pela análise reprodutiva. Sabe-se, no entanto, que os estudos genéticos em soja têm geralmente sido limitados a poucos genótipos, devido, parcialmente, a dificuldade de se obter dados de contagem de flores necessários nas gerações segregantes (Sharma et al., 1990).

A possibilidade de mapear as características reprodutivas de somente uma porção da planta e utilizá-la como representativa de toda a planta e/ou da comunidade em estudo pode ser uma solução para facilitar as análises reprodutivas. Isto é demonstrado por trabalhos como o de Sharma et al. (1990), onde a contagem de flores e legumes de nós da secção média do caule representaram o aborto de flores de outro nó na mesma posição, e também pelo fato dos níveis de aborto obtidos em algumas cultivares serem similares aos de outros trabalhos. A análise do nível de aborto de flores, usando somente dois racemos primários por planta, iniciando no nó logo acima do ramo mais alto, pode efetivamente detectar diferenças genéticas (Sharma et al., 1990). Também Hansen & Shibles (1978) reforçam esta idéia, indicando que acima do nó seis a percentagem de fixação de legumes é constante.

Vários trabalhos realizados em soja indicam que o número de legumes por área é o principal componente responsável por aumentos de rendimento quando da aplicação de determinados tratamentos (Udoguchi & McCloud, 1987; Board & Tan, 1995; Pires

et al., 2000). Um exemplo do potencial que está presente nestas estruturas é o trabalho realizado por Heindl & Brun (1983), onde quantificou-se o número de legumes por nó em diferentes secções da planta de soja, identificando que, enquanto o número de legumes por nó variou 300% entre secções, o peso de sementes individuais variou somente 35%. Esta diferença de legumes por nó e do rendimento em diferentes nós do caule foi influenciada principalmente por diferenças na abscisão de flores e legumes.

A estimativa do potencial de rendimento realizada durante o ciclo de cultivo pode permitir a identificação da variabilidade no potencial de rendimento entre e/ou dentro de lavouras, possibilitando a aplicação de práticas de manejo que venham a diminuir as perdas deste potencial na mesma estação de crescimento em que se fez a estimativa ou servir de subsídio para a safra seguinte, dependendo do método utilizado.

1.6. CONCLUSÕES

- a) As cultivares de soja diferem em potencial de rendimento durante a ontogenia.
- b) Existem diferenças entre cultivares no padrão de perda do potencial de rendimento entre estádios fenológicos.
- c) A diferença no número de estruturas reprodutivas em R2 e R5 influencia o potencial de rendimento das cultivares durante a ontogenia.
- d) As diferenças de potencial de rendimento entre cultivares não se refletem fielmente no rendimento de grãos em R8.
- e) A forma de amostragem e análise dos dados pode ter influenciado o fato das diferenças de potencial de rendimento entre cultivares não se refletirem nas diferenças entre cultivares para rendimento de grãos em R8.

CAPÍTULO II

METODOLOGIAS PARA ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE RENDIMENTO DA SOJA DURANTE A ONTOGENIA COM BASE NAS ESTRUTURAS REPRODUTIVAS

2.1. RESUMO

É importante o desenvolvimento de metodologias capazes de gerar dados sobre o potencial de rendimento da soja o mais cedo possível no ciclo da cultura. O objetivo deste trabalho foi estudar metodologias para estimativa do potencial de rendimento da soja durante a ontogenia. Foram conduzidos três experimentos na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS) em Eldorado do Sul, RS, durante as estações de crescimento de 1996/97, 1999/00 e 2000/01. Os tratamentos constaram de cinco cultivares de soja (FT-Saray, IAS 5, IAS 4, FT-Abyara e FEPAGRO RS-10). Calculou-se o potencial de rendimento das cultivares por cinco metodologias a fim de estimar o rendimento que seria obtido se todas as estruturas reprodutivas (flores e legumes) presentes em R2 (florescimento) e R5 (início do enchimento de grãos) produzissem grãos na maturação (R8). Para tanto, utilizou-se dados de flores e legumes em R2 e R5; % de legumes sem grãos, com um, dois e três grãos em R8; peso de 100 grãos de legumes com um, dois e três grãos em R8, mensurados nos experimentos; e peso de 100 grãos e % de legumes com um, dois e três grãos obtidos na literatura. O potencial de rendimento em R2 e R5 apresentou alta correlação com o número de flores e estruturas reprodutivas, respectivamente (em todas as metodologias e todos os anos). Verificou-se alta correlação entre as metodologias. No entanto, não houve, na maioria das vezes, correlações significativas entre o potencial em R2 e R5 com o rendimento de grãos em R8. As metodologias estudadas se constituem numa ferramenta importante para o manejo quando utilizada para comparar o potencial de rendimento durante a ontogenia.

Termos para indexação: *Glycine max* (L.) Merrill, componentes do rendimento, mapeamento de plantas, monitoramento de lavouras.

METHODOLOGIES FOR ESTIMATING THE SOYBEAN POTENTIAL YIELD DURING ONTOGENY BASED ON THE REPRODUCTIVE STRUCTURES

2.2. ABSTRACT

The development of methodologies capable to estimate the soybean potential yield as early as possible in the cycle of the crop is important. The objective of this work was to study methodologies for the estimate of the soybean potential yield during ontogeny. Three experiments were performed at the Estação Experimental Agronômica of the Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), in Eldorado do Sul, RS, during the growing seasons of 1996/97, 1999/00 and 2000/01. The treatments consisted of five soybean cultivars (FT-Saray, IAS 5, IAS 4, FT-Abyara and FEPAGRO RS-10). It was calculated the potential yield of each cultivar by five methodologies in order to estimate the yield that would be obtained if all the reproductive structures (flowers and pods) in R2 (flowering) and R5 (beginning of pod filling) produced grains at the maturity (R8). It was used data of flowers and pods in R2 and R5; % of pods with none, one, two and three grains in R8, weight of 100 grains of pods with one, two and three grains in R8 measured in the experiments; and weight of 100 grains and % of pod with one, two and three grains obtained in literature. The potential yield in R2 and R5 presented a high correlation with the number of flowers and reproductive structures, respectively (with all the methodologies and years). It was also found a high correlation among the methodologies. Nevertheless, it did not have, most of the time, significant correlations between the potential in R2 and R5 with the grain yield in R8. The studied methodologies are important tools for the management of soybean crops, used to compare the potential yield during ontogeny.

Index terms: *Glycine max* (L.) Merrill, yield components, plant mapping, field monitoring.

2.3. INTRODUÇÃO

Atualmente é necessário o desenvolvimento de metodologias capazes de gerar dados sobre o potencial de rendimento o mais cedo possível durante o ciclo da cultura, trazendo subsídios para a tomada de decisões de manejo durante a própria estação de crescimento em que se está coletando dados.

Para que se possa amostrar características que estimem com precisão o potencial de rendimento é necessário que se determine características relacionadas com o rendimento e que se estipulem metas para estas características, as quais indiquem maiores chances de obtenção de rendimentos elevados.

Dados da literatura indicam que um “ideotipo” desejável de planta de soja para proporcionar rendimentos elevados deveria reunir: estatura de planta igual ou superior a 0,65 m; ponto de inserção dos primeiros legumes igual ou superior a 0,10 m; resistência às doenças, aos insetos pragas e aos nematóides; resistência ao acamamento e à deiscência precoce; boa qualidade fisiológica da semente; adaptação às condições locais de ambiente e sistema agrícola utilizado na região produtora; alta capacidade de extração de fósforo; tolerância a deficiências e excessos hídricos, bem como, tolerância à acidez e a níveis tóxicos de alumínio e manganês no solo (Costa, 1996). Além destas Egli et al. (1987), ressaltam a necessidade de se ter 500 g/m² de matéria seca de soja no estádio R5 (início do enchimento de grãos), para a obtenção de rendimentos elevados. No entanto, são poucos os trabalhos envolvendo a caracterização da produção e dinâmica das estruturas reprodutivas nas cultivares de soja utilizadas no estado do Rio Grande do Sul.

Vindo ao encontro desta metodologia de trabalho, surgiu nos Estados Unidos o método denominado “Mapeamento de Plantas”, para análise de parâmetros de planta em lavouras de algodão (*Gossypium hirsutum* L.). Segundo Landivar (1995), o objetivo do

método consiste em avaliar a performance das plantas durante cada estágio e selecionar opções de manejo apropriadas a fim de alcançar “metas” de crescimento para cada estágio ontogênico. Bourland & Watson (1990), desenvolveram uma técnica que serviu de base para o Mapeamento de Plantas, visando a avaliação da estrutura e rendimento das plantas de algodão (COTMAP), que permite distinguir variações na estrutura e frutificação associadas com diferenças genéticas, reguladores de crescimento e danos provocados por insetos.

No algodão desenvolveu-se também uma metodologia que permite a identificação de cada nó da planta e com isso a quantificação dos órgãos reprodutivos por região da planta com facilidade (Bourland & Watson, 1990; Hake et al., [1993?]a; Hake et al., [1993?]b). Este método foi, posteriormente, adaptado para a cultura da soja, que tem a estrutura da planta similar a do algodão. Com seu uso em uma avaliação de campo, uma pessoa experiente pode, em apenas um a cinco minutos, mapear uma planta de soja (Keisling & Counce, 1997).

No Brasil, as primeiras adaptações no método de Mapeamento de Plantas foram realizadas por Costa (1993), que propôs um método de Mapeamento de Plantas para a cultura da soja, objetivando fornecer informações que permitam opções de manejo para a obtenção de rendimentos elevados. Para tanto, por meio de amostragens, é feita a avaliação sistemática do crescimento do caule e ramos, bem como, da localização, tipo e quantidade de estruturas reprodutivas durante vários estágios de desenvolvimento da cultura.

Para que tais determinações e identificações de lavouras com maior potencial de rendimento tenham valor prático é necessário que se disponha de práticas de manejo capazes de intervir nestas lavouras. Hoje dispõe-se de práticas (algumas pouco aceitas e outras com grande aceitação pela pesquisa e produtores) que podem ser realizadas, mesmo em estágios avançados do ciclo, como: o florescimento e formação de legumes,

que têm efeitos no rendimento de grãos. Dentre estas práticas de manejo pode-se citar: irrigação (Maehler, 2000), controle de doenças de final de ciclo (Balardin, 2001), aplicação de nitrogênio em cobertura (Holin, 1997; Lamond & Wesley, 2001), controle de pragas (Reunião..., 2001), entre outras.

Esta visão de avaliação intensa das áreas de lavoura, com determinação de seu potencial produtivo e com a aplicação de práticas somente onde possibilitem maior retorno e menor impacto ambiental é coerente com a filosofia da “Agricultura de Precisão”, e pode permitir a obtenção de metodologias e estratégias de ação para o manejo da variabilidade, tanto do potencial de rendimento como dos fatores de produção que o determina e que interagem numa área agrícola.

Com base neste contexto, o objetivo do trabalho foi de estudar metodologias para estimativa do potencial de rendimento da soja durante a ontogenia.

2.4. MATERIAL E MÉTODOS

Realizou-se três experimentos na Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), localizada no município de Eldorado do Sul, na região fisiográfica da Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul, nas estações de crescimento de 1996/97 (E I), 1999/00 (E II) e 2000/01 (E III).

O clima da região pertence a variedade específica Cfa da classificação climática de Köeppen, ou seja, subtropical úmido com verão quente. A temperatura média anual é de 14,9°C e a precipitação média anual de 1440 mm (Bergamaschi e Guadagnin, 1990). O solo da área experimental, de acordo com Embrapa (1999), pertence a unidade de mapeamento São Jerônimo, classificado como Argissolo Vermelho Distrófico típico.

O balanço hídrico foi calculado pelo método de Thornthwaite & Mather (1955), usando-se as planilhas do aplicativo EXCEL, propostas por Rolim et al. (1998), para

uma capacidade de armazenamento de água de 50 mm. As observações meteorológicas foram obtidas de uma estação automática instalada pelo Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia da UFRGS, localizada na EEA/UFRGS, em Eldorado do Sul, a dois quilômetros do local de realização do experimento e da Estação Experimental de Taquarí, RS (FEPAGRO/SCT-RS).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos constaram de cinco cultivares de hábito de crescimento determinado, sendo duas de ciclo precoce (FT-Saray e IAS 5); uma de ciclo médio (IAS 4); uma de ciclo semitardio (FT-Abyara) e uma de ciclo tardio (FEPAGRO RS-10), na população de 30 a 40 plantas/m². As unidades experimentais foram formadas por quatro linhas de cinco metros de comprimento com espaçamento entre linhas de 0,4 m, considerando-se como bordadura as duas linhas externas e 0,5 m na extremidade das linhas. Para as determinações, utilizou-se as observações realizadas em cinco plantas (E I) e 10 plantas (E II e E III) marcadas em seqüência na linha no início do ciclo da cultura (estádio V4 - quarto nó, segundo Costa & Marchezan, 1982), na área útil de cada parcela.

O experimento E I foi conduzido em sistema convencional e os experimentos E II e E III em semeadura direta, com cobertura de aveia preta (3800 kg/ha) e aveia mais ervilhaca (5800 kg/ha), nos experimentos E II e E III, respectivamente. A semeadura foi efetuada dentro da época preferencial para o cultivo da soja na região da Depressão Central, realizada manualmente (E I) e com semeadora de parcelas (E II e E III). As sementes foram tratadas com fungicida específico e inoculadas com estirpes de *Bradyrhizobium japonicum* em meio turfoso.

Os experimentos foram mantidos livre da interferência de insetos pragas e plantas daninhas durante todo o ciclo, com a utilização de produtos recomendados para

a cultura da soja. Foi realizada suplementação hídrica no experimento E I, por meio de aspersores fixos. Nos experimentos E II e E III não utilizou-se suplementação hídrica.

As determinações foram efetuadas nas plantas marcadas durante o ciclo, a fim de coletar dados para o cálculo da estimativa do potencial de rendimento nos estádios R2 (florescimento pleno) e R5 (início do enchimento de grãos).

Realizou-se o cálculo da estimativa do potencial de rendimento (PR) da soja durante a ontogenia com base nas estruturas reprodutivas. Para tanto, foram utilizadas cinco metodologias que visam estimar o rendimento que seria obtido se todas as estruturas reprodutivas (flores e/ou legumes) presentes em R2 (florescimento) e R5 (início do enchimento de grãos), chegassem a maturação (R8), produzindo grãos. Nesse caso considera-se que não haveria limitações de assimilados (fonte) para suprir essa demanda (flores e/ou legumes).

Cada metodologia foi proposta com um objetivo e utilizando dados diferenciados. A seguir e na tabela 2.1, são apresentados as peculiaridades de cada método.

Método A: estima o PR em nível de pesquisa usando dados coletados durante o ciclo da cultura e obtidos na maturação.

Método B: usa os mesmos dados do método A excluindo-se flores em R5 e % de legumes com zero grãos em R8.

Método C: usa dados coletados em R2 e R5 e dados característicos de cada cultivar disponíveis na literatura (Menezes et al., 1997 - Apêndice 2; Reunião..., 1997).

Método D: usa dados coletados em R2 e R5 e valores médios de peso de 100 grãos e número de grãos por legume para todas as cultivares, obtidos na literatura (Menezes et al., 1997 - Apêndice 2; Reunião..., 1997).

Método E: usa dados coletados em R2 e R5 e dados característicos de cada cultivar disponíveis na literatura (Menezes et al., 1997 - Apêndice 2).

Nos diferentes métodos foram utilizados, para os cálculos, dados referentes a características das cultivares, como: peso de 100 grãos obtidos nas recomendações técnicas da cultura da soja (Reunião..., 1997); bem como dados de peso de 100 grãos e percentagem de legumes com um, dois e três grãos obtidos por Menezes et al. (1997) (Apêndice 2) no Centro de Pesquisa em Sementes, da FEPAGRO, no município de Júlio de Castilhos, na safra 1995/96. Com estes dados foram estudados cinco métodos de cálculo para estimar o PR durante a ontogenia (Tabela 2.1).

TABELA 2.1 – Parâmetros utilizados em cada método para estimativa do potencial de rendimento durante a ontogenia, com base nas estruturas reprodutivas da soja

Parâmetros	Método A	Método B	Método C	Método D	Método E
Flores	R2 e R5	R2	R2 e R5	R2 e R5	R2 e R5
Legumes	R5	R5	R5	R5	R5
% Legumes	zero, um, dois e	um, dois e três	n° grãos	n° médio das	um, dois e três
R8	três grãos	grãos	característico da cultivar*	cinco cultivares*	grãos*
Peso 100 grãos	um, dois e três	um, dois e três	característico	Médio das	característico
R8	grãos	grãos	da cultivar**	cinco cultivares**	da cultivar*

* Menezes et al. (1997) - Apêndice 2.

** Reunião..., (1997).

Os métodos de cálculo do PR (R2) e PR (R5) podem ser representados pelas fórmulas apresentadas a seguir, especificadas para PR em R2. Para cálculo do PR em R5 deve-se usar as mesmas fórmulas e usar o número de flores e/ou legumes presentes neste estágio de acordo com cada metodologia.

Método A

$$= \{ [(0) * (\text{FR2} * \% \text{L0GR8}) * (\text{P1GL0G})] + [(1) * (\text{FR2} * \% \text{L1GR8}) * (\text{P1GL1G})] + [(2) * (\text{FR2} * \% \text{L2GR8}) * (\text{P1GL2G})] + [(3) * (\text{FR2} * \% \text{L3GR8}) * (\text{P1GL3G})] \} / 10$$

Método B

$$= \{ [(1) * (\text{FR2} * \% \text{L1GR8}) * (\text{P1GL1G})] + [(2) * (\text{FR2} * \% \text{L2GR8}) * (\text{P1GL2G})] + [(3) * (\text{FR2} * \% \text{L3GR8}) * (\text{P1GL3G})] \} / 10$$

Método C

$$= [(\text{G/LC}) * (\text{FR2}) * (\text{P1GC})] * 10$$

Método D

$$= (\text{G/L}) * (\text{FR2}) * (\text{P1G}) * 10$$

Método E

$$= \{ [(1) * (\text{FR2} * \% \text{L1GR8}) * (\text{P1GC})] + [(2) * (\text{FR2} * \% \text{L2GR8}) * (\text{P1GC})] + [(3) * (\text{FR2} * \% \text{L3GR8}) * (\text{P1GC})] \} / 10$$

onde:

PR (R2) = potencial de rendimento no florescimento (kg/ha);

PR (R5) = potencial de rendimento no início do enchimento de grãos (kg/ha);

FR2 = número de flores/m² em R2;

ER5 = número de estruturas reprodutivas (flores + legumes)/m² em R5;

%L1GR8 = percentagem de legumes com um grão em R8;

%L2GR8 = percentagem de legumes com dois grãos em R8;

%L3GR8 = percentagem de legumes com três grãos em R8;

P1GL1G = peso de um grão de legumes com um grão (g) a 13% de umidade (estimado pelo peso de 100 grãos de legumes com um grão);

P1GL2G = peso de um grão de legumes com dois grãos (g) a 13% de umidade (estimado pelo peso de 100 grãos de legumes com dois grãos);

P1GL3G = peso de um grão de legumes com três grãos (g) a 13% de umidade (estimado pelo peso de 100 grãos de legumes com três grãos);

G/LC = número de grãos por legume característico da cultivar;

P1GC = peso de um grão (g) a 13% de umidade (estimado pelo peso de 100 grãos) característico da cultivar ;

G/L = número de grãos por legume das cinco cultivares;

P1G = peso de um grão (g) a 13% de umidade (estimado pelo peso de 100 grãos) das cinco cultivares;

Foram realizados alguns ajustes nas fórmulas (como a divisão por dez) a fim de expressar os resultados em kg/ha.

A análise estatística foi realizada com o aplicativo SAS (SAS, 1987), efetuando-se primeiramente a análise individual dos três anos de experimento. Após a análise individual, realizou-se comparação dos quadrados médios dos erros experimentais (pelo teste de Bartlett) e verificação da presença de valores aberrantes. Fez-se a análise de variância pelo teste F, bem como, análise de correlação entre os resultados de PR dos diferentes métodos, rendimento em R8 da amostra (R8a) e rendimento em R8 obtido na área útil da parcela (R8p), nos três anos do experimento.

2.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O termo “Potencial de Rendimento” tem sido usado de forma indiscriminada para designar desde os resultados de experimentos, ou concursos de produtividade, até o rendimento que seria obtido em condições tidas como de “ausência de limitações”.

Para Doorenbos & Kassan (1979), Potencial de rendimento (PR) é definido como a produção de grãos por unidade de área (kg/ha) de cultivos bem adaptados às condições climáticas locais, sem limitação de água no solo, sem limitações de nutrientes minerais, e sem competição com plantas daninhas ou danos provocados por pragas e/ou doenças. Segundo Evans (1993), PR é o rendimento de uma cultivar em ambiente ao qual está adaptada, com nutrientes e água não limitantes e com pragas, doenças, plantas daninhas, acamamento e outros estresses efetivamente controlados.

No entanto, estes conceitos são de compreensão difícil, pois baseiam-se em características subjetivas que podem variar de acordo com a percepção ou formação do

pesquisador que as está avaliando. Por exemplo, como se pode considerar uma cultivar adaptada a uma região? O que são condições "sem limitações"? Em uma situação prática onde se avalia cultivares de soja e se obtém 5000 kg/ha, poder-se-ia considerar que as condições foram não limitantes, pois a média da região encontra-se em 2000 kg/ha e portanto atingiu-se o PR da cultivar. No entanto, se a mesma cultivar apresentasse rendimento de 6200 kg/ha no ano subsequente, verificar-se-ia que as condições do ano anterior eram limitantes. Desta forma, como não se consegue eliminar os fatores limitantes mesmo em condições controladas, estes conceitos são, no mínimo, passíveis de contestação.

Embora seja difícil conceituar termos, principalmente na área agronômica, onde estes podem ser considerados ultrapassados rapidamente frente a novas descobertas ou a outra forma de entendimento, considera-se PR, no contexto deste trabalho, o possível rendimento que a cultura da soja obteria se as condições ambientais fossem adequadas, dentro do sistema de cultivo e práticas de manejo adotadas, possibilitando a fixação máxima das estruturas reprodutivas produzidas pela planta e presentes nos estádios avaliados. Este conceito difere de "Rendimento Potencial" (RP) por este representar o potencial genético da cultura, não podendo ser estimado, a menos que se consiga quantificar a contribuição de cada gene da planta para o rendimento de grãos (Pires et al., 2000). Estes conceitos podem ser relacionados ao assunto deste trabalho quando representados durante a ontogenia (Figura 2.1), visualizando-se a forma com que se pode atuar para modificar o PR.

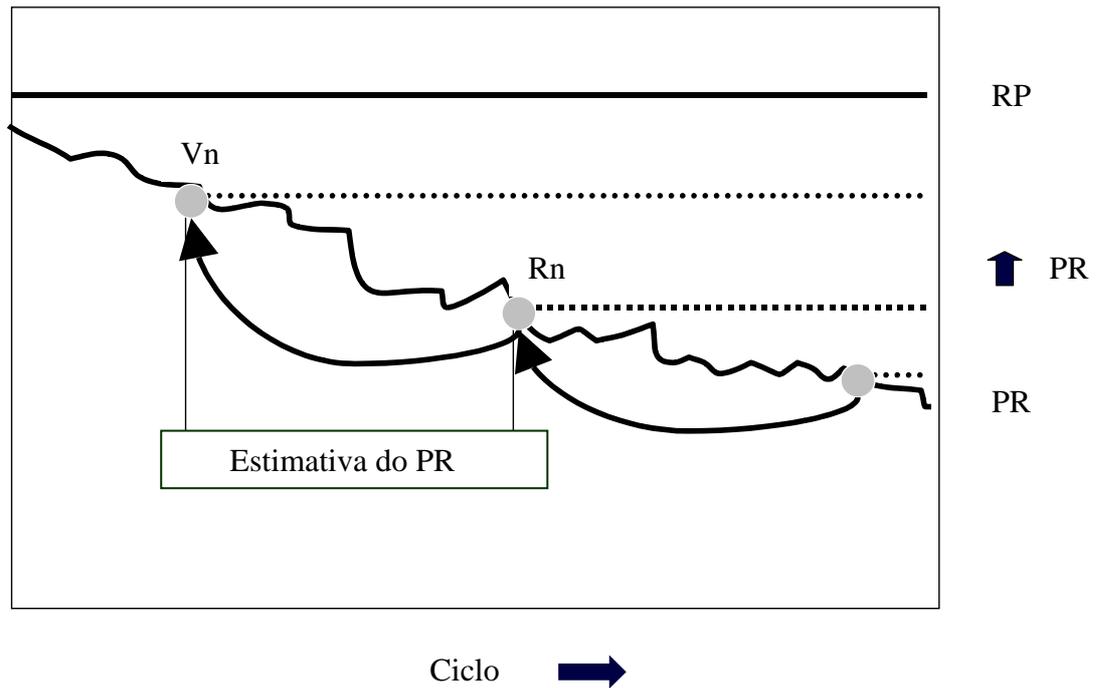


FIGURA 2.1 – Representação gráfica dos conceitos de rendimento potencial (RP) e potencial de rendimento (PR) com a demonstração do método de estimativa utilizado no trabalho. V_n = estimativa do PR no período vegetativo; R_n = estimativa do PR no período reprodutivo.

A estimativa do PR, durante a ontogenia, pode permitir a intervenção na lavoura, durante o ciclo, com a aplicação de práticas culturais capazes de minimizar as perdas do PR, obtendo-se maior quantidade de grãos colhidos na maturação em relação a uma condição sem intervenção. Isto pode ser visualizado na Figura 2.1, onde a estimativa do PR no período vegetativo (V_n) ou reprodutivo (R_n) poderia indicar o patamar de rendimento de cada lavoura (área avaliada) naquele momento, aplicando-se práticas capazes de minimizar sua perda.

No que se refere aos experimentos realizados, o extrato do balanço hídrico (Figura 1.2, Capítulo I) demonstrou que houve diferença entre os anos quanto a disponibilidade hídrica. O E I apresentou deficiência hídrica acentuada, com períodos de excesso somente no início do ciclo e do final do mês de janeiro até o início de março. No E II houve deficiência durante todo o período vegetativo, com excesso durante

grande parte do período reprodutivo. Já no E III, as condições foram as melhores entre os três anos, com excessos hídricos durante quase todo o ciclo.

Os resultados experimentais mostraram que o maior PR em R2 foi de 14246 kg/ha e em R5 de 12179 kg/ha, na média das cultivares. O maior potencial na média dos métodos foi obtido em 2000/01 para R2 (13390 kg/ha) e em 1999/00 para R5 (11135 kg/ha). Os valores estimados pelos métodos foram bastante similares, com variação de 8,7% em R2 e 13,9% em R5, entre o menor e maior valor, na média dos três anos. Observou-se também que o método E, que usa dados da literatura, apresentou os maiores valores estimados (numericamente), tanto em R2 quanto em R5, na média dos três anos (Figuras 2.2 e 2.3, e Apêndice 3).

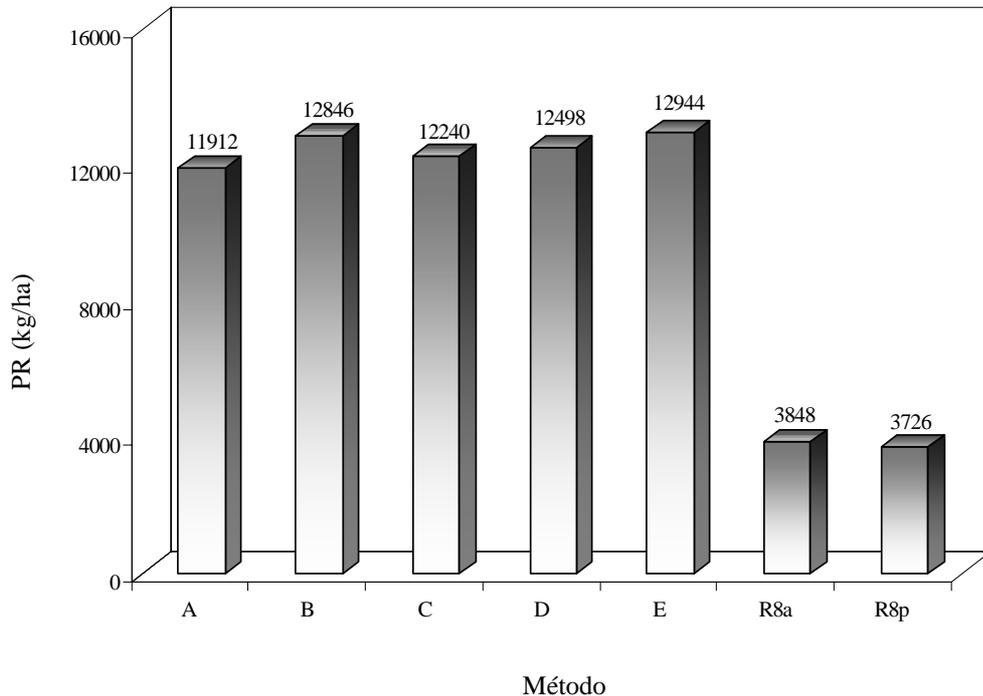


FIGURA 2.2 - Potencial de rendimento (PR) da soja no estágio R2, estimado por métodos diferentes e rendimento em R8 da amostra (R8a) e área útil (R8p), na média de cinco cultivares e três estações de crescimento. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1996/97, 1999/00 e 2000/01.

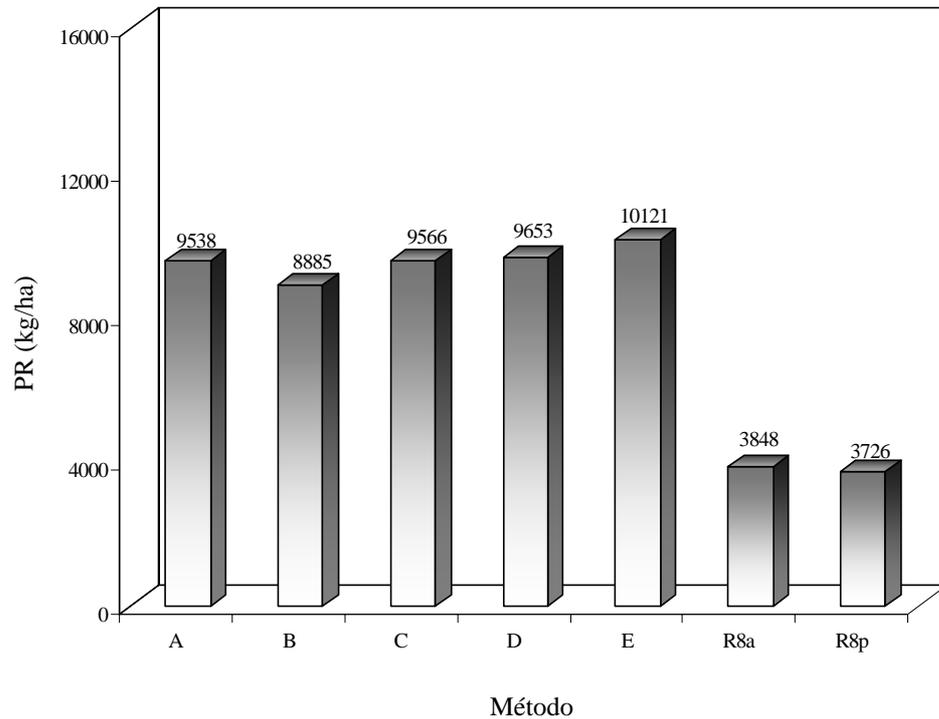


FIGURA 2.3 - Potencial de rendimento (PR) da soja no estágio R5, estimado por métodos diferentes e rendimento em R8 da amostra (R8a) e área útil (R8p), na média de cinco cultivares e três estações de crescimento. Eldorado do Sul, RS, 1996/97, 1999/00 e 2000/01.

Correlações realizadas entre os métodos de cálculo mostraram alta associação entre os métodos, tanto em R2 como em R5 em todos os anos. No entanto, nenhuma metodologia usada apresentou correlação significativa com o rendimento da amostra e da área útil da parcela (Tabelas 2.2 e 2.3).

TABELA 2.2 – Correlações entre as estimativas do potencial de rendimento em R2 pelos diferentes métodos e os rendimentos obtidos na amostra (R8a) e na área útil da parcela (R8p), em três estações de crescimento. FA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1996/97 (E I), 1999/00 (E II) e 2000/01 (E III)

Método	Ano	A	B	C	D	E	R8a	R8p
A	1997	1						
	2000	1						
	2001	1						
B	1997	0,98*	1					
	2000	0,86*	1					
	2001	0,99*	1					
C	1997	0,94*	0,98*	1				
	2000	0,99*	0,84*	1				
	2001	0,92*	0,95*	1				
D	1997	0,91*	0,96*	0,96*	1			
	2000	0,93*	0,83*	0,95*	1			
	2001	0,91*	0,92*	0,98*	1			
E	1997	0,94*	0,97*	0,997*	0,96*	1		
	2000	0,98*	0,84*	0,996*	0,95*	1		
	2001	0,92*	0,95*	0,99*	0,98*	1		
R8a	1997	-0,12	-0,17	-0,21	-0,18	-0,25	1	
	2000	0,12	0,27	0,05	0,14	0,07	1	
	2001	0,32	0,28	0,18	0,15	0,20	1	
R8p	1997	-0,08	-0,013	-0,08	0,10	-0,08	0,21	1
	2000	0,17	0,0015	0,17	0,095	0,21	0,03	1
	2001	-0,16	-0,19	-0,28	-0,37	-0,27	0,19	1

* Significativo a 5% de probabilidade.

TABELA 2.3 – Correlações entre as estimativas do potencial de rendimento em R5 pelos diferentes métodos e os rendimentos obtidos na amostra (R8a) e na área útil da parcela (R8p), em três estações de crescimento. FA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1996/97 (E I), 1999/00 (E II) e 2000/0 (E III)

	Ano	A	B	C	D	E	R8a	R8p
A	1997	1						
	2000	1						
	2001	1						
B	1997	0,80*	1					
	2000	0,93*	1					
	2001	0,92*	1					
C	1997	0,94*	0,87*	1				
	2000	0,90*	0,93*	1				
	2001	0,87*	0,90*	1				
D	1997	0,88*	0,90*	0,96*	1			
	2000	0,82*	0,89*	0,95*	1			
	2001	0,76*	0,78*	0,88*	1			
E	1997	0,93*	0,88*	0,997*	0,97*	1		
	2000	0,90*	0,94*	0,997*	0,96*	1		
	2001	0,85*	0,88*	0,98*	0,87*	1		
R8a	1997	-0,055	-0,21	-0,16	-0,15	-0,17	1	
	2000	0,11	0,20	0,16	0,26	0,18	1	
	2001	0,57*	0,48*	0,44*	0,44*	0,47*	1	
R8p	1997	-0,37*	-0,24	-0,35	-0,195	-0,35	0,21	1
	2000	0,22	0,28	0,22	0,13	0,24	0,03	1
	2001	0,18	0,012	0,052	-0,24	0,058	0,19	1

* Significativo a 5% de probabilidade.

Utilizando-se o método A como padrão, por fazer o acompanhamento da cultura durante todo o ciclo, pode-se constatar que as outras metodologias apresentaram comportamento similar (evidenciado pelas correlações e valores numéricos apresentados nas Figuras 2.2 e 2.3 e nas Tabelas 2.2 e 2.3). No entanto, é importante tecer comentários sobre algumas peculiaridades de cada método.

O método A é de difícil aplicação prática para avaliar lavouras, pois necessita de acompanhamento intenso da cultura e, principalmente, por usar dados de R8. No entanto é bastante adequado para pesquisa por seu grau de detalhamento e possibilidade de acompanhamento dos componentes do rendimento.

O método B descarta flores em R5, devido a estas estruturas terem geralmente mais probabilidade de aborto por perderem a competição por assimilados com legumes e grãos que têm maior força de demanda. Já, legumes sem grãos em R8 foram eliminados por apresentarem grande variação (mesmo dentro de um mesmo tratamento) e serem de difícil quantificação por terem elevada perda na colheita e no manuseio das amostras. Este método objetivou retirar estruturas que estariam mascarando os resultados. Os resultados obtidos com este método demonstraram que estas estruturas não trazem maior precisão na estimativa, pois, sem sua presença, obtém-se resultados semelhantes dos que quando estas são consideradas.

O método C, tido como próprio para utilização em lavouras não necessitando de dados de R8, pode proporcionar uma estimativa em “tempo real” do potencial de rendimento, pois usa dados coletados em R2 e R5 e dados disponíveis na literatura.

O método D foi utilizado com a finalidade de que o cálculo representasse diretamente os valores de flores e legumes presentes durante a ontogenia, porque havia dúvida sobre possíveis distúrbios nos dados gerados pela inserção de estruturas como número de legumes com zero, um, dois e três grãos em R8.

O método E foi utilizado para verificar se os valores obtidos com dados de outros experimentos relatados na literatura seriam similares aos obtidos com os dados da EEA/UFRGS e dos outros métodos e, de certa forma, avaliando o comportamento das cultivares em situações distintas.

O componente do PR que mais se correlacionou com o potencial em R2 foi o número de flores/m² e em R5 o número de estruturas/m² (flores + legumes), nos três anos avaliados. Os demais componentes não se correlacionaram bem com o PR, a não ser em alguns anos, com correlações, geralmente, negativas (Tabelas 2.4 e 2.5).

TABELA 2.4 – Correlações entre os componentes usados para estimar o potencial de rendimento em R2 e o potencial calculado por diferentes métodos e os rendimentos obtidos na amostra (R8a) e na área útil da parcela (R8p), em três estações de crescimento. FA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1996/97, 1999/00 e 2000/01

Métodos	Ano	Flores	Estruturas	P100** Um grão	P100 dois grãos	P100 três grãos	L0G %	L1G %	L2G %	L3G %
A	1997	0,91*	0,72*	-0,36	-0,19	-0,11	0,09	-0,19	-0,08	0,13
	2000	0,93*	0,37*	0,12	0,11	0,21	0,01	0,25	0,16	-0,23
	2001	0,91*	0,53*	0,01	-0,19	-0,11	-0,32	0,36	-0,52*	0,50*
B	1997	0,96*	0,73*	-0,47*	-0,31	-0,21	0,27	-0,26	-0,19	0,18
	2000	0,83*	0,28	-0,06	-0,04	0,08	0,10	0,12	0,06	-0,10
	2001	0,92*	0,53*	-0,04	-0,22	-0,16	-0,20	0,30	-0,57*	0,54*
C	1997	0,96*	0,80*	-0,50*	-0,33	-0,22	0,34	-0,26	-0,23	0,18
	2000	0,95*	0,37	0,10	0,07	0,15	0,01	0,26	0,15	-0,22
	2001	0,98*	0,60*	-0,21	-0,39	-0,34	-0,08	0,32	-0,57*	0,49*
D	1997	1*	0,68*	-0,63*	-0,50*	-0,41	0,43	-0,33	-0,33	0,26
	2000	1*	0,30	-0,14	-0,20	-0,10	0,08	0,11	-0,003	-0,06
	2001	1*	0,54*	-0,33	-0,52*	-0,47*	-0,10	0,32	-0,62*	0,55*
E	1997	0,96*	0,80*	-0,54*	-0,38	-0,27	0,36	-0,32	-0,28	-0,24
	2000	0,95*	0,41*	0,06	0,03	0,13	-0,01	0,22	0,11	-0,17
	2001	0,98*	0,58*	-0,22	-0,39	-0,36	-0,02	0,28	-0,61*	0,53*
R8a	1997	-0,18	-0,15	0,08	0,06	-0,01	-0,26	-0,06	0,32	-0,13
	2000	0,14	0,17	-0,02	-0,11	-0,13	0,29	-0,16	-0,19	0,17
	2001	0,15	0,44*	0,25	0,17	0,25	-0,32	0,30	-0,002	0,01
R8p	1997	0,10	-0,20	-0,26	-0,30	-0,35	-0,17	-0,16	-0,09	0,08
	2000	0,09	0,23	0,05	0,11	0,18	-0,12	-0,05	-0,06	0,07
	2001	-0,37	-0,24	0,70*	0,71*	0,69*	-0,27	0,33	0,59*	-0,60*

* Significativo a 5% de probabilidade.

** P 100 = peso de 100 grãos (13% de umidade); L0G = legume com zero grão; L1G = legume com um grão; L2G = legume com dois grãos; L3G = legume com três grãos; estruturas = flores + legumes.

As características tiveram pouca associação com o rendimento em R8 (da amostra e da parcela). Somente o peso de 100 grãos, durante o ano 2001, mostrou relação consistente com o rendimento da parcela, embora não suficiente para indicar esta característica como altamente responsável pelo PR em R2.

TABELA 2.5 – Correlações entre os componentes usados para estimar o potencial de rendimento em R5 e o potencial calculado por diferentes métodos e os rendimentos obtidos na amostra (R8a) e na área útil da parcela (R8p), em três estações de crescimento. FA/UFRRGS, Eldorado do Sul, RS, 1996/97, 1999/00 e 2000/01

Método	Ano	Flores	Estruturas	P100** um grão	P100 dois grãos	P100 três grãos	L0G %	L1G %	L2G %	L3G %
A	1997	0,88*	0,69*	0,01	0,19	0,28	-0,27	-0,06	0,29	-0,01
	2000	0,89*	0,81*	0,39	0,40	0,33	-0,47	0,14	0,16	-0,13
	2001	0,76*	0,63*	0,55*	0,39	0,49*	-0,37	0,17	0,14	-0,09
B	1997	0,90*	0,97*	-0,23	-0,18	-0,01	0,13	-0,30	0,03	0,06
	2000	0,95*	0,93*	0,37	0,34	0,24	-0,48	0,16	0,09	-0,10
	2001	0,78*	0,80*	0,39	0,27	0,32	-0,21	0,07	0,003	0,04
C	1997	0,96*	0,82*	-0,16	0,01	0,14	0,04	-0,15	-0,10	-0,03
	2000	0,89*	0,85*	0,43	0,41	0,34	-0,45*	0,32	0,21	-0,25
	2001	0,88*	0,79*	0,29	0,17	0,24	-0,05	0,08	0,13	-0,14
D	1997	1*	0,89*	-0,35	-0,20	-0,06	0,15	-0,27	0,01	0,06
	2000	1*	0,90*	0,22	0,18	0,12	-0,44	0,20	0,04	-0,09
	2001	1*	0,91*	-0,03	-0,23	-0,11	-0,10	0,14	-0,15	0,13
E	1997	0,97*	0,83*	-0,21	-0,04	0,09	0,07	-0,20	-0,05	0,03
	2000	0,91*	0,87*	0,39	0,37	0,32	-0,46*	0,28	0,16	-0,20
	2001	0,87*	0,77*	0,27	0,15	0,21	-0,03	0,02	0,05	-0,07
R8a	1997	-0,18	-0,15	0,08	0,06	-0,01	-0,26	-0,06	0,32	-0,13
	2000	0,14	0,17	-0,02	-0,11	-0,13	0,29	-0,16	-0,19	0,17
	2001	0,15	0,44	0,25	0,17	0,25	-0,32	0,30	-0,002	0,01
R8p	1997	0,10	-0,20	-0,26	-0,30	-0,35	-0,17	-0,16	-0,09	0,08
	2000	0,09	0,23	0,05	0,11	0,18	-0,12	-0,05	-0,06	0,07
	2001	-0,37	-0,24	0,70	0,71	0,69	-0,27	0,33	0,59	-0,60

* Significativo a 5% de probabilidade.

** P 100 = peso de 100 grãos (13% de umidade); L0G = legume com zero grão; L1G = legume com um grão; L2G = legume com dois grãos; L3G = legume com três grãos, estruturas = flores + legumes.

Trabalhos utilizando o método A realizados por Navarro Junior (1998), Ventimiglia et al. (1999), Pires et al. (2000) e Maehler (2000), obtiveram PR máximo de 22200 kg/ha em R2 e 13500 kg/ha em R5 (em tratamentos isolados), trabalhando com diferentes níveis de fertilidade, espaçamentos entre linhas, populações de plantas e cultivares.

Segundo Ventimiglia et al. (1999), a deficiência de fósforo no solo diminuiu o PR no estádios reprodutivos iniciais pela menor produção de flores e maior aborto destas estruturas, continuando a se manifestar com menor produção de legumes e maior abscisão destes. Para Pires et al. (2000), tanto a população quanto o espaçamento entre linhas afetam o PR durante a ontogenia. Com uso de espaçamento reduzido (20 cm) é possível reduzir a perda de potencial a partir de R5 (em comparação a 40 cm), resultando em maior rendimento em R8. No entanto, o uso de população de plantas de 40 plantas/m², embora aumente o potencial durante a ontogenia, não garante maior rendimento em R8 em relação a 30 plantas/m². Da mesma forma, Navarro Junior (1998), demonstrou variação no PR entre cultivares de soja durante a ontogenia. No entanto, como mostrado neste trabalho, a maior produção de flores não garante rendimento elevado em R8, sendo que o fato da cultivar apresentar alta produção de flores não identifica uma cultivar eficiente na fixação destas flores.

A irrigação é outra prática que aumenta o PR pela maior produção e fixação de flores e legumes. Também cultivares como BRS 137 apresenta maior potencial que BRS 138 desde R2 decorrente do menor aborto de flores e abscisão de legumes, refletindo-se em maior rendimento em R8 (Maehler, 2000).

Como demonstrado nas tabelas 2.2 e 2.3, os métodos têm pouca correlação com o rendimento em R8, pois sabe-se que existem inúmeros fatores que afetam as estruturas reprodutivas após a determinação do potencial. No entanto, a estimativa do PR neste trabalho deve ser encarada de acordo com os conceitos propostos, que reforçam a teoria da quantificação do potencial em tempo real, para a aplicação de práticas de manejo capazes de minimizar sua perda.

Dentro deste contexto, a capacidade preditiva da estimativa fica em segundo plano, pois muitos fatores podem afetar este potencial depois de sua quantificação. Entretanto, alguns trabalhos demonstram que diferenças proporcionadas por práticas de

manejo diferenciadas no PR estimado em R2, R4 e R5, em algumas situações, são mantidas até a maturação, resultando em maior rendimento de grãos (Ventimiglia et al., 1999; Maehler, 2000; Pires et al., 2000).

Estas metodologias de cálculo poderiam ser utilizadas na pesquisa para ajudar na compreensão de resultados experimentais e também em nível prático de lavoura (com métodos mais simples), conjuntamente com técnicas de amostragem a fim de caracterizar a variabilidade no PR da área ajudando na tomada de decisões de manejo que venham a maximizar o PR.

Para a utilização correta do método, é importante o conhecimento detalhado da ontogenia da cultura, dos fatores e estádios fenológicos mais importantes na determinação do rendimento e influências de diferentes práticas de manejo sobre estes fatores.

Uma questão que merece reflexão neste tipo de estudo é a capacidade do método para utilização no monitoramento de lavouras. Deve-se estudar a possibilidade de usar o método para quantificar a variabilidade do PR em lavouras e o seu relacionamento com o rendimento de grãos. Se isto for possível, é necessário, ainda, estabelecer o número e forma de amostragem para representar corretamente a área em estudo.

Estes métodos podem ser usados na pesquisa, juntamente com a localização dos nós da planta, proposta pela metodologia de Keisling & Counce (1997), para estudar os efeitos de vários fatores nestas estruturas e no rendimento de grãos, apesar de não ser possível uma “reconstrução completa” da estrutura da planta de soja por não se conhecer o comprimento dos entre nós e a angulação de ramos primários e secundários em relação ao caule ou aos ramos onde estão inseridos. Esta característica de angulação poderia ser investigada em cultivares, a fim de verificar se é inerente a cultivar ou influenciada pelo ambiente, possibilitando chegar-se mais próximo da “reconstrução” da planta que se está mapeando. Com isto existe a possibilidade da criação de aplicativos

computacionais ou modelos matemáticos capazes de facilitar o uso dos dados e representar a arquitetura da comunidade de plantas que está sendo avaliada.

2.6. CONCLUSÕES

- a) As metodologias estudadas são ferramentas importantes para o manejo quando utilizadas para comparar o potencial de rendimento durante a ontogenia.
- b) A escolha da metodologia a ser utilizada está condicionada ao objetivo e/ou praticidade da estimativa do potencial de rendimento.
- c) As metodologias avaliadas apresentaram estimativas semelhantes do potencial de rendimento.
- d) As características avaliadas são importantes para comparar o potencial de rendimento durante a ontogenia, mas não apresentam associação com o rendimento de grãos em R8.

CAPITULO III

VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DE PLANTAS DE SOJA EM COMUNIDADE

3.1. RESUMO

A representação espacial e temporal da variabilidade presente em características produtivas de plantas de soja em comunidade, pode facilitar o entendimento dos fatores determinantes de rendimentos elevados. O objetivo do trabalho foi demonstrar a utilização de técnicas geoestatísticas para análise espacial de populações de plantas de soja em lavoura. Realizou-se três experimentos na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), Eldorado do Sul, RS, nas estações de crescimento 1997/98, 1998/99 e 1999/00. O experimento constou de uma área de 70 m², demarcada aleatoriamente em uma lavoura de soja, cultivada em semeadura direta. A cultivar empregada foi FT-Abyara (determinada e semitardia) manejada como uma lavoura comercial. Na colheita identificou-se a posição de cada planta de soja na área, por um sistema de coordenadas cartesianas, atribuindo-se coordenadas (X e Y) para cada planta. Após coletadas, determinou-se a área ocupada por planta, produção de matéria seca e índice de colheita. Os dados foram avaliados por análise descritiva geral, correlação, regressão e por técnicas geoestatísticas. Por meio desta última obteve-se semivariogramas e mapas de variabilidade das características avaliadas. Os resultados obtidos indicaram ser possível, por meio de técnicas de geoestatística, identificar áreas com variabilidade, mesmo partindo-se da amostragem de plantas individuais. Existe variabilidade espacial e temporal de atributos de plantas de soja mesmo em pequenas áreas, com destaque para a matéria seca. O índice de colheita apresenta pequena dependência espacial, ou seja, é pouco influenciado pelas características da área. A geoestatística é uma ferramenta complementar importante para o entendimento da forma com que características de plantas variam no espaço e no tempo.

Termos para indexação: *Glycine max* (L.) Merrill, geoestatística, agricultura de precisão, produção de grãos.

SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF SOYBEAN PLANTS IN COMMUNITY

3.2. ABSTRACT

The spatial and temporal representation of the variability present in productive characteristics of soybean plants grown in community, can facilitate the understanding of the parameters determinants of high crop yield. The objectives of the work were to demonstrate the use of geostatistical techniques for spatial analysis of soybean plant populations in a crop area. Three experiments were performed at the Estação Experimental Agronômica of the Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), in Eldorado do Sul, RS, in the growing seasons of 1997/98, 1998/99 and 1999/00. The experiment consisted of an area of 70 m², demarcated at random in a no-till soybean crop field. The cultivar used was FT-Abyara (determined, mid-season) managed as a farm field. At harvest, the position of each soybean plant present in the area was marked by a system of cartesian coordinates, attributing coordinates (X and Y) for each plant. The plants were collected and the area occupied by each plant was determined, as well as dry matter production and harvest index. The data were evaluated by general descriptive analysis, correlation, regression and by geostatistical techniques. By the use of geostatistic, semivariograms and maps of variability were obtained for the characteristics determined. The results showed to be possible, by geostatistical techniques, to identify areas with variability even when using data of individual plants. Spatial and temporal variability of attributes of soybean plants exist even in small areas, especially for dry matter. The harvest index presents little spatial dependence, the characteristics of the area have little influence over it. Geostatistics is therefore, an important complementary tool for the understanding of how the plants characteristics vary in space and time.

Index terms: *Glycine max* (L.) Merrill, geostatistics, precision agriculture, grain production.

3.3. INTRODUÇÃO

A redescoberta de alguns fundamentos sobre o manejo de culturas, denominado “Agricultura de Precisão” na década de 80, impulsionados pela disponibilização de satélites para uso agrícola e pelo desenvolvimento de sensores e aplicativos computacionais para identificar e interpretar a variabilidade presente nas áreas cultivadas, possibilitou a popularização de técnicas de análise geoestatística (anteriormente usadas com maior frequência na área de geologia e mineração), e seu emprego em estudos agronômicos.

A ampliação do uso da geoestatística permitiu a interpretação de dados em níveis diferenciados de análise, que variam desde grandes regiões, cidades, passando por lavouras e chegando em nível de indivíduos dentro das lavouras ou áreas experimentais. Entretanto, neste último nível (análise a partir de plantas individuais) a utilização da geoestatística ainda é bastante incipiente.

Os fundamentos da geoestatística estão baseados em considerar as características (quer sejam de solo, planta ou ambiente), como dependentes do local onde são mensuradas, ou seja, com dependência espacial. Sua utilização possibilita, entre outras coisas, verificar a variabilidade espacial e temporal de diversos atributos em lavouras.

Pode-se ter uma idéia da importância do uso destas técnicas na identificação e mapeamento da variabilidade inerente a vários fatores de produção, em áreas como o melhoramento. Nesta, a variabilidade espacial afeta a diferenciação entre genótipos (Brownie et al., 1993) e aumenta a variância do erro experimental (Ball et al., 1993). Isto pode levar a decréscimos na resposta à seleção e a redução na precisão dos procedimentos estatísticos de análise (Vollmann et al., 2000). Em áreas de experimentação agronômica, o efeito de tratamentos pode, também, ser mascarado pela variabilidade espacial, dificultando a diferenciação entre tratamentos (Scharf & Alley,

1993). Também em lavouras comerciais, esta variabilidade é responsável por implicações ambientais, econômicas e no manejo das culturas, bastante grandes.

Portanto, a utilização de técnicas de amostragem e da geoestatística permitem maior precisão e benefícios nas áreas citadas anteriormente, pela localização, entendimento e minimização da variabilidade.

Embora o efeito substancial da heterogeneidade espacial no rendimento tenha sido demonstrado, métodos espaciais de análise são raramente considerados para outras características (Vollmann et al., 2000), o que poderia ajudar a explicar variações no rendimento de grãos.

Vollmann et al. (2000), estudando comunidades de soja afetadas pela variabilidade espacial, demonstraram que a heterogeneidade do solo pode, simultaneamente, influenciar características agronômicas como rendimento, estatura, tamanho de grãos e conteúdo de proteína e óleo. Portanto, análises espaciais podem ser aplicadas a todos os parâmetros de interesse quando as condições da lavoura não são homogêneas.

No caso de culturas semeadas em linhas (como a soja) tem-se regularidade na posição das linhas (espaçamento entre linhas), mas grande irregularidade na distribuição das plantas dentro da linha, fato este que pode contribuir com a variabilidade de atributos de plantas nas áreas agrícolas.

O arranjo espacial dos indivíduos de uma população de plantas na colheita exibe uma distribuição irregular. Esta pode ser causada pela utilização de implementos agrícolas pouco precisos ou por inúmeros fatores bióticos e abióticos incontroláveis. Alguns destes fatores são: variações no tamanho e qualidade das sementes (diferenças no teor de proteína e fósforo), variações de umidade e temperatura em “microsítios” no solo, profundidade de semeadura, encrostamento superficial do solo, variação na taxa de crescimento na pré-emergência, variação na matéria seca por planta, variação no tempo

de emergência e duração do crescimento da área foliar, variação na taxa de crescimento relativo, entre outras (Benjamin & Hardwick, 1986; Benjamin, 1990; Gan et al., 1992; Trigo et al., 1997).

As diferenças já se iniciam na emergência das plântulas. Neste sentido, Gan et al. (1992), trabalhando com trigo, demonstraram, na média de dois anos, que plantas emergidas do primeiro até o terceiro dia produziram 1,4 vezes o rendimento daquelas emergidas do quarto até o sexto dia e 3,2 vezes o rendimento das emergidas do sétimo ao nono dia.

Estas diferenças, muitas vezes, ocorrem porque as plântulas são capazes de detectar e responder a presença de plântulas vizinhas antes do início da competição por recursos. Assim, as plântulas podem modificar seu crescimento para permitir que sobrepujem parcialmente a desvantagem da emergência tardia (Benjamin, 1990).

Este tipo de variação (intrínseca ao indivíduo) e seus efeitos sobre o rendimento da comunidade presente em uma área, geralmente são avaliados por técnicas convencionais (com delineamento experimental e repetições), sendo possível, também, sua avaliação com uso de técnicas como a geoestatística.

Estas técnicas podem permitir avaliar a variação entre plantas para características como produção e componentes da produção e se existe a ocorrência de padrões (manchas) de áreas de lavoura associadas, por exemplo, com manchas de fertilidade, espaço disponível por planta, ou, ainda, com características da cultura (número de ramos produzidos, índice de colheita).

Este tipo de estudo permite verificar, mesmo havendo diferenças bastante grandes entre plantas em determinadas características relacionadas ao rendimento, se há possibilidade de se estabelecer áreas com comportamento similar, ou seja, se existe dependência espacial de outras características da soja, em nível de indivíduo, que não a produção de grãos comumente avaliada em nível de lavoura.

Vega et al. (2000) avaliando as relações entre rendimento de grãos por planta e matéria seca da planta em três culturas (milho, soja e girassol), identificaram grande variação nestas duas características com a modificação da população de plantas.

O objetivo do presente trabalho foi de demonstrar a utilização de técnicas geoestatísticas para análise espacial de populações de plantas de soja em lavoura.

3.4. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), localizada no município de Eldorado do Sul, na região fisiográfica da Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul, nas estações de crescimento 1997/98 (E I), 1998/99 (E II) e 1999/00 (E III), em sistema de semeadura direta.

O clima da região pertence a variedade específica Cfa da classificação climática de Köeppen, ou seja, subtropical úmido com verão quente. A temperatura média anual é de 14,9°C e precipitação média anual em torno de 1440 mm (Bergamaschi & Guadagnin, 1990). O solo da área experimental pertence a unidade de mapeamento São Jerônimo, classificado como Argissolo Vermelho Distrófico típico (Embrapa, 1999).

Os três experimentos constaram de uma área de 70 m² (7 X 10 m) demarcada aleatoriamente em uma lavoura de soja (mesmo local), sem delineamento experimental específico.

A análise de solo da área (no primeiro ano) indicou: argila = 38%; pH = 5,2; índice SMP = 5,9; P = 18 mg/L; K = 178 mg/L; matéria orgânica = 2,5%; CTC = 7,6 cmol_c/L e % de saturação da CTC (bases) = 54. A adubação, nos três anos, foi realizada de acordo com a análise de solo, a lanço, antes da semeadura com a dose de 300 kg/ha

de adubo da fórmula 5-20-20 mais 33 kg/ha de super fosfato triplo (E I); 150 kg/ha da fórmula 5-30-15 (E II) e 340 kg/ha da fórmula 5-20-20 (E III).

A área experimental apresentava cinco anos de cultivo em semeadura direta quando da realização do E I. Neste experimento havia 3900 kg/ha de palha de aveia preta no momento da semeadura. Nos experimentos E II e E III a quantidade de palha de aveia preta na semeadura era de 3000 kg/ha e 4400 kg/ha, respectivamente.

A cultivar empregada foi FT-Abyara de ciclo semitardio e tipo de crescimento determinado. A semeadura dos três experimentos foi realizada dentro da época recomendada preferencial para cultivo da soja na região de Eldorado do Sul, RS (Reunião..., 1997). As sementes foram tratadas com fungicida específico e inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*, em meio turfoso. A semeadura foi realizada com semeadora de parcelas, de tração mecânica, e com quantidade de sementes necessária para estabelecer uma população de 40 plantas/m² no espaçamento de 40 cm. Não foi realizado desbaste após a emergência das plantas, respeitando-se, portanto, a variabilidade existente na população.

A área de instalação dos experimentos (70 m²) fazia parte de uma área experimental com cerca de quatro hectares que foi manejada de forma convencional (como uma lavoura comercial), com controle de plantas daninhas e pragas com produtos indicados para a cultura, sem a realização de suplementação hídrica ou qualquer outra prática para corrigir os demais fatores que pudessem vir a ser causadores de variabilidade. Ou seja, embora a área possa ser considerada pequena para padrões de lavoura, não se constituía em uma parcela isolada, mas, sim, uma porção da lavoura e, portanto, representante do ambiente da mesma.

No estádio V4 (quatro nós do caule com folha desenvolvida, segundo Costa & Marchezan, 1982), realizou-se a demarcação da área de 70 m² com fitas de polietileno,

formando um reticulado (gride) com células de 1 m^2 para facilitar as determinações (Apêndice 4).

No momento da colheita identificou-se a posição de cada planta de soja presente na área por um sistema de coordenadas cartesianas, atribuindo-se coordenadas (X e Y) para cada planta dentro de cada célula de 1 m^2 do gride. As plantas foram então identificadas e coletadas.

Após a colheita realizou-se determinações (todas por planta) que constaram da produção de matéria seca da planta (grãos e palha) e índice de colheita (IC). Também foi possível, com a obtenção das coordenadas de cada planta, o cálculo da área ocupada por planta. Para tanto considerou-se que cada indivíduo ocupava uma área de formato retangular, que tinha como limites a metade da entre linha e a metade da distância entre as plantas vizinhas na linha de cultivo.

Para maior precisão em termos de terminologia e por serem os dados baseados em plantas individuais, utilizou-se, como representante do rendimento de grãos, a “produção de matéria seca de grãos” por planta e, em vez de “componentes do rendimento”, o termo “componentes de produção”.

Calculou-se o balanço hídrico pelo método de Thornthwaite & Mather (1955) com o uso das planilhas do aplicativo EXCEL, propostas por Rolim et al. (1998), para uma capacidade de armazenamento de água de 50 mm. Os dados meteorológicos foram obtidos junto ao Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia da UFRGS, provenientes de uma estação meteorológica automática localizada a dois quilômetros da área experimental, e da Estação Experimental de Taquarí, RS (FEPAGRO/SCT-RS).

A análise estatística foi realizada inicialmente por meio de análise descritiva geral, levando-se em conta os valores obtidos em cada planta sem considerar sua posição. Estas análises compreenderam histogramas, “box-plot” (variação gráfica do resumo de cinco números), ramo-e-folha, identificação de dados atípicos, entre outras.

Identificou-se, também, valores mínimos, máximos e médios, além do coeficiente de variação e desvio padrão das características avaliadas.

Calcularam-se também correlações entre as características avaliadas e fez-se a construção de gráficos relacionando-as duas a duas. A magnitude desta relação foi mensurada por regressão, indicando-se a equação e respectivo coeficiente de determinação quando houve significância.

Para se verificar a variabilidade espacial e temporal dos dados utilizou-se a Geoestatística. A base teórica dessa análise se dá por meio da “Teoria das Variáveis Regionalizadas”. Segundo essa teoria, pontos mais próximos estão mais correlacionados entre si do que pontos mais afastados (Ribeiro Junior, 1995).

O primeiro passo foi estudar o semivariograma amostral (Apêndice 5). Testou-se a isotropia dos dados por meio do semivariograma amostral construído em cinco direções: 0° , 45° , 90° , 135° e 180° . Quando o comportamento do semivariograma amostral foi praticamente o mesmo em todos os ângulos, a condição de isotropia foi aceita. Assim, passou-se a trabalhar com o “semivariograma omnidirecional”, calculado em base à direção média de todos os ângulos. A esse semivariograma amostral obtido ajustou-se um dos modelos teóricos existentes.

Com o modelo do semivariograma ajustado aplicou-se uma das técnicas de interpolação conhecida como “Krigagem” (Apêndice 6). A krigagem baseia-se na utilização dos pontos vizinhos e no modelo de semivariograma para definir os estimadores, revelando o comportamento da variabilidade espacial dos dados considerando toda a superfície. Os pontos vizinhos foram assim ponderados, para se satisfazer à “Teoria das Variáveis Regionalizadas”. Nesta análise, utilizou-se o método da krigagem conhecido como “Krigagem Ordinária”, que utiliza o melhor estimador linear não tendencioso, considerando um erro com média zero e variância mínima.

Para obter uma perspectiva visual do comportamento das variáveis na área estudada, utilizou-se uma representação gráfica na forma de mapas onde as coordenadas dos pontos e os valores da variável são representados em um sistema (Ribeiro Junior, 1995). Os mapas criados foram mapas interpolados obtidos a partir de krigagem ordinária.

Para algumas variáveis, onde foram identificados problemas na construção dos mapas, foi realizada uma interpolação simples. A interpolação simples faz uma média simples entre dois pontos vizinhos para se estimar um ponto próximo, desconhecido.

Utilizou-se os aplicativos computacionais SAS, SPSS versão 8.0, Idrisi32 versão I32.02, S-plus versão 4.5 e R versão 1.3.1 para realização das análises estatísticas e geoestatísticas.

3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados ambientais mais importantes, representados pelo extrato do balanço hídrico (Figura 3.1), demonstraram que houve diferença entre os anos no tocante a disponibilidade hídrica (fato importante, pois os experimentos foram conduzidos sem suplementação hídrica). O E I apresentou excesso hídrico durante quase todo o ciclo. Já nos experimentos E II e E III houve deficiência hídrica acentuada na maior parte do ciclo, sendo minimizada nos meses de março e abril (E II) e a partir de fevereiro (E III). Estas condições impuseram restrições ao rendimento da cultura, principalmente pela variabilidade na distribuição de chuvas ser a principal limitação à expressão do potencial de rendimento da soja no sul do Brasil (Cunha et al., 1999).

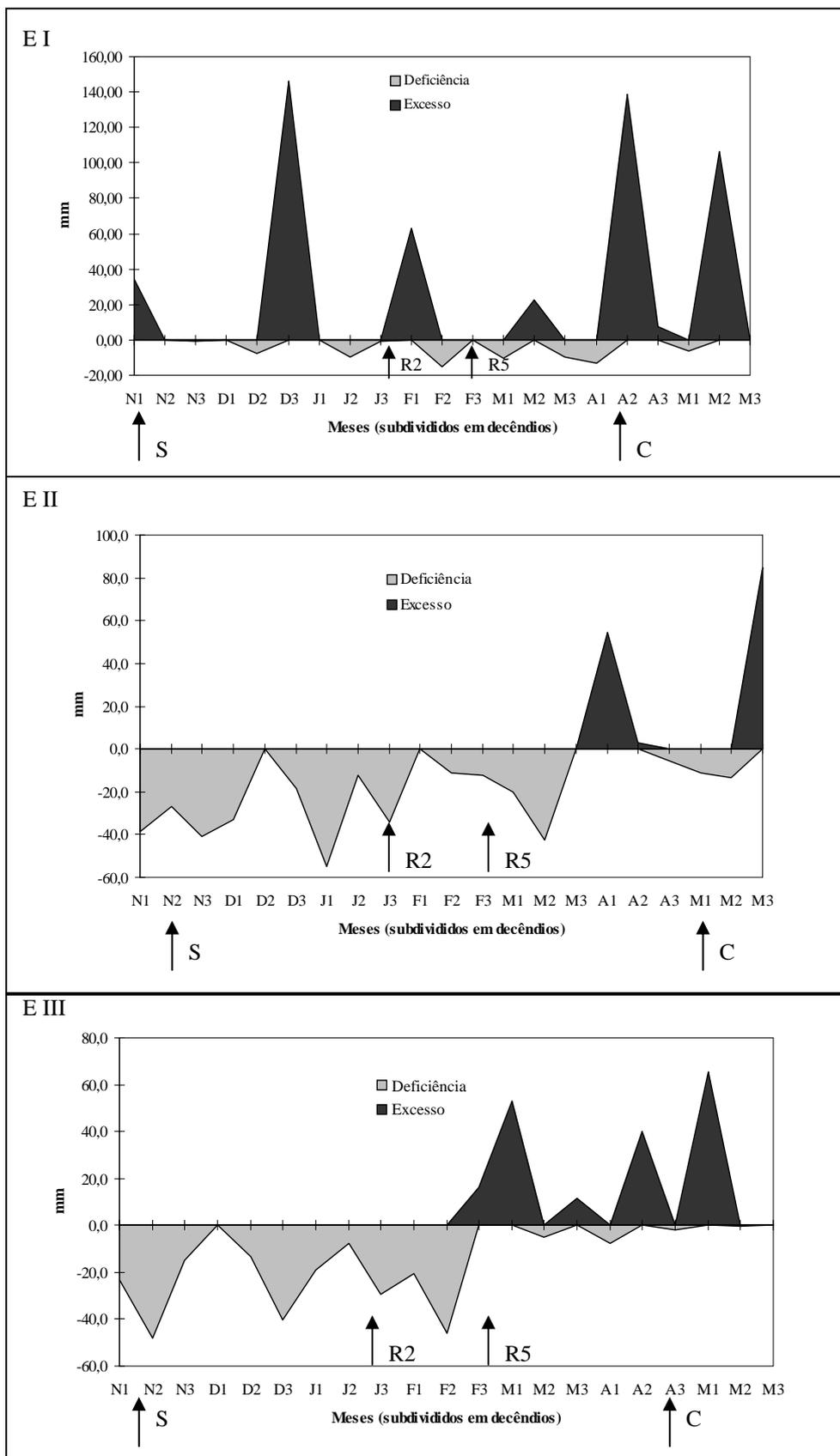


FIGURA 3.1 - Extrato do balanço hídrico segundo Thornthwaite & Mather (1955) (Rolim et al., 1998) para capacidade de armazenamento de água no solo de 50 mm. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1997/98 (E I), 1998/99 (E II) e 1999/2000 (E III). S = semeadura, R2 = florescimento, R5 = início do enchimento de grãos, C = colheita.

A análise descritiva geral, realizada com os dados, permitiu identificar valores como mínimo, máximo, média, coeficiente de variação (CV) e desvio padrão (Tabela 3.1).

TABELA 3.1 – Análise descritiva dos dados das variáveis estudadas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1997/98 (E I), 1998/99 (E II) e 1999/00 (E III)

Ano	n	Variável	Unidade	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão	C.V. (%)
1997/98 E I	3108	Área	cm ² /planta	19	6090	220,3	243,9	111
		MS palha	g/planta	0,02	48,2	4,2	3,1	74
		MS grãos	g/planta (13%)	0	41,1	7,4	5,9	80
		MS total	g/planta	0,02	60,6	11,6	8,7	75
		IC		0	0,9	0,5	0,2	30
1998/99 E II	3023	Área	cm ² /planta	18,2	1404	222,6	169,0	76
		MS palha	g/planta	0,08	36,8	6,1	4,1	67
		MS grãos	g/planta (13%)	0	29,0	4,9	4,1	84
		MS total	g/planta	0,08	55,0	11,0	8,0	72
		IC		0	0,9	0,4	0,1	33
1999/00 E III	1331	Área	cm ² /planta	35,0	7350	542,9	587,0	108
		MS palha	g/planta	0,09	76,2	10,9	9,0	83
		MS grãos	g/planta (13%)	0	106,7	14,3	12,5	93
		MS total	g/planta	0,16	198,8	27,3	23,2	93
		IC		0	0,8	0,5	0,1	17

n – número de plantas na população.

MS – matéria seca.

IC – índice de colheita por planta.

C.V. = coeficiente de variação.

O rendimento de grãos na área foi de 3348 kg/ha (E I), 2204 kg/ha (E II) e 3029 kg/ha (EIII). Esta variação condiz com as condições meteorológicas (principalmente com a disponibilidade hídrica) ocorridas em cada ano, que seguiram o mesmo comportamento, sendo mais favoráveis no ano de condução do E I e menos favoráveis (maior deficiência hídrica) no ano de condução do E II (Figura 1). Os resultados indicam, também, que mesmo em populações diferentes (44 plantas/m² na média do E I e 19 plantas/m² do E III), a plasticidade fenotípica da soja permitiu a obtenção de rendimentos similares.

O número de plantas e a área ocupada por cada uma destas foi aproximada nos experimentos E I e E II (Tabela 3.1). Já no E III houve deficiência hídrica acentuada

logo após a semeadura, o que resultou em menor número de plantas emergidas (confirmada pelo baixo número de plantas na colheita) e portanto uma maior área por planta. Esta maior área individual se refletiu em plantas com maior matéria seca da palha, dos grãos e total (na média das plantas) (Tabela 3.1), o que demonstra a capacidade de compensação destas plantas, que amenizou o efeito negativo da menor população. Esta capacidade da soja é evidenciada em inúmeros trabalhos citados na literatura (Rubin, 1997; Pires et al., 1998a; Rambo, 2002).

Embora a média do comportamento de uma população não considere diferenças entre indivíduos, o tamanho varia consideravelmente entre plantas dentro do estande mesmo com indivíduos de idade igual (Kikuzawa, 1999)

Nos três experimentos, a matéria seca de grãos obtida variou de 0 a 106,7 g/planta, sendo que a matéria seca total variou de 0,02 a 198,8 g/planta (Tabela 3.1). Este valor máximo de matéria seca total foi similar ao obtido por Vega et al. (2000), onde a variação observada foi de 0,3 a 196 g/planta, em trabalho com alteração na população de plantas. O valor mínimo de matéria seca por planta (0,02 g), encontrado no presente trabalho, pode ser considerado bastante baixo. No entanto, considerou-se, neste estudo, todas as plantas de soja presentes na área, mesmo aquelas quebradas ou suprimidas que contribuem pouco com a comunidade e produzem quantidade pequena de matéria seca, mas que, por mínimo que seja, competem por recursos em alguma fase do ciclo, immobilizando parte destes, que poderiam ser utilizados por plantas mais produtivas.

Para Colasante & Costa (1981), o rendimento médio de grãos (matéria seca de grãos por planta) variou de 4,4 a 6,82 g/planta e o rendimento biológico médio de 9,8 a 15,8 g/planta. Também evidenciaram que a diferença de rendimento de grãos deve, por definição ($\text{rendimento de grãos} = \text{rendimento biológico} \times \text{índice de colheita}$), depender

totalmente das diferenças no rendimento biológico e IC. De modo geral, rendimentos de grãos elevados foram determinados em cultivares de rendimento biológico elevado.

Teoricamente, comunidades mais produtivas seriam aquelas com plantas distribuídas num arranjo equidistante, com maior uniformidade na produção por planta. Neste sentido, o potencial de rendimento dos cultivos pode ser melhorado, minimizando a variação de tamanho interplanta, pois esta variabilidade está associada com maior proporção de plantas suprimidas, que contribuem pouco para o rendimento (Counce et al., 1989; Bonan, 1991; Gan et al., 1992). Estudos nesta área são importantes para verificar como se dá a competição entre as plantas e seu efeito na variabilidade do rendimento. Em certas situações, com arranjos de plantas desfavoráveis, se teria grande quantidade de plantas suprimidas (com baixa contribuição para o rendimento de grãos), que, estariam competindo por recursos e poderiam reduzir o potencial de rendimento da área como um todo.

No entanto, é muito importante considerar a interação das plantas com características ambientais e de manejo. Nos experimentos avaliados ficou evidente que o simples fato de se ter menor variabilidade de plantas no E II (expressa pelo menor CV, mínimo e máximo - Tabela 3.1) em relação ao E III, não garante maiores rendimentos, pois outro fator de maior importância (possivelmente deficiência hídrica) comandou a resposta das plantas e o rendimento obtido. De outra forma, mesmo uma comunidade com número menor de plantas arranjadas de uma forma mais regular, e com variação maior entre plantas, podem produzir rendimento elevados se outros fatores de produção estiverem em níveis adequados. Esta resposta é evidenciada, de certa forma, por Rambo (2002), onde comparando diferentes espaçamentos e populações, sob condições de regime hídrico favorável, evidenciou melhores resultados com o uso da população e do espaçamento mais baixo (20 cm e 20 plantas/m²).

É importante salientar, contudo, que plantas em comunidade com populações abaixo da indicada necessitam produzir o equivalente a duas ou três plantas de uma comunidade com população em níveis indicados, o que pode ser prejudicado se as condições ambientais, principalmente de disponibilidade hídrica, não forem adequadas.

Os processos ou fatores que influenciam no rendimento podem ser diferentes para uma comunidade de plantas e uma planta individual. Um exemplo disso é o índice de colheita (IC).

O IC, característica importante para verificar a capacidade das plantas e da comunidade em remobilizar (partição) assimilados, direcionando-os para o produto econômico que é a produção de grãos, variou de 0,4 a 0,5 na média da comunidade nos três anos. Estes resultados reforçam dados citados na literatura que indicam esta média de IC (Colasante & Costa, 1981). O que os dados mostram de interessante é a variação que o IC apresenta entre as plantas formadoras da comunidade, tendo uma amplitude de 0 (para plantas que não produziram grãos) até 0,9 (Tabela 3.1). Se desconsiderado os valores com 0, o valor mínimo de IC foi de 0,02 para o E I, 0,01 para o E II e 0,03 para o E III. Estes valores retratam, de certa forma, a heterogeneidade da comunidade, onde convivem plantas suprimidas, que não contribuem para a formação de grãos, e plantas que apresentam pequena matéria seca, mas que conseguem investir na formação de estruturas reprodutivas (por menores que sejam), acarretando em distorções do índice de colheita (onde se tem alta matéria seca de grãos e baixa matéria seca vegetativa). Este comportamento também pode ser reflexo de plantas danificadas que, muitas vezes, perdem porções do caule, concentrando sua produção nos ramos e, com isso, apresentando valores discrepantes de IC. Deve-se salientar, ainda, que os valores de IC observados neste trabalho, poderiam ser mais altos, se as condições hídricas fossem adequadas (Braga & Costa, 1983).

Segundo Egli (1988), o IC é constante mesmo com grande variação de tamanho de plantas dentro de uma cultivar. Estas observações suportam a idéia de que o número de frutos e grãos está mais relacionado com a taxa de crescimento da cultura que com a variação na partição de assimilados entre crescimento vegetativo e reprodutivo.

Segundo Colasante & Costa (1981), em trabalho que buscou verificar a variabilidade do IC e rendimento biológico, e suas relações com o rendimento de cultivares de soja diferentes, evidenciaram variabilidade genética para tal característica, embora não estando associada com o rendimento de grãos.

O IC isoladamente não é um bom indicador da capacidade produtiva de cultivares de soja. Por outro lado, a alta relação entre rendimento biológico e rendimento de grãos mostra que o peso total da planta madura é um bom indicador do potencial produtivo de cultivares de soja (Colasante & Costa, 1981). Esta mesma lógica pode ser aplicada no presente trabalho para os dados obtidos com plantas individuais dentro de uma comunidade pois, por exemplo, o IC médio do E I foi igual ao do E III, no entanto, a matéria seca dos grãos e a matéria seca total média por planta (correspondente ao rendimento de grãos e biológico, respectivamente), foram superiores no E III em relação ao E I (Tabela 3.1).

Para Braga & Costa (1983), a estatura de plantas, rendimento biológico e índice de acamamento foram características que se associaram negativamente ao rendimento e ao IC. Estas correlações indicam uma menor conversão relativa dos componentes vegetativos à produção de grãos nas cultivares de maior crescimento vegetativo. Os valores dessas correlações confirmam outros resultados que apontam uma associação negativa entre o IC e a matéria seca do caule. Observaram também que a minimização dos déficits hídricos parece ser condição experimental necessária para avaliação do IC, evitando interferência ambiental na expressão desta característica. Indicaram, ainda,

valores menores de IC nas cultivares de rendimento biológico maior, que foram mais suscetíveis ao acamamento e à ação de fitopatógenos.

O coeficiente de variação (CV) é um indicador bastante utilizado para avaliar a magnitude da variabilidade dos atributos na área estudada. Neste sentido, o menor CV, numericamente, foi obtido pela característica IC no experimento de 1999/00, chegando a ser de 17%, valor que está dentro de limites aceitáveis para condições experimentais onde se utiliza repetição e outras medidas de controle (Reunião..., 1999a). As demais características avaliadas apresentaram CV elevado que foram, na média dos três experimentos, de 98% para área por planta, 75% para matéria seca da palha, 86% para matéria seca dos grãos e de 80% para matéria seca total. Se comparados com os níveis de CV obtidos e os aceitáveis para condições experimentais, que são menores que 20% para ensaios de soja (Reunião..., 1999a) ou com a classificação de CVs em baixos (<10%), médios (10 a 20%), altos (20 a 30%) e muito altos (>30%) (Riboldi, 1997), pode-se considerar os CVs das características estudadas como muito altos. No entanto, estes padrões são utilizados para avaliar a precisão de experimentos. No presente caso, tal coeficiente está sendo usado para representar a variabilidade intrínseca dos indivíduos avaliados e, portanto, seus valores demonstram o comportamento da característica relatada.

Em muitas espécies cultivadas, a variabilidade de plantas pode estar associada a características genéticas. No entanto, a soja, por apresentar percentagem reduzida de polinização cruzada (igual ou menor que 1%, Sedyama et al., 1981), não sofre efeito grande da variabilidade genética, que fica determinada basicamente pela variabilidade inicial da população que deu origem a cultivar.

Alguns estudos têm sido realizados em lavouras a fim de identificar a variabilidade de várias características pelo CV. A magnitude do CV para algumas características já é conhecida: 8 a 14% para pH do solo, 28 a 58% para NO_3^- no solo, 39

a 157% para fósforo no solo, 31 a 61% para potássio no solo, 21 a 41% para matéria orgânica e 8 a 29% para rendimento de grãos. Para o rendimento de grãos, mesmo apresentando valores moderados de CV, as diferenças entre os rendimentos mínimos e máximos dentro de uma lavoura de trigo podem chegar de 630 kg/ha a 8130 kg/ha (Wollenhaupt et al., 1997).

Os coeficientes de correlação calculados entre área por planta e as demais características, embora significativos, são bastante baixos, demonstrando pequena associação nos três experimentos. Já para matéria seca, houve alta correlação entre matéria seca dos grãos e matéria seca total em todos os anos. O índice de colheita apresentou correlação média com matéria seca dos grãos e total nos experimentos E I e E II, embora tenha apresentado baixa correlação no E III (Tabela 3.2). Estes resultados, obtidos em relação a matéria seca de grãos e sua associação com a matéria seca total e o IC, são similares aos descritos na literatura, o que já foi demonstrado anteriormente, quando se discutiu os dados da Tabela 3.1.

TABELA 3.2 – Coeficientes de correlação entre as características determinadas por planta e área individual. EEA, UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1997/98 (E I), 1998/99 (E II) e 1999/2000 (E III)

Ano	Característica	Unidade	Área	MS palha	MS grãos	MS total	IC
1998	Área	(cm ² /planta)	1				
E I	MS palha	(g/planta)	0,17*	1			
	MS grãos	(g/planta)	0,20*	0,85*	1		
	MS total	(g/planta)	0,20*	0,94*	0,98*	1	
	IC		0,07*	0,32*	0,52*	0,47*	1
1999	Área	(cm ² /planta)	1				
E II	MS palha	(g/planta)	0,34*	1			
	MS grãos	(g/planta)	0,32*	0,90*	1		
	MS total	(g/planta)	0,34*	0,97*	0,97*	1	
	IC		0,12*	0,35*	0,59*	0,48*	1
2000	Área	(cm ² /planta)	1				
E III	MS palha	(g/planta)	0,35*	1			
	MS grãos	(g/planta)	0,39*	0,74*	1		
	MS total	(g/planta)	0,37*	0,94*	0,84*	1	
	IC		0,13*	0,14*	0,25*	0,22*	1

*Significativo a 5% de probabilidade.

MS = matéria seca; IC = índice de colheita da planta.

A baixa associação entre área por planta e as demais características, principalmente produção de grãos, pode estar associada a forma como foi calculada a área disponível por planta que considerou a área como retangular ou quadrada. Neste sentido, existem modelos de cálculo que levam em consideração outras características como a sobreposição de plantas, áreas de influência e camadas do dossel; que poderiam ser utilizados para representar a interação entre indivíduos vizinhos, pertencentes a uma população (Benjamin & Hardwick, 1986).

Outra explicação para tal fato seria que, embora a soja mantenha sua individualidade (área, volume) na parte subterrânea (pela falta de entrelaçamento entre raízes de plantas distintas), como demonstrado por Harper & Barber (1970), a parte aérea não respeita os limites considerados para cálculo da área por planta, ou os formados pelas raízes. Na parte aérea ocorre entrelaçamento de ramos acentuando a competição intraespecífica, que ocorre de forma diferenciada da que ocorre nas raízes. Fatores como estabelecimento do estande de plantas (principalmente diferenças no tempo de emergência) poderiam também estar fazendo com que, mesmo plantas com área disponível grande, mas que emergiram com atraso, tenham menor capacidade compensatória e rendimento de grãos quando comparadas a plantas com área menor, mas que levaram vantagem na competição por terem chance maior de aproveitar os recursos do meio precocemente durante o ciclo.

Foram realizadas representações gráficas das variáveis estudadas, utilizando-se a matéria seca de grãos por planta (produção de grãos por planta) como a variável de maior interesse por representar a porção de importância econômica sempre comparada com as outras características avaliadas.

A matéria seca de grãos por planta não apresentou relação significativa (expressa pelo coeficiente de determinação) com a área disponível por planta em nenhum dos experimentos (Figura 3.2).

A matéria seca de grãos por planta aumentou linearmente a medida que houve aumento da matéria seca total nos três anos (Figura 3.3), o que era esperado por ser a matéria seca dos grãos um dos componentes formadores da matéria seca total. A matéria seca da palha também apresentou alta relação com a matéria seca de grãos. Ou seja, o rendimento biológico apresentou alta relação com o rendimento de grãos da mesma forma que demonstrado por Colasante & Costa (1981), já comentado anteriormente.

O IC apresentou padrão similar de comportamento nos três experimentos, mostrando IC baixo e com variação menor para plantas com pequena matéria seca de grãos e, acréscimo no IC e aumento na estabilidade com o aumento desta, que variou de 0,5 a 0,7; dependendo do ano, até atingir um patamar próximo a 0,60 (Figura 3.4). O patamar foi maior, numericamente, no E I, confirmando a suposição de Braga & Costa (1983), onde anos com condições hídricas adequadas possibilitariam valores de IC mais altos ou, no mínimo, patamares mais altos. Da mesma forma Vega et al. (2000) obtiveram um padrão de IC estável para plantas de tamanho médio, diminuindo um pouco para plantas grandes e diminuindo muito para plantas pequenas.

GRÁFICO DE MS GRÃOS X ÁREA

FIGURA 2 - Matéria seca de grãos por planta de soja (g) em função da área ocupada por planta (cm²). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1997/98 (E I), 1998/99 (E II) e 1999/00 (E III).

GRÁFICO DE MS GRÃOS x MS TOTAL

FIGURA 3 – Matéria seca (MS) total da soja (g/planta) em função da matéria seca de grãos (g/planta). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1997/98 (E I), 1998/99 (E II) e 1999/00 (E III).

GRÁFICO DE MS GRÃOS X IC

FIGURA 4 - Matéria seca (MS) de grãos por planta de soja (g) em função do índice de colheita por plantas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1997/98 (E I), 1998/99 (E II) e 1999/00 (E III).

A análise descritiva geral dos dados e as relações demonstradas até o momento representam a variabilidade e indicam a associação entre variáveis. No entanto, não demonstram a presença de dependência espacial das características estudadas e como estas variam na área avaliada. Buscando demonstrar esta dependência foram empregadas técnicas de geoestatística capazes de representar como cada característica se comporta na área.

Uma das pressuposições deste tipo de análise é que o comportamento dos fenômenos estudados seja tal, que valores separados por distâncias menores apresentem uma associação maior do que aqueles separados por distâncias maiores. Admite-se ainda que, em certos casos, não há mais associação a partir de certa distância (Ribeiro Junior, 1995).

Os semivariogramas obtidos indicaram que a matéria seca da palha, dos grãos e total por planta apresentaram dependência espacial nos três experimentos; já o IC apresentou dependência espacial baixa, não sendo possível o ajuste de modelos e criação de mapas interpolados para esta característica. A área disponível por planta, embora não sendo uma característica da planta, foi investigada, sendo possível o ajuste de modelos e a construção de mapas de variabilidade nos experimentos E II e E III (Tabela 3.3).

TABELA 3.3 – Características espaciais das propriedades avaliadas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1997/98 (E I), 1998/99 (E II) e 1999/00 (E III)

Ano	Característica	Unidade	Modelo	Alcance (m)	Patamar	Efeito pepita
1998	Área	cm ² /planta	*	*	*	*
	MS palha	g/planta	Exponencial	0,49	2,26	7,79
	MS grãos	g/planta (13%)	Esférico	0,99	5,42	19,93
	MS total	g/planta	Exponencial	0,35	13,53	47,51
	IC		Esférico	0,60	0,0028	0,024
1999	Área	cm ² /planta	Esférico	0,83	10976,20	18069,50
	MS palha	g/planta	Esférico	0,67	3,37	12,82
	MS grãos	g/planta (13%)	Esférico	0,78	2,56	10,09
	MS total	g/planta	Esférico	0,69	11,35	43,26
	IC		*	*	*	*
2000	Área	cm ² /planta	Esférico	1,47	221347,00	127267,50
	MS palha	g/planta	Esférico	1,55	31,92	52,91
	MS grãos	g/planta (13%)	Exponencial	0,45	95,02	67,18
	MS total	g/planta	Exponencial	0,46	242,50	231,11
	IC		*	*	*	*

MS - matéria seca.

IC – índice de colheita por planta.

* Não foi possível ajustar modelos.

Um semivariograma experimental com características consideradas ideais, apresenta um padrão onde as diferenças decresçam a medida que h , a distância que os separa decresce, ou seja é esperado que observações mais próximas geograficamente tenham um comportamento mais semelhante entre si do que aquelas separadas por maiores distâncias. Desta maneira, é esperado que os valores de semivariância $\gamma(h)$ aumentem com o aumento da distância. O “alcance” indica a distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente. O “patamar” é o valor do semivariograma a seu alcance. Deste ponto em diante, considera-se que não existe mais dependência espacial entre as amostras, porque a variância da diferença entre os pares de amostras torna-se invariante com a distância. O “efeito pepita”, idealmente, $\gamma(0) = 0$. Na prática, entretanto, à medida que h tende para 0 (zero), $\gamma(h)$ se aproxima de um valor positivo chamado “efeito pepita”, que revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras.

Parte desta descontinuidade pode ser também devida a erros de medição ou da variabilidade de pequena escala não captada pela amostragem (Camargo et al., 1999).

Se o semivariograma, ao invés de ser crescente e dependente de h , for constante e igual ao patamar para qualquer valor de h , então tem-se um efeito pepita puro ou ausência total de dependência espacial. Isto significa que o alcance, para os dados em questão, é menor do que o menor espaçamento entre amostras. Para estes dados, tem-se uma distribuição espacial completamente aleatória, e a única aplicável, é a “Estatística Clássica” (Vieira, 1999).

Todos os modelos ajustados as variáveis foram do tipo exponencial ou esférico. A amplitude dos modelos variou entre 0,3 e 2,0 m em todos os anos. Em virtude de alguns “desvios” em relação às suposições associadas às técnicas de krigagem (como valores de máximo e mínimo próximos) os modelos ajustados captam um padrão de correlação espacial com variabilidade alta independente da distância, fazendo com que as estimativas sejam muito próximas da média global de cada variável.

A dependência espacial é pequena, geralmente, com efeito pepita elevado. Isto se deve a grande variação entre plantas mesmo em pequenas distâncias.

Fato importante com o uso da krigagem é que os pesos dos estimadores são variáveis de acordo com a variabilidade espacial expressa no semivariograma (Vieira, 1999).

A representação da localização de cada planta na área é apresentada na figura 3.5. Nesta figura nota-se a menor população e maior desuniformidade na distribuição de plantas no experimento E III.

A representação da variabilidade dos atributos das plantas e de sua dependência espacial é melhor visualizada em mapas de variabilidade, onde pode-se observar similaridades ou diferenças entre os anos e entre as características, bem como, entre os respectivos modelos de semivariograma ajustados (Figuras 3.6 a 3.9).

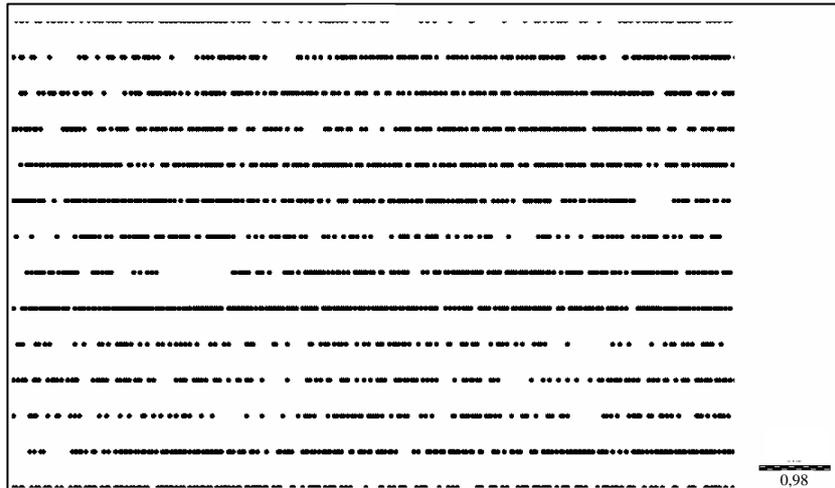
Como medida de dissimilaridade, valores menores de semivariância indicam maior associação (Ribeiro Junior, 1995).

Devido a baixa dependência espacial do IC não foi possível a visualização de sua variabilidade por mapas obtidos a partir de krigagem. No entanto, realizou-se uma representação na forma de “interpolação simples” (Apêndice 7) onde observa-se grandes diferenças mesmo entre plantas bastante próximas.

MAPAS DE ISOLINHAS NOS TRÊS ANOS
REPRESENTAÇÃO DE CADA PLANTA NA ÁREA

FIGURA 5 - Representação da posição de cada planta na área. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1997/98 (E I), 1998/99 (E II) e 1999/00 (E III).

E I



E II



E III

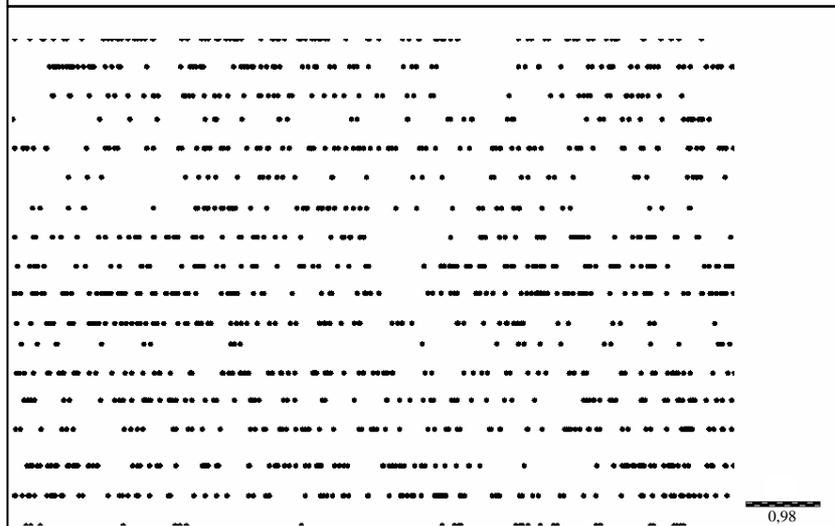


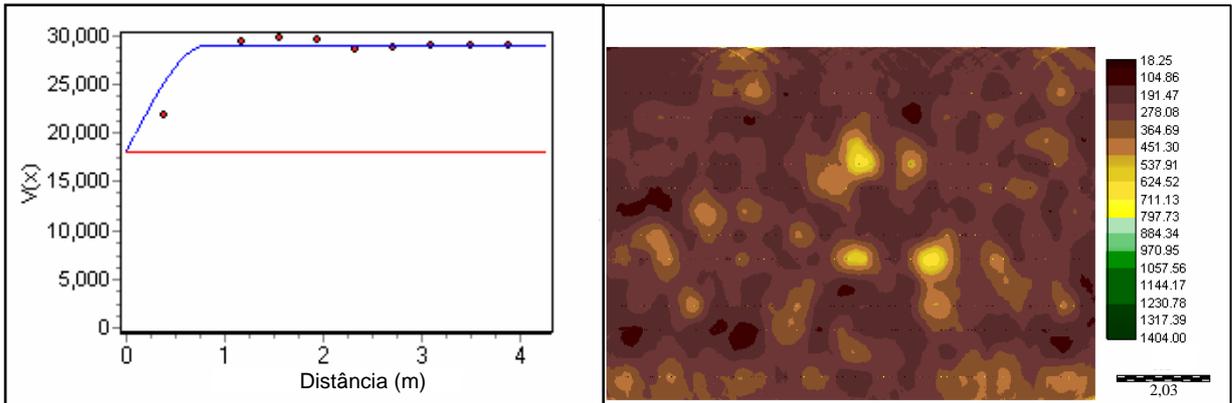
FIGURA 3.5 - Representação da posição de cada planta na área. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1997/98 (E I), 1998/99 (E II) e 1999/00 (E III).

MAPAS DE ISOLINHAS NOS TRÊS ANOS

ÁREA POR PLANTA

FIGURA 6 - Semivariograma e mapa interpolado da área por planta de soja (cm²).
EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1997/98 (E I), 1998/99 (E II), e
1999/00 (E III).

E II



E III

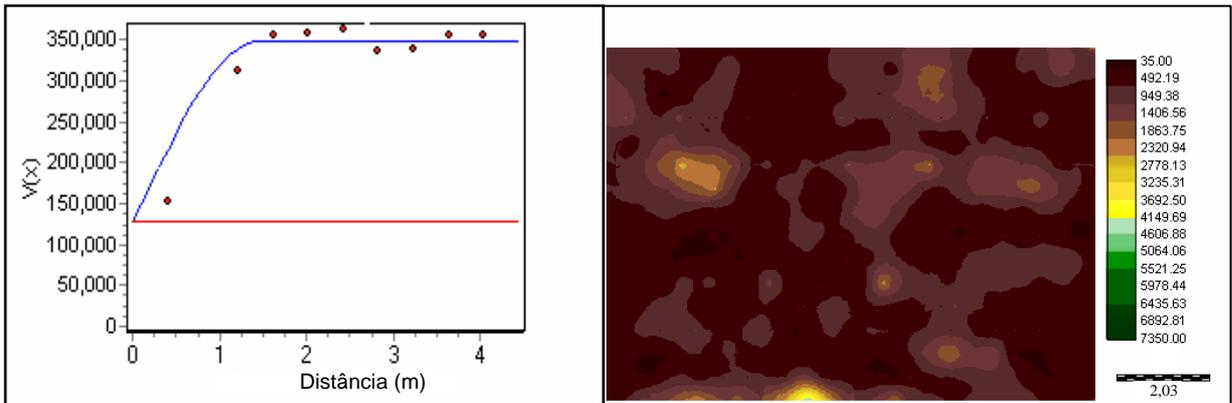
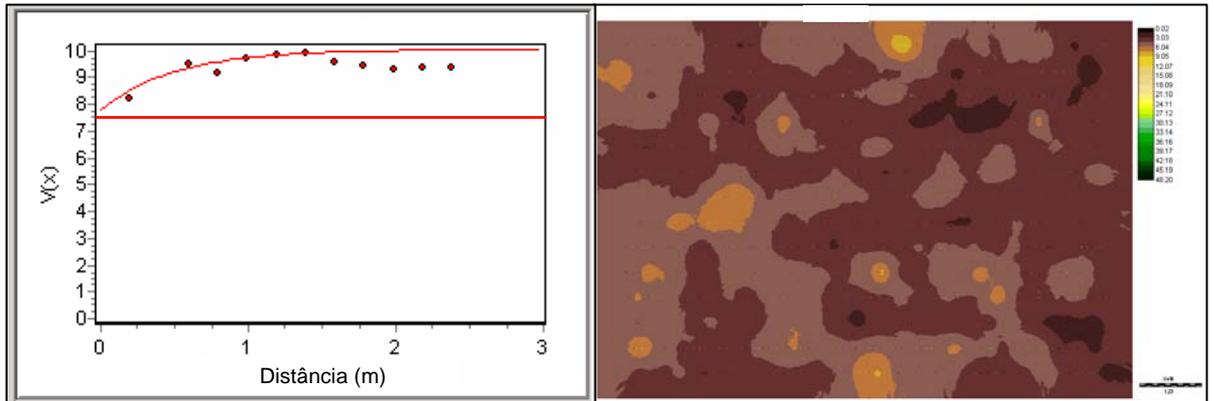
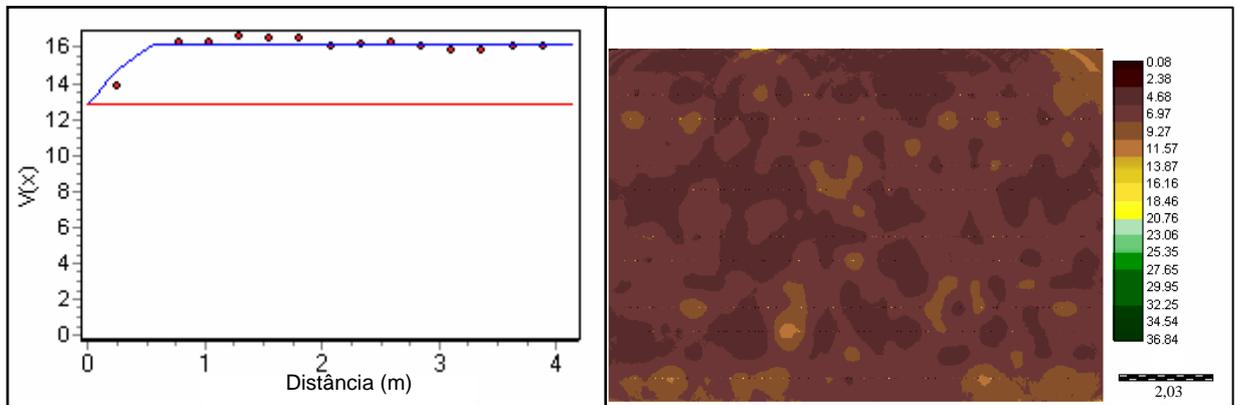


FIGURA 3.6 - Semivariograma e mapa interpolado da área por planta de soja (cm^2).
EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1998/99 (E II), e 1999/00 (E III).

E I



E II



E III

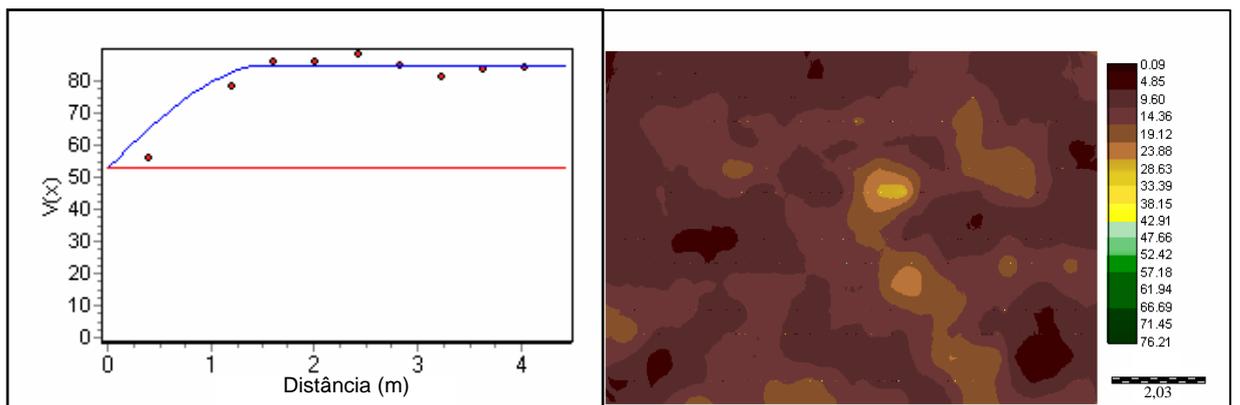
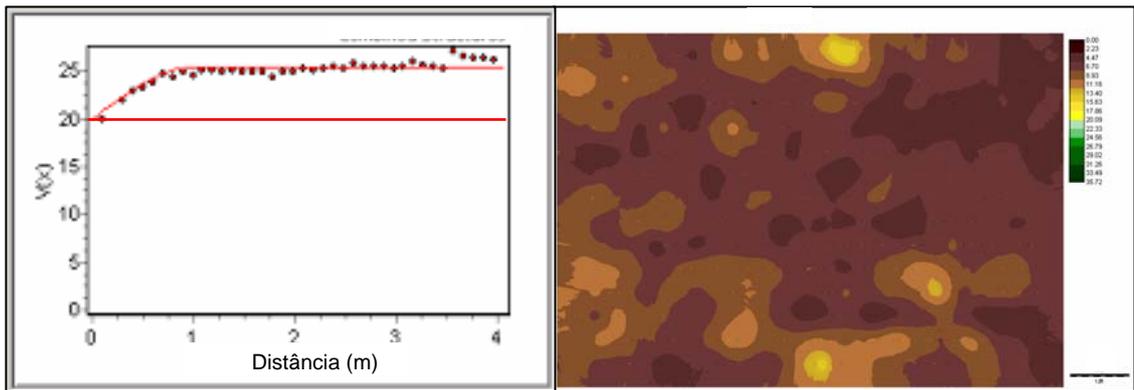
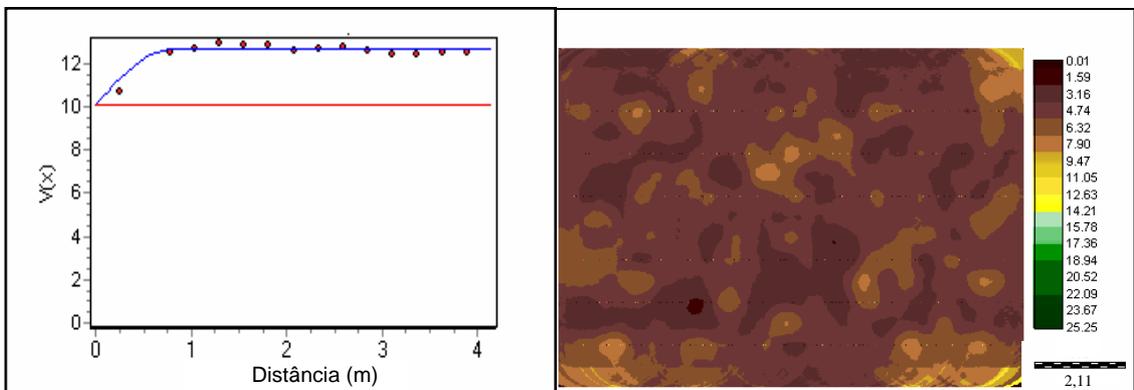


FIGURA 3.7 - Semivariograma e mapa interpolado da matéria seca da palha (g/planta) de soja. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1997/98 (E I), 1998/99 (E II), e 1999/00 (E III).

E I



E II



E III

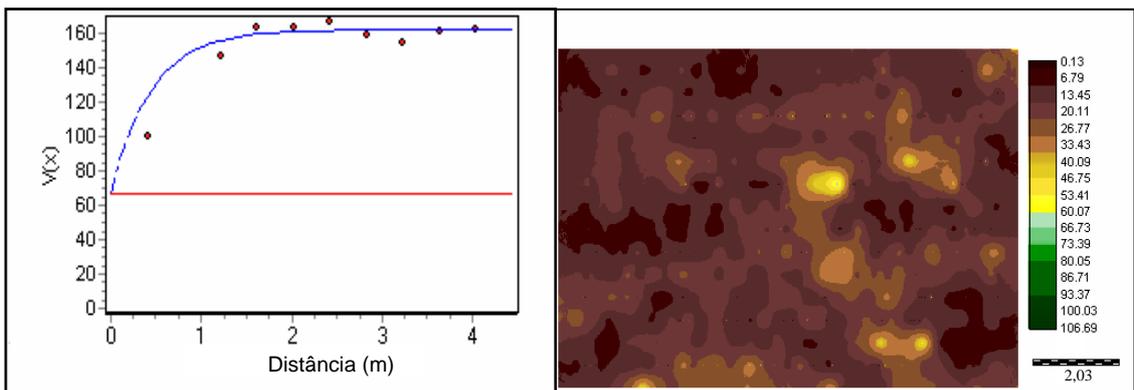
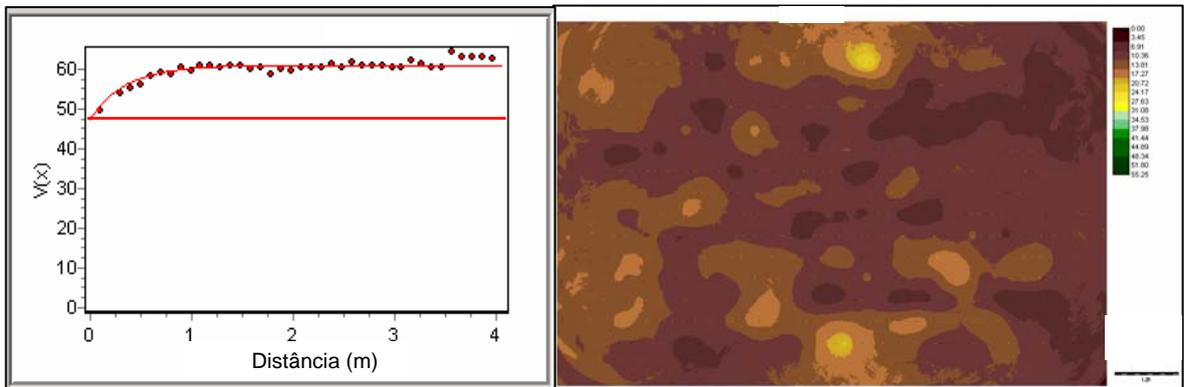
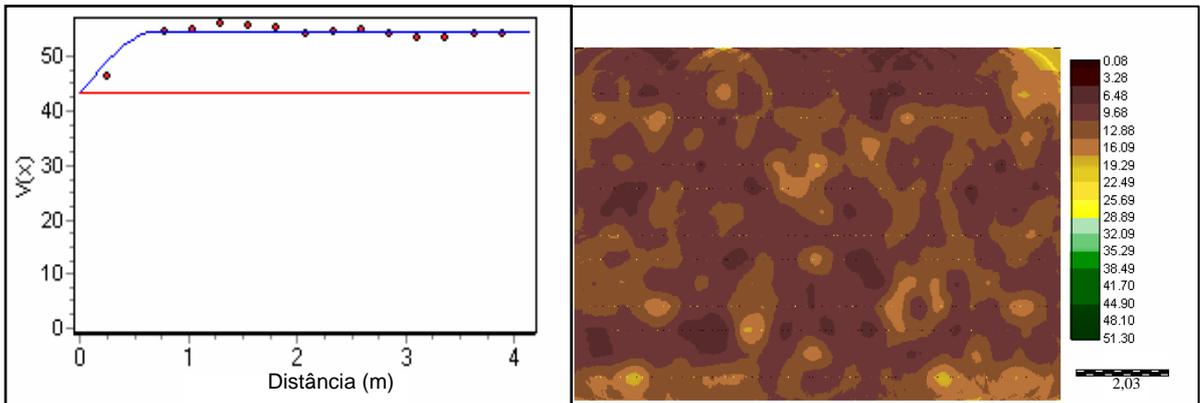


FIGURA 3.8 - Semivariograma e mapa interpolado da matéria seca de grãos (g/planta) de soja. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1997/98 (E I), 1998/99 (E II), e 1999/00 (E III).

E I



E II



E III

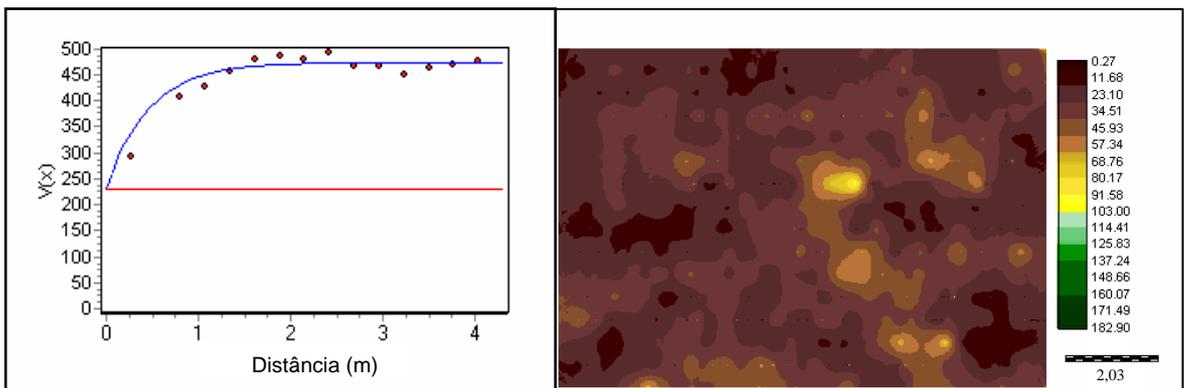


FIGURA 3.9 - Semivariograma e mapa interpolado da matéria seca total (g/planta) de soja. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1997/98 (E I), 1998/99 (E II), e 1999/00 (E III).

MAPAS DE ISOLINHAS NOS TRÊS ANOS

MS PALHA POR PLANTA

FIGURA 7 - Semivariograma e mapa interpolado da matéria seca da palha (g/planta) de soja. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1997/98 (E I), 1998/99 (E II), e 1999/00 (E III).

MAPAS DE ISOLINHAS NOS TRÊS ANOS

MS GRÃOS POR PLANTA

FIGURA 8 - Semivariograma e mapa interpolado da matéria seca de grãos (g/planta) de soja. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1997/98 (E I), 1998/99 (E II), e 1999/00 (E III).

MAPAS DE ISOLINHAS NOS TRÊS ANOS

MS TOTAL POR PLANTA

FIGURA 9 - Semivariograma e mapa interpolado da matéria seca total (g/planta) de soja. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1997/98 (E I), 1998/99 (E II), e 1999/00 (E III).

Os mapas de variabilidade indicaram, visualmente, que a matéria seca dos grãos teve maior participação na determinação espacial da matéria seca total do que a matéria seca da palha nos três experimentos (Figuras 3.7 a 3.9). A área disponível por planta, da mesma forma que as indicações feitas nas análises de regressão e correlação, não mostrou associação efetiva com a produção de grãos, ou seja, plantas com maior área disponível não coincidiram fielmente com áreas de maior matéria seca dos grãos nos três experimentos (Figuras 3.6 e 3.8). A área por planta, portanto, não foi determinante da produção de grãos por planta, sendo esta determinada em condições de lavoura por outros fatores de maior importância.

Hühn (2000) dividiu várias características mensuradas por planta de *Brassica napus* (canola) e suas relações com a área ocupada por cada planta em dois grupos, de acordo com a importância de cada componente para a formação do rendimento de grãos por área. Rendimento de grãos, matéria seca total, número de síliquas e número de grãos (todas por planta) foram consideradas as mais importantes para a formação do rendimento por área, pois são caracterizadas pela grande sensibilidade ao ambiente, o que implica que cada flutuação na área individual da planta vai ser respondida por uma mudança correspondente nos valores das características individuais nesta planta. Num segundo grupo contendo peso de 1000 grãos, índice de colheita, produção de grãos por planta e número de grãos por síliqua, as conclusões foram inversas as do primeiro grupo. Para as características do primeiro grupo, a distribuição irregular das plantas na área não necessariamente implica em uma desvantagem. Já, para as características do segundo grupo, os efeitos da distribuição irregular das plantas na área é substancial.

É importante salientar, também, a consistência dos resultados mostrados no presente trabalho, já que foram obtidos em número significativo de indivíduos, no que se refere a uma população de soja, que chegou a 3108 valores amostrados no E I.

No que se refere a variabilidade temporal (Figuras 3.6 a 3.9 - comparando anos dentro de cada característica) observou-se que cada ano teve um comportamento distinto em relação às características avaliadas. Isto indica que áreas com produção de grãos mais altas em um ano não são as mesmas do que as do ano seguinte, mesmo que ocorram condições semelhantes de cultivo, ou ainda rendimento de grãos total da área similar, como demonstrado ao longo dos três anos.

Este comportamento foi relatado por Jaynes & Colvin (1997) e Brunoehler (1999) que, trabalhando em nível de lavoura, indicaram que áreas com rendimento elevado em um ano podem não ser áreas de rendimento elevado em outros anos. Os autores realizaram desde 1989 trabalhos com amostragens em 244 pontos de uma área de 16 ha com rotação de soja e milho, mostrando que certas áreas dentro da lavoura têm rendimento (alto, médio ou baixo) passível de ser predito, mas estas áreas compreendem menos de 10% do total.

Segundo Eghball & Varvel (1997), a variabilidade no rendimento de grãos, devido a variação de ano para ano em fatores ambientais, pode ser mais alta que duas a três ordens de magnitude e a variabilidade, devido a variabilidade espacial, é raramente maior que uma ordem de magnitude. Em um ano menos produtivo, o nível de rendimento pode ser pouco influenciado pela variabilidade espacial de um nutriente em uma dada lavoura. Por exemplo, se o nível de rendimento é reduzido uma ou duas vezes pela variação de ano para ano, o efeito da disponibilidade de N no rendimento de grãos não vai ser tão grande como em um ano de rendimento elevado (mais favorável). Se, por exemplo, os nutrientes têm nível alto e o ano for seco, ocorre variabilidade pela capacidade que cada área tem em manter umidade. Se o ano for chuvoso, a água deixa de ser limitante e a variabilidade pode ser menor, pois a fertilidade é alta. Nesta condição, a variabilidade seria condicionada pelas diferenças pequenas de fertilidade ou capacidade de solubilizar estes nutrientes.

Sobre outro enfoque, pode-se considerar que mesmo as áreas tendo rendimento médio de grãos similar (como no caso o E I e E III) existe variabilidade alta na distribuição deste rendimento, mesmo em áreas consideradas pequenas (70 m²) em relação a lavouras comerciais.

Se considerada a implicação dos resultados para a pesquisa de plantas em comunidade, pode-se dizer que, mesmo em áreas pequenas, geralmente similares as utilizadas na experimentação agrícola (que são consideradas homogêneas), pode-se ter variabilidade considerável no comportamento das plantas, acarretando em erros, principalmente quando da amostragem de número pequeno de plantas em avaliações dentro das parcelas, podendo estas estarem associadas espacialmente a características que conferem rendimento baixo ou alto, não representando, portanto, o comportamento da parcela como um todo.

As condições diferenciadas ocorrentes em cada ano, principalmente em disponibilidade hídrica (Figura 3.1), podem ter influenciado a variabilidade temporal, contribuindo para a mudança no comportamento das áreas de maior e menor produção de grãos de ano para ano. Esta disponibilidade hídrica pode estar associada com outras características, como: variação na matéria orgânica, cobertura do solo com restos culturais, presença de camadas mais ou menos adensadas no solo, entre outras, que podem ter interagido para mostrarem os resultados obtidos.

Neste sentido, Jaynes & Colvin (1997) estudaram, durante seis anos, a variabilidade espacial e temporal da soja e milho em lavoura, verificando que é necessário o monitoramento de longo prazo para caracterizar totalmente a distribuição espacial e temporal. Durante os anos, os variogramas de rendimento variaram de ano para ano, sendo a variação correlacionada principalmente com a precipitação.

Os motivos que levaram a variabilidade temporal das características avaliadas podem ser somente especulados, já que não foi objetivo do presente trabalho identificá-

los. Pode ter havido aproveitamento diferenciado da água disponível nos anos (que foi variável); a população de plantas não foi a mesma nos três experimentos; a quantidade de palha variou de ano para ano; a emergência das plantas diferiu temporal e espacialmente nos três anos, entre outros.

De outra forma, a variabilidade espacial e temporal observada, mesmo trabalhando-se em nível de indivíduo, dentro de pequenas áreas mostra como é difícil, se não impossível, reduzir ou eliminar a variabilidade dos fatores de produção que interagem para a produção dos cultivos.

Atualmente, grande parte das representações gráficas (mapas) da variabilidade de diversos atributos na Agricultura de Precisão é realizada sem considerar os modelos de semivariância, o que pode acarretar em erros na definição das áreas de interesse e, portanto, mascarando os resultados sem um retorno adequado de sua interpretação e utilização.

Neste sentido, o presente trabalho teve preocupação em representar os dados obtidos em mapas, após intensiva análise dos modelos disponíveis nos aplicativos computacionais para atrelar as representações a uma base teórica geoestatística, que proporcionasse confiabilidade aos resultados.

As técnicas demonstradas neste trabalho, da mesma forma que Vieira (1999), permitem demonstrar que a geoestatística torna possível melhorar a precisão na análise de dados, mostrando aspectos que ficariam escondidos se não fossem utilizados os semivariogramas, caracterizando a dependência espacial, características que não são contempladas quando se utiliza parâmetros clássicos como média, desvio padrão, entre outros. Portanto a popularização da geoestatística poderia permitir sua utilização como rotina em análise de dados possibilitando maior precisão científica nas análises e recomendações.

4.6. CONCLUSÕES

- a) Existe variabilidade espacial e temporal de atributos de plantas de soja mesmo em áreas pequenas.
- b) O índice de colheita apresenta dependência espacial pequena, ou seja, é pouco influenciado pelas características da área.
- c) Mesmo havendo diferenças grandes entre plantas em determinadas características relacionadas ao rendimento, há possibilidade de estabelecer áreas com comportamento similar.
- d) A geoestatística é uma ferramenta complementar útil para o entendimento da forma com que características de plantas variam no espaço e no tempo.

CAPITULO IV

VARIABILIDADE ESPACIAL DOS COMPONENTES DE PRODUÇÃO DE PLANTAS DE SOJA EM COMUNIDADE

4.1. RESUMO

Os componentes de produção da soja são características importantes, pois conferem, em parte, a grande plasticidade fenotípica da cultura. O trabalho teve por objetivos quantificar e relacionar a variabilidade da produção de grãos por planta e componentes de produção primários por meio de análise geoestatística. O experimento foi realizado na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), Eldorado do Sul, RS, na estação de crescimento 1999/00. O experimento constou de uma área de 70 m² demarcada aleatoriamente em uma lavoura de soja cultivada em semeadura direta. A cultivar empregada foi FT-Abyara (determinada e semitardia). Na colheita identificou-se a posição de cada planta de soja presente na área por um sistema de coordenadas cartesianas, atribuindo-se coordenadas (X e Y) para cada planta. As plantas foram então identificadas e coletadas determinando-se a área ocupada pelas plantas, estatura, número de ramos, produção e componentes de produção. Os resultados evidenciaram que o número de legumes férteis por planta, principalmente o presente nos ramos, é o principal componente de produção determinante da produção por planta. O número de legumes férteis por planta apresenta correlação espacial com a área de maior produção por planta. Os componentes número de grãos por legume e peso do grão apresentam pequena dependência espacial, sendo menos importantes na determinação da variabilidade na produção por planta. As ramificações são importantes para a determinação espacial da produção de grãos por planta e do rendimento de grãos.

Termos para indexação: *Glycine max* (L.) Merrill, geoestatística, agricultura de precisão, produção de grãos.

SPATIAL VARIABILITY OF THE PRODUCTION COMPONENTS OF SOYBEAN PLANTS IN COMMUNITY

4.2. ABSTRACT

The production components of soybeans are an important characteristic because they respond, in part, for the great phenotypical plasticity of the crop. The objective of this work was to quantify and correlate the variability of grain production by a plant, and the primary components of production, by geostatistical analysis. The study was performed at the Estação Experimental Agronômica of the Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), in Eldorado do Sul, RS, in the growing season of 1999/00. The experiment consisted of an area of 70 m² demarcated at random in a no-till soybean crop field. The cultivar used was FT-Abyara (determined and mid-season). At harvest the position of each soybean plant present in the area was marked by a system of cartesian coordinates, attributing coordinates (X and Y) for each plant. The plants were collected and the area occupied by each plant was determined, as well as height, branch number, production and production components. The results showed that the fertile pod number by plant, mainly those in the branches, is the main production component, determining plant production. The fertile pod number by plant presents a spatial correlation with the area of highest production plants. The components number of grains per pod and grain weight showed small spatial dependence, being less important in the determination of the production variability by plant. The branches are important for the spatial determination of the grain production by plant and the grain yield.

Index terms: *Glycine max* (L.) Merrill, geostatistics, precision agriculture, grain production.

4.3. INTRODUÇÃO

O rendimento de grãos é função de características de cada planta (ex. eficiência fotossintética), da comunidade (ex. índice de área foliar, população de plantas, ângulo foliar), do ambiente, e da integração entre a duração dos processos de crescimento e as variações ambientais (Tekrony & Egli, 1991). A determinação do nível de rendimento de grãos de uma cultura é feita pelos componentes do rendimento de primeira e segunda ordem que são avaliados, na maioria dos trabalhos relatados na literatura, em amostras de plantas coletadas em parcelas experimentais ou vasos, a fim de representar o comportamento médio destas características na área (comunidade), auxiliando a explicar os resultados quando o objetivo é avaliar o rendimento.

No entanto, é esperado que exista variação nos componentes do rendimento entre indivíduos (componentes de produção por planta) dentro de uma população em função de vários fatores, que vão desde a implantação da cultura (que influencia diretamente o componente número de plantas por unidade de área), até a disponibilidade de assimilados (modificada por fatores como arranjo de plantas, nível de desfolhamento, entre outros), que afetam os demais componentes (número de legumes/m², número de grãos/legume e peso do grão). Uma parte desta variação também pode ser de ordem genética, devido a características intrínsecas de cada indivíduo que forma a população e que dependem do tipo de hábito reprodutivo da cultura (autógama ou alógama) e/ou da população que deu origem ao genótipo.

A variabilidade de produção de grãos nas plantas de soja em lavoura pode ser causada também por outro fator, que é a mistura de cultivares em um mesmo lote de sementes, fato este bastante comum em produtores que utilizam semente própria.

No caso da soja, o componente do rendimento número de plantas por área pode ser estabelecido, em níveis adequados, com a implantação correta da cultura. O número

de grãos por legume e peso do grão apresentam controle genético elevado (herdabilidade alta, principalmente no primeiro), embora exista amplitude de variação, de acordo com as condições disponibilizadas à cultura (Cooperative..., 1994). Já o número de legumes por planta é o componente com maior variabilidade, pois depende de fatores como produção e fixação de estruturas reprodutivas (Hansen & Shibles, 1978). Em geral, apresenta controle genético pequeno (herdabilidade) e é responsável por grande parte da plasticidade da cultura, ou seja, de sua capacidade compensatória quando da alteração de outros componentes como o número de plantas por área (Udoguchi & McCloud, 1987; Pires et al., 1998a).

Segundo Carpenter & Board (1997), a alteração no número de legumes por planta é responsável pelo ajuste no rendimento que ocorre com a modificação na população de plantas. Estes ajustes são resultantes de modificações na matéria seca de ramos e número de nós reprodutivos, havendo alta correlação entre matéria seca de ramos e rendimento de grãos ($r = 0,95$).

Esta grande plasticidade da soja, embora seja característica bastante desejada, dificulta a determinação de um modelo de planta (ideotipo) adequado para a cultura (que seria o indivíduo tido como padrão), indicativo de plantas com potencial produtivo elevado, para ser usado como testemunha nas comparações em estudos de variabilidade.

Outra questão importante quando se estuda plantas em comunidade é a relação entre a área disponível por planta, rendimento e seus componentes. Neste sentido, Hühn (2000), trabalhando com 17 conjuntos de dados de *Brassica napus* (canola), com número de plantas não constante, determinou individualmente, o rendimento de grãos, matéria seca total, peso de grãos por síliqua, índice de colheita, número de síliquas, número de grãos por síliqua e peso de 1000 grãos, e a relação destas características com a área ocupada por planta. Os resultados indicaram que a variabilidade da área individual por planta é alta, sendo que os coeficientes de correlação entre a área por

planta e as características determinadas foram, geralmente, positivos e altos para rendimento de grãos, número de grãos e de síliquas, intermediários para índice de colheita, matéria seca total e peso de grãos por síliqua, e baixos para peso de 1000 grãos e número de grãos por síliqua.

Além de seus componentes do rendimento apresentarem plasticidade, a soja é um modelo de planta que apresenta outras peculiaridades em relação, principalmente, as gramíneas. Uma das principais diferenças é a capacidade de ramificação da soja, também responsável pela plasticidade da cultura.

Um exemplo da importância destas estruturas é demonstrado em trabalho realizado por Settimi & Board (1988), onde os ramos contribuíram com 81% e 78% do rendimento da área nos anos de 1984 e 1985, respectivamente, quando a soja foi semeada em época normal e de 58% e 60%, nos mesmos anos, quando semeada em época tardia.

Também para Ramseur et al. (1984) e Board (1985), grande proporção do rendimento de grãos de cultivares de soja de tipo determinado é proveniente dos ramos.

Esta maior contribuição dos ramos em relação ao caule no rendimento e seus componentes está associada com a presença de pontos com potencial para aparecimento de estruturas reprodutivas (flores e legumes) representados pelos nós férteis. Portanto, alguns trabalhos têm indicado que o maior rendimento proveniente dos ramos está associado a maior produção de legumes nos ramos (Thomas, 1992).

Vários fatores podem afetar a produção de ramos e, por conseguinte, o rendimento proveniente destas estruturas, entre eles: o fotoperíodo, época de semeadura, arranjo de plantas e competição por água, luz e nutrientes (Settimi & Board, 1988; Board et al., 1990). No entanto, a forma com que os componentes do rendimento variam espacialmente, a magnitude de sua variação na área e sua correlação espacial com o rendimento de grãos têm sido pouco abordados em soja.

O trabalho teve por objetivos quantificar e relacionar a variabilidade da produção de grãos por planta e componentes de produção primários por meio de análise geoestatística

4.4. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), localizada no município de Eldorado do Sul, na região fisiográfica da Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul, na estação de crescimento 1999/00, em sistema de semeadura direta.

O clima da região pertence a variedade específica Cfa da classificação climática de Köppen, ou seja, subtropical úmido com verão quente (Bergamaschi & Guadagnin, 1990). O solo da área experimental pertence a unidade de mapeamento São Jerônimo, classificado como Argissolo Vermelho Distrófico típico (Embrapa, 1999).

O experimento constou de uma área de 70 m² (7 x 10 m) demarcada aleatoriamente em uma lavoura de soja, sem um delineamento experimental específico. A adubação foi realizada de acordo com a análise de solo, a lanço, antes da semeadura na dose de 340 kg/ha da fórmula 5-20-20.

A área experimental apresentava sete anos de cultivo em semeadura direta, havendo 4400 kg/ha de palha de aveia preta, no momento da semeadura. A cultivar empregada foi FT-Abyara de ciclo semitardio e hábito de crescimento determinado.

A semeadura foi realizada dentro da época recomendada preferencial para cultivo da soja em Eldorado do Sul, RS (Reunião..., 1999b). As sementes foram tratadas com fungicida específico e inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*, em meio turfoso. A semeadura foi realizada com semeadora de parcelas, de tração mecânica, e com quantidade de sementes necessária para estabelecer uma população de 40

plantas/m² no espaçamento de 40 cm. Não foi realizado desbaste após a emergência das plantas, respeitando-se, portanto, a variabilidade existente na população.

A área de instalação dos experimentos fazia parte de uma área experimental com cerca de quatro hectares que foi manejada de forma convencional (como uma lavoura comercial), com controle de plantas daninhas e pragas com produtos indicados para a cultura, sem a realização de suplementação hídrica ou qualquer outra prática para corrigir os demais fatores que pudessem vir a ser causadores de variabilidade. Ou seja, embora a área possa ser considerada pequena para padrões de lavoura, não se constituía em uma parcela isolada, mas, sim, uma porção da lavoura e portanto representante do ambiente da mesma.

Antes da emergência das plantas realizou-se a demarcação da área de 70 m² com fitas de polietileno, formando um reticulado (gride) com células de 1 m² para facilitar as determinações (Anexo 4). No momento da colheita identificou-se a posição de cada planta de soja presente na área por um sistema de coordenadas cartesianas, atribuindo-se coordenadas (X e Y) para cada planta dentro de cada célula de 1 m² do gride. As plantas foram então identificadas e coletadas.

Após a colheita realizou-se determinações (todas por planta) que constaram da estatura, número de ramos, produção de grãos, componentes da produção, matéria seca da palha, índice de colheita (IC). Determinou-se, também, a produção de grãos, componentes de produção e IC separando-se a planta em caule e ramos. Ainda foi possível, com a obtenção das coordenadas de cada planta, o cálculo da área ocupada por cada planta. Para tanto considerou-se que cada planta ocupava uma área de formato retangular, que tinha como limites a metade da entre linha e a metade da distância entre as plantas vizinhas na linha de cultivo. Para maior precisão em termos de terminologia e por serem os dados baseados em plantas individuais, utilizou-se como representante do

rendimento de grãos, a “produção de matéria seca de grãos” por planta e em vez de “componentes do rendimento” o termo “componentes da produção”.

A análise estatística foi realizada inicialmente por meio de análise descritiva geral, levando-se em conta os valores obtidos em cada planta sem considerar sua posição. Estas análise compreenderam histogramas, “box-plot” (variação gráfica do resumo de cinco números), ramo-e-folha, identificação de dados atípicos, entre outras. Efetuou-se também correlações e regressões entre as características avaliadas e fez-se a construção de gráficos relacionando-as duas a duas.

Os dados foram submetidos a análise geoestatística para verificar a variabilidade das características na área estudada. Para isso, a suposição inicial é que os valores avaliados não são independentes e, pelo contrário, estão mais associados na medida em que estão mais próximos uns dos outros. Esta associação foi estimada por meio de semivariogramas (Capítulo III e Apêndice 5).

Realizou-se a predição dos pontos entre os valores amostrados pelo método geoestatístico da “Krigagem Ordinária” (Capítulo III e Apêndice 6), o qual utiliza os vizinhos dos pontos a serem preditos para obter a estimativa, atribuindo-se pesos a estes vizinhos de acordo com sua distância do ponto a ser amostrado (Ribeiro Junior, 1995).

Para se ter uma perspectiva visual do comportamento das variáveis na área estudada, utilizou-se uma representação gráfica na forma de mapas onde as coordenadas dos pontos e os valores da variável são representados em um sistema (Ribeiro Junior, 1995). Os mapas criados foram mapas de isolinhas obtidos a partir de krigagens sucessivas.

Utilizou-se os aplicativos computacionais SAS, SPSS versão 8.0, Idrisi32 versão I32.02, S-plus versão 4.5 e R versão 1.3.1 para realização das análises estatísticas e geoestatísticas.

4.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A soja apresenta como componentes do rendimento de primeira ordem o número de plantas por área, número de legumes por planta, número de grãos por legume e peso do grão (expresso em peso de 100 grãos). Outros componentes do rendimento podem ser enumerados como os de ordem morfológica, fisiológica, anatômica, entre outros, mas que se refletem, de uma forma ou outra, sobre os componentes de primeira ordem (Pires, 1998). Destes componentes, pode-se modificar diretamente apenas o número de plantas por área, sendo os outros componentes influenciados de forma indireta por práticas de manejo, pelo ambiente e por características de solo, ou, ainda, modificados diretamente por técnicas de melhoramento.

Com o objetivo de avaliar o comportamento dos componentes do rendimento (expressos em componentes de produção por planta) e de outras características da soja na área estudada, realizou-se uma análise descritiva geral dos dados, permitindo identificar valores como mínimo, máximo, média, coeficiente de variação (CV) e desvio padrão (Tabela 4.1).

TABELA 4.1 – Análise descritiva dos dados das variáveis estudadas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1999/00

n	Variável	Unidade	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão	C.V. (%)
1331	Área	cm ² /planta	35,0	7350	542,9	587	108
	Estatuta	cm	13,0	83	49,6	8,6	17
	Ramos	n ^o /planta	0	22	3,6	3,0	85
	Legumes férteis	n ^o /planta	0	290	40,6	34,6	85
	Grãos	n ^o /legume	0	3	2,2	0,4	19
	Peso 100 grãos	g/planta (13%)	0	25,8	18,1	3,1	29
	MS de grãos	g/planta (13%)	0	106,7	14,3	12,5	93
	IC		0	0,8	0,5	0,1	17

n – número de plantas na população.

IC – índice de colheita por planta.

MS – matéria seca.

A área por planta variou de 35 a 7350 cm²/planta com média de 542,9 cm²/planta. Se comparada com a área que cada planta ocuparia em uma população indicada pela pesquisa (40 plantas/m²) que seria de 250 cm²/planta (Reunião..., 2001), a área média pode ser considerada alta (mais que o dobro da indicada).

A estatura média das plantas foi de 49,6 cm tendo mínimo de 13 cm e máximo de 83 cm. No entanto, a média pode ser considerada baixa se comparada ao valor de estatura que caracteriza a cultivar que é de 84 cm para semeadura em novembro (Reunião..., 1997).

O número de ramos/planta variou de 0 a 22 com média de 3,6. Se comparados aos valores encontrados por Ventimiglia (1996) que obteve 3,2 a 4 ramos/planta (dependendo da disponibilidade de fósforo no solo) e por Pires (1998) que obteve em torno de 3,8 ramos/planta, os valores obtidos no presente experimento podem ser considerados normais, embora tenham sido obtidos com cultivar diferente das utilizadas pelos autores citados. O que pode ter variado neste experimento, devido a grande área disponível por planta, é o comprimento de ramos, que pode estar associado a maior número de nós e por conseguinte maior número de legumes férteis. No entanto, está variável não foi avaliada.

Dentre os componentes do rendimento, o número de grãos por legume apresentou média de 2,2 grãos/legume, o que está de acordo com a condição normal para a maioria das cultivares de soja. O peso de 100 grãos médio foi de 18,1 g, atingindo valores maiores que os indicados como característico da cultivar que é de 14,2 g (Reunião..., 1997) e os obtidos por Menezes et al. (1997) que foi de 15,5 g. Este maior peso do grão também mostra a possibilidade, por menor que seja, desta característica em contribuir com a capacidade plástica da cultura. O número de legumes, confirmando a informação da literatura, foi uma das características com maior variação. O número de legumes férteis/planta variou de 0 a 290 legumes, com média de 40,6. O

valor médio obtido foi inferior ao determinado por Menezes et al. (1997) foi de 59 legumes/planta avaliando quatro repetições de 10 plantas. No entanto, a amplitude dos dados (mínimo, máximo e o desvio padrão), deixa claro a importância deste componente para a estabilidade da produção.

A matéria seca de grãos (usada como representativa do rendimento de grãos da área) variou de 0 até 106,7 g/planta, tendo média de 14,3 (Tabela 4.1). Esta produção por planta possibilitou a obtenção de um rendimento de grãos de 3029 kg/ha na área estudada.

O IC teve média de 0,5; valor esse similar aos obtidos por Colasante & Costa (1981). Também Ball et al. (2000), obtiveram valores de IC que variaram de 0,38 a 0,65 na média de dois anos e de combinações de tratamentos, observando que, embora a existência de variação no IC, não foi observada relação entre IC e rendimento.

Os valores de CV foram utilizados para representar a variabilidade de cada característica estudada na área. Estes valores foram baixos para estatura (17%), número de grãos por legume (19%) e peso do grão (29%) em relação a outras características, o que corrobora com dados da pesquisa indicando o forte controle genético destas características nesta mesma ordem. Já o número de legumes/planta teve valores altos de CV (85%) confirmando sua alta variabilidade.

Os coeficientes de correlação entre as características estudadas indicaram baixa associação entre área por planta e as outras características (Tabela 4.2). Em relação aos componentes do rendimento o coeficiente de correlação mais alto foi obtido com o número de legumes férteis por planta ($r = 0,41$). Dentre as outras características, foram obtidos coeficientes de correlação altos entre ramos e legumes férteis ($r = 0,81$), ramos e matéria seca de grãos por planta ($r = 0,65$) e entre legumes férteis por planta e matéria seca de grãos por planta ($r = 0,73$).

TABELA 4.2 – Coeficientes de correlação entre as características determinadas por planta e área individual. EEA, UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1999/2000

Característica	Área por planta	Estatura	Ramos/Planta	Legumes férteis/Planta	Grãos/legume	Peso 100 grãos (g)	MS grãos/Planta
Área por planta (cm ²)	1						
Estatura (cm)	-0,15*	1					
Nº ramos/planta	0,37*	0,12*	1				
Legumes férteis/planta	0,41*	0,21*	0,81*	1			
Nº grãos/legume	0,05 ns	0,19*	0,21*	0,15*	1		
Peso 100 grãos (g)	-0,01 ns	0,17*	0,27*	0,22*	0,30*	1	
MS grãos/planta (g)	0,39*	0,17*	0,65*	0,73*	0,22*	0,23*	1

ns = não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

* Significativo a 5% de probabilidade.

MS = matéria seca.

Para características, que respondem mais sensivelmente a flutuações ambientais (herdabilidade baixa), são esperadas correlações altas entre as características mensuradas por planta e área individual. A correlação para características menos sensíveis ao ambiente (herdabilidade alta), contudo, geralmente apresenta valores baixos. Como tem sido demonstrado em canola, as características mais sensíveis ao ambiente são: rendimento de grãos, número de grãos e número de siliqua, com herdabilidade baixa. Herdabilidade alta é obtida com peso de 1000 grãos e número de grãos por siliqua (Hühn, 2000).

Em trabalho realizado por Ikeda (1992), onde avaliou o efeito do arranjo de plantas sobre o rendimento de grãos em soja, o autor evidenciou correlação alta entre rendimento e número total de grãos. Como o número total de grãos é correlacionado com o número de legumes e com o número de grãos por legume, as alterações no rendimento em arranjos de plantas diferenciados são resultado de mudanças nestes dois componentes do rendimento.

No que se refere a componentes de produção, houve associação linear entre matéria seca de grãos por planta e número de legumes férteis por planta. Para peso do grão (expresso em peso de 100 grãos) e número de grãos por legume fértil, não houve

associação com a matéria seca de grãos (Figura 4.1). Isto indica que o número de legumes férteis foi o componente do rendimento que mais contribuiu para a determinação do rendimento de grãos.

Sendo os legumes férteis os principais determinantes da matéria seca dos grãos, se fazia necessário determinar qual porção da planta (caule ou ramos) contribuiu com a maior parte da matéria seca dos grãos. Neste sentido, verificou-se que houve grande associação entre matéria seca de grãos com número de legumes férteis nos ramos, sendo o caule pouco relacionado com a matéria seca de grãos (Figura 4.2). Este comportamento é reforçado pela associação entre a matéria seca dos grãos e o número e matéria seca de ramos por planta (Figura 4.3).

GRÁFICOS MS GRÃOS x ÁREA COMPONENTES

FIGURA 1- Matéria seca (MS) de grãos por planta de soja (g) em função da área disponível por planta (a) e dos componentes de produção de primeira ordem (b, c e d). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1999/00.

GRÁFICO MS GRÃOS X LEG FÉRTEIS CAULE RAMOS PLANTA

FIGURA 2 - Matéria seca (MS) de grãos por planta de soja (g) em função do número de legumes férteis no caule (a), ramos (b) e total (c). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1999/00.

GRÁFICOS MS GRÃOS X N RAMOS MS RAMOS

FIGURA 3 - Matéria seca (MS) de grãos por planta de soja (g) em função do número (a) e matéria seca da palha (b) dos ramos (g). EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1999/00.

Os resultados da análise de regressão reforçam os dados da análise de correlação, bem como a importância do número de legumes férteis como o componente de produção com maior participação na definição da produção por planta e do número de ramos por planta, primeiramente na definição do número de legumes férteis e por conseguinte na produção de grãos por planta (Tabela 4.2).

O número de legumes tem sido relatado como o componente do rendimento mais responsivo a mudanças no manejo da soja, principalmente em relação ao arranjo de plantas. Neste sentido, Pires et al. (1998) demonstraram que o melhor arranjo de plantas proporcionado pela diminuição do espaçamento entre linhas para 20 cm, possibilitou incrementos no rendimento, sendo o número de legumes/m² o principal componente responsável por este aumento. Da mesma forma, Udoguchi & McCloud (1987), trabalhando com a diminuição do espaçamento entre linhas de 30 para 15 cm, verificaram que o número de legumes por área aumenta, enquanto que o número de grãos por legume e o peso de grãos não se alteram. A maior demanda de fotoassimilados, representada pelo acréscimo no número de legumes por área, da população de plantas com espaçamento entre linhas de 15 cm, aliada ao melhor aproveitamento da radiação incidente, fez com que o rendimento de grãos fosse superior àquele obtido em plantas com espaçamento entre linhas de 30 cm (Udoguchi & McCloud, 1987).

Board & Tan (1995), atribuem grande importância para o número de legumes, evidenciando que este componente pode ser restringido pela fonte de assimilados de R1 (início do florescimento) até 10 a 12 dias após R5 (início do enchimento de grãos), sendo que estresses que afetam a capacidade assimilatória, durante este período devem ser evitados.

Poucos estudos têm buscado caracterizar o comportamento espacial de características de plantas individuais ou em comunidade. Algumas questões pouco

abordadas referem-se a existência ou não de dependência espacial; qual a magnitude da variabilidade?; e qual característica a estabelece?; a relação entre dados obtidos por estatística clássica e por geoestatística, entre outras. Sendo assim, buscou-se avaliar a dependência espacial das características avaliadas e realizar sua representação espacial (Tabela 4.3).

A suposição inicial para este tipo de estudo é que o comportamento dos fenômenos estudados seja tal, que plantas separadas por distâncias menores apresentem uma associação maior do que aquelas separadas por distâncias maiores. Admite-se ainda que, em certos casos, não há mais associação a partir de certa distância (Ribeiro Junior, 1995).

TABELA 4.3 – Características espaciais das propriedades determinadas. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1999/00

Característica	Unidade	Modelo	Alcance (m)	Patamar	Efeito pepita
Área	cm ² /planta	Esférico	1,47	221347,00	127267,50
Estatuta	cm	Exponencial	0,59	25,22	51,94
Ramos	n ^o /planta	Exponencial	0,52	3,89	5,54
Legumes férteis	n ^o /caule	Esférico	0,71	16,07	76,61
Legumes férteis	n ^o /ramos	Esférico	1,50	442,35	535,20
Legumes férteis	n ^o /planta	Esférico	1,53	471,55	761,51
Grãos	n ^o /legume	*	*	*	*
Peso 100 grãos	g (13%)	*	*	*	*
MS palha	g/caule	Esférico	1,91	1,50	8,59
MS palha	g/ramos	Esférico	1,57	22,39	29,39
MS palha	g/planta	Esférico	1,55	31,92	52,91
MS grãos	g/caule (13%)	Exponencial	0,57	1,49	8,51
MS grãos	g/ramos (13%)	Exponencial	0,47	77,00	54,58
MS grãos	g/planta (13%)	Exponencial	0,45	95,02	67,18
MS total	g/caule (13%)	Exponencial	0,59	6,27	30,94
MS total	g/ramos (13%)	Exponencial	0,47	197,82	146,22
MS total	g/planta	Exponencial	0,46	242,50	231,11
IC		*	*	*	*

MS - matéria seca.

IC – índice de colheita por planta.

* Não foi possível ajustar modelos.

Todos os modelos ajustados as variáveis foram do tipo exponencial ou esférico (Tabela 4.3). A amplitude dos modelos variou entre 0,3 e 2,0 m. Em virtude de alguns desvios em relação às suposições associadas às técnicas de krigagem (como valores de máximo e mínimo próximos) os modelos ajustados captam um padrão de correlação espacial com variabilidade alta, independente da distância, fazendo com que as estimativas sejam muito próximas da média global de cada variável.

Nota-se, na análise dos semivariogramas ajustados, que características mais associadas apresentaram também, semivariogramas mais similares (Apêndices 8 a 10).

A representação da variabilidade dos atributos e de sua dependência espacial é melhor visualizada em mapas de variabilidade, onde pode-se observar similaridades ou diferenças entre as características nas áreas marcadas com círculos (Figuras 4.4 a 4.6), sendo os semivariogramas das características apresentados nos apêndices (8 a 11). Para fins de interpretação e medição da dissimilaridade, valores menores de semivariância indicam maior associação (Ribeiro Junior, 1995).

MAPAS DE VARIABILIDADE

ÁREA – ESTATURA – NÚMERO RAMOS – MS GRAOS PLANTA - **FIGURA 4**

Área (a), estatura (b) número de ramos (c) e matéria seca de grãos por planta de soja (d) em comunidade. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1999/00.

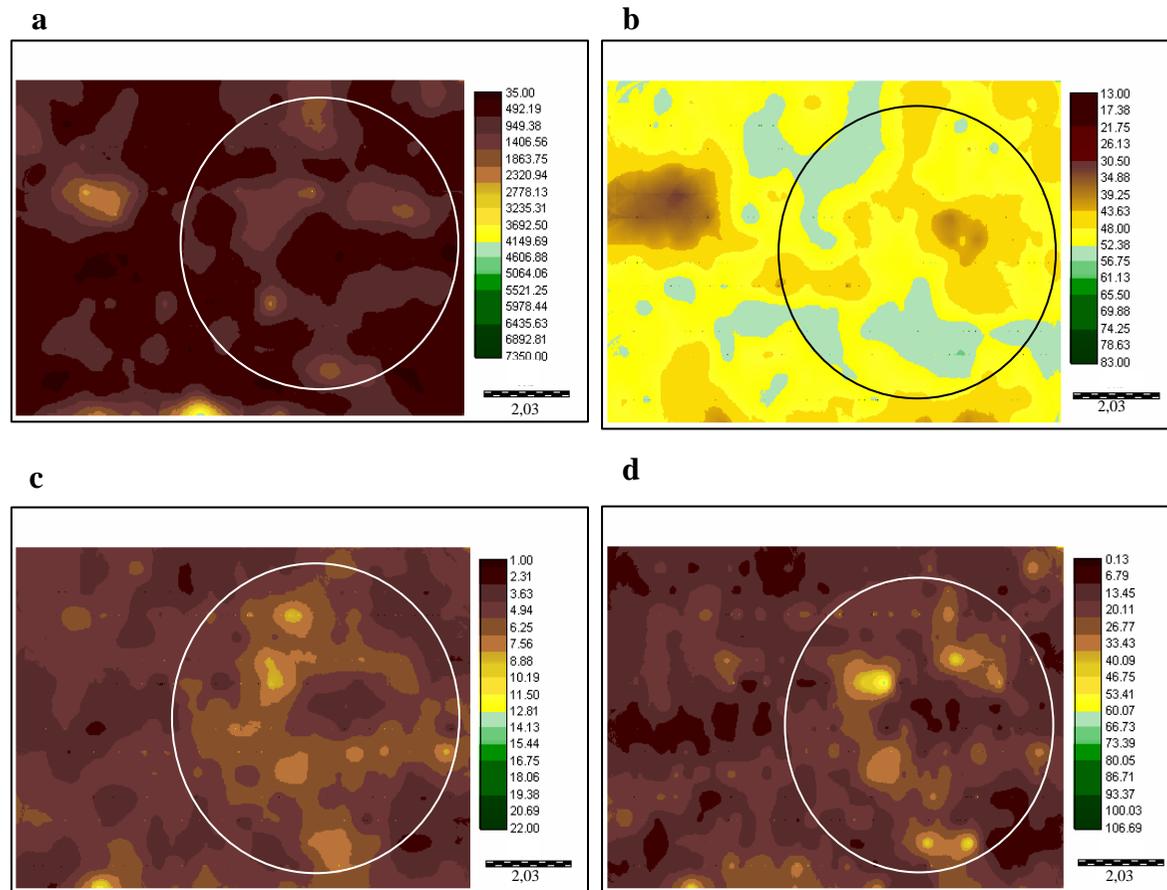


FIGURA 4.4 - Área (a), estatura (b) número de ramos (c) e matéria seca (em gramas) de grãos por planta de soja (d) em comunidade. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1999/00.

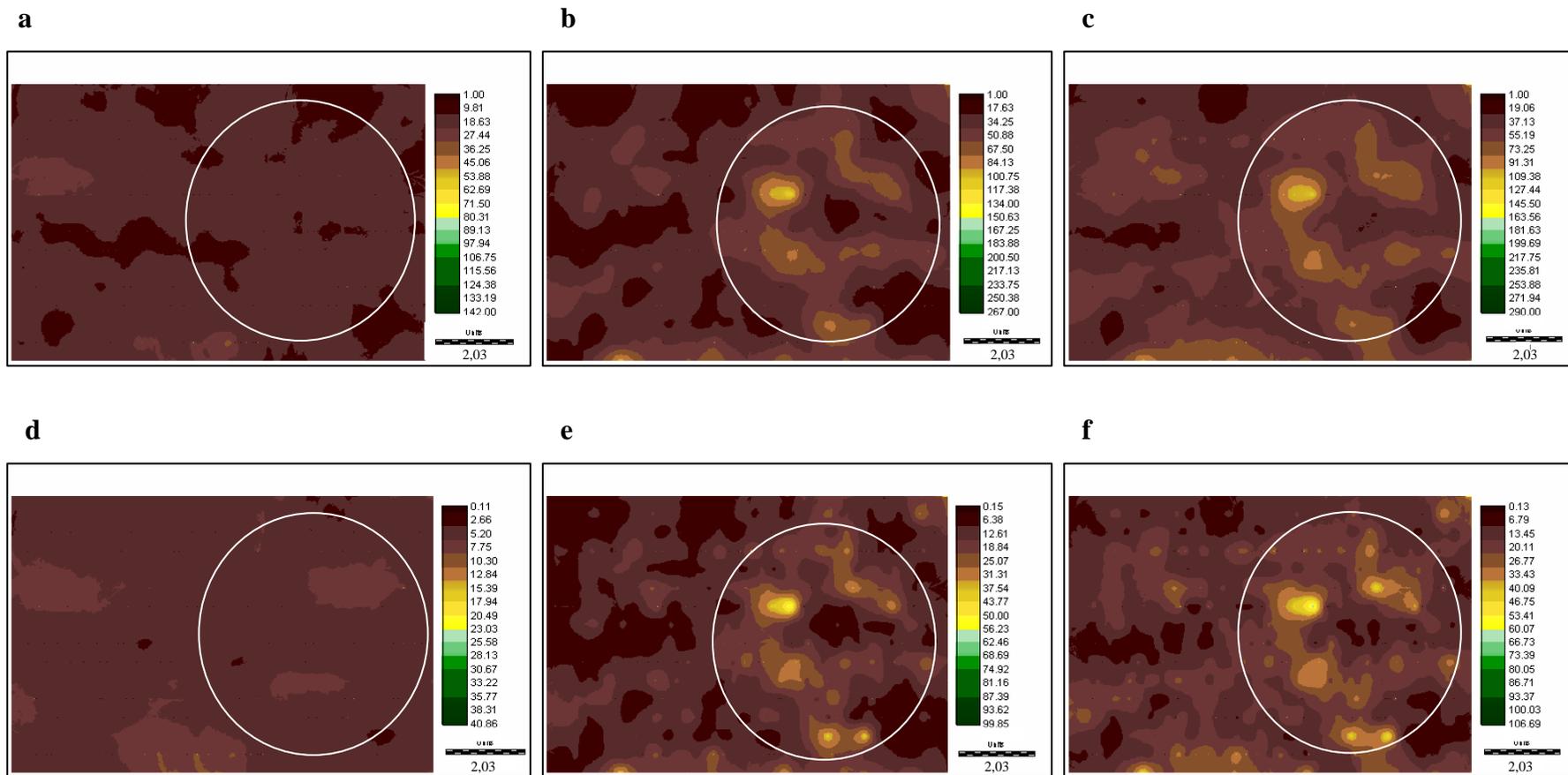


FIGURA 4.5 - Legumes férteis no caule (a), ramos (b) e planta (c) e matéria seca (em gramas) de grãos no caule (d), ramos (e) e planta (f) da soja em comunidade. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1999/00.

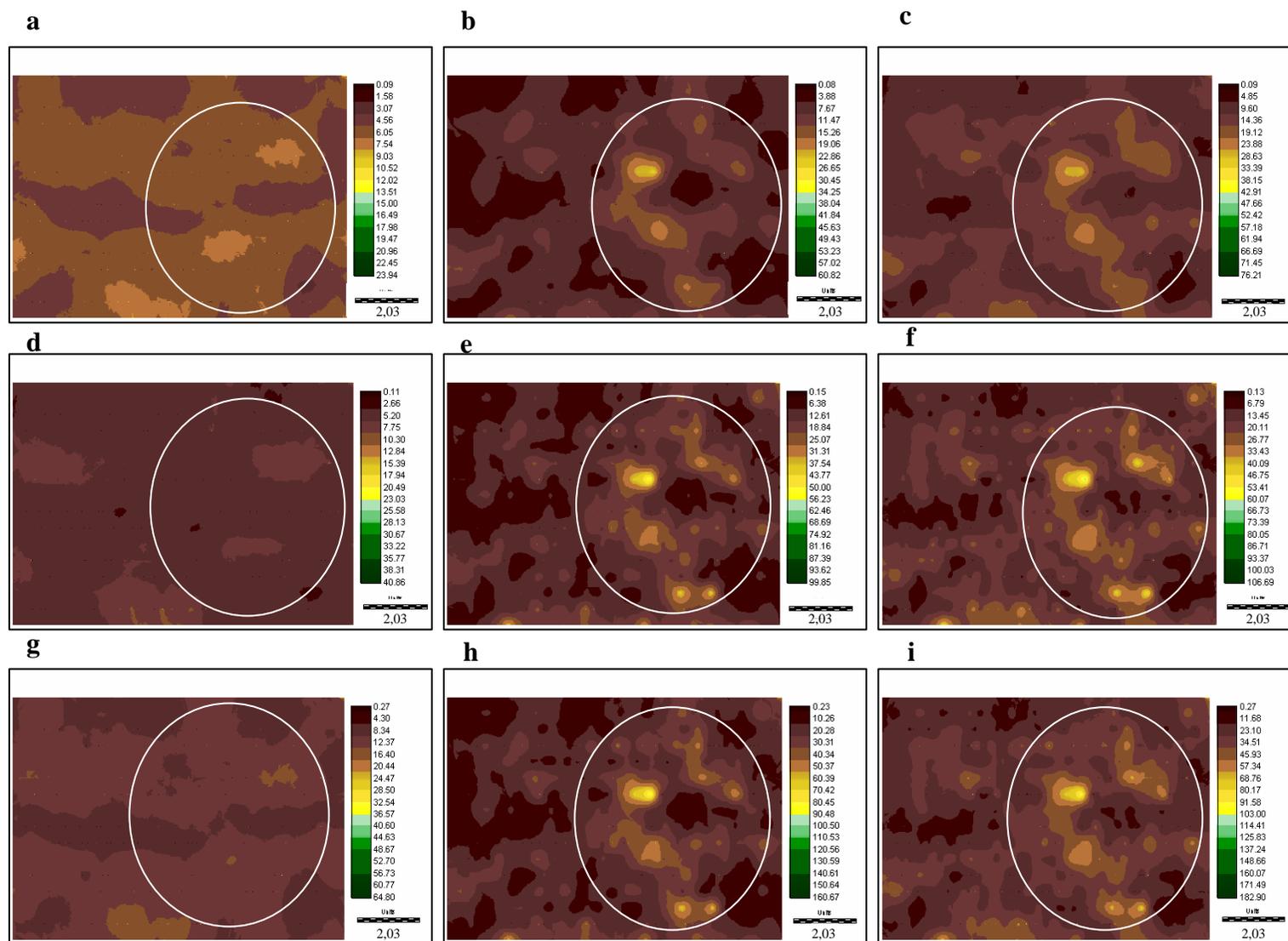


FIGURA 4.6 - Matéria seca da palha no caule (a), ramos (b) e planta (c); matéria seca de grãos no caule (d), ramos (e) e planta (f) e matéria seca total no caule (g), ramos (h) e planta (i) da soja em comunidade. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1999/00.

MAPAS DE VARIABILIDADE

LEGUMES FÉRTEIS CAULE, RAMOS E PLANTA – MS GRÃOS CAULE RAMOS E PLANTA - FIGURA 5

Legumes férteis no caule (a), ramos (b) e planta (c) e matéria seca de grãos no caule (d), ramos (e) e planta (f) da soja em comunidade. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1999/00.

MAPAS DE VARIABILIDADE

MS PALHA (Caule, ramos e planta) MS GRÃOS (caule, ramos e planta) e MS TOTAL (caule, ramos e planta) - **FIGURA 6**

Matéria seca da palha no caule (a), ramos (b) e planta (c); matéria seca de grãos no caule (d), ramos (e) e planta (f) e matéria seca total no caule (g), ramos (h) e planta (i) da soja em comunidade. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1999/00.

A estatura mostrou baixa associação com as demais características determinadas sendo pouco relacionada na caracterização das áreas de maior ou menor produção por planta (Figura 4.4 e Apêndice 8).

A representação dos componentes do rendimento por mapas de variabilidade demonstra, especialmente, que o número de legumes por planta determinou a produção de grãos das plantas com maior importância que o número de grãos por legume e o peso de 100 grãos. Isto fica evidente pelas áreas similares entre número de legumes por planta e matéria seca de grãos (Figura 4.5). Os demais componentes primários do rendimento não possibilitaram a construção de mapas de variabilidade e, portanto, a comparação das áreas entre mapas, reforçando sua baixa importância na determinação espacial da produção por planta e do rendimento de grãos. Estes componentes mostraram comportamento inverso ao da suposição das variáveis regionalizadas, onde, em algumas situações, a similaridade aumentava a medida que aumentava a distância entre pontos. Neste caso, é possível somente a construção de mapas por “interpolação simples” como o demonstrado para número de grãos por legume fértil nos ramos (Apêndice 11).

Os mapas de matéria seca de grãos indicaram que a matéria seca dos ramos representou melhor (especialmente) a matéria seca da planta do que a matéria seca do caule. Isto fica evidente pela similaridade entre as áreas marcadas na figura 4.6.

Estes resultados correspondem aos obtidos nas análises de regressão e correlação, no entanto representam como esta associação se dá de forma espacial. Isto indica que algum fator está determinando que os componentes do rendimento tenham dependência espacial e que, por exemplo, o número de legumes por planta esteja modulando a produção de grãos por planta e, por conseguinte, determinando as áreas com rendimento maior ou menor dentro da lavoura.

Necessita-se, portanto, identificar qual ou quais os fatores são responsáveis por tal comportamento. No entanto, não foi objetivo do presente trabalho identificar tais fatores. Alguns destes fatores podem ser elencados, entre eles destacam-se: disponibilidade hídrica, população de plantas, disponibilidade de nutrientes, presença de plantas daninhas, pragas ou doenças, entre outros (Jaynes & Colvin, 1997; Brunoehler 1999; Vollmann et al., 2000).

A comparação espacial entre componentes e destes com a produção de grãos no presente experimento foi feita, basicamente, por comparação visual das áreas de nível maior ou menor destas características. No entanto, em estudos futuros, pode-se realizar comparações de percentagem de área em cada nível e da similaridade entre mapas, padronizando ou atribuindo níveis aos intervalos dos dados e/ou comparando-se os “pixels” de um mapa com outro, obtendo-se a percentagem de similaridade ou dissimilaridade entre os mapas.

4.6. CONCLUSÕES

- a) O número de legumes férteis por planta, principalmente nos ramos, é o principal componente de produção determinante da produção por planta.
- b) O número de legumes férteis por planta apresenta correlação espacial com a área de produção por planta.
- c) Os componentes número de grãos por legume e peso do grão apresentam pequena dependência espacial, sendo menos importantes na determinação da variabilidade na produção por planta.
- d) As ramificações em soja são importantes para a determinação espacial da produção de grãos por planta e do rendimento de grãos.

CONCLUSÕES GERAIS

Os experimentos realizados durante este estudo possibilitaram avaliar aspectos relacionados com a variabilidade em cultivares e comunidades vegetais e suas relações com o potencial de rendimento e a produção de grãos da soja. Neste sentido, foi possível demonstrar que além de técnicas estatísticas convencionais (clássicas), a geoestatística trouxe para a experimentação agrícola uma nova opção para análise e interpretação de dados. Isto foi confirmado pela possibilidade da obtenção de semivariogramas representativos do comportamento das variáveis na área, bem como, a criação, por krigagem, de mapas de variabilidade das características de interesse (que antes eram avaliadas por técnicas estatísticas convencionais), com a possibilidade de visualização da correlação espacial entre características e identificação de áreas problema (com valor menor na característica avaliada), mesmo em parcelas consideradas de pequenas dimensões em relação a uma lavoura comercial.

Os dados obtidos, em termos de produção de grãos e componentes da produção, confirmam os dados presentes na literatura, no entanto, com a representação de uma forma diferenciada.

A importância dos ramos da soja na modulação da produção por planta e, por conseguinte, no rendimento de grãos, ficou evidente, bem como, o papel dos legumes na determinação do rendimento. Também foi possível quantificar a variabilidade do potencial de rendimento da soja durante a ontogenia, em cultivares distintas, identificando-se patamares e padrões de perda deste potencial diferenciados entre as

cultivares, o que representa as estratégias diferentes de cada uma para construir o rendimento de grãos.

Estes resultados podem ser utilizados em estudos básicos e aplicados, que vão desde modelos matemáticos para estimativa de rendimento, até comparações entre lavouras durante a ontogenia, proporcionando a possibilidade de intervenção, por meio de práticas de manejo capazes de minimizar perdas do potencial de rendimento, usando os recursos disponíveis de forma mais eficiente possível.

A etapa necessária para a sequência desta linha de pesquisa seria fazer uma relação dos estudos de variabilidade de plantas com as estimativas do potencial de rendimento durante o ciclo. Isto poderia ser realizado por meio da avaliação do potencial de rendimento de lavouras, durante a ontogenia, identificando-se áreas dentro da lavoura com maior e menor potencial, destinando atenção necessária para cada área de acordo com seu potencial produtivo.

Os estudos, realizados com a quantificação da variabilidade dos componentes de produção, e dos componentes do potencial de rendimento estimado durante a ontogenia, permitem o melhor entendimento da magnitude e dos fatores causais da variabilidade no potencial de rendimento durante a ontogenia e do rendimento de grãos ao final do ciclo. Podem ser utilizados, também, para o aprofundamento dos estudos sobre a variabilidade do potencial de rendimento e de como este é determinado em cultivares de soja utilizadas atualmente no estado. Estes estudos podem gerar subsídios para possíveis incrementos no rendimento da soja, pelo direcionamento de cruzamentos que proporcionem a obtenção de cultivares com maior estabilidade no rendimento e/ou maiores chances de obtenção de rendimentos elevados. Tais materiais poderiam satisfazer as necessidades tanto de produtores que utilizam alta tecnologia, visando rendimentos elevados, como produtores com menor capacidade de investimento, que seriam beneficiados com a estabilidade dos rendimentos.

Foi demonstrado que existe variabilidade no potencial de rendimento e no padrão de perda deste potencial, das cultivares de soja, durante a ontogenia. Também que, para uma determinada cultivar, mesmo tendo-se um padrão de perda de potencial, a produção de grãos por planta na maturação mostra-se diferenciada, devido a outros fatores presentes na área, que conferem a esta e outras características produtivas da soja, padrões espaciais da variabilidade da comunidade de plantas, mesmo em áreas pequenas de lavoura.

A possibilidade presente na soja, de aumentar a variabilidade de algumas características, pode ser positiva quando outros fatores como a disponibilidade hídrica e fertilidade do solo estão em níveis adequados.

Em síntese, pode-se afirmar que existe variabilidade em muitas características de plantas entre e dentro de cultivares, bem como, em plantas isoladas e em comunidade. No entanto, a estabilidade do rendimento de grãos da soja, é garantida pela baixa variabilidade das plantas em determinados anos e pela alta variabilidade em outros, ou seja, o mais importante no caso é a “possibilidade da variabilidade”.

As respostas obtidas neste trabalho indicam que estudos de comunidades de plantas cultivadas, utilizando ferramentas como a geoestatística são válidas e úteis, e como a determinação do potencial de rendimento durante a ontogenia devem ser aplicadas cada vez mais em estudos agrônomicos e no manejo de lavouras, para que o conhecimento do comportamento destes componentes auxiliem na interpretação de resultados e sirvam de subsídios para maior precisão na agricultura.

Como foi verificado, trabalhos nesta área do conhecimento envolvem contribuições do melhoramento, experimentação agrícola, estatística, informática, fisiologia e manejo das culturas, entre outras, que tornam a pesquisa neste campo ao mesmo tempo que desafiadora, compensadora, se esta multidisciplinaridade for alcançada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, M.W. Basis of yield components compensation in crop plant with special reference to the field bean, *Phaseolus vulgaris*. **Crop Science**, Madison, v.7, n.5, p.505-510, 1967.

BALARDIN, R.S. **Controle de oídio e doenças de final de ciclo na cultura da soja**. Santa Maria: ed. autor, 2001. 57p.

BALL, S.T.; MULLA, D.J.; KONZAK, C.F. Spatial heterogeneity affects variety trial interpretation. **Crop Science**, Madison, v.33, n.5, p.931-935, 1993.

BALL, R.A.; PURCELL, L.C.; VORIES, E.D. Short-season soybean yield compensation in response to population and water regime. **Crop Science**, Madison, v.40, n.4, p.1070-1078, 2000.

BARCLAY, G.F.; McDAVID, C.R. Effect of benzylaminopurine on fruit set and seed development in pigeonpea (*Cajanus cajan*). **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.72, n.2, p.81-86, 1998.

BENJAMIN, L.R. Variation in time of seedling emergence within populations: a feature that determines individual growth and development. **Advances in Agronomy**, Washington, v.44, p.1-25, 1990.

BENJAMIN, L.R.; HARDWICH, R.C. Sources of variation and measures of variability in even-aged stands of plants. **Annals of Botany**, London, v.58, n.6, p.757-778, 1986.

BERGAMASCHI, H.; GUADAGNIN, M.B. **Agroclima da Estação Agronômica/UFRGS**. Porto Alegre: Departamento de plantas forrageiras e agrometeorologia da UFRGS, 1990. 60p.

BINNIE, R.C.; CLIFFORD, P.E. Sink characteristics of reproductive organs of dwarf bean in relation to likelihood of abscission. **Crop Science**, Madison, v.39, n.4, p.1077-1082, 1999.

BOARD, J.E. Yield components associated with soybean yield reductions at nonoptimal planting dates. **Agronomy Journal**, Madison, v.77, n.1, p.135-140, 1985.

BOARD, J.E.; HARVILLE, B.G.; SAXTON, A.M. Branch dry weight in relation to yield increases in narrow-row soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v.82, n.3, p.540-544, 1990.

BOARD, J.E.; TAN, Q. Assimilatory capacity effects on soybean yield components and pod number. **Crop Science**, Madison, v.35, n.3, p.846-851, 1995.

BONAN, G.B. Density effects on the size structure of annual plant populations: an indication of neighbourhood competition. **Annals of Botany**, London, v.68, p.341-347, 1991.

BONATO, E.R.; BERTAGNOLLI, P.F. Desempenho das cultivares de soja indicadas para cultivo no Rio Grande do Sul, no ano agrícola de 1997/98. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (Passo Fundo, RS). **Soja: resultados de pesquisa, 1997/98 – Embrapa Trigo**. 280p. (Documentos, 51). p.84-92.

BOURLAND, F.M.; WATSON Jr., C.E. COTMAP, a technique for evaluating structure and yield of cotton plants. **Crop Science**, Madison, v.30, n.1, p.224-226, 1990.

BOYER, J.S.; JOHNSON, R.R.; SAURE, S.G. Afternoon water deficits and grain yields in old and new soybean cultivars. **Agronomy Journal**, Madison, v.72, n.6, p.981-986, 1980.

BRAGA, N.R.; COSTA, J.A. Avaliação de dez cultivares de soja pelo índice de colheita. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.18, n.3, p.253-260, 1983.

BREVEDAN, R.E.; EGLI, D.B.; LEGGETT, J.E. Influence of N nutrition on flower and pod abortion and yield of soybeans. **Agronomy Journal**, Madison, v.70, n.1, p.81-84, 1978.

BROWNIE, C.; BOWMAN, D.T.; BURTON, J.W.; Estimating spatial variation in analysis of data from yield trials: a comparison of methods. **Agronomy Journal**, Madison, v.85, n.6, p.1244-1253, 1993.

BRUENING, W.P.; EGLI, D.B. Leaf starch accumulation and seed set at phloem-isolated nodes in soybean. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.68, n.2, p.113-120, 2000.

BRUNOEHLER, R. Predicting the unpredictable. **Soybean digest**, Minneapolis, v.59, n.5, p.20-21, 1999.

CAMARGO, E.C.G.; MONTEIRO, A.M.V.; FUKS, S.D. Geoestatística: fundamentos e aplicações. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V. et al. (Eds.) **Geoprocessamento: teoria e aplicações**. 1999. Disponível em: <<http://www.ptr.usp.br/cursos/analiseespacial/livro/cap12-geoestatistica.pdf>> Acesso em: 14 jan. 2002.

CARLSON, D.R.; DYER, D.J.; COTTERMAN, C.D. et al. The physiological basis for cytokinin induced increases in pod set in IX93-100 soybeans. **Plant Physiology**, Rockville, v.84, n.3, p.233-239, 1987.

CARLSON, J.B.; LERSTEN, N.R. Reproductive morphology. In: WILCOX, J.R. (Ed.) **Soybeans: improvement, production and uses**. Madison: ASA, CSSA, SSSA, 1987. p.95-134.

CARPENTER, A.C.; BOARD, J.E. Growth dynamic factors controlling soybean yield stability across plant populations. **Crop Science**, Madison, v.37, n.5, p.1520-1526, 1997.

COLASANTE, L.O.; COSTA, J.A. Índice de colheita e rendimento biológico, na comparação da eficiência de variedades de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.16, n.2, p.225-230, 1981.

COOPERATIVE EXTENSION SERVICE AMES. **How a soybean plant develops**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1994. 20p.

COSTA, J.A. Mapeamento de plantas: uma opção de manejo para altos rendimentos de soja. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 21., 1993, Santa Rosa. **Ata e Resumos...** Porto Alegre: CIENTEC, IPAGRO, 1993. 192p.

COSTA, J.A. **Cultura da soja**. Porto Alegre: ed. autor, 1996. 233p.

COSTA, J.A.; MARCHEZAN, E. **Características dos estádios de desenvolvimento da soja**. Campinas: Fundação Cargil, 1982. 30p.

COSTA, J.A.; THOMAS, A.L.; PIRES, J.L.F. et al. Rendimento de grãos de cultivares de soja de ciclo médio, semeadas em Eldorado do Sul-RS, na safra 1997/98. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 26., 1998, Cruz Alta. **Ata e Resumos...** Cruz Alta: UNICRUZ, 1998. p.166.

COUNCE, P.A.; MOLDENHAUER, K.A.K.; MARX, D.B. Rice yield and plant yield variability responses to equidistant spacing. **Crop Science**, Madison, v.29, n.1, p.175-179, 1989.

CUNHA, G.R.; HASS, J.C.; DALMAGO, G.A. et al. **Cartas de perda de rendimento potencial em soja no Rio Grande do Sul por deficiência hídrica**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1999. 52p. (Boletim de Pesquisa, 1).

DOMINGUEZ, C.; HUME, D.J. Flowering, abortion, and yield of early-maturing soybeans at three densities. **Agronomy Journal**, Madison, v.70, n.5, p.801-805, 1978.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 33).

DYBING, C.D. Soybean flower production as related to plant growth and seed yield. **Crop Science**, Madison, v.34, n.2, p.489-497, 1994.

DYER, D.J.; CARLSON, D.R.; COTTERMAN, C.D. et al. Soybean pod set enhancement with synthetic cytokinin analogs. **Plant Physiology**, Rockville, v.84, n.3, p.240-243, 1987.

EGHBALL, B.; VARVEL, G.E. Fractal analysis of temporal yield variability of crop sequences: implications for site-specific management. **Agronomy Journal**, Madison, v.89, n.6, p.851-855, 1997.

EGLI, D.B. Alterations in plant growth and dry matter distribution in soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v.80, n.1, p.86-90, 1988.

EGLI, D.B.; BRUENING, W.P. Source-sink relationships, seed sucrose levels and seed growth rates in soybean. **Annals of Botany**, London, v.88, p.235-242, 2001.

EGLI, D.B.; GUFFY, R.B.; HEITHOLD, J.J. Factors associated with reduced yields of delayed planting of soybeans. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Madison, v.159, p.176-185, 1987.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA-CNPQ, 1999. 412p.

EVANS, L.T. Processes, genes, and yield potential. In: BUXTON, D.R.; SHIBLES, R.; FORSBERG, R.A. et al. (Eds.) **International crop science I**. Madison: Crop Science Society of America, 1993. 895p.

GAI, J.; PALMER, R.G.; FEHR, W.R. Bloom and pod set in determinate and indeterminate soybeans grown in China. **Agronomy Journal**, Madison, v.76, n.6, p.979-984, 1984.

GAN, Y.; STOBBE, E.H.; MOES, J. Relative date of wheat seedling emergence and its impact on grain yield. **Crop Science**, Madison, v.32, n.5, p.1275-1281, 1992.

HAKE, K.; BOURLAND, F.; KERBY, T. **Applied plant map handbook**: early season management. Memphis: National Cotton Council of America, [1993?]a. 9p.

HAKE, K.; KERBY, T.; BOURLAND, F. et al. **Beginning plant map program**. Memphis: National Cotton Council of America, [1993?]b. 14p.

HANSEN, W.R.; SHIBLES, R. Seasonal log of the flowering and podding activity of field-grown soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v.70, n.1, p.47-50, 1978.

HEINDL, J.C.; BRUN, W.A. Light and shade effects on abscission and ¹⁴C-photoassimilate partitioning among reproductive structures in soybean. **Plant Physiology**, Rockville, v.73, n.2, p.434-439, 1983.

HEITHOLT, J.J.; EGLI, D.B.; LEGGETT, J.E. Characteristics of reproductive abortion in soybean. **Crop Science**, Madison, v.26, n.3, p.589-595, 1986.

HOLIN, F. Midseason N boosts soybean yield. **Soybean Digest**, Minneapolis, v.57, n.8, p.6-7, 1997.

HUFF, A.; DYBING, C.D. Factors affecting shedding of flowers in soybean. **Journal of Experimental Botany**, Berlin, v.31, p.751-762, 1980.

HÜHN, M. Non-regular spatial patterns of plants and their effect on several agronomic traits per area. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v.12, n.1, p.1-12, 2000.

IKEDA, T. Soybean planting patterns in relation to yield and yield components. **Agronomy Journal**, Madison, v.84, n.6, p.923-926, 1992.

JAYNES, D.B.; COLVIN, T.S. Spatiotemporal variability of corn and soybean yield. **Agronomy Journal**, Madison, v.89, n.1, p.30-37, 1997.

JIANG, H.; EGLI, D.B. Shade induced changes in flower and pod number and flower and fruit abscission in soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v.85, n.2, p.221-225, 1993.

KANTOLIC, A.G.; SLAFER, G.A. Photoperiod sensitivity after flowering and seed number determination in indeterminate soybean cultivars. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.72, n.2, p.109-118, 2001.

KEISLING, T.C.; COUNCE, P.A. An encoding process for morphological analysis of soybean fruit distribution. **Crop Science**, Madison, v.37, n.5, p.1665-1669, 1997.

KIKUZAWA, K. Theoretical relationships between mean plant size, size distribution and self thinning under one-sided competition. **Annals of Botany**, London, v.83, p.11-18, 1999.

LAMOND, R.E.; WESLEY, T.L. In-season fertilization for high yield soybean production. **Better Crops With Plant Food**, Norcross, v.85, n.2, p.6-11, 2001.

LANDIVAR, J.A. **Monitoring system for the management of cotton crops during ontogeny**. Corpus Christi: Texas A & M University, 1995. 25p.

LOOMIS, R.S.; CONNOR, D.J. **Crop ecology: productivity and management in agricultural systems**. Cambridge: Cambridge University Press, 1992. 538p.

MAEHLER, A.R. **Crescimento e rendimento de duas cultivares de soja em resposta ao arranjo de plantas e regime hídrico**. 2000. 107f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

MARCHEZAN, E.; COSTA, J.A. Produção e fixação de flores e legumes em três cultivares de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.18, n.2, p.129-136, 1983.

MENEZES, N.L. de; GARCIA, D.C.; RUBIN, S. de A.L. et al. Caracterização de vagens e sementes de soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.27, n.3, p.387-391, 1997.

NAGEL, L.; BREWSTER, R.; RIEDELL, W.E. et al. Cytokinin regulation of flower and pod set in soybeans (*Glycine max* (L.) Merr.). **Annals of Botany**, London, v.88, p.27-31, 2001.

NAVARRO JÚNIOR, H.M. **Estratégias associadas à expressão do potencial de produção por planta em cultivares de soja**. 1998. 82f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

PIRES, J.L.F. **Efeito da redução no espaçamento entre linhas da soja sobre o rendimento de grãos e seus componentes, em semeadura direta.** 1998. 96f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

PIRES, J.L.F.; COSTA, J.A.; THOMAS, A.L. Rendimento de grãos de soja influenciado pelo arranjo de plantas e níveis de adubação. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.4, n.2, p.183-188, 1998a.

PIRES, J.L.F.; COSTA, J.A.; THOMAS, A.L. et al. Efeito de populações e espaçamentos sobre o potencial de rendimento da soja durante a ontogenia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.8, p.1541-1547, 2000.

PIRES, J.L.F.; THOMAS, J.A.; COSTA, J.A. et al. Rendimento de grãos de cultivares de soja de ciclo precoce, semeadas em Eldorado do Sul-RS, na safra 1997/98, em espaçamento entre linhas reduzido. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 26, 1998, Cruz Alta. **Ata e Resumos...** Cruz Alta: UNICRUZ, 1998b. p.164.

RAMBO, L. **Crescimento e rendimento da soja por estrato do dossel em resposta à competição intraespecífica.** 2002. 90f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

RAMSEUR, E.L.; WALLACE, S.U.; QUISENBERRY, V.L. Distribution pattern of yield components in “Braxton” soybeans. **Agronomy Journal**, Madison, v.76, n.3, p.493-497, 1984.

RARPER, C.D.; BARBER, S.A. Rooting systems of soybeans. I - Differences in root morphology among varieties. **Agronomy Journal**, Madison, v.62, n.5, p.581-584, 1970.

REESE, R.N.; DYBING, C.D.; WHITE, C.A. Expression of vegetative storage protein (VSP- β) in soybean raceme tissues in response to flower set. **Journal of Experimental Botany**, Berlin, v.46, p.957-964, 1995.

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 25., 1997, Passo Fundo. **Recomendações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina 1997/98.** Passo Fundo: EMBRAPA, 1997. 130p.

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 26., 1998, Cruz Alta. **Recomendações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina 1998/99.** Cruz Alta: UNICRUZ, 1998. 133p.

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 27., 1999, Chapecó. **Atas e resumos...** Chapecó: Epagri/CPMP, 1999a. 220p.

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 27., 1999, Chapecó. **Recomendações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina 1998/99.** Chapecó: Epagri/CPMP, 1999b. 167p.

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 29., 2001, Porto Alegre. **Indicações técnicas para a cultura de soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina 2001/2002.** Porto Alegre: FEPAGRO, 2001. 138p.

RIBEIRO JUNIOR, P.J. **Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial de parâmetros do solo.** 1995. 99f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Estatística e Experimentação Agronômica, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1995.

RIBOLDI, J. **Aspectos gerais do planejamento de experimentos:** características de um bom experimento. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997. Anotações de aula.

ROLIM, G.S.; SENTELHAS, P.C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL™ para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.6, n.1, p.133-137, 1998.

RUBIN, S. de A.L. Comportamento da cultivar “FEPAGRO RS-10” em seis densidades de semeadura no planalto médio riograndense. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 25, 1997, Passo Fundo. **Ata e Resumos...** Passo Fundo: EMBRAPA, 1997. p.187.

SAS Institute. **SAS/STAT Guide for personal computers.** Cary: SAS Institute, 1987.

SCHARF, P.C.; ALLEY, M.M. Accounting for spatial yield variability in field experiments increases statistical power. **Agronomy Journal**, Madison, v.85, n.6, p.1254-1256, 1993.

SEDIYAMA, T.; ALMEIDA, L.A. de; MIYASAKA, S. et al. Genética e melhoramento. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. (Eds.) **A soja no Brasil.** [S.l.: s.n.], 1981. p.209-226.

SETTIMI, J.R.; BOARD, J.E. Photoperiod and planting date effects on the spatial distribution of branch development in soybean. **Crop Science**, Madison, v.28, n.2, p.259-263, 1988.

SHARMA, K.P.; DYBING, C.D.; LAY, C. Soybean flower abortion: genetics and impact of selection on seed yield. **Crop Science**, Madison, v.30, n.5, p.1017-1022, 1990.

SPOLEN, W.G.; WIEBOLD, W.J.; GLENN, D.S. Intraraceme competition in field-grown soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v.78, n.2, p.280-283, 1986.

TEKRONY, D.M.; EGLI, D.B. Relationship of seed vigor to crop yield: a review. **Crop Science**, Madison, v.31, n.3, p.816-822, 1991.

THOMAS, A.L. **Desenvolvimento e rendimento da soja em resposta à cobertura morta e à incorporação do gesso ao solo, com e sem irrigação.** 1992. 91f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1992.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, R.J. **The Water Balance**. Centeron, New Jersey: Laboratory of Climatology, 1955. v.8. 104p. (Publication in Climatology).

TRIGO, L.F.N.; PESKE, S.T.; GASTAL, M.F. Efeito do conteúdo de fósforo na semente de soja sobre o rendimento da planta resultante. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.19, n.1, p.111-115, 1997.

TUCKER, M.; MATTOO, A.; ZHOU, D. Making plants hormone – deaf: molecular biologist mute ethylene's control of aging and ripening. **Agricultural Research**, Pittsburgh, v. 44, n.8, p.8-10, 1996.

UDOGUCHI, A.; McCLOUD, D.E. Relationship between vegetative dry matter and yield of three soybean cultivars. **Soil and Crop Science Society of Florida Proceedings**, Gainesville, v.46, p.75-79, 1987.

VAN SCHAIK, P.H.; PROBST, A.H. Effects of some environmental factors on flower production and reproductivite efficiency in soybeans. **Agronomy Journal**, Madison, v.50, n.4, p.192-197, 1958.

VEGA, C.R.C.; SADRAS, V.O.; ANDRADE, F.H. et al. Reproductive allometry in soybean, maize and sunflower. **Annals of Botany**, London, v.85, p.461-468, 2000.

VENTIMIGLIA, L.A. **Morfogenia e fisiogenia da soja afetada pelo espaçamento entre fileiras e níveis de fósforo no solo**. 1996. 118f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

VENTIMIGLIA, L.A.; COSTA, J.A.; THOMAS, A.L. et al. Potencial de rendimento da soja em razão da disponibilidade de fósforo no solo e dos espaçamentos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.2, p.195-199, 1999.

VIEIRA, S.R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial**. Instituto Agrônômico, Campinas, 1999. Disponível em: <<http://sites.uol.com.br/musis/geo1.htm>> Acesso em: 14 jan. 2002.

VOLLMANN, J.; WINKLER, J.; FRITZ, C.N. et al. Spatial field variations in soybean (*Glycine max* [L.] Merr.) performance trials affect agronomic characters and seed composition. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v.12, n.1, p.13-22, 2000.

WALLACE, A. The law of the maximum. **Better Crops**, Norcross, v.77, n.2, p.20-22, 1993.

WIEBOLD, W.J.; ASHLEY, D.A.; BOERNA, H.R. Reproductive abscission levels and patterns for eleven determinate soybean cultivars. **Agronomy Journal**, Madison, v.37, n.1, p.43-46, 1981.

WOLLENHAUPT, N.C.; MULLA, D.J.; GOTWAY CRAWFORD, C.A. Soil sampling and interpolation techniques for mapping spatial variability of soil properties. In: PIERCE, F.J.; SADLER, E.J. (Eds.) **The state of site specific management for agriculture**. Madison: ASA: CSSA: SSSA: 1997. p19-53.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 - Equações de regressão da perda do potencial de rendimento da soja durante a ontogenia (R2 a R8), em três estações de crescimento. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 1996/97, 1999/00, 2000/01

Cultivar	Ano	Equação de regressão linear	r^2
FT Saray	1997	$Y = 15908 - 1647,8 x$	0,95
	2000	$Y = 20833 - 2009,3 x$	0,97
	2001	$Y = 20559 - 2069,4 x$	0,99
IAS 5	1997	$Y = 11091 - 958,7 x$	0,98
	2000	$Y = 16122 - 1541 x$	0,99
	2001	$Y = 15184 - 1348,2 x$	0,95
IAS 4	1997	$Y = 6324,4 - 313,28 x$	0,87
	2000	$Y = 14253 - 1148,9 x$	0,78
	2001	$Y = 12425 - 915,7 x$	0,85
FT Abyara	1997	$Y = 11148 - 974,1 x$	0,99
	2000	$Y = 12655 - 821,32 x$	0,41
	2001	$Y = 14922 - 1322,8 x$	0,98
FEPAGRO RS 10	1997	$Y = 17071 - 1634,7 x$	0,95
	2000	$Y = 24350 - 2353 x$	0,79
	2001	$Y = 14073 - 1076,2 x$	0,69

r^2 = coeficiente de determinação.

R2 = florescimento; R8 = maturação.

APÊNDICE 2 – Percentagem de legumes com um, dois e três grãos e peso de 1000 grãos das cultivares utilizadas no experimento, obtidos por Menezes et al. (1997) em Júlio de Castilhos, RS, 1995/96

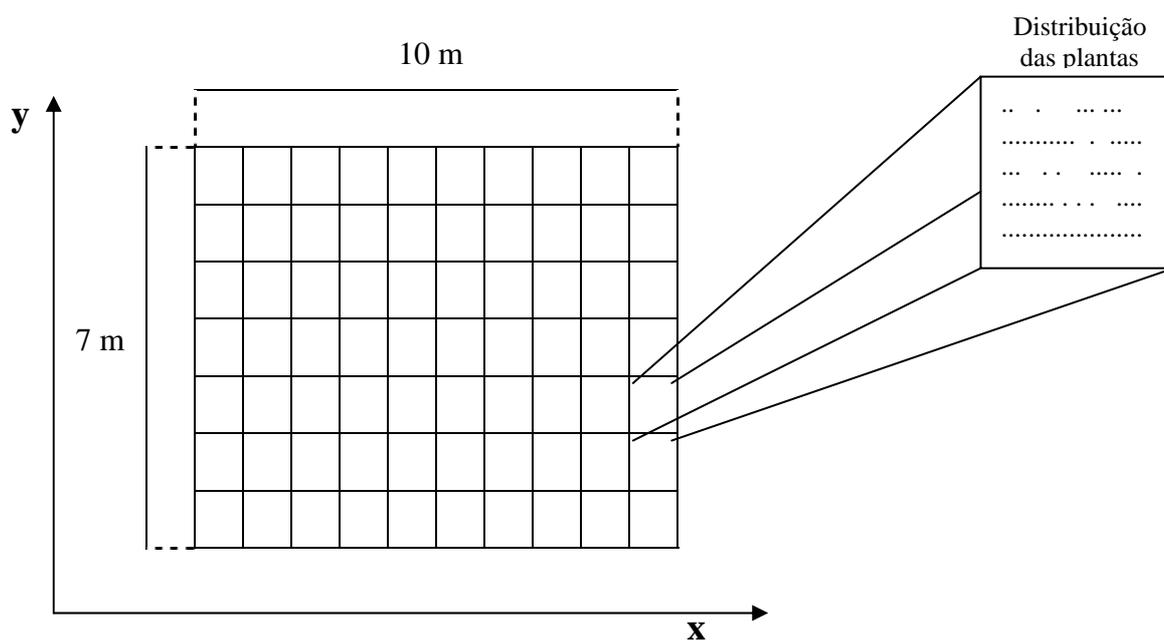
Cultivar	Legumes com diferentes nº de grãos (%)			Peso 1000 grãos (g)
	um	dois	três	
FT Saray	12,8	29,2	68,0	154,1
IAS 5	8,4	75,2	16,4	179,9
IAS 4	8,3	76,0	15,7	196,2
FT ABYARA	4,0	23,9	72,1	155,2
FEPAGRO RS 10	7,7	72,0	20,3	222,9

APÊNDICE 3 - Estimativa do potencial de rendimento da soja (kg/ha) durante a ontogenia por diferentes métodos, na média de seis cultivares, nas estações de crescimento 1996/97, 1999/00 e 2000/01

Método	Potencial de rendimento (kg/ha)			Média
	1996/97	1999/00	2000/01	
R2				
Método A	10121	13376	12238	11912
Método B	11155	14246	13136	12846
Método C	11382	11885	13454	12240
Método D	11559	12056	13879	12498
Método E	12044	12545	14243	12944
R5				
Método A	6732	12179	9703	9538
Método B	5912	11375	9367	8885
Método C	7532	10475	10692	9566
Método D	7548	10549	10861	9653
Método E	7967	11096	11300	10121
R8a	3487	3898	4160	3848
R8p	3735	3440	4004	3726

R2 = florescimento; R5 = início do enchimento de grãos.

APÊNDICE 4 - Croqui de campo do experimento (capítulos III e IV).



APÊNDICE 5 – Forma geral de obtenção dos semivariogramas utilizados nas análises geoestatísticas (Capítulos III e IV).

Para estimação da semivariância utiliza-se o estimador “clássico” de Matheron, ou do método dos momentos, sendo a expressão do estimador dada por:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{N(h)} [Z(S+h) - Z(S)]^2$$

Onde:

$N(h)$ = número de pares de amostras em uma distância h ;

$Z(S+h)$ e $Z(S)$ = são os valores das características amostradas em dois locais separados pela distância h .

O semivariograma amostral é obtido pelo procedimento relatado por Ribeiro Junior, (1995):

- 1) fixa-se uma distância h (“lag”);
- 2) forma-se todos os pares de pontos separados por tal distância;
- 3) aplica-se a expressão do estimador adotado, obtendo a semivariância estimada;
- 4) toma-se uma outra distância e repete-se os passos 1 a 3 (isto é feito até uma distância máxima de interesse);
- 5) os pares de pontos formados pelas distâncias (eixo X) e semivariâncias (eixo Y) são assinalados em um gráfico.

APÊNDICE 6 – Forma geral de obtenção dos mapas de variabilidade pela realização da Krigagem.

Para a realização da Krigagem usa-se o seguinte preditor (Ribeiro Junior, 1995):

$$Z(S_0) = \sum_{i=1}^k \lambda_i Z(S_i)$$

Onde:

$Z(S_0)$ = é o preditor para um ponto S_0 da região;

k = é o número de vizinhos utilizados na predição;

λ_i = é o peso atribuído a cada vizinho;

$Z(S_i)$ = é o valor observado em cada vizinho.

APÊNDICE 7 -

MAPAS DE IC DOS TRÊS ANOS

**APÊNDICE 8 – Semivariograma ÁREA, ESTATURA, N RAMOS< MS GRAOS –
2000**

**APÊNDICE 9 – SEMIVARIOGRAMAS LEG FERTEIS (caule, ramos e planta)
MS GRÃOS (Caule, ramos e planta)**

APÊNDICE 10 – Semivariograma da MS palha, MS grãos e MS total (caule ramos e planta) 2000

APÊNDICE 11 – MAPA por interpolação simples (Número de grãos por legume fértil nos ramos) Representação da tentativa de estabelecimento do semivariograma da característica número de grãos por legume fértil

VITA

João Leonardo Fernandes Pires, filho de João Carlos Sandri Pires e Dinair Fernandes Pires, nasceu em 11 de maio de 1973, em Passo Fundo, Rio Grande do Sul.

Realizou os estudos de primeiro grau na escola Nossa Senhora do Bom Conselho em Iraí; Menino Jesus e Nossa Senhora da Conceição em Passo Fundo, completando também o segundo grau nesta última.

Iniciou o curso de graduação na Faculdade de Agronomia da Universidade de Passo Fundo, no ano de 1991, graduando-se Engenheiro Agrônomo, no ano de 1995. Durante o curso de graduação foi bolsista de iniciação científica (CNPq), sob orientação do professor Mauro Antonio Rizzardi, durante o período de 01 de novembro de 1992 até 31 de julho de 1995, atuando na área de plantas de lavoura. Realizou estágio curricular obrigatório em Extensão Rural, no período de 24 de julho a 14 de dezembro de 1995, no Escritório Municipal da EMATER/RS em Marau.

Ingressou em março de 1996 no curso de Pós-Graduação em Agronomia (Fitotecnia) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), trabalhando no Departamento de Plantas de Lavoura na área de Fisiologia e Manejo, sob orientação do professor José Antonio Costa, recebendo o título de Mestre em Fitotecnia em janeiro de 1998.

Em março de 1998 iniciou o curso de doutorado no Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da UFRGS, trabalhando no Departamento de Plantas de Lavoura na área de Fisiologia e Manejo, tendo como orientador o professor José Antonio Costa e os professores Claudio Mario Mundstock e Luis Mauro Gonçalves Rosa como membros da comissão de orientação.